

Pengaruh Konsentrasi Batu Bara dan Zat Aditif *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) terhadap Stabilitas *Coal Water Fuel* (CWF) berdasarkan Viskositas dan Uji Nyala

Nurhikma¹, Selfina Gala^{1*}

¹Program 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
Viskositas
Stabilitas uji nyala

Abstrak

Coal Water Fuel (CWF) merupakan bahan bakar alternatif berbasis batu bara yang lebih ramah lingkungan dan efisien dibandingkan batu bara padat. Salah satu tantangan utama dalam penggunaannya adalah menjaga stabilitas suspensi, yang memengaruhi kemudahan pengaliran dan efisiensi pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi batu bara sebesar 30%, 40%, dan 50% serta zat aditif *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) sebanyak 0,6 gram, 0,8 gram, dan 1 gram per 100 mL terhadap kestabilan CWF berdasarkan pengujian viskositas dan uji nyala. Campuran CWF disiapkan dengan mencampurkan batu bara, air, dan CMC sesuai variasi, kemudian dilakukan pengujian viskositas untuk menilai kekentalan dan kestabilan aliran, serta uji nyala untuk mengevaluasi kemudahan pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CMC berpengaruh signifikan terhadap viskositas, di mana viskositas yang terlalu tinggi dapat menghambat aliran, sementara yang terlalu rendah menyebabkan sedimentasi lebih cepat. Uji nyala menunjukkan bahwa sampel dengan stabilitas terbaik memiliki waktu terpantik tercepat. Kombinasi 40% batu bara dan 1 gram CMC menghasilkan viskositas optimal yaitu 1.093,13 cP dan waktu terpantik tercepat selama 3 detik. Temuan ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi CWF yang stabil, efisien, dan ramah lingkungan untuk aplikasi energi industri.

Article Information

Keywords:
Coal Water Fuel
Carboxymethyl
Cellulose
Viscosity
Stability ignition test

Abstract

Coal Water Fuel (CWF) is an alternative coal-based fuel that is more environmentally friendly and efficient compared to solid coal. One of the main challenges in its application is maintaining suspension stability, which affects flowability and combustion efficiency. This study aims to analyze the effect of varying coal concentrations of 30%, 40%, and 50% as well as the addition of *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) at 0.6 g, 0.8 g, and 1 g per 100 mL on the stability of CWF based on viscosity testing and ignition tests. The CWF mixture was prepared by combining coal, water, and CMC according to each variation, followed by viscosity testing to assess the flow behavior and stability, and ignition testing to evaluate the ease of combustion. The results showed that increasing CMC concentration significantly affected viscosity, where excessively high viscosity can hinder flow, while low viscosity tends to cause faster sedimentation. The ignition test revealed that the most stable sample had the fastest ignition time. A combination of 40% coal and 1 gram of CMC produced the optimal viscosity of 1,093.13 cP and the fastest ignition time of 3 seconds. These findings are expected to contribute to the development of stable, efficient, and environmentally friendly CWF technology for industrial energy applications.

1. Pendahuluan

Dalam menghadapi berbagai tantangan terkait perubahan iklim, pencemaran lingkungan, dan kebutuhan akan energi berkelanjutan, berbagai sektor dituntut untuk mencari solusi energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan. Limbah raw batu bara merupakan salah satu sumber pencemaran yang cukup signifikan, terutama di kawasan pertambangan dan industri pengolahan (Huang et al., 2023; Putri et al., 2021). Sisa

hasil penambangan, pencucian, serta analisis sampel menjadi penyebab utama terbentuknya limbah ini. Kandungan logam berat, abu, dan sulfur di dalamnya berpotensi mencemari tanah dan air serta berdampak negatif pada kesehatan manusia apabila tidak dikelola dengan baik (Trisnadiansyah et al., 2022).

