

**Ranah Research****Journal of Multidisciplinary Research and Development**

082170743613

ranahresearch@gmail.com

<https://jurnal.ranahresearch.com>

E-ISSN: 2655-0865

DOI: <https://doi.org/10.38035/rrj.v8i4>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Kajian Pengaruh Jenis dan Komposisi Bahan Perekat Organik terhadap Kualitas Briket Batubara Sub-bituminus di Pabrik Briket PT Bukit Asam (Persero) Tbk.

Ignatius William Yudha¹, Maulana Yusuf², Muhammad Rendana³¹Department of Mining Engineering, Universitas Sriwijaya, Jalan Palembang-Prabumulih KM. 32, Indralaya, South Sumatra, Indonesia,²Department of Mining Engineering, Universitas Sriwijaya, Jalan Palembang-Prabumulih KM. 32, Indralaya, South Sumatra, Indonesia,³Department of Mining Engineering, Universitas Sriwijaya, Jalan Palembang-Prabumulih KM. 32, Indralaya, South Sumatra, Indonesia,Corresponding Author: iwyudha@bukitasam.co.id¹

Abstract: *This study examines the effect of the type and composition of organic binders on the quality of sub-bituminous coal briquettes at the PT Bukit Asam Tbk Briquette Factory. The innovation focuses on utilizing palm oil industry liquid waste in the form of Palm Oil Mill Effluent (POME) sludge as a natural thermoplastic binder, which is directly compared with a commercial food-based binder (tapioca). The tests were conducted using varying POME sludge substitution percentages (0%, 1.7%, 3.3%, and 5%), with a primary focus on the thermal and proximate characteristics. The results showed that POME sludge acts as a calory booster, linearly increasing the gross calorific value (GCV) of the briquettes from 5,909 kcal/kg to 6,330 kcal/kg (adb) due to the high hydrocarbon density of palm lipids. Proximate analysis confirmed a decrease in inherent moisture (from 5.33% to 4.17%) due to the hydrophobic nature of the lipids, alongside an increase in volatile matter (from 15.20% to 17.67%) and a moderate increase in ash content from 12.87% to 14.70%. Fixed carbon decreased from 64.87% to 61.28% with the increase of the palm phase, while the total sulfur content remained in a very low and safe category (maximum 0.26%). This palm phase substitution successfully enhanced the energy density of low-rank coal briquettes significantly.*

Keyword: *Sub-Bituminous Coal Briquettes, POME Sludge, Organic Binder*

Abstrak: Penelitian ini mengkaji pengaruh jenis dan komposisi bahan perekat organik terhadap kualitas briket batubara sub-bituminus di Pabrik Briket PT Bukit Asam Tbk. Inovasi fokus pada pemanfaatan limbah cair industri kelapa sawit berupa Palm Oil Mill Effluent (POME) sludge selaku perekat termoplastik natural, yang dikomparasikan secara langsung dengan perekat komersial berbasis pangan (tapioka). Pengujian dilakukan menggunakan variasi substitusi POME sludge (0%, 1.7%, 3.3%, dan 5%) dengan fokus utama pada karakteristik termal dan proksimat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa POME sludge bertindak sebagai calory booster yang mendongkrak nilai kalor kotor (GCV) briket secara linier dari 5,909 kcal/kg menjadi 6,330 kcal/kg (adb) karena tingginya kerapatan hidrokarbon lipid

sawit. Analisis proksimat mengonfirmasi penurunan inherent moisture (5.33% ke 4.17%) karena sifat hidrofobik lipid, serta kenaikan zat terbang (15.20% ke 17.67%) dan kenaikan kadar abu secara moderat dari 12.87% menjadi 14.70%. Karbon tertambat (fixed carbon) mengalami penurunan dari 64.87% ke 61.28% seiring peningkatan fasa sawit, sementara kadar sulfur total tetap berada pada kategori sangat rendah dan aman (maksimal pastikan untuk memperjelas gap penelitian secara spesifik di paragraf terakhir, mengapa komparasi langsung pastikan untuk memperjelas gap penelitian secara spesifik di paragraf terakhir, mengapa komparasi langsung *POME sludge* dan tapioka pada batubara sub-bituminus di PT Bukit Asam ini mendesak dilakukan. Pada bagian Metode, mohon tambahkan rincian standar ASTM/SNI spesifik apa saja yang digunakan untuk masing-masing pengujian proksimat agar replikasi penelitian dapat dilakukan dengan mudah oleh peneliti lain. *POME sludge* dan tapioka pada batubara sub-bituminus di PT Bukit Asam ini mendesak dilakukan. Pada bagian Metode, mohon tambahkan rincian standar ASTM/SNI spesifik apa saja yang digunakan untuk masing-masing pengujian proksimat agar replikasi penelitian dapat dilakukan dengan mudah oleh peneliti lain. 0.26%). Substitusi fasa sawit ini sukses meningkatkan densitas energi briket batubara peringkat rendah secara signifikan.

