Sintesis dan Karakterisasi Serbuk Bunga Sepatu dan Karbon Aktif Kayu Ulin sebagai Prekursor Katalis Pirolisis Plastik

Guruh sartika[1*], Yano Hurung Anoi[2], Rosmiati[3], Asriwulan[4], Tatang Wiyadi[5], Amir Maulana[6], Ahmad Yani[7*D]

[1,4]Jurusan Teknik Kimia, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang
[2,3,5,6,7]Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang
Jl. Brigjend Katamso No. 40 Belimbing - Kota Bontang, Kaltim, Indonesia
**Corresponding author* : guruhbontang@gmail.com & yanibima@gmail.com

Abstract

Biomass-derived materials offer renewable precursors for catalyst development in plastic waste pyrolysis. This study prepared and characterized hibiscus flower powder and activated Ulin wood carbon as separate precursor materials. Hibiscus petals were sun-dried for 6 h, oven-dried at 55 °C for 1 h, ground, and the fraction passing a 200-mesh sieve was collected. Ulin wood carbon was processed by high-energy milling, sieved through 200 mesh, activated with 1.5 M NaOH for 2 h at room temperature under 200 rpm stirring using a carbon-to-solution ratio of 2.5 g:50 mL, washed to pH 6–7, and dried at 105 °C for 8 h. UV–Vis analysis showed that hibiscus powder contained 676.62 mg EQ/100 g flavonoids, 2305.06 mg GAE/100 g phenols, 369.69 ppm antioxidant activity, and 122.40 ppm anthocyanins. Activated Ulin carbon contained 166.28 mg EQ/100 g flavonoids, 32.04 mg GAE/100 g phenols, 0 ppm antioxidant activity, and 0.54 ppm anthocyanins. FTIR indicated oxygen-containing functional groups, SEM showed distinct surface morphologies, XRD indicated predominantly amorphous structures, and TGA-DTA showed different thermal-degradation profiles. The results identify hibiscus powder as a source of oxygenated organic compounds and activated Ulin carbon as a potential carbonaceous support precursor. Because the materials were characterized separately and were not tested in pyrolysis, their composite interactions and catalytic performance require direct verification.

Keywords: Hibiscus flower; Ulin wood carbon; activated carbon; catalyst precursor; plastic waste pyrolysis

Abstrak

Material berbasis biomassa menawarkan prekursor terbarukan untuk pengembangan katalis pirolisis sampah plastik. Penelitian ini mempreparasi dan mengarakterisasi serbuk bunga sepatu serta karbon aktif kayu ulin sebagai dua bahan prekursor yang diuji secara terpisah. Kelopak bunga sepatu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 6 jam, dilanjutkan pengeringan oven pada 55 °C selama 1 jam, dihaluskan, kemudian diambil fraksi yang lolos ayakan 200 mesh. Karbon kayu ulin diproses menggunakan High Energy Milling, diayak dengan saringan 200 mesh, diaktivasi menggunakan NaOH 1,5 M selama 2 jam pada suhu ruang dengan pengadukan 200 rpm dan rasio karbon terhadap larutan 2,5 g:50 mL, dicuci hingga pH 6–7, lalu dikeringkan pada 105 °C selama 8 jam. Analisis UV–Vis menunjukkan bahwa serbuk bunga sepatu mengandung flavonoid 676,62 mg EQ/100 g, fenol 2305,06 mg GAE/100 g, aktivitas antioksidan 369,69 ppm, dan antosianin 122,40 ppm. Karbon aktif kayu ulin mengandung flavonoid 166,28 mg EQ/100 g, fenol 32,04 mg GAE/100 g, aktivitas antioksidan 0 ppm, dan antosianin 0,54 ppm. FTIR menunjukkan keberadaan gugus fungsi beroksigen, SEM memperlihatkan perbedaan morfologi permukaan, XRD mengindikasikan struktur yang dominan amorf, dan TGA-DTA menunjukkan profil degradasi termal yang berbeda. Hasil ini menempatkan serbuk bunga sepatu sebagai sumber senyawa organik beroksigen dan karbon aktif kayu ulin sebagai prekursor penyangga karbon. Karena kedua bahan dikarakterisasi secara terpisah dan belum diuji pada pirolisis, interaksi material campuran dan kinerja katalitiknya perlu diverifikasi secara langsung.

