



EFFECT OF NIPAH BIOCHAR PYROLYSIS TEMPERATURE ON COMPOSTING PINEAPPLE WASTE

Hariestya Viareco¹⁾, Restina Bemis^{2)*}, Nurul Pratiwi²⁾, Ratih Dyah Puspitasari²⁾, Lilis Suryani¹⁾, dan Oktavia Libriyani¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Lintas Jambi Muara Bulian KM.15, Muaro Jambi, 36361, Indonesia;

²⁾Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jl. Lintas Jambi-Muara Bulian KM.15, Muaro Jambi, 36361, Indonesia;

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 Dec 2024,

Revised 08 Apr 2025,

Accepted 11 Apr 2025,

Available online 21 May 2025

Keywords:

- ✓ Biochar;
- ✓ Composting;
- ✓ Organic waste;
- ✓ Pineapple peel;
- ✓ Pyrolysis temperature

*corresponding author:

restina@unja.ac.id

Phone: +6285274405887;

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.778)

[15i2.778](https://doi.org/10.31938/jsn.v15i2.778)

ABSTRACT

The accumulation of organic waste, such as pineapple peels, requires innovative and sustainable management approaches. Biochar, a carbon-rich material derived from pyrolysis, has been identified as a promising bulking agent to improve composting efficiency. This study investigated the effect of nipah biochar produced at different pyrolysis temperatures (350°C and 450°C) on pineapple peel composting. The characteristics of the biochar were analyzed using XRD and SEM to determine its mineral composition and pore structure, while the composting efficiency was evaluated by measuring pH, moisture retention, and nutrient content. The results showed that the biochar produced at 450°C had a more stable mineral composition—such as graphite, gamma alumina, and quartz—and higher porosity compared to the biochar at 350°C. During the composting process, the 450°C biochar significantly improved pH regulation to the optimal range of 6-7, moisture retention by 50-60%, and compost quality. The decomposition process was also faster, producing compost with higher nitrogen content and C/N ratio compared to the control without biochar. These findings highlight the potential of nipah biochar at high pyrolysis temperatures as an effective bulking agent for sustainable organic waste management.

Pengaruh Suhu Pirolisis Biochar Nipah pada Proses Pengkomposan Limbah Kulit Nanas

ABSTRAK

Akumulasi limbah organik, seperti kulit nanas, membutuhkan pendekatan pengelolaan yang inovatif dan berkelanjutan. Biochar, material kaya karbon yang dihasilkan melalui pirolisis, telah diidentifikasi sebagai agen *bulking* yang menjanjikan untuk meningkatkan efisiensi pengomposan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu pirolisis (350 dan 450°C) biochar nipah terhadap kompos yang dihasilkan. Karakteristik biochar di analisis menggunakan XRD dan SEM untuk menentukan komposisi mineral dan struktur porinya, sedangkan efisiensi pengomposan di evaluasi melalui pengukuran pH, retensi kelembapan, dan kandungan nutrisi. Hasil menunjukkan bahwa biochar yang dihasilkan pada suhu 450°C memiliki komposisi mineral lebih stabil, seperti grafit, gamma alumina, dan kuarsa, serta porositas lebih tinggi dibandingkan dengan biochar pada suhu 350°C. Selama proses pengomposan, biochar 450°C secara signifikan meningkatkan regulasi pH pada kisaran optimal 6-7, retensi kelembapan sebesar 50-60%, dan kualitas kompos. Proses dekomposisi juga lebih cepat, menghasilkan kompos dengan kandungan nitrogen dan rasio C/N yang lebih tinggi dibandingkan kontrol tanpa biochar. Temuan ini menyoroti potensi biochar nipah pada suhu pirolisis tinggi sebagai agen *bulking* yang efektif untuk pengelolaan limbah organik yang berkelanjutan.

Kata kunci: Biochar; Kulit nanas; Limbah organik; Pengomposan; Suhu pirolisis

PENDAHULUAN

Berdasarkan Data Badan Statistik Provinsi Jambi (2020), produksi nanas di Kabupaten Muaro Jambi pada tahun 2019 mencapai 1.017.855 Kw/Ha. Produksi nanas ini terus

meningkat dari tahun-tahun sebelumnya, yaitu sebesar 132.571 Kw/Ha (2018), 92.277 Kw/Ha (2017), dan 120.654 Kw/Ha (2016). Hal ini juga berdampak pada limbah kulit nanas yang dihasilkan. Sehingga, suatu teknologi diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.



