

PENGARUH WAKTU PENYIMPANAN DAN METODE PENGERINGAN TERHADAP STABILITAS PARAMETER PROKSIMAT BATUBARA

Achmad Muhajir¹, A. Sry Iryani²

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Fajar, Makassar, Indonesia

*Corresponding author

*[Email: achmadmuhajir123@gmail.com](mailto:achmadmuhajir123@gmail.com)

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu penyimpanan terhadap stabilitas parameter proksimat batubara, mengetahui pengaruh metode pengeringan serta kombinasi waktu penyimpanan terhadap perubahan nilai parameter proksimat, serta menentukan metode pengeringan yang paling optimal dalam menghasilkan data yang akurat dan representatif. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air (moisture), kadar abu (ash), volatile matter, dan fixed carbon. Penelitian ini meliputi tahap preparasi sampel, penyimpanan dengan variasi waktu 0 minggu, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu, serta pengeringan menggunakan metode *oven* (105°C) dan *microwave* (300–600 watt). Selanjutnya dilakukan analisis proksimat berdasarkan standar ASTM untuk menentukan perubahan masing-masing parameter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu penyimpanan berpengaruh signifikan terhadap parameter proksimat. Kadar air meningkat dari 5,2% menjadi 9,8% (*oven*) dan 4,6% menjadi 8,7% (*microwave*), sedangkan volatile matter menurun dari 38,5% menjadi 32,7% (*oven*) dan 36,9% menjadi 30,5% (*microwave*). Kadar abu mengalami peningkatan relatif dari 12,1% menjadi 13,0%, sementara fixed carbon cenderung stabil pada metode *oven* (44,2%–44,5%) dan meningkat pada *microwave* hingga 47,9%. Metode *microwave* terbukti lebih efektif dalam menurunkan kadar air, namun juga menyebabkan penurunan volatile matter yang lebih besar serta peningkatan fixed carbon secara relatif. Sebaliknya, metode *oven* menghasilkan data yang lebih stabil dan mampu mempertahankan komposisi asli sampel. Berdasarkan hasil tersebut, metode *oven* lebih direkomendasikan untuk analisis proksimat batubara karena memberikan hasil yang lebih akurat, konsisten, dan sesuai dengan standar pengujian..

Kata kunci: Analisis Proksimat, Batubara, *Microwave*, *Oven*, Waktu Penyimpanan.

Abstract

This study aims to analyze the effect of storage time and drying methods on the stability of coal proximate parameters. The parameters observed include moisture, ash, volatile matter, and fixed carbon. The experiment was conducted using storage time variations (0, 1, 2, 3, and 4 weeks) and drying methods (oven at 105°C and microwave at 300–600 W). Proximate analysis was performed based on ASTM standards. Data were analyzed using two-way ANOVA to determine the significance of the variables. The results showed that storage time significantly affected all proximate parameters, particularly increasing moisture content and decreasing volatile matter. The microwave method reduced moisture more effectively but caused greater changes in volatile matter and fixed carbon. In contrast, the oven method produced more stable and representative results. Therefore, the oven method is recommended for coal proximate analysis..

Keywords : Proximate Analysis, Coal, *Microwave*, *Oven*, Storage Time

Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu sumber energi fosil yang masih memiliki peranan penting dalam pemenuhan kebutuhan energi dunia, termasuk di Indonesia. Hingga saat ini, batubara masih menjadi sumber energi utama dalam sektor pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), industri semen, metalurgi, serta berbagai sektor industri lainnya. Indonesia sendiri merupakan salah satu negara penghasil batubara terbesar di dunia, sehingga pengelolaan kualitas batubara menjadi aspek penting dalam menunjang pemanfaatan energi yang efisien dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengujian kualitas batubara secara akurat menjadi langkah penting dalam memastikan bahwa batubara yang digunakan memenuhi standar yang dibutuhkan oleh industri. Penelitian yang telah dilaksanakan oleh Rahman dan Hidayat (2023) yang berjudul, “Stabilitas Kualitas Batubara Selama Penyimpanan Sampel Tambang”, yang mana mendukung variabel waktu penyimpanan selama beberapa hari dan minggu penyimpanan seperti penyimpanan dan pemanasan dengan menggunakan beberapa metode salah satunya metode *oven* dengan suhu 105°C.