Kata Kunci: Briket Batubara Sub-bituminus, POME Sludge, Perekat Organik

PENDAHULUAN

Sebagai salah satu negara dengan cadangan sekaligus produsen batubara terbesar secara global, dominasi pasokan energi di Indonesia justru bersumber dari batubara peringkat rendah (*low-rank coal*), khususnya jenis lignit dan sub-bituminus. Walaupun ketersediaannya sangat melimpah, aplikasi langsung dari batubara jenis ini terhambat oleh berbagai kendala teknis, seperti tingginya kadar air bawaan (*inherent moisture*), kadar zat terbang (*volatile matter*), serta rendahnya nilai kalor yang dihasilkan (Nursanto dkk., 2025).

Menurut Sukandarrumidi (2006), karakteristik tersebut berdampak pada rendahnya efisiensi pembakaran, sulitnya penanganan logistik karena sifatnya yang rapuh (*friable/brittle*), serta meningkatnya timbunan debu batubara halus (*fine coal*) yang memicu risiko terbakar dengan sendirinya (*spontaneous combustion*) selama masa distribusi. Merespons tantangan tersebut, teknologi aglomerasi melalui briketisasi, yaitu pemadatan serbuk batubara halus menjadi bahan bakar padat berdensitas tinggi, menjadi solusi strategis untuk mendongkrak kepadatan energi (Aglomerasi ini bertumpu pada mekanisme ikatan (*bonding mechanisms*) perekat organik yang membentuk "jembatan cair" (*liquid bridges*) saat pencampuran, yang kemudian mengeras menjadi "jembatan padat" (*solid bridges*) adhesif setelah dehidrasi (Mangena dkk., 2007). Pemakaian perekat komersial seperti tepung tapioka sangat efektif karena berbasis pati (*starch*) amilosa dan amilopektin yang memiliki daya rekat (*tackiness*) tinggi setelah gelatinisasi (Mitchual dkk., 2022).

Namun, sifat tapioka yang hidrofilik membuat briket rentan menyerap kelembapan udara sehingga menurunkan integritas termalnya seiring waktu (Blesa dkk., 2003). Oleh karena itu, diperlukan inovasi bahan pengikat alternatif berupa *Palm Oil Mill Effluent (POME) sludge* atau lumpur limbah cair kelapa sawit. Lumpur padat ini mengandung residu selulosa, lignin yang melunak sebagai lem termoplastik alami pada suhu tinggi (Abdullah dan Sulaim, 2013), serta sisa asam lemak atau trigliserida (*Sludge Palm Oil*) yang memiliki transisi fase cair-ke-padat untuk mengunci partikel batubara sekaligus membentuk lapisan hidrofobik penolak air (Ibrahim dkk., 2022).

Riset terdahulu oleh Vershinina dkk. (2022) telah mengevaluasi sifat mekanis briket berbasis pati, sementara Nurdin dkk. (2025) mengkaji integrasi biomassa sawit secara umum, namun permodelan perilaku fisis-kimiawi akibat komparasi langsung performa POME sludge dan tapioka pada batubara peringkat rendah jenis sub-bituminus belum pernah dirumuskan.

Celah penelitian (research gap) inilah yang mendasari urgensi dilakukannya penelitian ini, di mana terdapat ketidakpastian ilmiah mengenai sejauh mana substitusi perekat limbah kelapa sawit yang kaya lipid non-polar mampu mengompensasi atau bahkan melampaui keunggulan perekat tapioka komersial yang kaya pati amilosa-amilopektin dalam memodifikasi densitas energi batubara.