Kata kunci: Bunga sepatu; karbon kayu ulin; karbon aktif; prekursor katalis; pirolisis sampah plastik

1. Pendahuluan

Akumulasi sampah plastik menjadi salah satu masalah lingkungan yang paling menonjol karena produksi, konsumsi, dan pembuangan plastik berlangsung jauh lebih cepat daripada kemampuan sistem pengelolaan limbah untuk melakukan pemulihan material. Kajian global menunjukkan bahwa plastik yang pernah diproduksi manusia telah menghasilkan timbunan limbah dalam jumlah sangat besar, sedangkan proporsi yang benar-benar

DOI: https://doi.org/10.24127/trb.v15i2.5363
Received 29 June 2026; Received in revised form 7 July 2026; Accepted 14 July 2026
Available online 1 Agustus 2026

didaur ulang masih jauh lebih rendah dibandingkan plastik yang tertimbun, dibakar, atau terlepas ke lingkungan [1]. Kondisi ini mendorong perlunya strategi konversi yang tidak hanya mengurangi beban limbah, tetapi juga menghasilkan produk bernilai tambah.

Pirolisis merupakan salah satu rute konversi termokimia yang banyak dikaji karena mampu menguraikan polimer plastik pada kondisi minim oksigen menjadi fraksi cair, gas, dan padatan karbon. Dibandingkan pembakaran langsung, pirolisis menawarkan peluang pemulihan energi yang lebih terkendali serta potensi produksi bahan bakar cair dan senyawa hidrokarbon bernilai [2,3]. Namun, proses pirolisis termal konvensional masih menghadapi keterbatasan, terutama suhu operasi tinggi, distribusi produk yang luas, dan kebutuhan peningkatan kualitas produk agar mendekati karakteristik bahan bakar atau bahan kimia industri.

Penggunaan katalis pada pirolisis plastik menjadi pendekatan penting untuk meningkatkan selektivitas, mempercepat pemutusan rantai polimer, menurunkan energi aktivasi reaksi, serta mengarahkan pembentukan fraksi hidrokarbon tertentu. Katalis asam seperti zeolit dan katalis berbasis mineral telah terbukti memengaruhi pembentukan aromatik, alifatik, dan fraksi ringan melalui reaksi cracking, isomerisasi, siklisasi, dan aromatisasi [4–8]. Meskipun demikian, pemakaian katalis sintetis tertentu dapat meningkatkan biaya proses dan menambah kebutuhan regenerasi material, sehingga pengembangan katalis murah, tersedia lokal, dan lebih ramah lingkungan menjadi sangat relevan.

Material berbasis biomassa merupakan salah satu kandidat katalis dan penyangga katalis yang menarik karena berasal dari sumber terbarukan, memiliki gugus fungsi permukaan, serta dapat dikonversi menjadi karbon berpori melalui aktivasi fisika maupun kimia [9-11]. Karbon aktif dari biomassa telah banyak digunakan sebagai adsorben dan penyangga katalis karena memiliki kestabilan termal, luas permukaan, dan porositas yang dapat disesuaikan melalui kondisi aktivasi [12–14]. Aktivasi alkali menggunakan NaOH atau KOH dapat memodifikasi struktur karbon melalui pembukaan pori dan pembentukan situs permukaan yang lebih aktif [12].

Bunga sepatu mengandung senyawa fenolik, flavonoid, antosianin, dan komponen antioksidan. Keberadaan struktur aromatik dan gugus fungsi beroksigen pada senyawa tersebut relevan untuk interaksi permukaan dan transformasi kimia selama pemanasan [15–17]. Karbon kayu ulin, setelah penghalusan dan aktivasi kimia, berpotensi menyediakan matriks karbon dengan karakter permukaan yang berbeda dari biomassa bunga. Perbedaan fungsi material ini menjadi dasar untuk membandingkan kedua bahan sebagai prekursor dalam pengembangan katalis berbasis biomassa.