Penelitian ini dapat mengevaluasi pengaruh waktu penyimpanan dan metode pengeringan terhadap stabilitas parameter proksimat batubara. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai bagaimana perubahan kondisi sampel selama penyimpanan serta perlakuan pengeringan dapat memengaruhi nilai parameter proksimat. Selain itu, hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar dalam menentukan prosedur penanganan sampel yang lebih optimal sehingga hasil analisis proksimat batubara menjadi lebih akurat, konsisten, dan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kualitas batubara dalam kegiatan industri maupun penelitian.

Meskipun beberapa penelitian telah membahas pengaruh metode pengeringan maupun waktu penyimpanan terhadap kualitas batubara, sebagian besar penelitian tersebut hanya mengkaji salah satu faktor secara terpisah. Penelitian yang menggabungkan kedua variabel tersebut secara simultan dengan pendekatan analisis statistik masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengkaji interaksi antara waktu penyimpanan dan metode pengeringan terhadap stabilitas parameter proksimat batubara menggunakan analisis statistik yang komprehensif.

Metode

Penelitian ini dilakukan di PT. Geoservices Site PT. Kaltim Jaya Bara setelah persetujuan usulan penelitian oleh Program Studi Teknik Kimia Universitas Fajar. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu penyimpanan dan metode pengeringan terhadap stabilitas parameter proksimat batubara.

Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan meliputi neraca analitik (ketelitian $\pm 0,0001$ g), *oven* pengering dengan suhu terkontrol (105°C), *microwave*, furnace (hingga 950°C), desikator, cawan porselen, stopwatch, termometer digital, dan hygrometer.

2. Bahan

Bahan yang digunakan ialah sampel batu bara, silika gel, aquadest.

Variable Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu penyimpanan (0 minggu, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu) dan metode pengeringan (*oven* dan *microwave*). Variabel terikat meliputi parameter proksimat batubara, yaitu kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash*), *volatile matter*, dan *fixed carbon*.

Pelaksanaan Penelitian

1. Prosedur Preparasi Sampel

Sampel Batubara dihancurkan dan dihaluskan. Kemudian, dihomogenkan sampel agar komposisinya merata, dilanjutkan dengan membagi sampel menjadi beberapa bagian sesuai variasi waktu penyimpanan dan metode pengeringan.

2. Prosedur Penyimpanan Sampel

Sampel batubara disimpan dalam wadah tertutup pada suhu ruang. Diatur variasi waktu penyimpanan menjadi 0 hari, 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu dan diliat kondisi lingkungan laboratorium selama proses penyimpanan, kemudian diambil sampel setelah mencapai waktu penyimpanan yang ditentukan..

3. Prosedur Pengeringan Sampel

Sampel dikeringkan menggunakan metode pengeringan *oven*. Diletakkan sampel pada wadah terbuka untuk pengeringan udara selama 24 jam. Kemudian dipanaskan dalam *oven* pada suhu 105°C selama ± 1 jam., lalu sampel didinginkan dalam desikator hingga mencapai suhu ruang.

4. Penentuan Kadar Air

Sampel Batubara ditimbang ± 1 gram ke dalam cawan yang telah diketahui massanya, kemudia dipanaskan sampel dalam *oven* pada suhu 105–110°C selama 1 jam. Lalu sampel didinginkan dalam desikator hingga mencapai suhu ruang, dan ditimbang kembali sampel untuk memperoleh massa akhir. Dihitung kadar air berdasarkan selisih massa sebelum dan sesudah pemanasan.

5. Penentuan Kadar Abu

Sampel Batubara ditimbang ± 1 gram dalam cawan porselen terbuka. Dipanaskan sampel secara bertahap hingga mencapai suhu $750 \pm 50^\circ\text{C}$ di dalam *furnace*. Kemudian, dipertahankan suhu tersebut selama ± 2 jam hingga seluruh material organik terbakar sempurna. Lalu didinginkan cawan dalam desikator. Ditimbang residu untuk menentukan kadar abu.

6. Penentuan Volatile Matter

Sampel Batubara ditimbang ± 1 gram ke dalam *crucible* tertutup, lalu dimasukkan ke dalam *furnace* yang telah mencapai suhu $950 \pm 20^\circ\text{C}$. Kemudian, dipanaskan sampel selama 7 menit dalam kondisi tertutup. Didinginkan *crucible* dalam desikator. Ditimbang kembali untuk menentukan kadar zat terbang.

7. Penentuan Fixed Carbon

Nilai karbon tetap dihitung dengan rumus: $\text{Fixed Carbon (\%)} = 100\% - (\text{Moisture} + \text{Ash} + \text{Volatile Matter})$. Kemudian, dicatat seluruh hasil pengujian dalam tabel data dan dihitung nilai rata-rata dan standar deviasi. Lalu, pengaruh variasi waktu penyimpanan dan metode pengeringan dan disimpulkan hasil penelitian berdasarkan data yang diperoleh.

