

## Pengaruh Konsentrasi Batu Bara dan Zat Aditif *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) terhadap Stabilitas *Coal Water Fuel* (CWF) berdasarkan Sedimentasi dan Densitas

Syafirma Aisyah Cantika<sup>1\*</sup>, Ismail Marzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Universitas Fajar, Jl. Prof. Dr. H. Abdurrahman Basalamah No.101, Makassar, 90231, Indonesia

### Informasi Artikel

Kata kunci:

*Coal Water Fuel*

*Carboxymethyl*

Selulosa

Densitas

Sedimentasi

### Abstrak

*Coal Water Fuel* (CWF) merupakan pemanfaatan limbah batu bara dengan mencampurkannya dengan zat aditif untuk menghasilkan sumber energi berupa bahan bakar yang ramah lingkungan. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan CWF yaitu stabilitas, yang sangat penting untuk menjaga kualitas bahan bakar selama penyimpanan dan penggunaannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi batu bara sebesar 30%, 40%, dan 50% serta variasi zat aditif *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) sebanyak 0,5%, 0,7%, dan 1% terhadap kestabilan CWF berdasarkan uji sedimentasi dan densitas. Campuran CWF disiapkan dengan mencampurkan batu bara, air, dan CMC sesuai variasi, kemudian diuji menggunakan metode sedimentasi selama 8 jam dan pengukuran densitas dengan piknometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi batu bara berbanding lurus dengan kenaikan densitas. Nilai densitas optimal menurut literatur berada pada kisaran 1,05-1,15 g/mL, dan sampel yang memenuhi kriteria ini adalah B1C3, B2C1, B2C2, B2C3, dan B3C1. Uji sedimentasi memperlihatkan bahwa formulasi dengan konsentrasi batu bara lebih tinggi cenderung lebih stabil. Dari seluruh variasi, komposisi B2C2 (40% batu bara + 0,7% CMC) merupakan yang paling optimal karena densitasnya berada di tengah rentang ideal dan stabil tanpa endapan signifikan. Temuan ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi CWF yang stabil, efisien, serta ramah lingkungan, sekaligus mendukung penerapan *Clean Coal Technologies* (CCT) di sektor energi industri..

### Article Information

Keywords:

*Coal Water Fuel*

*Carboxymethyl*

*Cellulose*

*Density*

*Sedimentation*

### Abstract

*Coal Water Fuel* (CWF) is the utilization of coal waste by mixing coal with water and additives to produce an environmentally friendly energy source. One important factor to be considered in its use is stability, which is crucial to maintain fuel quality during storage and application. This study aimed to analyze the effect of coal concentrations of 30%, 40%, and 50% as well as *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) additives of 0.5%, 0.7%, and 1% on the stability of CWF based on sedimentation and density tests. CWF samples were prepared by mixing coal, water, and CMC according to variations, then tested using sedimentation for 8 hours and density measurement with a pycnometer. The results showed that increasing coal concentration was directly proportional to higher density. The optimal density value, according to the literature, is in the range of 1.05–1.15 g/mL, and the samples meeting this criterion were B1C3, B2C1, B2C2, B2C3, and B3C1. Sedimentation tests indicated that formulations with higher coal concentrations tended to be more stable. Among all variations, B2C2 (40% coal and 0.7% CMC) was the most optimal composition because its density fell within the ideal range and remained stable without significant sedimentation. These findings are expected to contribute to the development of stable, efficient, and environmentally friendly CWF, while supporting the implementation of *Clean Coal Technologies* (CCT) in the energy industry sector.

## 1. Pendahuluan

Batu bara merupakan salah satu sumber energi utama di Indonesia, di mana pada tahun 2020 produksi batu bara Indonesia tercatat sebesar 560,7 juta ton, dengan lebih dari 80% konsumsinya digunakan untuk pembangkit listrik (Afrah et al., 2024). Namun, pemanfaatannya menghasilkan limbah yang

berpotensi mencemari lingkungan, salah satunya adalah limbah batu bara mentah yang berasal dari proses preparasi, analisis laboratorium, maupun hasil samping produksi (Alam et al., 2024). Limbah ini dapat mencemari lingkungan karena kandungan logam berat seperti arsenik (As), timbal (Pb), kadmium, (Cd), dan merkuri (Hg) dalam mineral pengotor,