Pengomposan merupakan teknik biokimia ramah lingkungan dan alternatif yang layak untuk pengelolaan limbah padat yang berkelanjutan (Viareco et al., 2024). Pengomposan merangsang granulasi serta meningkatkan pasokan dan ketersediaan unsur hara, seperti N, P, dan K untuk meningkatkan kesuburan kimia, biologis maupun fisik tanah (Septirosya et al., 2019). Penggunaan aktivator dalam proses pengomposan terbukti mampu meningkatkan kandungan unsur hara. Berdasarkan penelitian oleh Ernis et al., (2023), pengomposan limbah kulit bawang merah dengan penambahan bioaktivator sebanyak 100 mL dan waktu fermentasi selama 14 hari menghasilkan kompos dengan kandungan unsur hara makro, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan karbon organik (C-organik), masing-masing sebesar 0,71%; 1,45%; 0,36%; dan 4,7% (Ernis et al., 2023). Pengomposan secara alami membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu kurang lebih 4-8 bulan (Hayati et al., 2022), tetapi dengan penambahan zat aditif, seperti biochar, prosesnya dapat dioptimalkan menjadi 50-60 hari (Waqas et al., 2018).

Menurut Nurida et al. (2015), biochar adalah padatan kaya karbon dari bahan organik yang dihasilkan melalui proses pirolisis. Sifat fisikokimia biochar, seperti porositas yang tinggi dengan densitas rendah dan daya serap tinggi dapat meningkatkan aerasi selama pengomposan, memodifikasi mikroba, mengurangi mobilitas logam berat, serta mengurangi kehilangan hara dan emisi gas (Awasthi et al., 2020). Keberagaman gugus fungsi pada permukaan biochar dapat menyerap kation dan anion esensial yang dihasilkan selama pengomposan. Pada proses pengomposan, biochar digunakan sebagai *bulking agent* dan memainkan peranan penting dalam menyediakan kondisi aerobik (Bass et al., 2016) Suhu pirolisis dan jenis bahan baku merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi karakteristik biochar. Beberapa biomassa yang telah digunakan sebagai sumber pada proses pengomposan, yaitu biochar limbah rumput (Waqas et al., 2018), biochar sekam padi (Awasthi et al., 2017), dan biochar bambu (He et al., 2019).

Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) adalah spesies pohon bakau wilayah tropis yang dimanfaatkan untuk mengurangi abrasi air laut, termasuk di wilayah pesisir Jambi. Satu pohon nipah dapat menghasilkan ± 5 kg buah dan ± 3 kg limbah kulit buah. Selama ini, warga pesisir Jambi hanya memanfaatkan buah nipah sebagai panganan berupa manisan, sementara kulit buah

nipah menjadi limbah. Berat rata-rata satu buah nipah adalah 147,87 g, terdiri dari 75,88% kulit dan 2,12% daging buah (Safariyanti et al., 2018). Kulit buah nipah mengandung 5,6% selulosa, 23,5% hemiselulosa dan 17,3% lignin (Tamunaidu et al., 2011). Berdasarkan persentase komposisi kulit buah (cangkang) nipah, sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai sumber karbon dalam pembuatan biochar.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tim peneliti melakukan pemanfaatan biochar nipah sebagai *bulking agent* pengkomposan limbah kulit nanas. Parameter yang dianalisis berupa rasio komposisi dari limbah kulit nanas (90% dan 85%) dan biochar (10% dan 15%), serta suhu pirolisis pembentukan biochar (350°C dan 450°C). Dari parameter yang digunakan, penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu pirolisis biochar nipah terhadap kompos yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah limbah kulit nanas yang diperoleh dari Kabupaten Muaro Jambi, limbah cangkang nipah dari Kabupaten Tanjung Jabung Timur, akuades, H₂SO₄, NaOH, H₃BO₃, indikator universal dan kertas saring Whatman 42. Sedangkan, alat-alat yang digunakan adalah bejana 2 Liter, gergaji, pisau, oven, neraca analitik, termometer, lumpang dan alu, *furnance*, *grinder*, reaktor pirolisis, *shaker*, ayakan (60 mesh).

Metode

Preparasi Limbah Cangkang Nipah

Limbah cangkang nipah dibersihkan, dicuci, lalu dijemur selama 3 hari hingga kering. Selanjutnya, limbah cangkang nipah tersebut dipotong hingga berukuran <5 cm untuk memudahkan proses pirolisis (Waqas et al., 2018).

Pembuatan Biochar Nipah

Limbah cangkang nipah dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam dan dihaluskan hingga berukuran 2-4 cm dengan penggilingan. Selanjutnya, limbah cangkang nipah tersebut dilakukan pembakaran dalam reaktor pirolisis pada suhu 350 dan 450°C selama 3 jam. Hasil biochar digiling kembali agar dapat melewati pengayakan 0,25 mm (60 mesh), dan selanjutnya dikarakterisasi dengan SEM dan XRD (Waqas et al., 2018).

Proses Pembuatan Kompos

Menurut Waqas et al. (2018), biochar dengan rasio 15% berat total limbah kulit nanas ditambahkan ke dalam bioreaktor kompos. Variasi dilakukan dengan penambahan biochar 15% yang dibuat pada suhu 350°C (B) dan 450°C (C), serta sebagai kontrol dilakukan percobaan tanpa biochar atau 100% nanas (A).