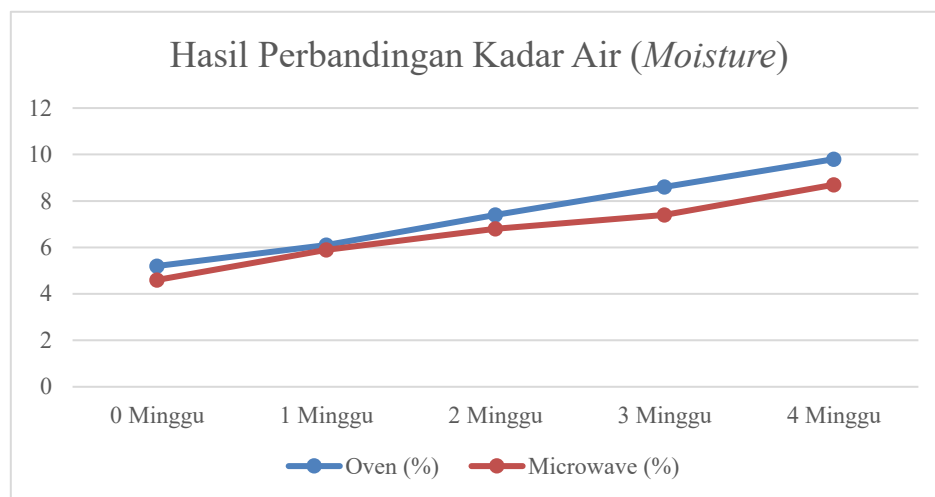
Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini untuk mengetahui hasil pengujian kadar batubara dengan menggunakan metode *oven* dan *microwave* pada berbagai waktu penyimpanan. Berdasarkan hal tersebut, pada bab ini akan dibahas tentang kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*.

1. Hasil Perbandingan Kadar Air (*Moisture*)

Tabel 1 Hasil Perbandingan Kadar Air (*Moisture*)

Waktu Penyimpanan	Oven (%)	Microwave (%)
0 minggu	5,2%	4,6%
1 minggu	6,1%	5,9%
2 minggu	7,4%	6,8%
3 minggu	8,6%	7,4%
4 minggu	9,8%	8,7%



Gambar 1 Hasil Perbandingan Kadar Air (*Moisture*)

Berdasarkan data hasil penelitian, kadar air batubara menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu penyimpanan, baik pada metode pengeringan

oven maupun *microwave*. Pada kondisi awal (0 minggu), kadar air yang dihasilkan metode *oven* sebesar 5,2%, sedangkan metode *microwave* sebesar 4,6%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa metode *microwave* lebih efektif dalam menghilangkan kandungan air dari sampel bahkan sejak tahap awal. Hal ini disebabkan oleh mekanisme pemanasan *microwave* yang bekerja secara langsung pada molekul air melalui gelombang elektromagnetik, sehingga energi panas dapat menembus hingga ke bagian dalam sampel dan mempercepat proses penguapan (Nugroho dkk., 2022).

Seiring bertambahnya waktu penyimpanan menjadi 1 hingga 2 minggu, kadar air mengalami peningkatan bertahap, yaitu dari 6,1% menjadi 7,4% pada metode *oven* dan dari 5,9% menjadi 6,8% pada metode *microwave*. Peningkatan ini menunjukkan bahwa batubara memiliki sifat higroskopis yang memungkinkan penyerapan uap air dari lingkungan sekitarnya. Struktur pori batubara yang bersifat kapiler mempermudah masuknya molekul air, sehingga semakin lama waktu penyimpanan, semakin besar jumlah air yang teradsorpsi (Rahman & Hidayat, 2023). Selain itu, interaksi antara permukaan batubara dan kelembaban udara menyebabkan peningkatan kadar air yang cukup signifikan, terutama pada kondisi lingkungan dengan kelembaban relatif tinggi (Siregar dkk., 2022).

Pada waktu penyimpanan 3 hingga 4 minggu, peningkatan kadar air menjadi lebih signifikan, yaitu mencapai 8,6% hingga 9,8% pada metode *oven* dan 7,4% hingga 8,7% pada metode *microwave*. Kondisi ini menunjukkan bahwa batubara semakin mendekati kondisi jenuh terhadap kelembaban lingkungan. Selain faktor waktu, kemungkinan terjadinya oksidasi ringan pada permukaan batubara selama penyimpanan juga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi air, sehingga kadar air terus meningkat (Prasetyo, 2022). Tingginya kadar air ini dapat berdampak negatif terhadap kualitas batubara, karena dalam proses pemanfaatannya, sebagian energi akan digunakan untuk menguapkan air sehingga menurunkan efisiensi pembakaran (Rahman & Hidayat, 2023).