\*Afiliasi penulis korespondensi: Program Studi Teknik Kimia, Universitas Fajar, Jl. Prof. Dr. H. Abdurrahman Basalamah No.101, Makassar, 90231, Indonesia

Email: [syafirmacantika@gmail.com](mailto:syafirmacantika@gmail.com) (Syafirma Aisyah Cantika)

<https://doi.org/10.61844/jtkm.v5i1.1229>

Submisi 24 September 2025; Revisi 10 Oktober 2025; Diterima 16 Oktober 2025

Publish online 20 Oktober 2025

Penulis 2025, di bawah persyaratan lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

khususnya pirit ( $\text{FeS}_2$ ), yang berpotensi terlarut dan mencemari air tanah maupun permukaan (Baskoro et al., 2021).

Untuk mengurangi dampak tersebut, dikembangkan Clean Coal Technologies (CCT) sebagai upaya hilirisasi dan pemanfaatan limbah batu bara agar lebih ramah lingkungan. Teknologi ini membuat proses pengolahan batu bara dari ekstraksi hingga penggunaannya menjadi lebih efisien dan minim pencemaran (Das et al., 2020).

Salah satu penerapan CCT adalah pembuatan *Coal Water Fuel* (CWF), yaitu bahan bakar berbentuk suspensi batu bara halus dalam air dengan tambahan aditif. CWF dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan batu bara padat karena dapat menekan emisi gas buang hingga 20% untuk  $\text{SO}_2$  dan 50% untuk  $\text{NO}_x$ . Selain itu, penggunaan CWF juga memungkinkan pemanfaatan limbah batu bara halus yang sebelumnya sulit dimanfaatkan, serta berpotensi menggantikan minyak bakar pada sektor industri (Feng et al., 2025).

Kendala utama CWF adalah kestabilan suspensinya. Campuran dikatakan stabil apabila partikel batu bara tetap terdispersi merata tanpa mengendap selama penyimpanan maupun distribusi (Gao et al., 2024). Untuk itu, diperlukan penambahan aditif seperti *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). CMC bekerja dengan membentuk lapisan pelindung di sekitar partikel sehingga mampu mengurangi kecenderungan pengendapan dan menjaga homogenitas campuran (Guntama et al., 2024). Aditif ini juga membantu menyesuaikan viskositas dan mendukung efisiensi bahan bakar dengan meningkatkan densitas energi serta kemudahan alir (Hu et al., 2021; J. Liu et al., 2025).

Selain aditif, konsentrasi batu bara berperan penting dalam menentukan stabilitas. Konsentrasi terlalu rendah menghasilkan nilai kalor yang rendah, sedangkan konsentrasi terlalu tinggi menyebabkan densitas meningkat dan aliran terhambat (J. Liu et al., 2025; Nugraheni et al., 2024). Menurut (Qulatein et al., 2024), konsentrasi padatan dapat ditingkatkan hingga 62% dengan penambahan aditif yang tepat tanpa menurunkan stabilitas. Parameter fisik yang paling menentukan stabilitas CWF adalah sedimentasi dan densitas. Sedimentasi dapat diminimalkan dengan memperkecil ukuran partikel atau menambah aditif penstabil (Singh et al., 2021), sedangkan densitas ideal CWF berada pada kisaran 1,05-1,15 g/mL agar sesuai untuk aplikasi industri (Stebeleva et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya lebih menekankan pada aspek reologi dan viskositas CWF, sedangkan kajian mengenai pengaruh kombinasi variasi konsentrasi batu bara dan aditif CMC terhadap parameter sedimentasi dan densitas masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut melalui analisis pengaruh variasi konsentrasi batu bara (30%, 40%, dan 50%) serta CMC (0,5%, 0,7%, dan 1%) terhadap stabilitas CWF ditinjau dari parameter sedimentasi dan densitas, sehingga dapat diperoleh formulasi yang stabil dan aplikatif untuk sektor energi industri.

## 2. Metode

### 2.1. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari limbah batu bara, air suling, dan CMC sebagai aditif. Limbah batu bara diperoleh dari hasil samping analisis laboratorium batu bara di Sulawesi Selatan, dengan ukuran partikel halus  $<0,212$  mm. Konsentrasi batu bara dalam penelitian ini merujuk pada persentase massa batu bara terhadap total volume campuran, yaitu 30%, 40%, dan 50% per 100 mL campuran CWF. CMC yang digunakan merupakan produk komersial dengan merek Koepoe-Koepoe (*food grade*). Variasi CMC ditambahkan masing-masing 0,5 gram, 0,7 gram, dan 1 gram per 100 mL campuran.