Tabel 1. Komposisi Perlakuan Pembuatan Kompos

No	Formulasi	Komposisi (%)	
		Limbah Kulit Nanas	Biochar Nipah
1	A	100	-
2	B	85	15 (350°C)
3	C	85	15 (450°C)

Selanjutnya, selama proses pembuatan kompos, masing-masing sampel diukur pH, suhu,

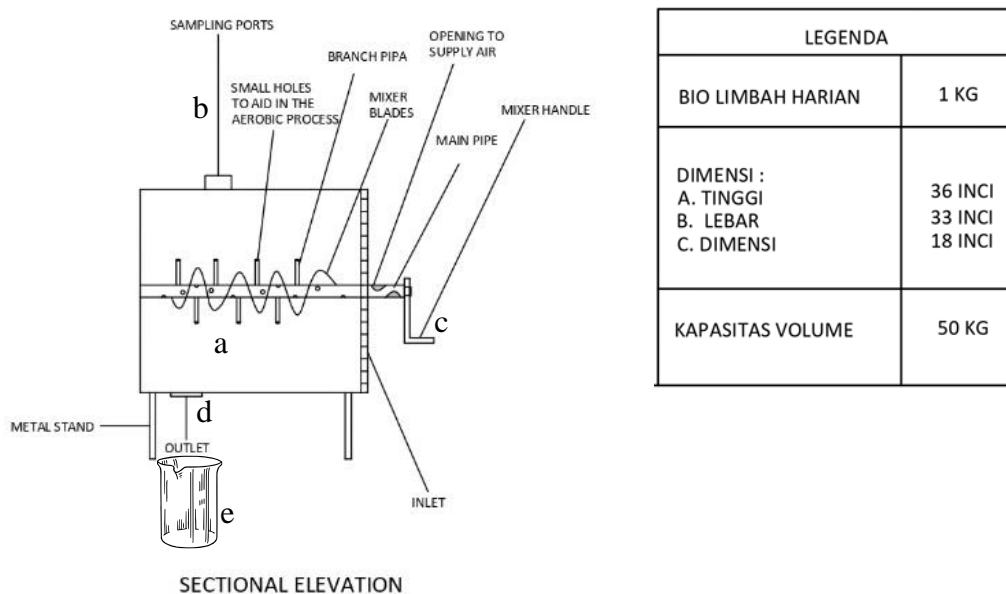
kelembaban, bentuk, warna, dan bau. Kompos yang dihasilkan diuji karakteristik sifat fisika kimia berupa kadar air, kadar nitrogen, kadar fosfor, kadar kalium, kadar C-Organik, dan rasio C/N.

Perakitan Alat Pengomposan

Proses pembuatan kompos dilakukan di dalam sebuah reaktor pengomposan yang dibuat menggunakan drum plastik kapasitas 50-100 liter. Desain alat pengomposan yang digunakan sesuai dengan Gambar 1.

Pengamatan Kompos

Pengamatan terhadap komposting dilakukan selama 21 hari, yaitu hari ke 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, dan 21. Pengamatan meliputi pengukuran pH menggunakan alat pH meter, suhu menggunakan thermometer, kelembaban menggunakan *hygrometer* tanah, warna dan bau melalui pengamatan langsung.



Gambar 1. Skema Perakitan Alat Pirolisis

Skema alat:

- Pengomposan terbuat dari drum plastik 50-100 liter dengan penyangga dari besi.
- Saluran sampah dan nutrisi: saluran ini berfungsi sebagai tempat masuknya sampah organik seperti sampah buah dan sayuran segar dan tempat masuknya nutrisi seperti gula merah atau molasses
- Drum dilengkapi dengan tuas pemutar di bagian tengah untuk pengadukan sehingga bahan organik agar dapat tercampur optimal dan merata ketika ditambahkan bioaktivator. Pengadukan ini membuat aerasi pada proses pengomposan sehingga dapat menjaga stabilitas suhu, kelembaban dan oksigen.
- Keran pengeluaran produk: tempat pengeluaran cairan hasil fermentasi
- Penampung : menampung cairan hasil fermentasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan terhadap pH, suhu, kelembaban, warna, dan bau dari sampel formula A, B, dan C pada komposting limbah kulit nanas dan biochar dapat dilihat pada Tabel 2-4.

Pengaruh Formula Komposting Terhadap Pengamatan pH

Proses pengomposan terjadi ditandai dengan peningkatan nilai pH, nilai optimal untuk kompos adalah 6-8. Limbah nanas memiliki kandungan asam tartarat, asam sitrat, dan asam malat yang

cukup tinggi sehingga pengukuran pH awal mencapai nilai 4 (Anggraini, 2021). Proses dekomposisi oleh mikroba pada limbah nanas dengan lingkungan asam yang cukup tinggi memerlukan waktu yang lama. Namun, seiring waktu, pH mendekati netral karena aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan basa. Kenaikan pH yang terjadi karena proses pengomposan akan dihasilkan amonia dan gas nitrogen, sehingga nilai pH berubah menjadi basa karena aktivitas mikroorganisme yang meningkat (Liu et al, 2024).

