

SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN & SAINS KIMIA IX 2026

KARAKTERISASI XRD, ANALISIS PROKSIMAT, DAN NILAI KALOR

FORMULA *CO-FIRING* BERBASIS
BIOMASSA LAMTORO, GAMAL,
DAN BOTTOM ASH UNTUK
APLIKASI PLTU BOLOK



Oleh:
EKA BUANG SANDY KALLA
UNIVERSITAS NUSA CENDANA



Lamtoro (*Leucaena leucocephala*)

Gamal (*Gliricidia sepium*)



LATAR BELAKANG

Tantangan Transisi Energi dan Pemanfaatan Biomassa Lokal untuk Co-Firing



Lamtoro



Gamal



Bottom Ash



1. KETERGANTUNGAN BATUBARA



- PLTU masih menjadi tulang punggung penyediaan listrik nasional.
- Penggunaan batubara menghasilkan emisi karbon yang tinggi.



2. POTENSI BIOMASSA NTT



Lamtoro



Gamal

- Lamtoro dan gamal tumbuh melimpah di NTT.
- Memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan.
- Belum dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan bakar PLTU.



3. PEMANFAATAN BOTTOM ASH



- PLTU menghasilkan limbah bottom ash.
- Kandungan mineralnya berpotensi meningkatkan stabilitas pembakaran.
- Dapat dimanfaatkan kembali dalam konsep *circular economy*.



PLTU



Emisi Karbon



Perlu Energi Terbarukan



Lamtoro

+



Gamal

+



Bottom Ash



Formula Co-Firing



Karakterisasi



Belum diketahui formulasi biomassa-limbah yang paling optimal untuk aplikasi co-firing di PLTU Bolok.



Oleh karena itu dilakukan karakterisasi formulasi co-firing berbasis lamtoro, gamal, dan bottom ash menggunakan analisis XRD, proksimat, dan nilai kalor.





TUJUAN DAN KEBARUAN PENELITIAN



Lamtoro



Gamal



Bottom Ash



TUJUAN PENELITIAN

Menentukan formulasi co-firing terbaik berbasis:



Biomassa
Lamtoro



Biomassa
Gamal



Bottom Ash
PLTU

melalui karakterisasi:



X-Ray Diffraction (XRD)



Analisis Proksimat



Nilai Kalor

LAMTORO



GAMAL



BOTTOM ASH



FORMULA
CO-FIRING



XRD



PROKSIMAT



NILAI KALOR



FORMULA TERBAIK



KEBARUAN PENELITIAN (NOVELTY)

PENELITIAN SEBELUMNYA

- ✗ Banyak penelitian hanya menggunakan biomassa tunggal.
- ✗ Banyak penelitian co-firing berfokus pada pencampuran biomassa dan batubara.
- ✗ Pemanfaatan *bottom ash* sebagai komponen formulasi biomassa masih terbatas.

PENELITIAN INI

- ✓ Mengombinasikan dua biomassa lokal NTT (lamtoro dan gamal).
- ✓ Memanfaatkan limbah PLTU (*bottom ash*).
- ✓ Menentukan formulasi optimum berdasarkan struktur kristal, karakteristik pembakaran, dan potensi energi.



HIPOTESIS PENELITIAN

Penambahan *bottom ash* pada proporsi tertentu dapat **meningkatkan stabilitas termal tanpa menurunkan nilai kalor secara signifikan** sehingga menghasilkan formulasi co-firing yang lebih optimal.





METODOLOGI PENELITIAN



Lamtoro



Gamal



Bottom Ash

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



FORMULASI CO-FIRING

Formula	Lamtoro (%)	Gamal (%)	Bottom Ash (%)
F1	80	10	10
F2	50	25	25
F3	33,33	33,33	33,33

PARAMETER YANG DIANALISIS



XRD

- Struktur kristal
- Fase mineral



PROKSIMAT

- Kadar air
- Zat terbang
- Abu
- Karbon tertambat



NILAI KALOR

- Potensi energi biomassa



Metodologi ini dirancang untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi lamtoro, gamal, dan bottom ash terhadap struktur kristal, karakteristik pembakaran, dan potensi energi co-firing.