### 2.2. Prosedur penelitian

Penelitian diawali dengan penimbangan limbah batu bara dan CMC sesuai dengan variasi konsentrasi yang telah ditentukan, kemudian ditambahkan air suling hingga mencapai volume campuran 100 mL. Pembuatan CWF dilakukan dengan melarutkan CMC terlebih dahulu dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga larut sempurna, kemudian batu bara ditambahkan secara bertahap ke dalam larutan CMC sambil terus diaduk hingga seluruh campuran membentuk suspensi homogen.

Uji sedimentasi dilakukan dengan menuangkan sampel CWF ke dalam gelas ukur berkapasitas 50 mL, kemudian dibiarkan selama 8 jam. Pengamatan dilakukan setiap 1 jam untuk melihat endapan yang terbentuk.

Uji densitas dilakukan menggunakan piknometer. Sampel diencerkan terlebih dahulu dengan perbandingan 3:1 (air:CWF) untuk mengatasi kekentalan campuran. Larutan CWF dimasukkan ke dalam piknometer yang telah ditimbang, kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh massa sampel ( $m_3$ ). Massa sampel larutan CWF dihitung dengan [Persamaan \(1\)](#).

$$m_3 = m_2 - m_1 \quad (1)$$

Dengan  $m_1$  adalah massa piknometer kosong (gram) dan  $m_2$  adalah massa piknometer berisi sampel (gram). Setelah massa sampel larutan CWF diperoleh, dihitung densitas larutan CWF menggunakan [Persamaan \(2\)](#).

$$\rho_{\text{larutan}} = \frac{m_3}{V} \quad (2)$$

Dengan  $V$  adalah volume piknometer (mL). Karena sampel diencerkan, maka densitas asli CWF dihitung menggunakan rumus koreksi pada [Persamaan \(3\)](#) yang diturunkan dari aturan pencampuran linier sesuai dengan pengenceran 3:1 dengan  $\rho_{\text{air}} = 0,997$  g/mL pada suhu operasi.

$$\rho_{\text{CWF}} = 4\rho_{\text{larutan}} - 3\rho_{\text{air}} \quad (3)$$

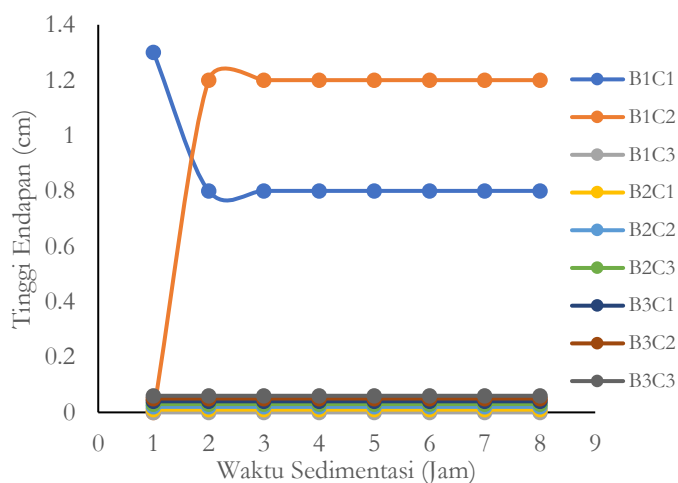
Data hasil pengujian dianalisis untuk menentukan pengaruh variasi konsentrasi batu bara dan CMC terhadap stabilitas CWF berdasarkan parameter sedimentasi dan densitas.

Data yang diperoleh kemudian diberikan kode tiap variasi yaitu B1C1 (batu bara 30% + CMC 0,5%), B1C2 (batu bara 30% + CMC 0,7%), B1C3 (batu bara 30% + CMC 1%), B2C1 (batu bara 40% + CMC 0,5%), B2C2 (batu bara 40% + CMC 0,7%), B2C3 (batu bara 40% + CMC 1%), B3C1 (batu bara 50% + CMC 0,5%), B3C2 (batu bara 50% + CMC 0,7%), dan B3C3 (batu bara 50% + CMC 1%).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Uji sedimentasi CWF

Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi batu bara 30%, 40%, dan 50%. Pemilihan variasi konsentrasi didasarkan pada formulasi yang umum digunakan dalam pembuatan CWF. Rentang ini dianggap mampu menjaga keseimbangan antara kestabilan, densitas, dan kemudahan dalam proses pembakaran. Kadar padatan dengan kadar terlalu rendah (<30%) menghasilkan nilai kalor yang tidak memadai, sementara kadar yang terlalu tinggi (>60%) menyebabkan densitas *slurry* meningkat tajam sehingga campuran menjadi terlalu pekat dan sulit ditransportasikan maupun diaplikasikan dalam proses pembakaran (Stebeleva et al., 2022). Kemudian variasi aditif CMC yang digunakan adalah 0,5%, 0,7%, dan 1%. Rentang ini dipilih karena penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi aditif 0,5% - 1% mampu memberikan efek optimal terhadap kestabilan suspensi. Penggunaan dosis yang tepat menjaga partikel batu bara tetap terdispersi dengan baik, sedangkan penggunaan berlebihan justru menambah biaya formulasi tanpa memberikan manfaat tambahan (Singh et al., 2021).



Gambar 1. Hubungan waktu sedimentasi terhadap tinggi endapan

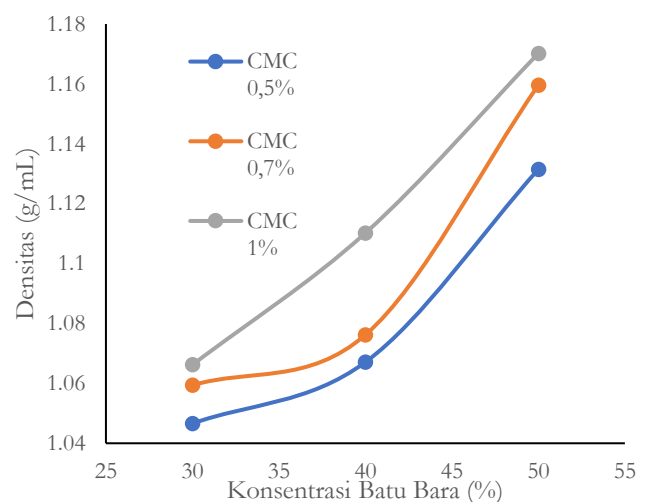
Berdasarkan Gambar 1, pada konsentrasi batu bara 30% (B1) masih terbentuk endapan pada variasi CMC 0,5% (B1C1) dan 0,7% (B1C2). Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi padatan rendah, partikel batu bara masih cenderung mengendap meskipun telah ditambahkan aditif CMC. Sementara itu, pada konsentrasi batu bara 40% (B2) dan 50% (B3) tidak terbentuk endapan hingga akhir waktu pengamatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi batu bara, kestabilan suspensi semakin baik.

Gambar 1 memperlihatkan adanya fenomena pemadatan endapan (*sediment compaction*) pada sampel B1C1 (30% batu bara + 0,5% CMC) di mana tinggi endapan berkurang meskipun massa endapan tetap sama. Menurut (Gao et al., 2024), fenomena ini terjadi akibat tekanan antar partikel yang meningkatkan kerapatan endapan.

Selain itu, peningkatan konsentrasi padatan juga berpengaruh terhadap laju sedimentasi. Semakin tinggi konsentrasi batu bara, interaksi antar partikel semakin besar sehingga pergerakan partikel menuju dasar wadah menjadi lebih lambat. Secara reologis, kondisi ini mencerminkan kenaikan viskositas *slurry* yang menurunkan mobilitas partikel dan memperlambat sedimentasi, sehingga formulasi dengan 40% dan 50% tetap stabil tanpa endapan. Dengan demikian, hasil uji sedimentasi tidak hanya menggambarkan distribusi partikel, tetapi juga menunjukkan peran sifat reologi dalam kestabilan CWF. (X. Liu et al., 2023) juga menambahkan bahwa penggunaan aditif polimer seperti CMC dapat meningkatkan gaya tolak antar partikel sehingga partikel tetap terdispersi lebih lama.