Secara keseluruhan, metode *microwave* secara konsisten menghasilkan kadar air yang lebih rendah dibandingkan metode *oven* pada setiap variasi waktu penyimpanan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan mekanisme pemanasan antara kedua metode tersebut. Metode *oven* bekerja berdasarkan prinsip konveksi, di mana panas ditransfer dari udara panas ke permukaan sampel dan kemudian merambat ke bagian dalam,

sehingga proses pengeringan berlangsung lebih lambat dan kurang merata. Sebaliknya, metode *microwave* menggunakan pemanasan volumetrik yang langsung memanaskan molekul air di seluruh bagian sampel secara bersamaan, sehingga penguapan air menjadi lebih cepat dan efisien (Saputra & Kurniawan, 2023).

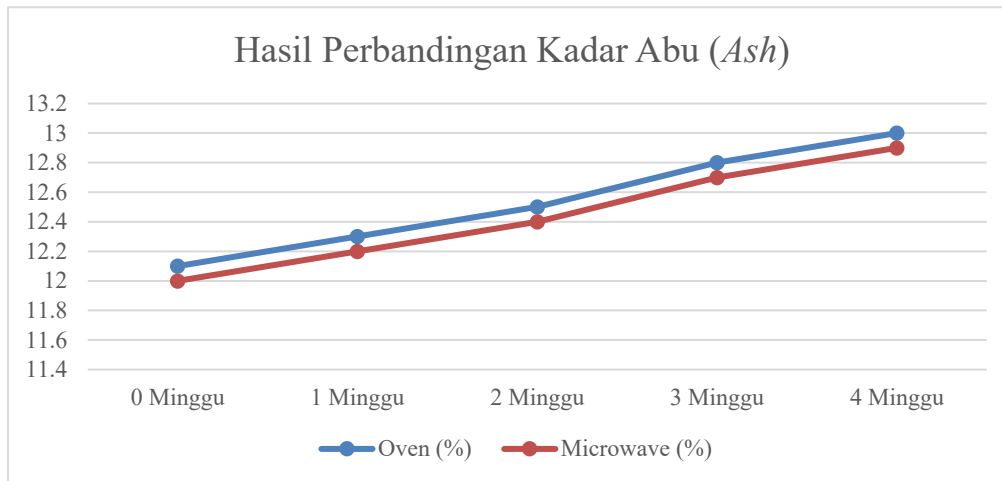
Perbedaan ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lain, seperti distribusi panas, waktu pengeringan, serta struktur pori batubara. *Microwave* memiliki distribusi panas yang lebih merata dan waktu pengeringan yang lebih singkat, sehingga lebih efektif dalam menghilangkan kadar air. Namun demikian, metode *oven* tetap lebih direkomendasikan dalam analisis laboratorium karena menghasilkan data yang lebih stabil dan sesuai dengan standar pengujian, meskipun membutuhkan waktu yang lebih lama (ASTM, 2019). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa baik waktu penyimpanan maupun metode pengeringan memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar air batubara, sehingga keduanya perlu dikontrol untuk memperoleh hasil analisis yang akurat dan representatif.

2. Hasil perbandingan kadar abu

Data hasil pengujian kadar abu (*ash*) batubara dengan variasi waktu penyimpanan menggunakan metode *oven* dan *microwave* dirangkum dalam tabel berikut sebagai dasar dalam mengevaluasi perbedaan hasil antar metode

Tabel 2 Hasil Perbandingan Kadar Abu (*Ash*)

Waktu Penyimpanan	<i>Oven</i> (%)	<i>Microwave</i> (%)
0 minggu	12,1%	12,0%
1 minggu	12,3%	12,2%
2 minggu	12,5%	12,4%
3 minggu	12,8%	12,7%
4 minggu	13,0%	12,9%



Gambar 2 Hasil Perbandingan Kadar Abu (*Ash*)

Berdasarkan Tabel 2, kadar abu (*ash*) batubara menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu penyimpanan, baik pada metode *oven* maupun *microwave*, meskipun peningkatannya relatif kecil. Pada waktu penyimpanan 0 minggu, kadar abu pada metode *oven* sebesar 12,1% dan *microwave* sebesar 12,0%. Perbedaan yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa pada kondisi awal, metode pengeringan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar abu karena komponen abu merupakan material anorganik yang stabil terhadap pemanasan (Putra & Widodo, 2023).