Komparasi langsung secara head-to-head pada batubara sub-bituminus di Pabrik Briket PT Bukit Asam Tbk menjadi sangat mendesak untuk dilakukan karena dua alasan utama. Pertama, dari faset operasional industri pertambangan, ketergantungan mutlak pada perekat tapioka tidak hanya memicu fluktuasi ongkos produksi akibat kompetisi dengan sektor pangan, tetapi juga menghasilkan produk briket yang sangat rentan terhadap degradasi mutu termal akibat sifat tapioka yang hidrofilik di area penyimpanan terbuka berkelembapan tinggi. Kedua, wilayah operasional PT Bukit Asam Tbk di Sumatera Selatan berada di episentrum pasokan batubara sub-bituminus melimpah yang secara geografis berdampingan langsung dengan timbulan limbah cair industri kelapa sawit skala besar, sehingga penemuan formula substitusi ini menjadi motor penggerak sirkular ekonomi daerah yang krusial. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan variasi komposisi perekat organik terhadap nilai kalori dan karakteristik proksimat briket batubara sub-bituminus di Pabrik Briket PT Bukit Asam Tbk. Berdasarkan latar belakang dan celah nyata tersebut, pertanyaan artikel yang harus dijelaskan dan dijawab dalam penelitian ini adalah: bagaimana korelasi komposisi perekat POME sludge terhadap perubahan nilai kalori briket batubara sub-bituminus; bagaimana pengaruh penggunaan komposisi perekat yang berbeda terhadap dinamika parameter proksimat briket; serta berapakah komposisi bahan perekat POME sludge paling optimal untuk menghasilkan kualitas kimia dan termal briket batubara yang paling optimal?

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental laboratorium di Pabrik Briket PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Bahan penelitian meliputi batubara sub-bituminus PTBA (ukuran butir lolos ayakan 100 mesh), tepung tapioka sebagai pengikat organik komersial, dan POME sludge (limbah sawit basis kering). Komposisi briket standar pabrik terdiri atas Coalite 90%, Clay 5%, dan total perekat organik 5%.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tingkat komposisi substitusi perekat POME sludge yang terbagi dalam empat kode formulasi:

- S-0: Tapioka 5.0% : POME Sludge 0.0% (Kontrol 100% Tapioka)
- S-1: Tapioka 3.3% : POME Sludge 1.7%
- S-2: Tapioka 1.7% : POME Sludge 3.3%
- S-3: Tapioka 0.0% : POME Sludge 5.0% (100% POME Sludge)

Setiap formulasi direplikasi sebanyak 5 kali untuk keandalan statistik. Pengujian termal kimia meliputi pengukuran Nilai Kalor Kotor (GCV) menggunakan Bomb Calorimeter dengan basis pengujian ASTM D5865, Sedangkan untuk pengujian proksimat menggunakan ASTM D3173 untuk pengujian Inherent Moisture (IM), ASTM D3175 untuk pengujian Volatile Matter (VM), ASTM D3174 untuk pengujian Ash Content. Sedangkan untuk nilai Fixed Carbon (FC), dapat dihitung dari 100% dikurangi penjumlahan dari nilai IM, VM dan Ash Content.

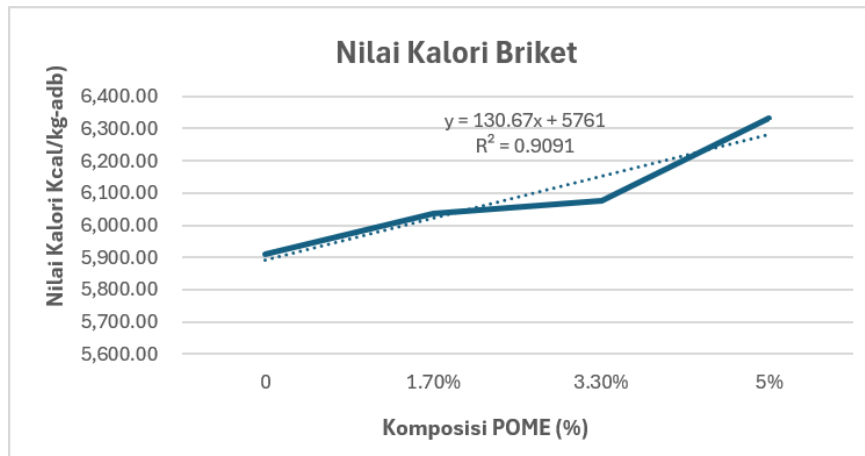
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian laboratorium, rekapitulasi data parameter kimia dan termal briket batubara untuk masing-masing formulasi disajikan dalam tabel terstruktur berikut:

Tabel 1 Hasil Pengujian Briket Batubara dengan Berbagai Komposisi POME

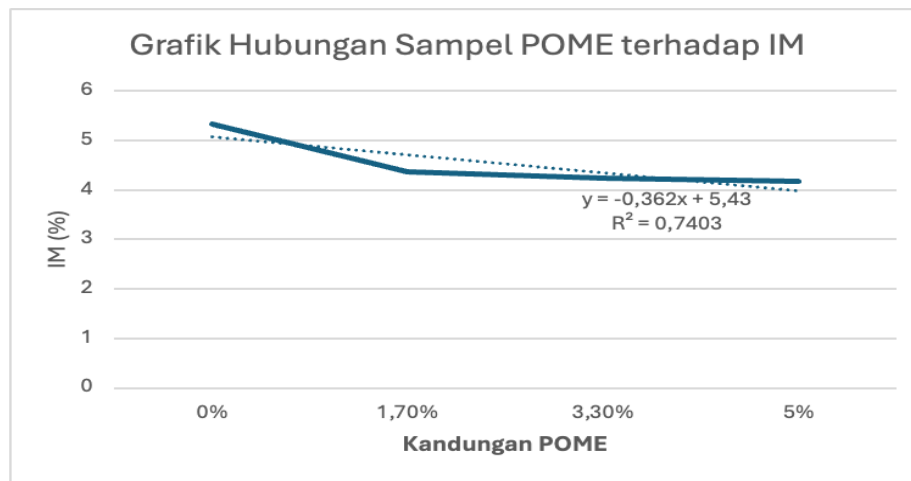
Kode Formulasi	Kadar Pome Sludge (%)	Niali Kalori (Kcal/kg-adb)	IM (%/adb)	VM (%/adb)	Ash (%/adb)	FC (%/adb)	TS (%/adb)
S-0	0%	5,909	5.33	15.20	12.87	64.87	0.18
S-1	1.7%	6,034	4.37	16.40	14.37	63.77	0.20
S-2	3.3%	6,076	4.23	16.77	15.13	62.70	0.20
S-3	5.0%	6,330	4.17	17.67	14.70	61.28	0.26

Sumber: Data Pengujian Laboratorium CHT PT. Bukit Asam (Persero) Tbk.


Gambar 1. Grafik Hubungan Komposisi POME terhadap Nilai Kalori Briket

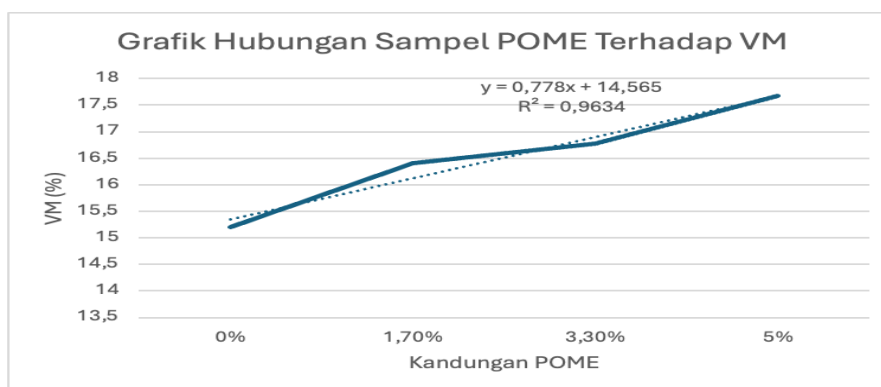
Substitusi POME sludge secara nyata bertindak sebagai calory booster yang mendorong kerapatan energi termal briket secara linier. Nilai GCV melonjak secara konstan dari 5,909 kcal/kg (S-0) menuju puncaknya sebesar 6,330 kcal/kg (S-3), mengikuti model matematika: $Y = 78.92x + 5,890.4$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.9370$. Hal ini dipicu oleh tingginya fraksi hidrokarbon rantai panjang (-CH₂-CH₂-) lipid sawit yang mempunyai nilai kalor spesifik bawaan tinggi (8,000–9,000 kcal/kg), jauh melampaui rantai karbohidrat dari tapioca yang kaya oksigen.