Tabel 2. Komposting Sampel A

Hari ke	pH	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Warna	Bau
1	4,5	37,4	8,4	Coklat	Asam
3	5	37	8,5	Coklat	Asam
5	6	34	6	Coklat	Sedikit Asam
7	6,5	33	5,5	Coklat	Sedikit asam
9	5	33	3	Hitam	Tidak berbau
11	4,5	32	4,5	Hitam	Tidak berbau
13	6,5	31	2	Hitam	Tidak berbau
15	6	31	2	Hitam	Tidak berbau
17	6,5	31	1,5	Hitam	Tidak berbau
19	6	31	1,5	Hitam	Tidak berbau
21	6,5	29	2	Hitam	Tidak berbau

Tabel 3. Komposting Sampel B

Hari ke	pH	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Warna	Bau
1	6,5	32	2	Kuning	Asam
3	6	32	3,5	Kuning	Asam
5	6,5	31	2,5	Kuning	Asam
7	6,5	31	3	Kuning	Asam
9	6	32	3	Kuning coklat	Asam
11	7	32	3,5	Kuning coklat	Asam
13	6,5	31	3,5	Kuning coklat	Asam
15	6,5	32	2	Kuning coklat	Asam
17	7	31	4	Hitam	Tidak Berbau
19	6,5	32	3,5	Hitam	Tidak Berbau
21	6,5	32	4	Hitam	Tidak Berbau

Tabel 4. Komposting Sampel C

Hari ke	pH	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Warna	Bau
1	6,5	29	3,5	Kuning	Asam
3	6,5	31	3,5	Kuning	Asam
5	6,5	32	4	Kuning	Asam
7	6	32	4	Kuning coklat	Asam
9	7	32	3	Kuning coklat	Asam
11	6,5	31	3	Kuning coklat	Asam
13	6,5	32	3,5	Kuning coklat	Asam
15	6	29	4,5	Hitam	Tidak Berbau
17	6,5	32	4	Hitam	Tidak Berbau
19	6,5	32	3,5	Hitam	Tidak Berbau
21	6,5	32	3	Hitam	Tidak Berbau

Selama 21 hari waktu pengomposan, sampel A menunjukkan pH 4,5-6,5, sampel B dan C, tidak menunjukkan perubahan pH yang signifikan pada kisaran 6-7. Penambahan biochar nipah menghasilkan pH lebih stabil (6-7) selama pengomposan dibandingkan kontrol tanpa biochar nipah. Biochar nipah (450°C) lebih efektif dalam menstabilkan pH karena kandungan mineral, seperti grafit, gipsit, klorit, kuarsa (sesuai dengan hasil analisa XRD) pada biochar mampu berperan sebagai penyanggah (*buffering*) pH (Bonaventura et al., 2022).

Pengaruh Formula Komposting Terhadap Suhu

Kompos dinyatakan matang apabila suhunya setara dengan suhu air tanah, yaitu berkisar antara 28 sampai 30 °C. Proses pengomposan berlangsung dalam dua tahapan suhu. Tahap pertama ditandai dengan peningkatan suhu akibat aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik yang sulit terdegradasi. Selanjutnya, tahap kedua ditandai dengan penurunan suhu, seiring berkurangnya bahan organik yang sulit terurai, sehingga aktivitas mikroorganisme menurun hingga mencapai suhu optimum yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme (Dewantari et al., 2023).

Sampel A menunjukkan adanya peningkatan suhu pada awal proses pengomposan, diikuti oleh penurunan suhu yang cenderung melandai. Sementara itu, sampel B dan C sejak hari pertama pengomposan suhunya lebih stabil dibandingkan dengan sampel A. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan biochar nipah berperan dalam menstabilkan proses dekomposisi limbah nanas, dengan kisaran suhu 29 hingga 32°C, seiring dengan menurunnya aktivitas mikroba akibat berkurangnya ketersediaan bahan organik (Zakarya, et al., 2018).

Pengaruh Formula Komposting Terhadap Kelembaban

Secara alami, proses pengomposan akan mengurangi kadar air pada kompos padat, sebagian air tersebut terpisah akibat pengaruh gravitasi dan membentuk kompos cair. Kelembaban optimum yang diperlukan selama proses pengomposan berkisar antara 50 hingga 60% dari kapasitas daya tampung kompos. Pada penelitian ini, tingkat kelembaban diukur

menggunakan alat *hygrometer* tanah dengan skala 1 hingga 10, dengan nilai maksimum 10. Berdasarkan hasil pengamatan awal, sampel menunjukkan tingkat kelembaban yang tinggi karena bahan baku kompos berasal dari buah nanas yang memiliki kandungan air yang tinggi. Namun, seiring berjalannya proses pengomposan, kandungan air dalam kompos mengalami penurunan akibat aktivitas mikroorganisme pengurai, proses penguapan, serta terbentuknya kompos cair (Miito et al., 2021).