Seiring waktu penyimpanan 1 hingga 2 minggu, kadar abu meningkat menjadi 12,3% dan 12,5% pada *oven*, serta 12,2% dan 12,4% pada *microwave*. Peningkatan ini bukan disebabkan oleh bertambahnya kandungan mineral, melainkan akibat perubahan kadar air dalam sampel. Ketika kadar air meningkat, maka secara relatif persentase komponen lain seperti abu juga ikut berubah dalam perhitungan proksimat (Siregar dkk., 2022).

Pada waktu penyimpanan 3 hingga 4 minggu, kadar abu mencapai 12,8% hingga 13,0% untuk metode *oven* dan 12,7% hingga 12,9% untuk *microwave*. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin lama penyimpanan, kadar abu tampak meningkat, namun tetap dalam kisaran yang stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa penyimpanan tidak secara langsung memengaruhi komposisi mineral batubara, melainkan hanya memengaruhi nilai relatifnya akibat perubahan parameter lain (Prasetyo, 2022).

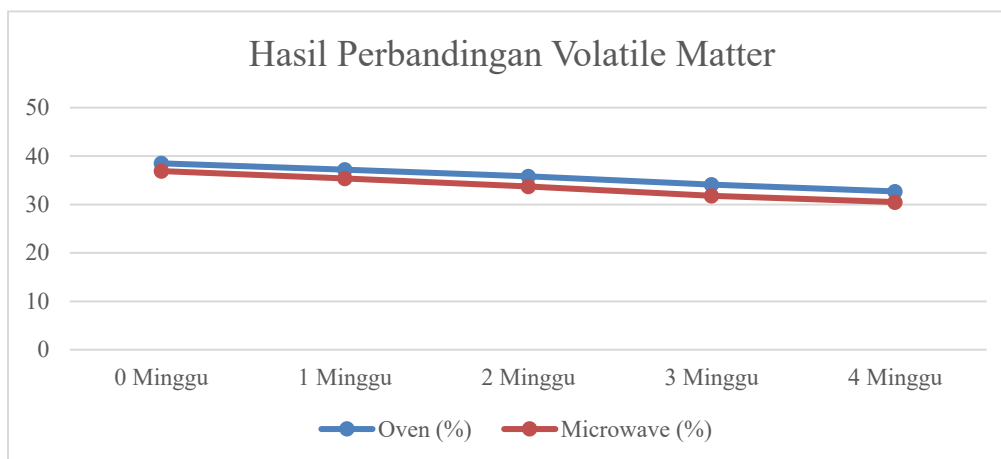
Secara keseluruhan, perbedaan antara metode *oven* dan *microwave* sangat kecil (sekitar 0,1%), yang menunjukkan bahwa kedua metode tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar abu. Hal ini disebabkan oleh sifat abu sebagai residu anorganik yang tidak mudah menguap atau terdegradasi pada suhu pengeringan. Perbedaan kecil yang muncul kemungkinan dipengaruhi oleh distribusi panas dan efisiensi pengeringan, di mana *microwave* cenderung lebih cepat menghilangkan kadar air sehingga sedikit memengaruhi perhitungan persentase abu (Saputra & Kurniawan, 2023).

3. Hasil Perbandingan Volatile Matter

Nilai *volatile matter* batubara yang diperoleh melalui pengujian menggunakan metode *oven* dan *microwave* pada berbagai variasi waktu penyimpanan disajikan dalam tabel berikut guna memberikan gambaran mengenai perubahan kandungan zat terbang selama proses penyimpanan.

Tabel 3 Hasil Perbandingan *Volatile Matter*

Waktu Penyimpanan	Oven (%)	Microwave (%)
0 minggu	38,5%	36,9%
1 minggu	37,2%	35,4%
2 minggu	35,8%	33,7%
3 minggu	34,1%	31,8%
4 minggu	32,7%	30,5%



Gambar 3 Hasil Perbandingan *Volatile Matter*

Berdasarkan Tabel 3, nilai *volatile matter* (VM) menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya waktu penyimpanan, baik pada metode *oven* maupun *microwave*. Pada waktu penyimpanan 0 minggu, nilai VM pada metode *oven* sebesar 38,5%, sedangkan pada *microwave* sebesar 36,9%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sejak awal, metode *microwave* menghasilkan nilai VM yang lebih rendah, yang mengindikasikan adanya kemungkinan sebagian zat volatil telah terlepas selama proses pengeringan (Saputra & Kurniawan, 2023).