Sedangkan untuk pengujian Inherent Moisture, Berdasarkan pengujian di dalam oven pengering pada suhu konstan 104°C–110°C (ASTM D3173-11), kadar air lembaga briket menurun secara konsisten seiring peningkatan kadar POME *sludge*. Formulasi kontrol (S-0) mencatatkan kelembapan tertinggi sebesar 5.33%, sementara pada formulasi S-3, kadar air berhasil ditekan hingga titik terendah rata-rata pada 4.17%, mengikuti model regresi linear $Y = -0.362x + 5.43$ ($R^2 = 0.743$). Penurunan kelembapan ini secara ilmiah membuktikan sifat *hydrophobicity* bawaan dari residu asam lemak tak jenuh POME *sludge*. Senyawa lipid non-polar menyelimuti situs aktif makropori batubara *low-rank* dan menolak pembentukan ikatan hidrogen dengan molekul air bebas, sehingga berhasil memutus rantai penyerapan kelembapan udara (*re-absorpsi*) yang selama ini menjadi kelemahan mendasar *binder* tapioka yang hidrofilik (Idris dkk., 2021).



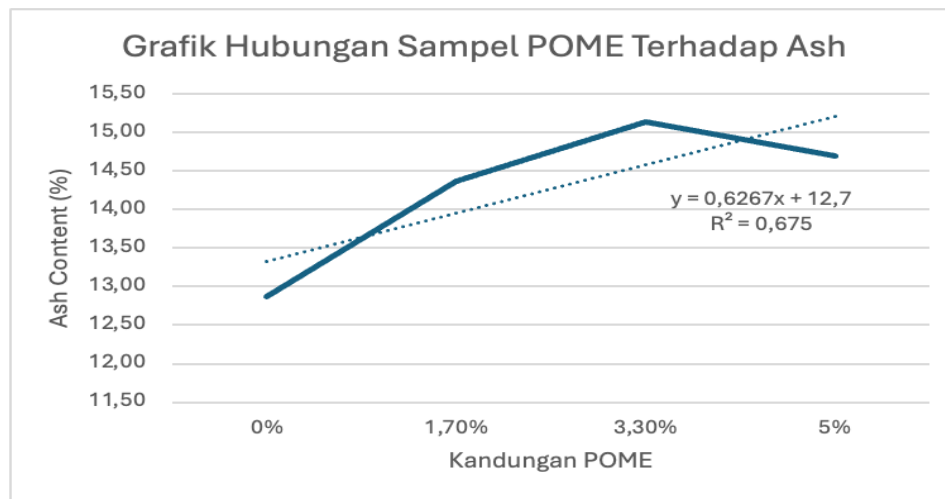
Gambar 2. Grafik Hubungan Komposisi POME terhadap kadar IM

Pada pengujian zat terbang (VM) merepresentasikan porsi material berupa gas yang terlepas saat sampel dipanaskan pada suhu ekstrem 950°C (ASTM D3175-11) dalam kondisi anaerobik (tanpa kontak oksigen). Kadar *Volatile Matter* (VM) menunjukkan kurva peningkatan yang sangat rapi dan linear, mendaki secara bertahap dari 15.20% pada briket berbasis pati murni (S-0) menuju 17.67% pada briket berbasis lumpur sawit murni (S-3), sesuai model regresi $Y = 0.778x + 14.565$ ($R^2 = 0.963$). Kenaikan ini merefleksikan karakteristik dekomposisi termal senyawa organik volatil berberat molekul rendah dan menengah (seperti gugus ester dan lipid) di dalam lumpur sawit yang memiliki temperatur volatilisasi jauh lebih rendah daripada makromolekul karbon kompleks batubara. Dari aspek aplikasi pembakaran, peningkatan zat terbang terkendali pada briket S-3 ini memberikan dampak positif berupa pemangkas waktu penyalaan awal (*ignition time*) dan menjaga kontinuitas stabilitas jilatan api pada ruang bakar.