Teknologi *Coal Water Fuel* (CWF) muncul sebagai solusi untuk memanfaatkan limbah tersebut. CWF adalah bahan bakar cair berupa suspensi partikel batu bara dalam air, yang

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

Email: <mailto:selfinagala@unifa.ac.id> (Selfina Gala)

<https://doi.org/10.61844/jtkm.v5i1.1135>

Submisi 6 Juli 2025; Revisi 4 Agustus 2025; Diterima 30 Agustus 2025

Publish online 2 September 2025

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

distabilkan dengan penambahan zat aditif agar mudah terbakar dan tidak cepat mengendap. Teknologi ini dinilai menjanjikan karena mampu mengubah limbah menjadi bahan bakar yang efisien, mudah disimpan, dan menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan batu bara padat (Li et al., 2020). Namun, tantangan utama dalam penggunaannya adalah menjaga agar partikel batu bara tetap terdispersi selama penyimpanan dan transportasi, karena pengendapan dapat mengganggu proses pembakaran (Nurhikma et al., 2023).

Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan aditif yang mampu memperkuat interaksi partikel dan mempertahankan kestabilan dispersi. Salah satu aditif yang umum digunakan adalah *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), polimer hidrofilik yang dapat meningkatkan kekentalan campuran serta menjaga sebaran partikel agar tetap homogen. Penambahan CMC juga mampu menurunkan laju sedimentasi dan memperbaiki karakteristik penyalaan bahan bakar, terutama pada CWF berbasis limbah yang memiliki ukuran partikel tidak seragam (Rao et al., 2021; Routray et al., 2022).

Selain itu, konsentrasi batu bara dalam campuran juga memengaruhi performa CWF. Jika terlalu tinggi, kekentalannya meningkat sehingga menyulitkan pengaliran. Sebaliknya, jika terlalu rendah, kapasitas energinya menurun (Rao et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan pengujian untuk menemukan komposisi yang optimal.

Dua parameter penting dalam mengevaluasi kestabilan dan kinerja CWF adalah viskositas dan uji nyala. Kekentalan yang terlalu tinggi dapat menghambat aliran dan pencampuran, sedangkan jika terlalu rendah, sedimentasi terjadi lebih cepat. Rentang viskositas yang dianggap optimal berada pada 800–1200 cP, dengan titik optimum sekitar 1000 cP (Taburchinov et al., 2020). Sementara itu, uji nyala mencerminkan efisiensi pembakaran; CWF dikatakan baik jika menyala dalam 3–10 detik setelah terkena sumber panas (Gvozdyakov et al., 2021).

Untuk meningkatkan stabilitas, CWF membutuhkan zat aditif yang mampu mempertahankan distribusi partikel selama penyimpanan. CMC, sebagai polimer anionik yang larut dalam air, berfungsi meningkatkan kekentalan dan memperlambat sedimentasi melalui pembentukan ikatan fisik antara partikel batu bara dan air (Hu et al., 2021). Selain itu, CMC membantu menciptakan dispersi yang merata, yang mempercepat penyalaan karena panas dapat tersalurkan secara homogen (Salomatov et al., 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi batu bara dan zat aditif *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) terhadap kestabilan *Coal Water Fuel* (CWF), dilihat dari viskositas dan uji nyala. Fokus penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana perubahan komposisi memengaruhi karakteristik fisik dan pembakaran dari CWF yang berbasis limbah batu bara. Dalam naskah ini, istilah waktu terpantik digunakan untuk menjelaskan hasil dari pengujian uji nyala, yaitu durasi sejak bahan terkena api hingga muncul nyala pertama. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh formulasi CWF yang optimal, baik dari

segi stabilitas suspensi, kemudahan alir, maupun efisiensi penyalaan. Sehingga, dapat mendukung pengembangan bahan bakar yang lebih bersih dan aplikatif di sektor energi.

2. Metode

2.1. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari limbah batu bara, air, dan serbuk *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) sebagai zat aditif. Limbah batu bara diperoleh dari limbah hasil pengolahan batu bara industri lokal di Sulawesi Selatan, dengan ukuran partikel halus < 0,212 mm. Air yang digunakan adalah air suling untuk memastikan tidak adanya pengaruh dari ion luar. Komposisi campuran CWF divariasikan dengan konsentrasi batu bara sebesar 30%, 40%, dan 50% per 100 mL campuran. CMC ditambahkan sebanyak 0,6 gram, 0,8 gram, dan 1 gram per 100 mL campuran untuk setiap variasi.