#### 3.2. Uji densitas CWF

Densitas merupakan parameter penting dalam formulasi CWF karena berhubungan langsung dengan jumlah partikel batu bara yang tersuspensi dalam campuran. Semakin tinggi konsentrasi batu bara, semakin besar massa jenis *slurry*, yang berarti semakin banyak energi per satuan volume yang dapat dihasilkan saat pembakaran. Konsep ini dikenal sebagai *energy density*, yaitu kemampuan bahan bakar menghasilkan energi dalam volume tertentu. *Slurry* dengan densitas lebih tinggi umumnya memberikan nilai kalor lebih besar, tetapi harus berada pada kisaran optimal agar tidak menimbulkan kesulitan dalam transportasi maupun aplikasi pembakaran (Stebeleva et al., 2022).

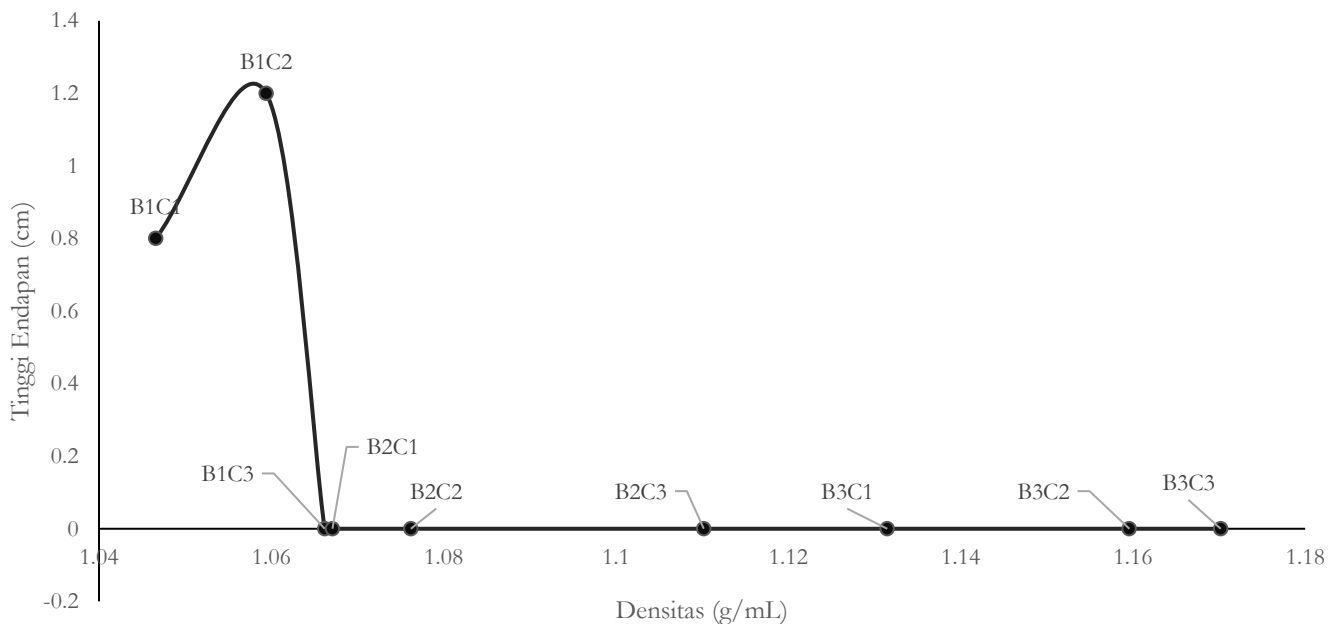


Gambar 2. Hubungan konsentrasi batu bara terhadap densitas

Berdasarkan hasil penelitian, nilai densitas meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi batu bara maupun penambahan CMC. Nilai densitas terendah sebesar 1,0466 g/mL yaitu sampel B1C1 (30% batu bara + 0,5% CMC),

sedangkan densitas tertinggi sebesar 1,1702 g/mL yaitu sampel B3C3 (50% batu bara + 1% CMC).

Menurut (Stebeleva et al., 2022), kisaran densitas CWF yang ideal adalah 1,05-1,15 g/mL. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel B1C2 (30% batu bara + 0,7% CMC), B1C3 (30% batu bara + 1% CMC), B2C1 (40% batu bara + 0,5% CMC), B2C2 (40% batu bara + 0,7% CMC), B2C3 (40% batu bara + 1% CMC), dan B3C1 (50% batu bara + 0,5% CMC) memiliki densitas yang berada dalam rentang tersebut, sehingga memiliki energi density yang cukup tinggi namun masih memungkinkan untuk ditangani secara praktis. Selain itu, (Qulatein et al., 2024) melaporkan bahwa densitas optimum CWF berada pada kisaran lebih sempit, yaitu 1,08-1,12 g/mL dengan penggunaan aditif polimer. Nilai optimum pada penelitian ini (1,0762 g/mL, sampel B2C2) berada sangat dekat dengan kisaran ideal yang telah disebutkan oleh (Qulatein et al., 2024; Stebeleva et al., 2022), sehingga dapat memperkuat validitas formulasi yang diperoleh.