+



+





HASIL KARAKTERISASI XRD

Analisis Struktur Kristal Formulasi Co-Firing Berbasis Biomassa dan Bottom Ash



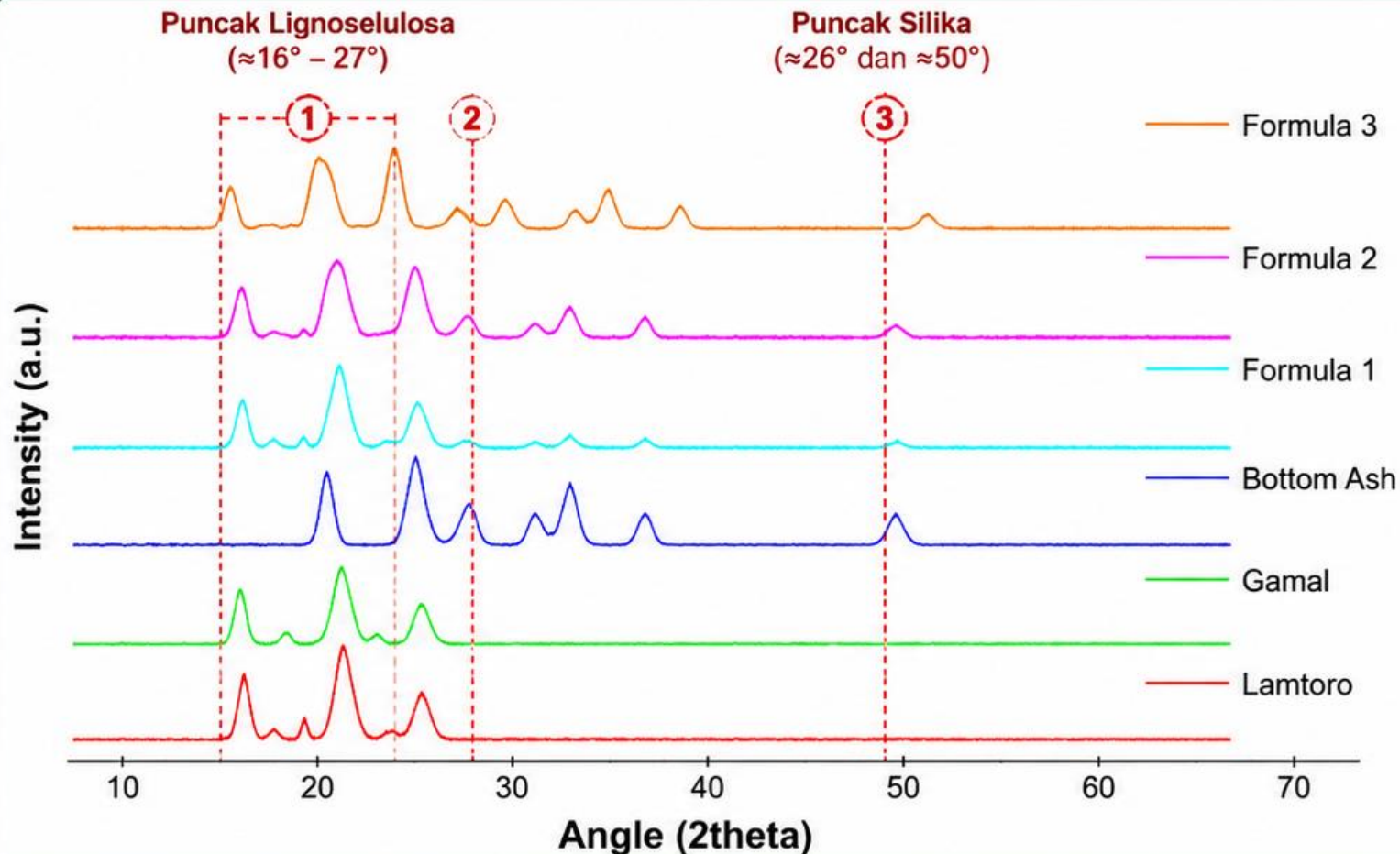
Lamtoro



Gamal



Bottom Ash



1 Area puncak lignoselulosa ($\approx 16^\circ - 27^\circ$) menunjukkan dominasi komponen organik selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