Sampel A memiliki kelembaban pada skala 8 di hari pertama dan skala 2 di hari ke 20. Sementara, sampel B dan C, biochar nipah membantu dalam menjaga tingkat kelembaban limbah dengan kisaran 2-4,5. Biochar nipah (450°C) menunjukkan kapasitas retensi kelembaban yang lebih tinggi dan menjaga kelembaban pada kisaran optimal (50-60%) selama proses dekomposisi. Hal ini menandakan biochar nipah berhasil membantu menstabilkan proses penguapan kandungan air, sehingga kandungan air lebih terjaga selama proses humifikasi.

Pengaruh Formula Komposting Terhadap Warna dan Bau

Pada sampel B dan C, perubahan warna dan bau tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan berlangsung lebih lambat. Secara fisik, perubahan mulai terlihat pada hari ke-7 dan ke-11. Namun, tidak diikuti dengan perkembangan lebih lanjut. Perubahan warna kompos pada sampel B dan C terjadi rata-rata dua kali, yaitu pada hari ke-9 dan ke-17, menunjukkan laju perubahan lebih lambat dibandingkan dengan sampel A, yang mengalami dua kali perubahan warna antara hari ke-3 hingga ke-9. Sementara itu, perubahan bau pada sampel B dan C baru terdeteksi pada hari ke-15 dan ke-17, lebih lambat dibandingkan sampel A yang mengalami perubahan bau pada hari ke-5 dan ke-13. Secara keseluruhan, proses pengomposan limbah dengan tambahan biochar nipah menunjukkan kestabilan yang lebih baik dibandingkan dengan proses pengomposan tanpa campuran biochar nipah.

Karakteristik Sifat Kimia Kompos

Sifat kimia kompos meliputi kandungan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), kadar C-organik dan rasio C/N. Karakteristik sifat kimia kompos yang dihasilkan tersaji pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik sifat kimia kompos yang dihasilkan

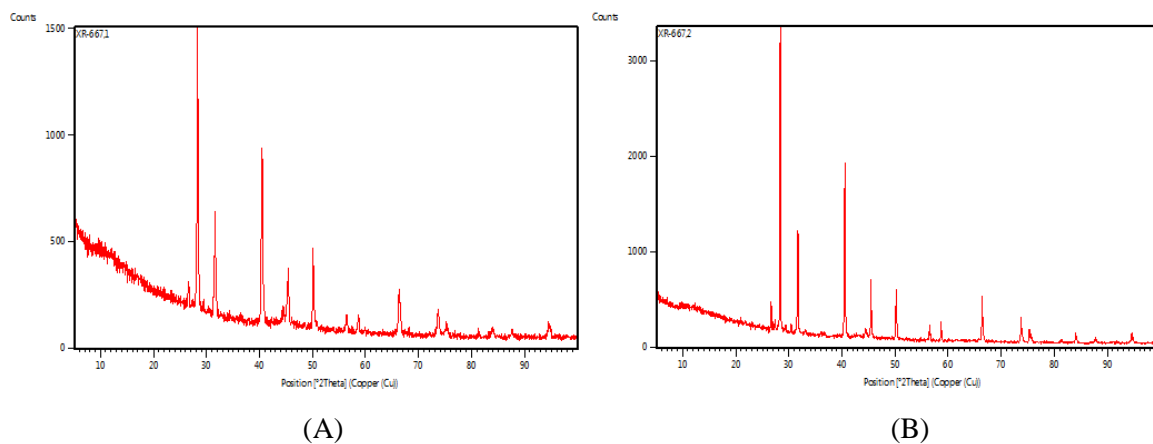
Sampel	Kadar air (%)	Kadar Nitrogen (%)	Kadar Fosfor (%)	Kadar Kalium (%)	Kadar C-organik (%)	Rasio C/N (%)
A (tanpa biochar)	82	0	12,65	1	9,3	0
B (biochar suhu 350°C)	83,11	0,94	0,83	0	55,17	58,69
C (biochar suhu 450°C)	82,62	0,74	0,1	0	55,73	75,31
Kompos Padat Organik berdasarkan Permentan no.70 tahun 2011	8-20	Min 4	Min 4	Min 4	Min 15	15-25

Sampel A menunjukkan kadar C-organik di bawah 10%, mengindikasikan bahwa waktu satu bulan yang digunakan dalam proses pengomposan telah cukup untuk mengubah limbah nanas menjadi kompos. Berdasarkan hasil akhir, biochar nipah terbukti dapat mempercepat proses humifikasi dalam pengomposan, serta membantu menghasilkan kompos dengan kualitas yang lebih baik. Hal ini dibuktikan melalui hasil analisis akhir yang menunjukkan bahwa kandungan nitrogen (N) dalam sampel B dan C lebih tinggi dibandingkan dengan sampel A. Selain itu, sampel B dan C juga memiliki rasio C/N yang lebih tinggi. Peningkatan rasio C/N ini disebabkan oleh penambahan biochar yang kaya akan karbon, sehingga mampu mendukung pertumbuhan mikroba serta memfasilitasi pelepasan kation logam dari bahan organik yang tidak stabil untuk kemudian bergabung membentuk kompleks organik yang lebih stabil (Cui et al., 2020).