Waktu penyimpanan 1 hingga 2 minggu, nilai VM terus menurun menjadi 37,2% dan 35,8% pada metode *oven*, serta 35,4% dan 33,7% pada metode *microwave*. Penurunan ini disebabkan oleh proses oksidasi ringan yang terjadi selama penyimpanan, di mana senyawa hidrokarbon yang mudah menguap mulai terdegradasi atau terlepas ke lingkungan (Prasetyo, 2022). Selain itu, kontak dengan oksigen udara juga mempercepat hilangnya komponen volatil dari permukaan batubara (Rahman & Hidayat, 2023).

Pada waktu penyimpanan 3 hingga 4 minggu, penurunan nilai VM semakin signifikan, yaitu mencapai 34,1% hingga 32,7% pada metode *oven* dan 31,8% hingga 30,5% pada metode *microwave*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan, semakin besar kehilangan zat volatil akibat proses oksidasi dan kemungkinan self-heating dalam sampel (Siregar dkk., 2022).

Secara keseluruhan, metode *microwave* secara konsisten menghasilkan nilai *volatile matter* yang lebih rendah dibandingkan metode *oven* dengan selisih sekitar 1,5–2%. Perbedaan ini disebabkan oleh mekanisme pemanasan *microwave* yang lebih cepat dan intens, sehingga tidak hanya menguapkan air tetapi juga dapat menyebabkan sebagian senyawa volatil ikut terlepas selama proses pengeringan (Saputra & Kurniawan, 2023). Sebaliknya, metode *oven* yang menggunakan suhu lebih terkontrol cenderung lebih mampu mempertahankan kandungan *volatile matter* dalam sampel.

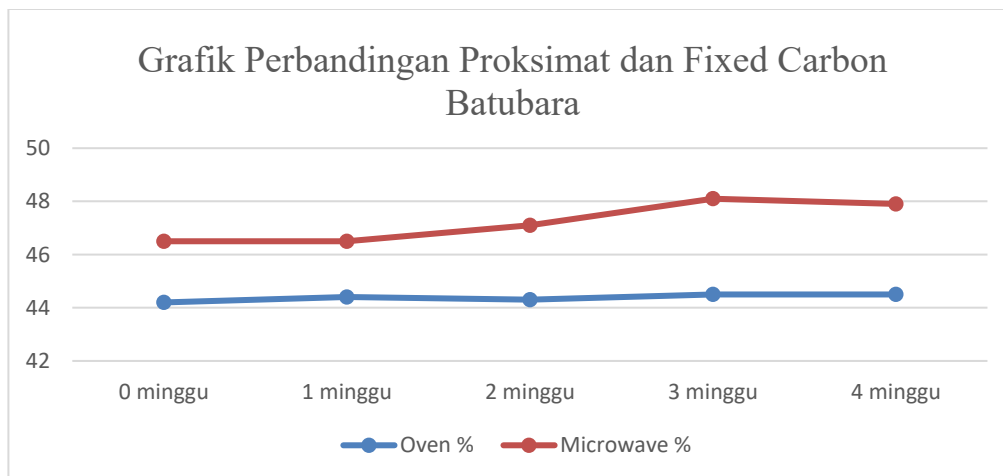
Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penurunan *volatile matter* dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu waktu penyimpanan dan metode pengeringan. Waktu penyimpanan berperan dalam proses oksidasi, sedangkan metode *microwave* cenderung mempercepat kehilangan komponen volatil dibandingkan metode *oven*.

4. Hasil Perbandingan Fixed Carbon

Data perbandingan kadar *fixed carbon* batubara berdasarkan metode *oven* dan *microwave* pada berbagai waktu penyimpanan dirangkum dalam tabel berikut sebagai dasar analisis terhadap perbedaan hasil yang diperoleh

Tabel 4 Hasil Perbandingan *Fixed Carbon*

Waktu Penyimpanan	Oven (%)	Microwave (%)
0 minggu	44,2%	46,5%
1 minggu	44,4%	46,5%
2 minggu	44,3%	47,1%
3 minggu	44,5%	48,1%
4 minggu	44,5%	47,9%



Gambar 4 Hasil Perbandingan Proksimat dan *Fixed Carbon* Batubara

Waktu penyimpanan 1 hingga 2 minggu, nilai *fixed carbon* pada metode *oven* relatif stabil yaitu 44,4% dan 44,3%, sedangkan pada metode *microwave* meningkat menjadi 46,5% dan 47,1%. Kenaikan ini bukan disebabkan oleh peningkatan karbon secara nyata, melainkan akibat penurunan nilai *volatile matter* dan kadar air yang lebih besar pada metode *microwave*, sehingga secara perhitungan nilai *fixed carbon* menjadi lebih tinggi (Siregar dkk., 2022).