2 Puncak silika kuat pada $\approx 26^\circ$ mengindikasikan adanya kristal kuarsa (SiO_2).

3 Puncak mineral lain di sekitar $\approx 50^\circ$ berkaitan dengan senyawa silikat dan mineral anorganik.



TEMUAN UTAMA

1



Lamtoro dan Gamal

- Didominasi fase lignoselulosa.
- Menunjukkan karakter biomassa sebagai sumber energi utama.

2



Bottom Ash

- Memiliki puncak kristalin yang kuat.
- Mengindikasikan keberadaan silika dan mineral anorganik.

3



Formula 2

- Menunjukkan keseimbangan antara fase organik dan mineral.
- Berpotensi memberikan stabilitas pembakaran yang lebih baik.



PESAN KUNCI

Formula 2 menghasilkan **keseimbangan terbaik** antara potensi energi biomassa dan kestabilan termal mineral sehingga paling prospektif untuk aplikasi co-firing di PLTU Bolok.



INTERPRETASI HASIL XRD DAN EVALUASI FORMULASI CO-FIRING

Analisis Perbandingan Struktur Kristal dan Implikasi terhadap Kinerja Co-Firing



Lamtoro



Gamal

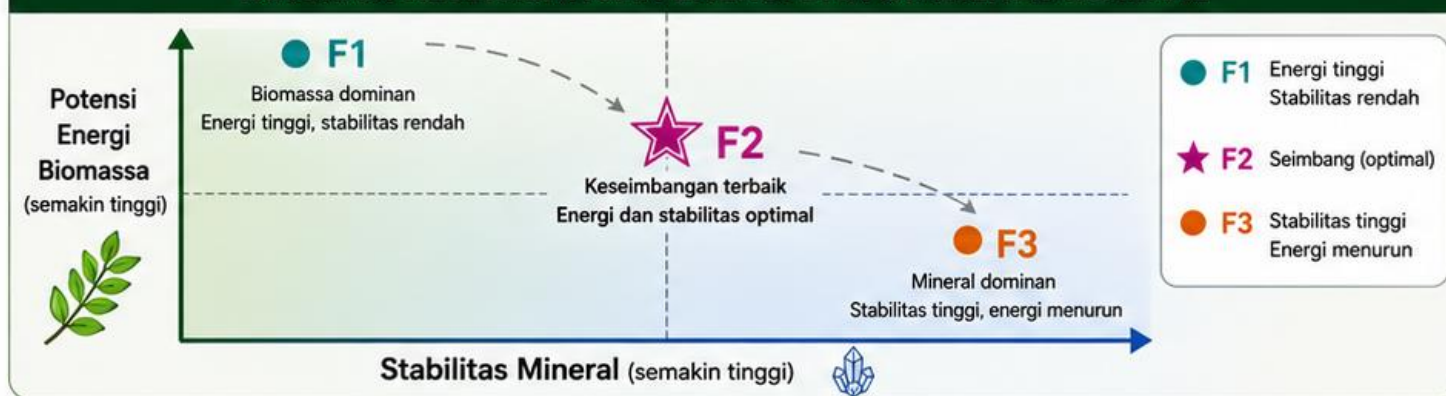


Bottom Ash

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KETIGA FORMULA

Formula	Karakteristik XRD	Implikasi terhadap Co-Firing
F1 (80:10:10)	Dominasi fase organik biomassa	 Energi tinggi, tetapi kestabilan termal relatif rendah
F2 (50:25:25)	Keseimbangan fase organik dan mineral	 Stabilitas pembakaran dan efisiensi energi paling seimbang
F3 (33,33:33,33:33,33)	Dominasi fase mineral	 Stabilitas tinggi, namun kontribusi energi biomassa menurun