Penelitian terdahulu telah banyak mengevaluasi zeolit dan mineral sebagai katalis pirolisis plastik [4–8], karbon aktif biomassa sebagai adsorben atau penyangga [12–14], serta bunga sepatu dalam ko-pirolisis polietilena tereftalat [15]. Berbeda dari studi tersebut, penelitian ini tidak menguji hasil pirolisis, tetapi memusatkan kajian pada perbandingan awal komposisi kimia, gugus fungsi, morfologi, struktur, dan perilaku termal serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin. Ruang lingkup ini diperlukan untuk menilai kelayakan awal kedua bahan sebelum formulasi komposit dan pengujian aktivitas katalitik dilakukan.

Penelitian ini bertujuan mempreparasi dan mengarakterisasi serbuk bunga sepatu serta karbon aktif kayu ulin sebagai dua prekursor potensial untuk pengembangan katalis pirolisis plastik. Hipotesis penelitian adalah bahwa serbuk bunga sepatu memiliki kandungan senyawa aromatik dan gugus fungsi beroksigen yang lebih tinggi, sedangkan karbon aktif kayu ulin menunjukkan karakter matriks karbon dan ketahanan termal yang lebih sesuai sebagai calon penyangga. Kebaruan penelitian terletak pada perbandingan terintegrasi dua

bahan lokal tersebut melalui analisis UV–Vis, FTIR, SEM, XRD, dan TGA-DTA, bukan pada pembuktian kinerja katalitik material campuran.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

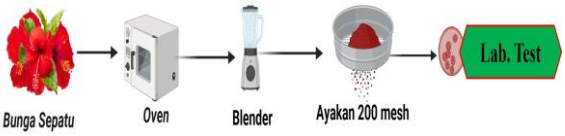
Penelitian ini menggunakan karbon kayu ulin dan bunga kembang sepatu sebagai bahan yang dievaluasi untuk pengembangan prekursor katalis. Karbon kayu ulin diperoleh dari Samarinda, Kalimantan Timur, sedangkan bunga kembang sepatu kering diperoleh dari Mojokerto, Jawa Timur. Bahan pendukung meliputi NaOH sebagai aktivator kimia, akuades untuk pencucian, dan kertas saring Whatman untuk filtrasi.

Karbon kayu ulin dipilih karena material karbon lignoselulosa dapat dikembangkan menjadi penyangga melalui aktivasi permukaan [13,14]. Bunga sepatu dipilih karena mengandung senyawa fenolik, flavonoid, dan antosianin yang menunjukkan keberadaan komponen aromatik serta gugus beroksigen [11]. Dalam penelitian ini, kedua bahan dikarakterisasi secara terpisah; material komposit belum disintesis atau diuji.

2.2 Preparasi Bunga Kembang Sepatu

Preparasi serbuk bunga kembang sepatu diawali dengan pengeringan kelopak bunga di bawah sinar matahari selama 6 jam. Sampel kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 55 °C selama 1 jam untuk menurunkan kadar air sebelum penghalusan.

Bunga kembang sepatu kering dihaluskan menggunakan blender, kemudian diayak menggunakan saringan 200 mesh. Fraksi serbuk yang lolos ayakan digunakan untuk karakterisasi. Pernyataan ini menunjukkan batas proses pengayakan dan tidak menyatakan bahwa seluruh partikel memiliki ukuran yang seragam. Alur preparasi serbuk bunga sepatu ditunjukkan pada Gambar 1.

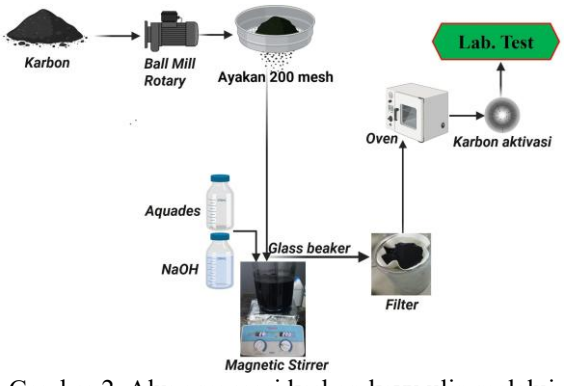


Gambar 1. Alur preparasi serbuk bunga kembang sepatu.