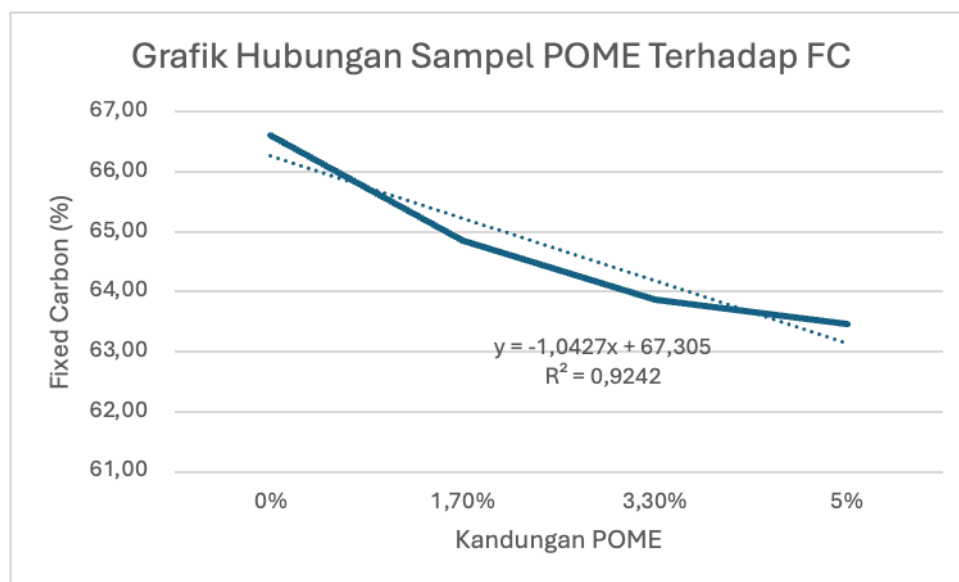
Gambar 3. Grafik Hubungan Komposisi POME terhadap kadar VM

Pengujian Kadar Abu merupakan residu anorganik non-karbonaceous (*non-combustible*) yang tersisa setelah material padat dibakar secara sempurna di dalam *muffle furnace* hingga mencapai suhu 815°C (ASTM D3174-12). Kadar abu mengalami kenaikan moderat dari 12.87% pada sampel S-0 hingga menyentuh puncaknya sebesar 15.13% pada sampel S-2, sebelum sedikit terdefleksi ke angka 14.70% pada sampel S-3, mengikuti model regresi $Y = 0.627x + 12.7$ ($R^2 = 0.675$). Kenaikan akumulasi residu mineral padat sisa pembakaran ini disebabkan oleh sifat alami POME *sludge* yang mengandung *Total Suspended Solids* (TSS) tinggi berupa partikel silika halus, senyawa tanah alkali, serta sisa koagulan inorganik dari unit pengolahan limbah pabrik kelapa sawit yang tertinggal sebagai senyawa oksida logam setelah fasa karbon murni habis terbakar (Samsudin dkk., 2020).



Gambar 4. Grafik Hubungan Komposisi POME terhadap kadar Ash

Karbon tertambat adalah porsi material padat yang mudah terbakar yang tersisa setelah kelembapan, abu, dan zat terbang dihilangkan melalui kalkulasi matematis selisih (ASTM D3172-13). Nilai rata-rata Karbon Tertambat menunjukkan tren penurunan yang landai, bergeser dari 64.87% (S-0) menjadi 61.28% (S-3) sesuai model regresi $Y = -1.043x + 67.305$ ($R^2 = 0.924$). Penurunan persentase komponen FC ini merupakan konsekuensi logis akibat ekspansi volume fraksi zat terbang (VM) dan residu abu (Ash) yang dibawa oleh komponen POME *sludge*. Walaupun fraksi karbon padat murni sedikit menyusut secara persentase, dekomposisi termal ini tidak mengorbankan kualitas pelepasan panas karena densitas energi briket telah dikompensasi secara masif oleh tingginya nilai kalor volatil dari fasa hidrokarbon lipid kelapa sawit (Mangena dkk., 2007).