2.2. Prosedur penelitian

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu persiapan bahan, pembuatan CWF, dan pengujian sampel. Pada tahap awal, semua bahan ditimbang sesuai variasi. CMC dilarutkan dalam air dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* hingga larut sempurna, kemudian batu bara ditambahkan perlahan sambil terus diaduk hingga terbentuk suspensi homogen. Sampel yang dihasilkan disimpan dalam wadah tertutup dan siap untuk diuji.

Untuk mempermudah identifikasi dan perbandingan hasil, setiap variasi sampel diberi kode berdasarkan konsentrasi batu bara dan massa CMC. Kode terdiri dari huruf B yang menunjukkan persentase batu bara dan huruf A untuk massa CMC dalam gram per 100 mL campuran.

Tabel 1. Kode Sampel Berdasarkan Konsentrasi Batu Bara dan

Kode sampel	Massa CMC	
	Konsentrasi Batu Bara (%)	Massa CMC (g/100 mL)
B30A06	30	0,6
B30A08	30	0,8
B30A1	30	1
B40A06	40	0,6
B40A08	40	0,8
B40A1	40	1
B50A06	50	0,6
B50A08	50	0,8
B50A1	50	1

Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer Ostwald. Sampel CWF diencerkan dengan perbandingan 1:3 (sampel:air) untuk menghindari viskositas yang terlalu tinggi. Waktu alir larutan diukur menggunakan *stopwatch* dari garis atas ke garis bawah pada viskometer. Viskositas larutan dihitung berdasarkan [Persamaan \(1\)](#).

$$\eta_{\text{larutan}} = \eta_{\text{air}} \times \frac{t_{\text{CWF}}}{t_{\text{air}}} \times \frac{\rho_{\text{CWF}}}{\rho_{\text{air}}} \quad (1)$$

η_{larutan} adalah viskositas larutan, η_{air} adalah viskositas air (0,890 cP), ρ_{CWF} adalah densitas CWF, ρ_{air} adalah densitas air, t_{CWF} adalah waktu alir sampel CWF, dan t_{air} adalah waktu alir air. Karena sampel diencerkan, viskositas asli CWF dihitung

dengan rumus koreksi eksponensial pada [Persamaan \(2\)](#) dimana x merupakan fraksi CWF dalam larutan $x = 0,25$ untuk pengenceran 3:1.

$$\eta_{CWF} = \left(\frac{\eta_{larutan}}{\eta_{air^{1-x}}} \right) 1/x \quad (2)$$

Uji nyala dilakukan dengan menempatkan 3 gram CWF pada cawan porselen dan diarahkan ke nyala torch dari jarak ± 5 cm. Waktu yang dibutuhkan hingga bahan menyala diukur menggunakan stopwatch. Data dari uji viskositas dan uji nyala dibandingkan untuk menentukan kestabilan campuran terbaik.