DIAGRAM KESEIMBANGAN ENERGI DAN STABILITAS MINERAL



F1 (80:10:10)



BIOMASSA DOMINAN

- ✓ Potensi energi tinggi
- ⚠ Kontribusi mineral penstabil rendah
- ⚠ Risiko slagging dan korosi lebih besar

F2 (50:25:25)



FORMULA SEIMBANG

- ✓ Energi tetap tinggi
- ✓ Stabilitas termal meningkat
- ✓ Operasi pembakaran lebih stabil
- ✓ Kandidat terbaik untuk co-firing

F3 (33,33:33,33:33,33)



MINERAL DOMINAN

- ✓ Stabilitas termal tinggi
- ⚠ Kontribusi energi biomassa menurun
- ⚠ Efisiensi energi berpotensi berkurang



PESAN KUNCI

Formula 2 memberikan **kompromi terbaik** antara potensi energi biomassa dan kestabilan pembakaran sehingga menjadi kandidat **paling prospektif** untuk aplikasi co-firing pada PLTU Bolok.



+



=





HASIL ANALISIS PROKSIMAT

Karakteristik Bahan Bakar Formula Co-Firing



Lamtoro

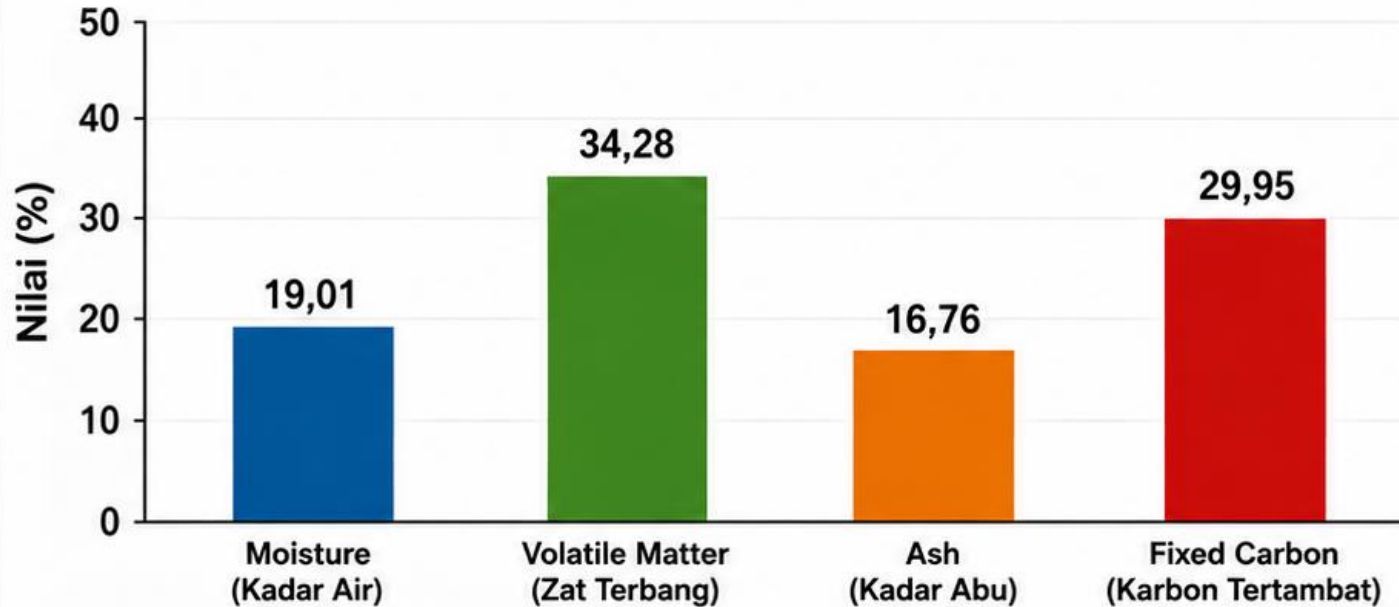


Gamal



Bottom Ash

KARAKTERISTIK PROKSIMAT FORMULA CO-FIRING



Parameter	Moisture (Kadar Air)	Volatile Matter (Zat Terbang)	Ash (Kadar Abu)	Fixed Carbon (Karbon Tertambat)
Nilai (%)	19,01	34,28	16,76	29,95

INTERPRETASI AWAL



Moisture (Kadar Air)

19,01%



Masih dalam rentang yang dapat diterima untuk biomassa energi.



Volatile Matter (Zat Terbang)

34,28%



Menunjukkan kemudahan penyalaan dan pembakaran awal.



Ash (Kadar Abu)

16,76%



Dipengaruhi oleh keberadaan *bottom ash* dalam formulasi.



Fixed Carbon (Karbon Tertambat)

29,95%



Mendukung pembakaran yang lebih stabil dan berkelanjutan.



PESAN UTAMA

Formula biomassa menunjukkan **keseimbangan** antara **kemudahan penyalaan** (*volatile matter*) dan **keberlanjutan pembakaran** (*fixed carbon*).