Gambar 5. Grafik Hubungan Komposisi POME terhadap kadar

Pengujian kadar sulfur total menentukan besarnya emisi gas polutan sulfur dioksida SO_2 yang dilepaskan ke atmosfer serta potensi risiko korosi temperatur tinggi (high-temperature corrosion) pada pipa boiler. Data hasil laboratorium menunjukkan adanya tren peningkatan fasa sulfur yang sangat landai dari 0.18% (S-0) menjadi 0.26% (S-3), sesuai permodelan matematika $Y = 0.015x + 0.173$ ($R^2 = 0.840$). Secara biokimia, kenaikan fraksi sulfur yang sangat minor ini bersumber dari karakteristik bawaan limbah sawit yang membawa protein organosulfur (seperti asam amino metionin dan sistein) dari sisa biomassa selular hasil fermentasi anaerobik di kolam pengolahan limbah (Wu dkk., 2018). Karena kenaikannya

berada pada skala yang sangat kecil, produk akhir briket diproyeksikan tetap sepenuhnya aman dari risiko pencemaran udara berlebih maupun risiko degradasi korosif pada dinding insulasi tungku industri.

KESIMPULAN

Kajian pengaruh jenis dan komposisi bahan perekat organik terhadap kualitas briket batubara sub-bituminus di Pabrik Briket PT Bukit Asam Tbk telah berhasil membuktikan bahwa karakteristik termal dan kimia bahan bakar padat dapat direkayasa secara sistematis melalui pemilihan jenis matriks pengikat organik yang tepat. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental dan pemodelan regresi yang dilakukan, evaluasi terhadap tujuan penelitian ini menyimpulkan bahwa variasi penambahan proporsi fasa *Palm Oil Mill Effluent* (POME) *sludge* sebagai substitusi perekat tapioka konvensional berkorelasi positif secara linier bertindak sebagai *calory booster* yang mendongkrak kerapatan energi termal briket dari 5,909 kcal/kg hingga memuncak pada 6,330 kcal/kg (adb). Peningkatan densitas energi yang signifikan ini secara kimiawi berhasil menjawab rumusan masalah mengenai dinamika parameter proksimat, di mana integrasi fasa senyawa hidrokarbon lipid rantai panjang sawit mampu menginduksi sifat hidrofobitas kapiler batubara sehingga sukses menekan kadar air bawaan (*inherent moisture*) ke level terendah 4.17%, sekaligus menaikkan kadar zat terbang (*volatile matter*) secara terkendali hingga 17.67% yang menguntungkan bagi efisiensi penyalaan awal (*ignition time*) briket. Formulasi perekat POME *sludge* murni 100% pada kadar total perekat 5% (kode sampel S-3) ditetapkan sebagai komposisi yang paling optimal karena menghasilkan peningkatan entalpi sistem tertinggi tanpa memicu akumulasi kadar sulfur total yang membahayakan lingkungan. Secara umum, penemuan ini memberikan kontribusi perbaikan yang krusial pada bidang sains material energi dan rekayasa proses alternatif, melalui pembuktian teoretis baru bahwa pemanfaatan limbah industri termoplastik natural cair kelapa sawit sarat lipid non-polar dapat merekayasa struktur pori hidrofilik batubara peringkat rendah (*low-rank coal*) menjadi produk bahan bakar komposit padat yang berdensitas energi tinggi, hidrofobik, serta berwawasan lingkungan.

REFERENSI

- ASTM International. (2011). ASTM D3173-11: Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2011). ASTM D3175-11: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2012). ASTM D3174-12: Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2013). ASTM D3172-13: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International. (2013). ASTM D5865/D5865M-13: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2010). *SNI 4931:2010: Briket batubara – Klasifikasi, syarat mutu dan metode pengujian*. Jakarta: BSN.
- Blesa, M. J., Miranda, J. L., Moliner, R., & Tarroja, M. A. (2003). Curing temperature effect on mechanical strength of smokeless fuel briquettes prepared with molasses. *Fuel*, 82(8), 943-947.
- Carlberg, C. (2014). *Statistical Analysis: Microsoft Excel 2013*. Indianapolis: Que Publishing.
- Fadhil. (2018). Karakteristik dan Pemanfaatan Batubara Peringkat Rendah sebagai Bahan Bakar Industri.
- Fadhil, M., dkk. (2026). Dilema Akumulasi Residu Sulfur Organik dan Emisi Gas Flue pada Pembakaran Briket Batubara Sub-Bituminus Berperekat Organik Lokal. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam*, 12(1), 45-58.