Penambahan biochar membantu pemecahan agregat besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil membentuk koloid humus selama tahap pematangan pengomposan (Guo et al., 2021). Biochar nipah membantu mempertahankan kandungan nitrogen dalam kompos dari proses nitrifikasi dan denitrifikasi selama proses dekomposisi (Abel et al., 2021). Kandungan nitrogen dan fosfor lebih tinggi pada kompos dengan biochar, terutama pada suhu 450°C. Hal ini menunjukkan biochar mendukung retensi nutrisi selama proses pengomposan.

Hasil Karakteristik Biochar Nipah

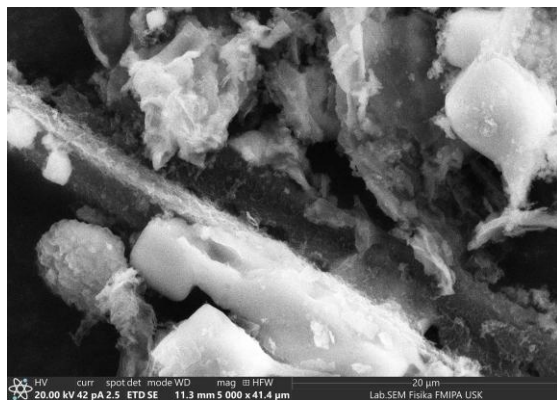
XRD digunakan untuk menentukan komposisi fasa dan struktur kristal material. Puncak XRD diidentifikasi menggunakan software March. Berikut adalah hasil karakteristik biochar nipah yang disintesis pada suhu pirolisis 350°C dan 450°C.



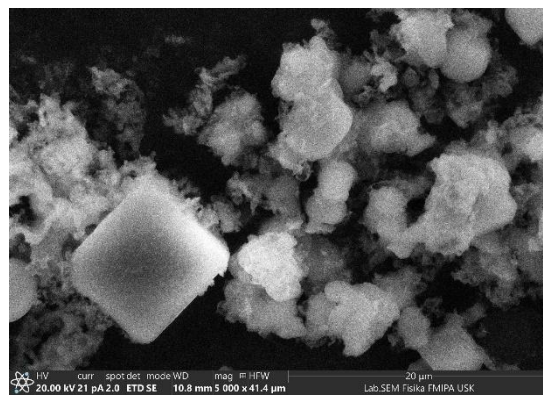
Gambar 2. Hasil XRD biochar nipah pada suhu pirolisis: (A) 350°C dan (B) 450°C

Tabel 6. Komposisi Kimia Biochar Nipah Pada Suhu Pirolisis 350°C dan 450°C

Biochar 350°C			Referensi	Biochar 450°C			Referensi
Nama Mineral	Rumus kimia	2 θ		Nama Mineral	Rumus Kimia	2 θ	
Graphite	C	28,286;	00-027-1402	Graphite	C	28,354;	00-027-1402
Cristobalite	SiO ₂	40,458;	00-046-1045	Gibbsite	Al(OH) ₃	31,698;	00-014-0245
Gibbsite	Al(OH) ₃	31,627;	00-014-0245	Klorit	ClO ₂ ⁻	40,511	00-033-1161
Pyrophyllite	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	50,131;	00-027-1402	Quartz Low	SiO ₂	45,465;	00-046-1045
Barite	BaSO ₄	45,365;	00-032-1510	Gamma Alumina	γ -Al ₂ O ₃	50,179;	00-010-0173
Calcite	CaCO ₃	73,656	00-005-0586				
Fluorite	CaF ₂	58,608;	00-035-0816				



(A)



(B)

Gambar 3. Hasil SEM Biochar suhu (A) 350°C dan (B) 450°C

Hasil XRD menunjukkan biochar mengandung mineral dari karbon, aluminium, kalsium, silika, dan barium (Gambar 2). Karakteristik biochar yang dihasilkan dari pirolisis pada suhu 350°C dan 450°C menunjukkan perbedaan signifikan dalam komposisi mineral dan struktur fisiknya. Hasil XRD biochar pada suhu 350°C mengidentifikasi keberadaan mineral, seperti grafit, kristobalit, gibsit, piropilit, barit, dan kalsit yang muncul masing-masing puncak pada 2 θ 28,286; 40,458; 31,627; 50,131; 45,365; 73,656; 58,608 (Tabel 2). Sementara pada suhu 450°C mineral ditemukan grafit, gibsit, klorit, kuarsa, dan gamma alumina yang muncul masing-masing puncak pada 2 θ 28,354; 31,698; 40,511; 45,465; 50,179 (Tabel 5). Perubahan ini menunjukkan bahwa suhu pirolisis memengaruhi struktur kristal dan kandungan mineral biochar, sehingga berdampak pada efektivitasnya dalam pengomposan (Mau, 2021).