Biomassa (Volatile Matter)

+



Bottom Ash (Ash & Mineral)

+



Fixed Carbon (Stabilitas)

=



Pembakaran Stabil & Efisien



IMPLIKASI ANALISIS PROKSIMAT TERHADAP PERFORMA PEMBAKARAN

Hubungan Parameter Proksimat dengan Kinerja Co-Firing



Lamtoro



Gamal



Bottom Ash

Moisture Content (19,01%)

Kadar air sedang

- ✓ Membutuhkan energi awal untuk penguapan.
- ✓ Masih dapat diterima untuk aplikasi co-firing setelah pengeringan.

Volatile Matter (34,28%)

Zat terbang relatif tinggi

- ✓ Mempermudah proses penyalaan.
- ✓ Mempercepat pembakaran awal.
- ✓ Mendukung stabilitas nyala api.

Fixed Carbon (29,95%)

Karbon tertambat cukup tinggi

- ✓ Menyediakan energi secara bertahap.
- ✓ Mendukung pembakaran yang lebih lama dan stabil.

Ash Content (16,76%)

Kandungan abu relatif tinggi

- ✓ Berasal dari kontribusi *bottom ash*.
- ✓ Berpotensi meningkatkan stabilitas termal.
- ✓ Perlu pengelolaan residu pembakaran yang baik.

PERAN PARAMETER PROKSIMAT DALAM PERFORMA PEMBAKARAN



SINTESIS HASIL

Formula Co-Firing Menunjukkan:



Kemudahan Penyalaan
(didukung *volatile matter* tinggi)



Pembakaran Berkelanjutan
(didukung *fixed carbon* yang baik)



Stabilitas Termal yang Baik
(didukung kandungan mineral/abu)



Potensi Aplikasi pada Sistem Co-Firing PLTU



PESAN KUNCI

Kombinasi **volatile matter** yang tinggi dan **fixed carbon** yang baik, bersama kontribusi mineral dari **bottom ash**, menghasilkan karakteristik pembakaran yang **mendukung aplikasi co-firing di PLTU**.