Pada waktu penyimpanan 3 hingga 4 minggu, nilai *fixed carbon* pada metode *oven* tetap stabil di kisaran 44,5%, sedangkan pada metode *microwave* meningkat hingga 48,1% kemudian sedikit menurun menjadi 47,9%. Hal ini menunjukkan bahwa metode *microwave* cenderung memperbesar nilai *fixed carbon* secara relatif akibat hilangnya komponen lain seperti *volatile matter* yang lebih signifikan (Saputra & Kurniawan, 2023). Secara keseluruhan, perbedaan nilai *fixed carbon* antara *oven* dan *microwave* berkisar antara 2–4%, di mana metode *microwave* selalu menghasilkan nilai yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa metode *microwave* tidak hanya menghilangkan kadar air tetapi juga memengaruhi komponen lain sehingga mengubah proporsi komposisi proksimat batubara.

Berdasarkan hasil keseluruhan parameter, metode *oven* lebih direkomendasikan untuk analisis proksimat batubara dibandingkan metode *microwave*. Hal ini karena metode *oven* menghasilkan data yang lebih stabil dan representatif terhadap kondisi asli sampel.

Meskipun *microwave* lebih cepat dan efektif dalam menghilangkan kadar air, metode ini cenderung menyebabkan perubahan pada *volatile matter* dan secara tidak langsung memengaruhi nilai *fixed carbon*. Dengan kata lain, *microwave* berpotensi mengubah komposisi asli batubara selama proses pengeringan.

Sebaliknya, metode *oven* bekerja pada suhu yang lebih terkontrol ($\pm 105^{\circ}\text{C}$) sehingga hanya menghilangkan kadar air tanpa banyak memengaruhi komponen lain. Hal ini membuat hasil analisis lebih akurat dan sesuai dengan standar pengujian, seperti yang direkomendasikan dalam metode ASTM (ASTM, 2019).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa implikasi praktis yang dapat dimanfaatkan di lingkungan kerja, khususnya di PT. Geoservices sebagai laboratorium pengujian batubara. Pengaruh signifikan waktu penyimpanan terhadap peningkatan kadar air dan penurunan *volatile matter* menunjukkan bahwa proses analisis sebaiknya dilakukan sesegera mungkin setelah pengambilan sampel guna menjaga keakuratan dan representativitas data. Selain itu, metode pengeringan *oven* terbukti menghasilkan data yang lebih stabil dan sesuai standar, sehingga direkomendasikan sebagai metode utama dalam analisis proksimat di PT. Geoservices, sementara metode *microwave* dapat dimanfaatkan sebagai alternatif untuk kebutuhan analisis cepat dengan mempertimbangkan potensi perubahan nilai parameter. Peningkatan kadar air selama penyimpanan juga berimplikasi pada penurunan efisiensi pembakaran, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan oleh PT. Geoservices sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi teknis kepada klien terkait pengelolaan dan penyimpanan batubara. Lebih lanjut, penelitian ini dapat mendukung penyempurnaan prosedur operasional standar (SOP) di PT. Geoservices, khususnya dalam aspek pengambilan, preparasi, penyimpanan, dan analisis sampel, sehingga hasil pengujian menjadi lebih konsisten, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi akademis, tetapi juga memiliki nilai aplikatif dalam meningkatkan kualitas layanan analisis serta efisiensi operasional di PT. Geoservices.

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah :

1. Waktu penyimpanan memberikan pengaruh terhadap karakteristik batubara. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kadar abu (*ash*) dari 12,1% menjadi 13,0% (metode *oven*) dan dari 12,0% menjadi 12,9% (metode *microwave*) selama 4 minggu penyimpanan. Sebaliknya, nilai volatile matter mengalami penurunan dari 38,5% menjadi 32,7% (*oven*) dan dari 36,9% menjadi 30,5% (*microwave*). Sementara itu, nilai fixed carbon cenderung relatif stabil dengan sedikit peningkatan, yaitu dari 44,2% menjadi 44,5% (*oven*) dan dari 46,5% menjadi 47,9% (*microwave*).
2. Metode pengujian *oven* dan *microwave* menunjukkan hasil yang berbeda namun memiliki kecenderungan yang sama. Metode *oven* cenderung menghasilkan nilai kadar abu dan volatile matter yang sedikit lebih tinggi dibandingkan *microwave*, sedangkan pada parameter fixed carbon, metode *microwave* menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan *oven*, yaitu mencapai 47,9% pada minggu ke-4. Dengan demikian, kedua metode dapat digunakan dalam analisis proksimat, namun memberikan perbedaan hasil yang dipengaruhi oleh karakteristik pemanasan masing-masing metode.