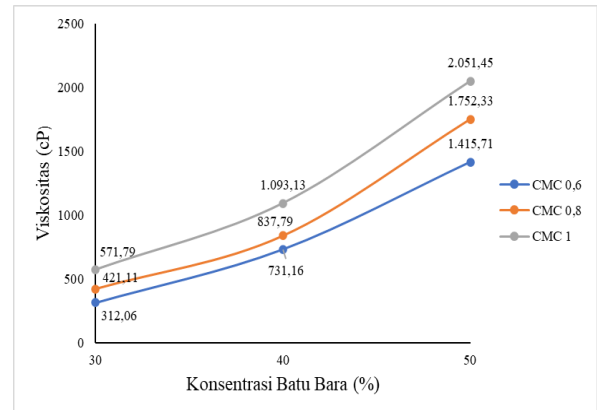
3. Hasil dan Pembahasan

Coal Water Fuel (CWF) merupakan bahan bakar alternatif berbasis batu bara yang dipengaruhi oleh sifat reologi, terutama viskositas, yang bergantung pada konsentrasi padatan dan zat aditif. Pengujian viskositas dalam penelitian ini dilakukan menggunakan viskometer Ostwald. Karena partikel batu bara yang digunakan sangat halus (berasal dari limbah batu bara halus), tidak terjadi penyumbatan selama pengujian sehingga alat dapat berfungsi optimal. Konsentrasi batu bara sebesar 30%, 40%, dan 50% dipilih berdasarkan rentang umum yang digunakan dalam formulasi CWF, karena mampu menjaga keseimbangan antara kestabilan *slurry*, kekentalan, dan kemudahan pembakaran. Konsentrasi di bawah 30% menghasilkan viskositas rendah namun nilai kalor juga rendah, sedangkan konsentrasi di atas 50–60% cenderung meningkatkan viskositas secara drastis sehingga mengganggu aliran dan pembakaran bahan bakar ([Hu et al., 2020](#)).

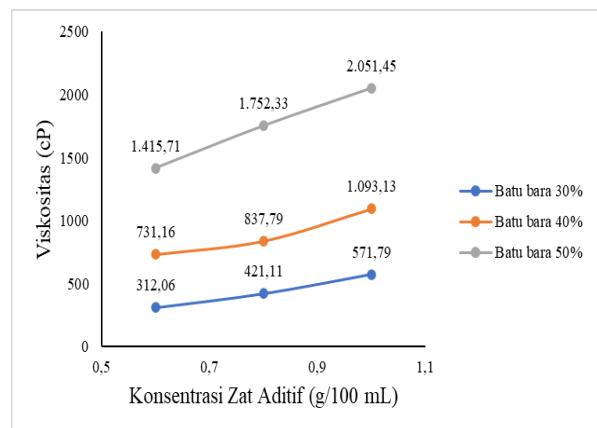
Carboxymethyl Cellulose (CMC) dipilih sebagai aditif karena kemampuannya membentuk lapisan sterik yang mencegah pengendapan partikel, sehingga meningkatkan kestabilan dan menurunkan viskositas. Konsentrasi yang digunakan adalah 0,6%, 0,8%, dan 1% (setara dengan 0,6 g, 0,8 g, dan 1 g per 100 mL campuran). Konsentrasi di bawah 0,5% dinilai kurang efektif menstabilkan *slurry*, sedangkan konsentrasi yang terlalu tinggi ($>1\%$) dapat menyebabkan over-stabilizing, yaitu viskositas meningkat kembali dan menambah biaya bahan tambahan ([Das et al., 2020](#)).

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa CMC lebih unggul dibandingkan zat aditif lain dalam hal kestabilan dan kekentalan campuran ([Nurhikma et al., 2023](#)). Selain itu, variasi ini dipilih karena belum banyak penelitian yang secara khusus membandingkan efeknya terhadap waktu terpantik dan stabilitas pembakaran. Uji nyala dilakukan untuk menilai kecepatan dan efisiensi awal pembakaran CWF, yang menjadi indikator penting dalam performa bahan bakar pada sistem seperti *burner* atau *boiler*. Meskipun belum terdapat standar nasional maupun internasional yang secara resmi mengatur mutu viskositas dan waktu terpantik CWF, rentang yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada hasil-hasil studi terdahulu yang telah umum dijadikan acuan ilmiah. Oleh karena itu, kisaran viskositas 800-1200 cP ([Stebeleva et al., 2022](#)) dan waktu terpantik dinilai optimal pada rentang 3-10 detik ([Gvozdyakov et al., 2021](#)) digunakan sebagai batas evaluatif untuk menilai performa CWF dalam konteks kestabilan dan

efisiensi pembakaran. [Gambar 1](#) menunjukkan pengaruh konsentrasi batu bara terhadap viskositas CWF sedangkan [Gambar 2](#) Menunjukkan pengaruh konsentrasi zat aditif terhadap viskositas CWF.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi batu bara terhadap viskositas CWF