HASIL UJI NILAI KALOR

Nilai Kalor Biomassa dan Formula Co-Firing



Lamtoro

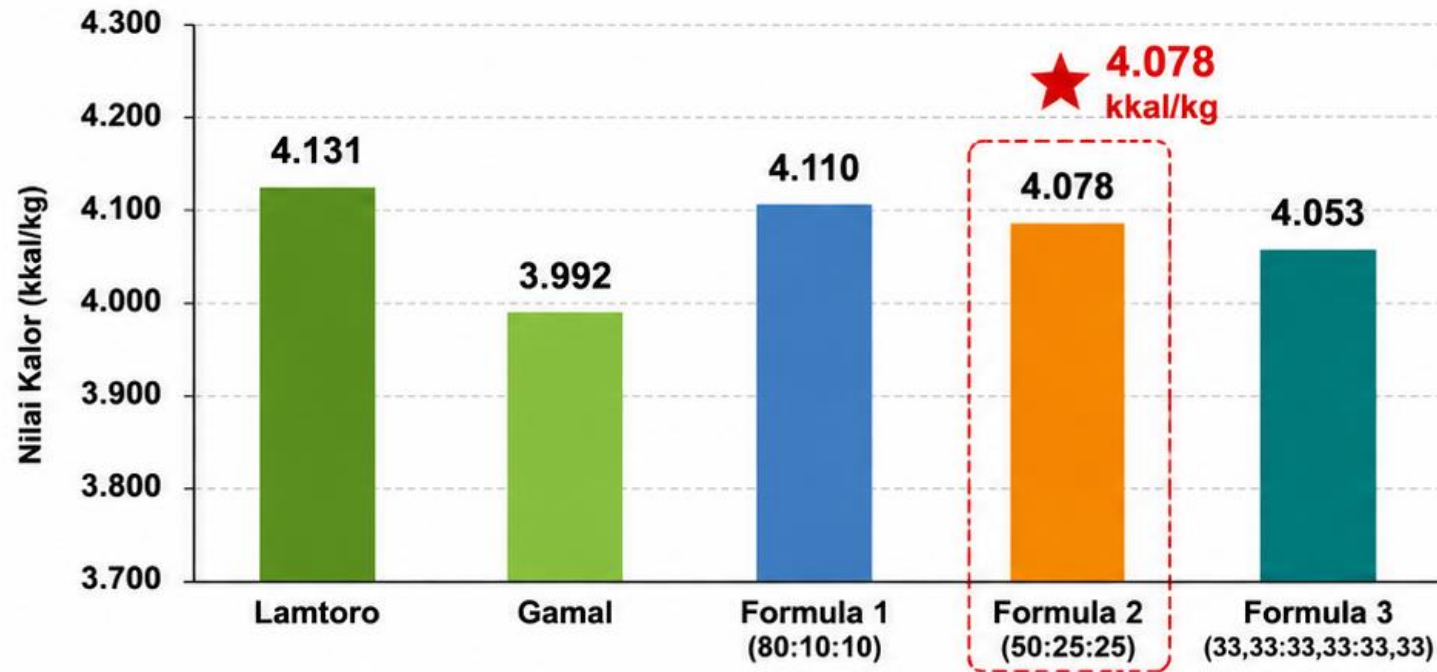


Gamal



Bottom Ash

Perbandingan Nilai Kalor (kcal/kg)



✓ Seluruh formulasi memiliki nilai kalor **di atas 4.000 kkal/kg** sehingga layak untuk aplikasi co-firing.

Tren Pengaruh Bottom Ash terhadap Nilai Kalor



Temuan Penting



Lamtoro

Memiliki nilai kalor tertinggi

4.131 kkal/kg

Berperan sebagai sumber energi utama.



Pengaruh Penambahan Bottom Ash

Semakin tinggi proporsi bottom ash:

- ↓ Nilai kalor sedikit menurun
- ↑ Stabilitas termal meningkat



Formula 2

Menunjukkan **kompromi terbaik**

- ✓ Nilai kalor tetap tinggi
- ✓ Stabilitas pembakaran lebih baik
- ✓ Komposisi lebih seimbang



Meskipun mengandung 25% bottom ash,

Formula 2 masih memiliki nilai kalor 4.078 kkal/kg

sehingga layak digunakan sebagai bahan bakar co-firing.

Jika dikombinasikan dengan hasil XRD dan analisis proksimat sebelumnya, Formula 2 menjadi formulasi yang paling seimbang antara potensi energi dan kestabilan pembakaran.