Gambar 3. Hubungan antara densitas dan tinggi endapan

Berdasarkan hasil penelitian, sampel B2C2 (40% batu bara + 0,7% CMC,  $\rho = 1,0762$  g/mL) merupakan formulasi yang paling optimal. Sampel ini memiliki densitas yang berada pada kisaran ideal, serta tidak mengalami pengendapan selama waktu pengamatan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa B2C2 memenuhi kedua parameter yang dibutuhkan untuk menghasilkan CWF yang stabil. Adapun sampel B3C1 yang memiliki nilai densitas 1,1315 g/mL masih memenuhi kisaran ideal, namun *slurry* terlalu pekat sehingga berpotensi menyulitkan proses distribusi dan penggunaannya.

Dengan memperhatikan seluruh hasil uji, dapat dikatakan bahwa keseimbangan antara densitas dan sedimentasi menjadi faktor kunci. Hal ini konsisten dengan penelitian (Sun & Yin, 2025) yang menyebutkan bahwa nilai densitas yang ideal harus selalu dipadukan dengan perilaku sedimentasi yang terkendali agar CWF dapat diaplikasikan secara praktis.

Sampel dengan konsentrasi batu bara 50% tidak mengalami pengendapan, namun densitasnya melebihi batas atas densitas optimal. Hal ini berpotensi menyulitkan proses pemompaan dan aplikasi CWF dalam sistem pembakaran. Dengan demikian, meskipun semakin tinggi konsentrasi batu bara akan meningkatkan densitas, nilai yang terlalu tinggi justru dapat mengurangi sifat aplikatif dari bahan bakar.

### 3.3. Hubungan sedimentasi dan densitas terhadap stabilitas CWF

Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilitas CWF tidak hanya ditentukan oleh hasil uji sedimentasi, tetapi juga dipengaruhi oleh nilai densitas. Sampel yang memiliki densitas dalam rentang ideal namun masih menunjukkan adanya endapan tidak dapat dikategorikan stabil, contohnya sampel B1C2. Sebaliknya, sampel yang tidak mengalami pengendapan tetapi memiliki densitas melebihi rentang ideal juga tidak sesuai untuk diaplikasikan, contohnya sampel B3C2 dan B3C3.

## Kesimpulan

Variasi konsentrasi batu bara dan CMC mempengaruhi sifat fisik CWF. Pada konsentrasi batu bara 30% masih terbentuk endapan, sedangkan pada 40% dan 50% suspensi lebih stabil. Nilai densitas meningkat seiring kenaikan konsentrasi, dengan kisaran ideal berada pada 1,05-1,15 g/mL. Formulasi B2C2 (40% batu bara + 0,7% CMC) merupakan komposisi paling optimal dengan densitas 1,0762 g/mL tanpa menunjukkan pengendapan. Penelitian ini terbatas pada pengujian sedimentasi dan densitas. Kajian lanjutan yang mencakup karakteristik reologi, distribusi ukuran partikel, serta uji performa pembakaran diperlukan untuk memperkuat temuan. Hasil penelitian menegaskan pentingnya keseimbangan antara konsentrasi padatan dan aditif dalam menentukan kestabilan CWF serta menunjukkan potensi aplikasinya sebagai

bahan bakar alternatif dalam kerangka Clean Coal Technologies (CCT).

### Ucapan Terima Kasih

-

### Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

### Kontribusi Penulis

Syafirna Aisyah Cantika: Penulisan-persiapan draf asli.  
Ismail Marzuki: Menulis-meninjau dan mengedit, penulis koresponden.