Grafit yang stabil pada kedua suhu berperan penting dalam menciptakan kondisi aerob yang optimal, mendukung aktivitas mikroba, dan meningkatkan efisiensi dekomposisi limbah organik (Jindo et al., 2014).

Selain itu, biochar yang dihasilkan pada suhu pirolisis 450°C memiliki keunggulan dalam mempertahankan nutrisi selama pengomposan. Mineral seperti gamma alumina dan kuarsa meningkatkan kapasitas retensi nutrisi dengan memfasilitasi pertukaran kation dan anion, yang penting untuk stabilisasi nitrogen dan fosfor dalam kompos (Attia and Elsheery, 2020). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan kandungan nitrogen total dan rasio C/N kompos, seperti yang dilaporkan pada penelitian Abel et al., (2021).

Lebih jauh, penggunaan biochar sebagai agen *bulking* dalam pengomposan limbah nanas

berperan dalam stabilisasi pH. Dokumen dasar mencatat bahwa limbah nanas yang kaya asam organik memiliki pH awal yang rendah, namun penambahan biochar nipah membantu mempertahankan pH pada kisaran optimal (6-7), penting untuk keberlanjutan aktivitas mikroorganisme (Siagian et al., 2021). Keberadaan mineral, seperti kalsit dan gipsit pada biochar mendukung sifat ini dengan memberikan efek penyangga selama dekomposisi bahan organik. Morfologi permukaan biochar dapat diamati dari hasil karakterisasi SEM. Berikut adalah hasil SEM biochar pada suhu pirolisis 350°C dan 450°C (Gambar 3).

Hasil SEM biochar pada suhu 350°C menunjukkan permukaan biochar yang tidak homogen dan terjadi agromerasi. Sementara, biochar pada suhu 450°C menunjukkan permukaan biochar yang lebih homogen dan berpori. Kandungan pori yang lebih tinggi pada biochar juga mendukung pengaturan kelembapan dalam kompos, menjaga tingkat yang optimal untuk aktivitas mikroba selama proses humifikasi (Hidayat et al, 2022).

KESIMPULAN

Biochar memengaruhi proses pengomposan limbah kulit nanas. Pengomposan menggunakan biochar yang dibuat pada suhu pirolisis 350 dan 450°C memiliki pH, suhu, kelembapan, warna, dan bau yang lebih stabil jika dibandingkan dengan pengomposan tanpa biochar. Suhu pirolisis memengaruhi komposisi mineral pada biochar. Struktur mineral yang lebih stabil dan kapasitas penyerapan yang lebih baik, biochar ini mampu mempercepat proses dekomposisi dan menjaga stabilitas lingkungan kompos. Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa biochar dapat digunakan sebagai bahan aditif yang efektif dalam pengomposan, dan pengelolaan limbah organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, G., Suntari, R., & Citraesmini, A. (2021). Pengaruh Biochar Sekam Padi Dan Kompos Terhadap C-Organik, N-Total, C/N Tanah, Serapan N, Dan Pertumbuhan Tanaman Jagung Di Ultisol. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 8(2), 451–460.
- Anggraini, D.I., Dinna Fitria (2021). Uji Potensi Sari Buah Nanas (*Ananas comosus* L.) Terhadap Penurunan Kadar Logam Tembaga (Cu) Dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*, Vol.7, No.1, April 2021, Hal: 7-14.
- Attia, T.M.S., Elsheery, N.I. (2020). Nanomaterials: Scope, Applications, and Challenges in Agriculture and Soil Reclamation. In: Hayat, S., Pichtel, J., Faizan, M., Fariduddin, Q. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews* 41. *Sustainable Agriculture Reviews*, vol 41. Springer, Cham.
- Awasthi, M.K., Duan, Y., Awasthi, S.K., Liu, T., Chen, H., Pandey, A., Zhang, Z. dan Taherzadeh, M. J. (2020). Emerging Applications of Biochar: Improving Pig Manure Composting and Attenuation of Heavy Metal Mobility in Mature Compost. *Journal of Hazardous Material.*, 389(1), 116–122.
- Awasthi, M.K., Wang, M., Chen, H., Wang, Q., Zhao, J., Ren, X., Li, D.S., Awasthi, S.K., Shen, F., Li, R. dan Zhang, Z. (2017). Heterogeneity of Biochar Amendment to Improve the Carbon and Nitrogen Sequestration Through Reduce the Greenhouse Gases Emissions During Sewage Sludge Composting. *Bioresource Technology*, 224(1), 428–438.
- Bass, A.M., Bird, M.I., Kay, G. dan Muirhead, B. (2016). Soil Properties, Greenhouse Gas Emissions and Crop Yield Under Compost, Biochar and Co-Composted Biochar in Two Tropical Agronomic Systems. *Science of the Total Environment*, 550(1), 459–470.
- Bonaventura, A., Anna Kusumawati. (2022). Pengaruh Ampas Kopi Sebagai Pupuk Kompos Terhadap Pertumbuhan Tembakau Vorstenlanden. *Journal of Global Sustainable Agriculture*. 2(2): 44-49.
- Cui H., Ou Y., Wang L., Yan B., Li Y., Ding D., 2020, The passivation Effect of Heavy Metals During Biochar-Amended Composting: Emphasise On Bacterial Communities. *Waste Management*, 118, 360-368.
- Dewantari, U., Arifin, & Sulastri, A. (2023). Efektivitas Aktivator Mikroorganisme Lokal Limbah Sayur, Em4, Dan Kotoran