Daftar Referensi

- ASTM International. (2019). *Annual book of ASTM standards*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2020). *Standard test method for proximate analysis of coal and coke (ASTM D3172)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Firmansyah, R., Nugraha, D., & Maulana, I. (2022). Evaluasi Perubahan Kualitas Batubara Akibat Penanganan Sampel Laboratorium. *Jurnal Teknologi Mineral Indonesia*, 30(2), 95–103.
- Herlina, S., Putri, R., & Andrianto, A. (2022). Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Karakteristik Awal Batubara. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(1), 44–52.
- Li, X., Chen, Y., & Wang, Q. (2019). Influence of moisture content on coal analysis and combustion behavior. *Fuel Processing Technology*, 192, 45–52.

- Nugroho, A., Santoso, D., & Lestari, R. (2022). Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Kualitas Sampel Batubara Laboratorium. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(1), 45–52.
- Nurhadi, M., Saputro, E., & Wicaksono, B. (2022). Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kestabilan Analisis Batubara. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*, 12(2), 77–85.
- Prasetyo, B. (2022). Analisis Karakteristik Kualitas Batubara Indonesia Sebagai Bahan Bakar Energi. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 18(2), 85–94.
- Pratama, R., Siregar, P., & Wahyudi, D. (2023). Pengaruh Penyimpanan Sampel Terhadap Perubahan Kadar Air Batubara. *Jurnal Geologi Energi Indonesia*, 6(1), 15–23.
- Putra, A., & Widodo, S. (2023). Konsistensi Parameter Mutu Batubara Pada Pengujian Laboratorium. *Jurnal Teknik Pertambangan Indonesia*, 7(1), 33–41.
- Rahman, F., & Hidayat, T. (2023). Stabilitas Kualitas Batubara Selama Penyimpanan Sampel Tambang. *Jurnal Teknologi Sumber Daya Mineral*, 19(1), 21–30.
- Rahmawati, N., & Yusuf, M. (2022). Studi Metode Pengeringan Batubara Pada Analisis Laboratorium. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(2), 101–108.
- Ramdani, F., & Setiawan, H. (2023). Manajemen Penyimpanan Sampel Batubara Pada Pengujian Kualitas Energi. *Jurnal Energi Nasional*, 9(1), 21–29.
- Saputra, D., & Kurniawan, A. (2023). Optimasi Temperatur Pengeringan Pada Preparasi Sampel Batubara. *Jurnal Teknologi Industri Pertambangan*, 17(1), 11–19.
- Siregar, M., Harahap, R., & Putri, N. (2022). Evaluasi Analisis Proksimat Batubara Pada Berbagai Kondisi Preparasi Sampel. *Jurnal Energi dan Pertambangan*, 6(2), 101–109.
- Speight, J. G. (2013). *The chemistry and technology of coal* (3rd ed.). CRC Press.
- Sun, H., Zhao, Y., & Li, J. (2018). Impact of storage conditions on coal quality characteristics. *Fuel*, 220, 654–660.
- Utami, P., & Hapsari, D. (2024). Stabilitas Parameter Mutu Batubara Dalam Analisis Laboratorium Energi. *Jurnal Sumber Daya Energi Indonesia*, 8(1), 1–9.
- Wahyudi, R., Santoso, B., & Prasetya, A. (2022). Studi Preparasi Sampel Batubara Untuk Analisis Proksimat. *Jurnal Teknik Mineral*, 18(2), 60–68.
- Wang, S., & Zhang, L. (2020). Effect of drying methods on coal properties and reactivity. *Fuel*, 262, 116513.

Yuliana, N., & Prabowo, Y. (2024). Evaluasi Metode Kombinasi Pengeringan Batubara Skala Laboratorium. *Jurnal Teknologi Pertambangan Modern*, 6(1), 25–34.

Zhang, Y., Li, X., & Wang, Q. (2021). Effect of drying methods on the physicochemical properties and proximate analysis of coal samples. *Fuel Processing Technology*, 213, 106689.

Zhang, Y., Li, X., & Wang, Q. (2021). Effect of drying methods on the physicochemical properties and proximate analysis of coal samples. *Fuel Processing Technology*, 213, 106689.