### Daftar Pustaka

- Afrah, B. D., Cundari, L., Awan, N. H. V., Hadassa, I., Oktarinasari, E., & Afrah, M. (2024). Mixture composition and coal size effect on coal water mixture quality. *Jurnal Teknik Kimia*, 30(1), 1–11. <https://doi.org/10.36706/jtk.v30i1.1238>
- Alam, P. N., Yulianis, Y., Hadif, F., Kurniawan, R., & Aslam, I. N. (2024). Utilization of Coal-Mining Mud as a Safe and Environmentally Friendly Building Material. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 13(1), 10–18. <https://doi.org/10.13170/aijst.13.1.37303>
- Baskoro, A. N., Taskaya, F. H., Prajasto, I. S. J. M., & Robby Anggoro. (2021). Heat Quality Enhancement and Carbon Dioxide Emissions Reduction from Coal Burning by Combining Low-Ranked Coal with Biomass Waste as A Clean Energy Solution to Achieve Energy Security in Indonesia. *Indonesian Journal of Energy*, 4(2), 115–128. <https://doi.org/10.33116/ije.v4i2.120>
- Das, D., Mohapatra, R. K., Belbsir, H., Routray, A., Parhi, P. K., & El-Hami, K. (2020). Combined effect of natural dispersant and a stabilizer in formulation of high concentration coal water slurry: Experimental and rheological modeling. *Journal of Molecular Liquids*, 320, 114441. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114441>
- Feng, Y., Zheng, Q., Chen, Y., Yu, R., Jing, M., Xu, J., Zhu, D., Meng, X., & Chu, R. (2025). Study on matching of dispersant for high concentration and high stability slurry from Shenhua nonstick coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 45(8), 1783–1801. <https://doi.org/10.1080/19392699.2024.2400580>
- Gao, L., Liu, Y., Xu, K., Bai, L., Guo, N., & Li, S. (2024). A short review of the sustainable utilization of coal gangue in environmental applications. *RSC Advances*, 14(53), 39285–39296. <https://doi.org/10.1039/D4RA06071G>
- Guntama, D., Dewi, M. N., Ajipradana, R., Makarim, F. I., & Lintang, A. (2024). Optimasi Pengaruh Konsentrasi Leaching Agent (Asam Sitrat Dan Asam Klorida) Pada Proses Desulfuring Dan Deashing Batubara. *Proceeding Technology of Renewable Energy and Development Conference*, 4(1), 1–11.
- Hu, S., Jiang, F., Zhao, B., Chen, Y., Wu, C., Li, J., & Liu, K. (2021). The Enhancement on Rheology, Flowability, and Stability of Coal Water Slurry Prepared by Multipeak Gradation Technology. *Energy & Fuels*, 35(3), 2006–2015. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c03032>
- Liu, J., Kong, L., Ma, J., Zhang, X., Wang, C., & Wu, D. (2025). Research on Measurement of Coal–Water Slurry Solid–Liquid Two-Phase Flow Based on a Coriolis Flow Meter and a Neural Network. *Sensors*, 25(11), 3267. <https://doi.org/10.3390/s25113267>
- Liu, X., Wang, S., Liu, N., Wei, B., & An, T. (2023). Progress of Dispersants for Coal Water Slurry. *Molecules*, 28(23), 7683. <https://doi.org/10.3390/molecules28237683>
- Nugraheni, H. M., Zai, K., & Santosa, D. (2024). POTENSI SUMBER DAYA ALAM INDONESIA SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF PEMBUATAN CARBOXYMETHYLCELLULOSE – Natrium (CMC-Na): review. *Majalah Farmaseutik*, 20(2), 238. <https://doi.org/10.22146/farmaseutik.v20i2.93539>
- Qulatein, H. A., Gao, W., & Fatehi, P. (2024). Carboxyalkylated Lignin as a Sustainable Dispersant for Coal Water Slurry. *Polymers*, 16(18), 2586. <https://doi.org/10.3390/polym16182586>
- Singh, H., Kumar, S., Mohapatra, S. K., Prasad, S. B., & Singh, J. (2021). Slurryability and flowability of coal water slurry: Effect of particle size distribution. *Journal of Cleaner Production*, 323, 129183. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129183>
- Stebeleva, O. P., Kashkina, L. V., Minakov, A. V., & Vshivkova, O. A. (2022). Impact of Hydrodynamic Cavitation on the Properties of Coal-Water Fuel: An Experimental Study. *ACS Omega*, 7(42), 37369–37378. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03979>
- Sun, T., & Yin, H. (2025). Effect of the number of polymer arms on the pulping performance of coal water slurry. *Chemical Engineering Research and Design*, 221, 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2025.08.006>