- Faizal, M., Andrie, M., & Kurniawan, A. (2018). Bio-coal briquettes made from South Sumatera low rank coal and palm shell charcoal for using in small industries. *MATEC Web of Conferences*, 156, 06001.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4th ed.). London: SAGE Publications.
- Ghozali, I. (2018). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25* (Edisi 9). Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hardianto, T., Irhamna, A. R., Prawisudha, P., & Juangsa, F. B. (2023). Experimental study on the role of moisture in the cold binderless briquetting of low-rank coal. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 43(10).
- Idris, S. S., dkk. (2021). Sustainable green charcoal briquette: Influence of type and concentration of binders on chemical and physical characteristics. *International Journal of Renewable Energy Development*.
- Jamilatun, S. (2008). Sifat-sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara dan Arang Kayu. *Jurnal Rekayasa Proses*, 2(2), 37-40.
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*, 33(3), 337-359.
- Li, J., dkk. (2022). Effect of Organic Fat-Rich Slime Binders on the Briquetting Characteristics and Ash Fusion Behavior of Low-Rank Coal. *Fuel Processing Technology*, 231, 107241.
- Mangena, S. J., de Lange, M., & du Cann, V. M. (2007). The selection of a binder for the briquetting of South African coal fines. *South African Journal of Chemical Engineering*, 12(1), 1-12.
- Mitchual, S. J., Frimpong-Mensah, K., & Darkwa, N. A. (2022). A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters. *Energies*, 15(7), 2426.
- Nurdin, dkk. (2025). The potential of palm kernel shell briquettes as a sustainable solid fuel. *Jurnal Presipitasi*, 22(1).
- Nursanto, Edy, dkk. (2025). Analisis Kualitas Batubara Sub-Bituminus dan Pemanfaatannya.
- Oka, A. A. K. (2012). *Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah Melalui Proses Pembriketan dengan Bahan Pengikat Tetes Tebu (Molasses) dan Kanji*. [Tesis Magister, tidak dipublikasikan]. Universitas Udayana.
- Pradana, Y. S., dkk. (2023). Characterization and Pyrolysis Kinetics of Palm Oil Mill Effluent (POME) Sludge for Solid Biofuel Production. *Bioresource Technology Reports*, 22, 101452.
- Pryce, G. (2005). *Inference and Statistics in SPSS*. Glasgow: University of Glasgow Press.
- Ramli, A., & Wijaya, H. (2025). Kajian Peningkatan Nilai Kalor Bahan Bakar Padat Melalui Intervensi Asam Lemak Bebas Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 24(1), 15-24.
- Richards, S. R. (1990). Physical testing of fuel briquettes. *Fuel Processing Technology*, 25(2), 89-100.
- Samsudin, M. M., dkk. (2020). Developing Sub-Bituminous Coal Sintering Ratio for Predicting Coal Ash Slagging Factors. *International Journal of Technology*, 11(4), 792-801.
- Sukandarrumidi. (2006). *Batubara dan Pemanfaatannya: Pengantar Teknologi Batubara Menuju Lingkungan Bersih*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Speight, J. G. (2013). *The Chemistry and Technology of Coal* (3rd ed.). CRC Press.
- Vershinina, K., Dorokhov, V., Romanov, D., & Strizhak, P. (2022). Ignition, Combustion, and Mechanical Properties of Briquettes from Coal Slime and Oil Waste, Biomass, Peat and Starch. *Waste and Biomass Valorization*, 14, 431–445.
- Walkenbach, J. (2015). *Excel 2016 Bible*. Indianapolis: John Wiley & Sons.

- Wibowo, A., & Setiawan, B. (2024). Dinamika Komposisi Zat Terbang dan Karbon Tertambat pada Pembuatan Briket Komposit Coalite-Biomassa. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 20(2), 112-125.
- Wu, T. Y., Mohammad, A. W., Jahim, J. M., & Anuar, N. (2018). Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *Journal of Environmental Management*, 91(7), 1467-1490.
- Zainuddin, M. F., dkk. (2024). Elucidating the Hydrophobic Mechanism of Lipid-Rich Palm Oil Waste as a Binder for Hydrophilic Biomass Pellets. *Industrial Crops and Products*, 208, 117810.