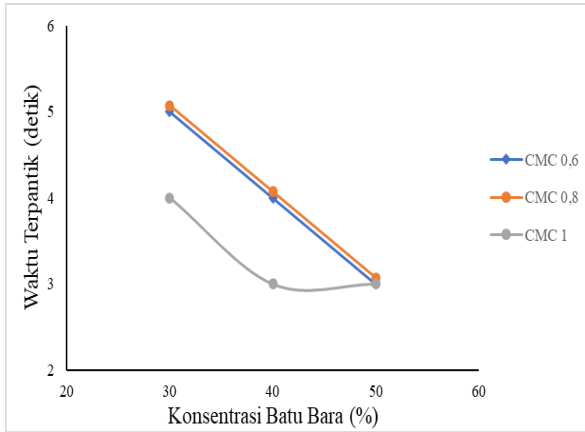


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi zat aditif terhadap viskositas CWF

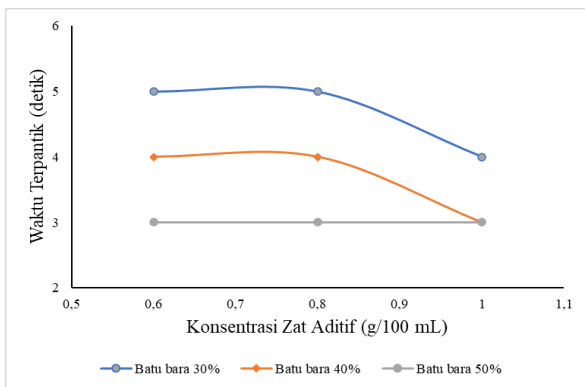
Berdasarkan [Gambar 1](#) dan [2](#), viskositas CWF meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi batu bara dan dosis zat aditif CMC. Kombinasi 40% batu bara dengan 0,8 gram, dan 1 gram CMC menghasilkan viskositas sebesar 837,79 cP dan 1.093,13 cP, yang berada dalam kisaran viskositas optimal CWF, yaitu 800–1200 cP ([Stebeleva et al., 2022](#)). Rentang ini dianggap optimal karena mencerminkan keseimbangan antara stabilitas suspensi dan kemampuan alir, dengan nilai sekitar 1000 cP sebagai titik viskositas yang paling mendekati kondisi paling sesuai untuk performa maksimal. Pada komposisi ini, partikel batu bara terdispersi secara merata dengan bantuan struktur gel dari CMC, sehingga campuran tetap stabil namun tidak terlalu kental.

Pengamatan visual mendukung hal ini, di mana campuran tampak homogen, halus, dan tidak mengalami pemisahan fase dalam waktu singkat. Sebaliknya, kombinasi 50% batu bara dengan CMC 0,6–1 gram menunjukkan viskositas yang terlalu tinggi (1.415–2.051 cP), sehingga berisiko menyulitkan pemompaan dan pencampuran akibat meningkatnya kekentalan dan interaksi antar partikel. Sementara itu, kombinasi 30% batu bara dengan CMC 0,6–1 gram menghasilkan viskositas yang terlalu rendah (312–571 cP), yang mengindikasikan dispersi

partikel kurang stabil dan mudah mengendap. Dengan demikian, komposisi batu bara 40% dan CMC 1 gram (1.093,13 cP) merupakan titik performa optimum, baik dari segi kekentalan maupun kestabilan fisik. Kondisi ini penting dalam pengembangan CWF sebagai bahan bakar alternatif, karena menjamin efisiensi aliran dan performa pembakaran (Stebeleva et al., 2022).



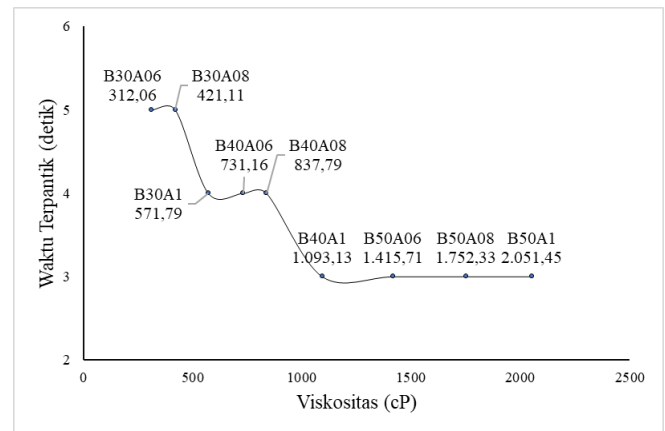
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi batu bara terhadap waktu terpanantik CWF