SINTESIS HASIL DAN FORMULA CO-FIRING TERBAIK

Integrasi Karakterisasi XRD, Analisis Proksimat, dan Nilai Kalor



Lamtoro



Gamal



Bottom Ash

PARAMETER	FORMULA 1 (80% Lamtoro : 10% Gamal : 10% BA)	FORMULA 2 (50% Lamtoro : 25% Gamal : 25% BA)	FORMULA 3 (33,33% Lamtoro : 33,33% Gamal : 33,33% BA)
 Struktur Kristal (XRD)	Dominan fase organik (biomassa)	Seimbang antara fase organik dan mineral	Dominan fase mineral (bottom ash)
 Stabilitas Termal	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
 Potensi Energi	Sangat Tinggi	Tinggi	Menurun
 Analisis Proksimat	Moisture tinggi Ash lebih rendah	Keseimbangan terbaik (volatile, fixed carbon, ash)	Ash tinggi Fixed carbon menurun
 Nilai Kalor (kkal/kg)	4.110	4.078	4.053
 Kelayakan Co-Firing	Baik	★★★★★ Sangat Baik	Cukup Baik

FORMULA TERBAIK

FORMULA 2

 **50% Lamtoro**
 **25% Gamal**
 **25% Bottom Ash**



“Formula 2 memberikan keseimbangan optimum antara potensi energi biomassa dan kestabilan pembakaran sehingga paling prospektif untuk aplikasi co-firing pada PLTU Bolok.”

SINERGI HASIL KARAKTERISASI

XRD (Struktur Stabil)	PROKSIMAT (Pembakaran Baik)	NILAI KALOR (Energi Tinggi)
 Menunjukkan keseimbangan fase organik dan mineral pada Formula 2	 Volatile tinggi untuk penyalan, fixed carbon untuk pembakaran stabil	 Nilai kalor 4.078 kkal/kg, tetap tinggi meskipun mengandung 25% bottom ash



ALASAN PEMILIHAN FORMULA 2

- ✓ Struktur kristal paling seimbang antara fase organik dan mineral.
- ✓ Stabilitas termal tinggi → membantu mengurangi risiko slagging dan korosi pada boiler.
- ✓ Nilai kalor tetap tinggi (4.078 kkal/kg) → efisiensi energi terjaga.
- ✓ Karakteristik proksimat seimbang → penyalan mudah dan pembakaran berkelanjutan.
- ✓ Memanfaatkan biomassa lokal dan limbah PLTU → mendukung energi terbarukan dan *circular economy*.



KESIMPULAN: Berdasarkan integrasi hasil XRD, analisis proksimat, dan nilai kalor, **Formula 2** (50% Lamtoro : 25% Gamal : 25% Bottom Ash) merupakan formulasi co-firing **terbaik** untuk mendukung pembangkitan listrik yang lebih efisien, stabil, dan berkelanjutan.





KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Integrasi Hasil XRD, Analisis Proksimat, dan Uji Nilai Kalor



Lamtoro



Gamal



Bottom Ash



KESIMPULAN



Formula 2 merupakan formulasi terbaik.



Memiliki **keseimbangan** fase organik dan mineral.



Nilai kalor tetap tinggi (**4078 kkal/kg**).



Berpotensi diterapkan sebagai bahan bakar **co-firing** PLTU Bolok.

FORMULA 2 FORMULASI TERBAIK



Biomassa Seimbang
+ Bottom Ash 25%



ENERGI TINGGI
STABILITAS TERMAL
OPTIMAL



REKOMENDASI



Uji pembakaran skala pilot.



Analisis emisi gas buang.



Kajian keekonomian implementasi.



PESAN UTAMA

Berdasarkan struktur kristal, karakteristik bahan bakar, dan nilai kalor, **Formula 2** adalah formulasi **paling seimbang** antara **potensi energi** dan **kestabilan pembakaran** sehingga **paling prospektif** untuk aplikasi **co-firing** pada PLTU Bolok.