- Sapi Dalam Pembuatan Kompos Dari Limbah Sayur Di Pasar Flamboyan. *Jurnal Reka Lingkungan*, 11(2), 117–129.
- Ernis, G., Mala, D. S., Okta, A., Notriawan, D., & Fadila, M. A. (2023). Nutrition Levels of Liquid Organic Fertilizer from Onion Skin (*Allium cepa*. L) with EM-4 Bioactivator. *Jurnal Sains Natural*, 13(2), 73-80.
- Guo, J., Yang, S., He, Q., Chen, Y., Zheng, F., Zhou, H., Hou, C., Du, B., Jiang, S., Li, H. (2021). Improving Benzo(A)Pyrene Biodegradation In Soil With Wheat Straw-Derived Biochar Amendment: Performance, Microbial Quantity, CO₂ Emission, And Soil Properties. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 156, 105132.
- Hayati, I.N., Wardani, K.D.K.A. dan Putri, D. A. P. A. G. (2022). Pengolahan Limbah Rumah Tangga Menjadi Pupuk Organik di Desa Dauh Puri Kauh. *DINAMISIA*, 6(3), 800–805.
- He, X., Yin, H., Han, L., Cui, R., Fang, C. dan Huang, G. (2019). Effects of Biochar Size and Type on Gaseous Emissions During Pig Manure/Wheat Straw Aerobic Composting: Insights into Multivariate-Microscale Characterization and Microbial Mechanism. *Bioresource Technology*, 271(1), 375–382.
- Hidayat, B. ., Sebayang, N. U. W., Jamilah, & Atria Utami. (2022). Utilization of Biomass in The Form Biochar and Compost on Soil Properties. *Jurnal Online Pertanian Tropik*, 9(3), 182-191.
- Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M. A., & Sonoki, T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 13(3), 166–176.
- Liu, H., Xie, W., Xiong, Y., Li, D., Shao, S., Li, J., Huang, W., Fang, X., Hong, Y., Li, Y., Nie, C., & Cai, P. (2024). Revitalizing Rose Soils with In-situ Vermicomposting: Harnessing Beverage Processing Waste for Enhanced Soil Fertility. *Polish Journal of Environmental Studies*, 33(4), 4633-4645.
- Mau, A. (2021). Efek Temperatur Pembakaran Biochar Kayu Putih (*Eucalyptus alba*) dan Frekuensi Penyiraman Kompos Teh terhadap Pertumbuhan dan Hasil Selada Darat (*Lactuca saiva* L.) Pada Tanah Vertisol. *Savana Cendana*, 6(03), 40-44.
- Miito, G., Komakech, A., Zziwa, A., Kiggundu, N., & Kambugu, R. (2021). Assessment of the suitability of pineapple waste as feedstock for vermicomposting. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 23, 148–159.
- Nurida, N.L., Rachman, A. dan Sutono, S. (2015). *BIOCHAR Pembenh Tanah yang Potensial. Edisi ke-1. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development Press. Jakarta.*
- Safariyanti, S.J., Rahmalia, W. dan Shofiyani, A. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Buah Nipah (*Nypa fruticans*) Menggunakan Aktivator Asam Klorida. *Jurnal Kimia Khatulistiwa.*, 7(2), 41–46.
- Septirosya, T., Putri, R.H. dan Aulawi, T. (2019). Aplikasi Pupuk Organik Cair Lamtoro pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat. *Agroscrip.*, 1(1), 1–8.
- Tamunaidu, P., & Saka, S. (2011). Chemical characterization of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*). *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1423–1428.
- Viareco, H., Bemis, R., Puspitasari, R. D., Pratiwi, N., & Adriansyah, E. (2024). Analisis Pengaruh Molases Dan Lapisan Tanah Sebagai Co-Factor Terhadap Optimasi Pengomposan Limbah Nanas (*Ananas Comosus*). *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 10(1), 45–53.
- Waqas, M., Nizami, A.S., Aburiazaiza, A.S., Barakat, M.A. dan Ismail, I. M. I. (2018). Optimization of Food Waste Compost with the Use of Biochar. *Journal of Environmental Management.*, 216(1), 70–81.
- Zakarya, I.A., Siti, N.B.K., Norhasykin, M.R. (2018). Effect of pH, Temperature And Moisture Content During Composting of Rice Straw Burning at Different Temperature With Food Waste and Effective Microorganisms. *E3S Web of Conferences* 34.