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi zat aditif terhadap waktu terpanantik CWF

Berdasarkan Gambar 3 dan 4, seluruh sampel CWF menunjukkan waktu terpanantik dalam rentang 3–5 detik, yang termasuk kategori optimal menurut (Gvozdyakov et al., 2021), di mana waktu terpanantik optimal CWF berada pada kisaran 3–10 detik. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh formulasi dalam penelitian ini secara umum telah memenuhi karakteristik nyala yang baik. Empat komposisi menunjukkan performa terbaik dengan waktu terpanantik tercepat (3 detik), yaitu batu bara 40% dengan CMC 1,0 gram, serta batu bara 50% dengan CMC 0,6 gram, 0,8 gram, dan 1,0 gram. Waktu terpanantik yang singkat ini menunjukkan kemudahan pembakaran yang tinggi dan berpotensi meningkatkan efisiensi energi dalam aplikasi nyata. Perbedaan waktu terpanantik antar sampel dengan konsentrasi batu bara yang sama, seperti pada komposisi 40% (CMC 0,6 dan 0,8 gram = 4 detik, CMC 1 gram = 3 detik), menunjukkan pengaruh dari homogenitas campuran dan efektivitas zat aditif dalam mendispersikan partikel. CWF yang terdispersi merata memungkinkan panas terserap lebih efisien dan seragam, mempercepat proses nyala. Peran CMC sebagai dispersan

sangat penting dalam membentuk struktur gel yang menjaga stabilitas partikel, sehingga memengaruhi karakteristik nyala. Faktor lain seperti kekentalan, kadar air, dan ukuran partikel juga berkontribusi terhadap kecepatan terpanantik CWF (Salomatov et al., 2020).



Gambar 5. Pengaruh viskositas dan waktu terpanantik CWF

Pada Gambar 5 terlihat bahwa semakin tinggi viskositas, umumnya waktu terpanantik semakin cepat. Artinya, campuran yang lebih kental cenderung lebih mudah menyala. Namun, terdapat beberapa pengecualian di mana sampel dengan viskositas berbeda menunjukkan waktu terpanantik yang sama. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh ukuran partikel batu bara yang lebih halus atau keseimbangan komposisi air, batu bara, dan CMC yang optimal, meskipun nilai viskositasnya berbeda. Secara umum, peningkatan konsentrasi batu bara menaikkan viskositas, sedangkan penambahan CMC dalam jumlah tepat menjaga kestabilan sistem. Hubungan antara viskositas dan waktu terpanantik tidak sepenuhnya linear, melainkan dipengaruhi oleh interaksi kompleks antar komponen (Stebeleva et al., 2022).

Dari seluruh variasi, komposisi B40A1 (40% batu bara, 1 gram CMC) menunjukkan performa terbaik. Sampel ini memiliki viskositas optimal dan waktu terpanantik tercepat, menandakan campuran stabil dan mudah menyala. Dengan demikian, B40A1 dinilai sebagai formulasi optimal dalam penelitian ini. Temuan ini mendukung arah pengembangan CWF yang aplikatif dan handal di sektor industri, yaitu melalui penggabungan modifikasi fisik, seperti pengaturan konsentrasi padatan dan zat aditif, serta pendekatan kimiawi melalui pemilihan jenis aditif yang sesuai (Chai et al., 2020).

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi konsentrasi batu bara dan zat aditif CMC memberikan pengaruh nyata terhadap viskositas dan waktu terpanantik *Coal Water Fuel* (CWF). Peningkatan konsentrasi batu bara cenderung meningkatkan viskositas campuran, namun pada kadar tertentu dapat mengganggu kemudahan alir. Sementara itu, penambahan CMC terbukti membantu meningkatkan stabilitas suspensi dan mempercepat waktu terpanantik, terutama pada komposisi yang homogen. Dari seluruh kombinasi yang diuji, sampel B40A1 yaitu batu bara 40% dan CMC 1 gram menunjukkan performa

terbaik dengan viskositas dalam kisaran optimal 1.093,13 cP dan waktu terpanjat tercepat selama 3 detik. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi terhadap kestabilan dan karakteristik pembakaran CWF telah tercapai, dan formulasi tersebut dapat dipertimbangkan dalam pengembangan energi alternatif berbasis limbah batu bara.