2.3. Preparasi Karbon Kayu Ulin

Preparasi karbon kayu ulin dilakukan melalui High Energy Milling (HEM) dan aktivasi kimia. HEM digunakan untuk memperkecil ukuran partikel. Karbon hasil penggilingan diayak menggunakan saringan 200 mesh, dan fraksi yang lolos ayakan digunakan pada tahap aktivasi. Aktivasi dilakukan menggunakan NaOH 1,5 M pada suhu ruang selama 2 jam dengan pengadukan magnetik 200 rpm dan rasio karbon terhadap larutan 2,5 g:50 mL. Setelah aktivasi, padatan dipisahkan menggunakan kertas saring Whatman, dicuci dengan akuades hingga pH 6–7, dan dikeringkan pada 105 °C selama 8 jam. Alur preparasi karbon kayu ulin ditunjukkan pada Gambar 2.

Aktivasi alkali digunakan karena interaksi basa kuat dengan material karbon dapat memodifikasi kimia permukaan dan meningkatkan akses terhadap struktur pori [12]. Namun, perubahan luas permukaan spesifik dan distribusi pori tidak ditentukan dalam penelitian ini.



Gambar 2. Alur preparasi karbon kayu ulin melalui HEM dan aktivasi NaOH.

2.4. Analisis Spektrofotometri UV-Vis

Analisis spektrofotometri UV–Vis digunakan untuk menentukan kadar fenol, flavonoid, antosianin, dan aktivitas antioksidan pada kedua bahan. Pengukuran

didasarkan pada hubungan absorbansi dan konsentrasi menurut Hukum Lambert–Beer.

Metode spektrofotometri digunakan karena sesuai untuk kuantifikasi senyawa fenolik, flavonoid, dan aktivitas antioksidan pada material tanaman [16,17]. Hasil dinyatakan sebagai mg EQ/100 g untuk flavonoid, mg GAE/100 g untuk fenol, dan ppm untuk aktivitas antioksidan serta antosianin.

2.5 Analisis Gugus Fungsi

Gugus fungsi serbuk bunga kembang sepatu dan karbon aktif kayu ulin dianalisis menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) IRSpirit-T. Spektrum digunakan untuk mengidentifikasi pita serapan yang berkaitan dengan gugus hidroksil, karbonil, struktur aromatik, dan ikatan C–O [18].

Interpretasi FTIR digunakan untuk membandingkan kimia permukaan kedua bahan dan dihubungkan secara hati-hati dengan hasil UV–Vis. Keberadaan suatu gugus fungsi diperlakukan sebagai indikator potensi interaksi permukaan, bukan sebagai bukti langsung aktivitas katalitik.

2.6 Analisis Struktur Permukaan dan Morfologi

Struktur permukaan dan morfologi serbuk bunga kembang sepatu serta karbon aktif kayu ulin diamati menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Pengamatan difokuskan pada perbandingan kualitatif bentuk partikel, tekstur permukaan, dan aglomerasi [19].

Citra direkam pada tampilan overview dan pembesaran 4000×. Karena distribusi ukuran partikel dan analisis luas permukaan tidak tersedia, citra SEM tidak digunakan untuk menyimpulkan ukuran partikel rata-rata, luas permukaan spesifik, atau distribusi pori.

2.7 Analisis Kristalinitas dan Struktur Amorf

Analisis X-ray Diffraction (XRD) dilakukan pada serbuk bunga kembang sepatu dan karbon aktif kayu ulin untuk menilai karakter kristalin dan amorf. Interpretasi didasarkan pada posisi serta bentuk puncak difraksi.

Puncak yang lebar dapat menunjukkan dominasi fase amorf atau keteraturan struktur yang rendah [20]. Perhitungan ukuran kristalit dengan persamaan Debye–Scherrer tidak dilakukan karena nilai FWHM terkalibrasi dan parameter instrumen tidak tersedia dalam data yang dilaporkan.

2.8 Analisis Termal TGA dan DTA

Analisis Termogravimetri (TGA) dan Differential Thermal Analysis (DTA) digunakan untuk membandingkan perilaku termal serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin. TGA menunjukkan perubahan massa terhadap suhu, sedangkan DTA menunjukkan peristiwa termal selama pemanasan.