Ucapan Terima Kasih

-

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Nurhikma: Penulisan-persiapan draf asli. Selfina Gala: Menulis-meninjau dan mengedit, penulis koresponden.

Daftar Pustaka

- Chai, Z., Ren, Y., Zhang, R., Feng, L., Liu, S., Wang, Z., & Zeng, M. (2020). Stability and settling performance of coal water slurries under vibration conditions. *Powder Technology*, 376, 351–362. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.07.047>
- 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>
- Gvozdyakov, D. V., Zenkov, A. V., & Kuznetsov, G. V. (2021). Ignition of coal-water fuel droplets with addition of isopropyl alcohol. *International Journal of Energy Research*, 45(2), 1535–1549. <https://doi.org/10.1002/er.5669>
- Hu, S., Chen, Y., Wu, C., Li, J., & Liu, K. (2020). The performance and dispersing mechanism of anionic dispersants in slurries prepared by upgraded coal. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 606, 125450. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125450>
- 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>
- Huang, W., Wu, H., Sun, W., Hong, C., Tian, Z., Yan, Y., Huang, Z., & Zhang, Y. (2023). Probing the Pre-Ignition Behavior of Negative Temperature Coefficient Fuels at Low to High Temperatures: A Case Study of Dimethyl Ether. *Energies*, 16(5), 2118. <https://doi.org/10.3390/en16052118>
- Li, D., Liu, J., Wang, S., & Cheng, J. (2020). Study on coal water slurries prepared from coal chemical wastewater and their industrial application. *Applied Energy*, 268, 114976. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114976>
- Nurhikma, Diana, S., & Syafaatullah, A. Q. (2023). PENGARUH VOLATILE MATTER DAN ZAT ADITIF TERHADAP STABILITAS COAL WATER FUEL (CWF). *JURNAL TEKNOLOGI KIMIA MINERAL*, 2(2), 108–110. <https://doi.org/10.61844/jtkm.v2i2.688>
- Putri, N. N., Purabaya, S., Roziki, A., & Siswanto, N. (2021). Literature review of coal waste utilization. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 799–805. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85114218324&partnerID=40&md5=e693ecb758e2abfcf4897d58ff7e4b4>
- Rao, M. A., Pavan Kumar, M. V., Subba Rao, S., & Narasaiah, N. (2021). Rheological behavior of coal-water slurries of Indian coals using carboxymethylcellulose as dispersant—a comparative study. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 41(10), 728–738. <https://doi.org/10.1080/19392699.2018.1518901>
- Routray, A., Senapati, P. K., Padhy, M., Das, D., & Mohapatra, R. K. (2022). Effect of mixture of a non-ionic and a cationic surfactant for preparation of stabilized high concentration coal water slurry. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 42(3), 925–940. <https://doi.org/10.1080/19392699.2019.1674843>
- Salomatov, V., Kuznetsov, G., Syrodoy, S., & Gutareva, N. (2020). Mathematical and physical modeling of the coal-water fuel particle ignition with a liquid film on the surface. *Energy Reports*, 6, 628–643. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.02.006>
- 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>
- Taburchinov, R. I., Belonogov, M. V., & Egorov, R. I. (2020). Effect of the Addition of Petrochemicals onto the Atomization and Ignition of the Coal-Water Slurry Prepared from the Wastes. *Applied Sciences*, 10(23), 8574. <https://doi.org/10.3390/app10238574>
- Trisnadiansyah, M. R., Hadian, M. S. D., & Sukiyah, E. (2022). Model Sebaran Limbah Batubara di Rawa Kalimati, Kecamatan Babakancikao, Kabupaten Purwokarta, Provinsi Jawa Barat. *Dinamika Rekayasa*, 18(2), 165–173.