Karakterisasi termal digunakan untuk mengidentifikasi rentang pelepasan air, degradasi komponen organik, dan perubahan termal utama. Data tersebut memberikan dasar untuk membandingkan ketahanan kedua bahan terhadap pemanasan, tetapi tidak menggantikan pengujian stabilitas selama reaksi pirolisis [21].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Spektrofotometri UV–Vis

Analisis UV–Vis menunjukkan perbedaan komposisi kimia antara serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin. Serbuk bunga sepatu memiliki kandungan fenol, flavonoid, antosianin, dan nilai aktivitas antioksidan yang lebih tinggi daripada karbon aktif kayu ulin.

Kandungan fenol serbuk bunga sepatu mencapai 2305,06 mg GAE/100 g, sedangkan flavonoid mencapai 676,62 mg EQ/100 g. Nilai tersebut menunjukkan dominasi komponen fenolik dan flavonoid yang memiliki struktur aromatik serta gugus hidroksil [11,17].

Tabel 1. Menunjukkan kandungan metabolit sekuder yang terdapat pada serbuk kembang sepatu.

Jenis analisis	Kandungan	Satuan
Flavonoid	676,62	mg EQ/100 g
Fenol	2305,06	mg GAE/100 g
Antioksidan	369,69	ppm
Antosianin	122,40	ppm

Karbon aktif kayu ulin mengandung flavonoid 166,28 mg EQ/100 g, fenol 32,04 mg GAE/100 g, antosianin 0,54 ppm, dan aktivitas antioksidan yang dilaporkan sebesar 0 ppm. Ringkasan hasil karbon aktif kayu ulin disajikan pada Tabel 2. Kandungan yang lebih rendah konsisten dengan hilangnya sebagian komponen organik selama pembentukan karbon dan aktivasi.

Perbedaan komposisi menunjukkan fungsi potensial yang berbeda: bunga sepatu merupakan sumber senyawa organik beroksigen, sedangkan karbon aktif kayu ulin menyediakan matriks karbon. Namun, data UV–Vis tidak membuktikan bahwa kedua bahan memiliki aktivitas katalitik atau menghasilkan efek sinergis ketika dicampurkan.

Tabel 2. Komposisi kimia karbon aktif kayu ulin.

Jenis analisis	Kandungan
Flavonoid	166,28 mg EQ/100 g
Fenol	32,04 mg GAE/100 g
Antioksidan	0 ppm
Antosianin	0,54 ppm

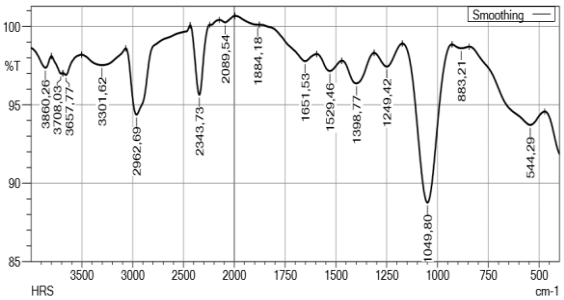
3.2. Analisis Gugus Fungsi

Spektrum FTIR serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin masing-masing ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Pada serbuk bunga sepatu, pita yang tampak pada sekitar 3301,62; 2962,69; 1651,53; 1529,46; 1398,77; 1249,42; dan 1049,80 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus hidroksil, C–H alifatik, ikatan karbonil atau C=C aromatik, serta ikatan C–O yang lazim ditemukan pada material biomassa [18].

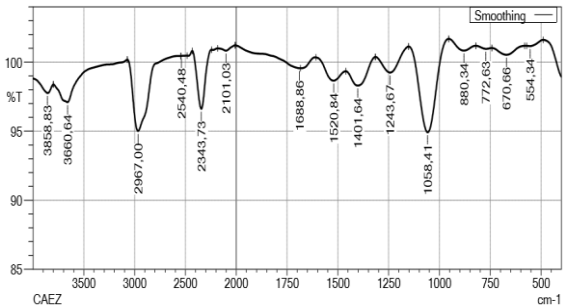
Karbon aktif kayu ulin menunjukkan pita pada sekitar 2967,00; 1688,86; 1520,84; 1401,64; 1243,67; dan 1058,41 cm^{-1}. Pita tersebut menunjukkan bahwa permukaan karbon masih mempertahankan sejumlah gugus beroksigen dan struktur aromatik setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Perbedaan posisi serta bentuk pita mencerminkan perbedaan komposisi kimia kedua bahan, tetapi tidak dapat digunakan sendiri untuk menentukan jumlah situs aktif.

Keberadaan pita hidroksil, karbonil/aromatik, dan C–O pada bunga sepatu sejalan dengan tingginya kandungan fenol dan flavonoid pada analisis UV–Vis. Gugus beroksigen dapat meningkatkan polaritas permukaan dan memengaruhi interaksi awal dengan senyawa yang teradsorpsi [18]. Pada suhu pirolisis, gugus tersebut dapat mengalami dehidrasi, dekarboksilasi, atau pemutusan ikatan sehingga sifat permukaan awal tidak selalu bertahan.

Karbon aktif kayu ulin memiliki kandungan metabolit yang lebih rendah, tetapi spektrum FTIR menunjukkan bahwa permukaannya tidak sepenuhnya inert. Pada katalis berbasis karbon, gugus permukaan dan domain aromatik dapat memengaruhi adsorpsi uap hidrokarbon dan pembentukan intermediat [4,8]. Hubungan tersebut masih berupa dasar teoritis karena penelitian ini belum mengukur keasaman permukaan, laju reaksi, konversi, atau selektivitas produk.



Gambar 3. Spektrum FTIR serbuk bunga sepatu.



Gambar 4. Spektrum FTIR karbon aktif kayu ulin.

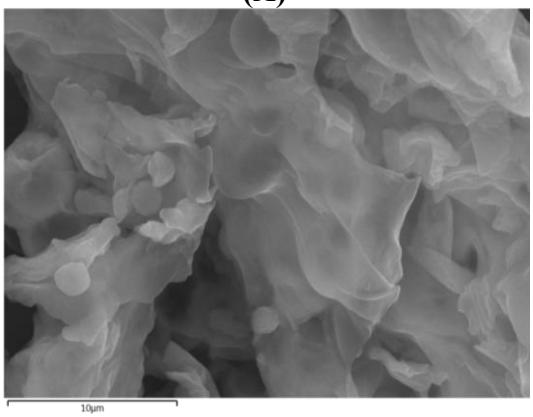
3.3. Analisis Struktur Permukaan dan Morfologi

Citra SEM serbuk bunga sepatu pada tampilan overview dan pembesaran 4000× ditampilkan pada Gambar 5, sedangkan citra karbon aktif kayu ulin ditampilkan pada Gambar 6. Serbuk bunga sepatu menunjukkan partikel tidak beraturan dengan permukaan berlipat dan kasar yang masih mencerminkan struktur jaringan tanaman. Karbon aktif kayu ulin menunjukkan fragmen yang lebih kompak dan bersudut dengan tekstur permukaan yang berbeda.

Perbedaan morfologi memengaruhi cara permukaan padat berkontak dengan fase uap. Permukaan yang kasar dan celah antarpartikel dapat menambah area kontak eksternal, tetapi citra SEM dua dimensi tidak cukup untuk menetapkan luas permukaan spesifik atau distribusi pori [19].

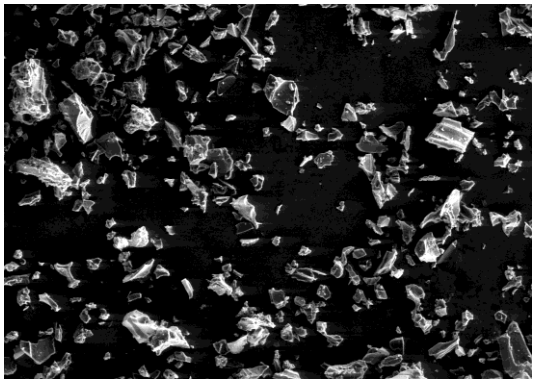


(A)

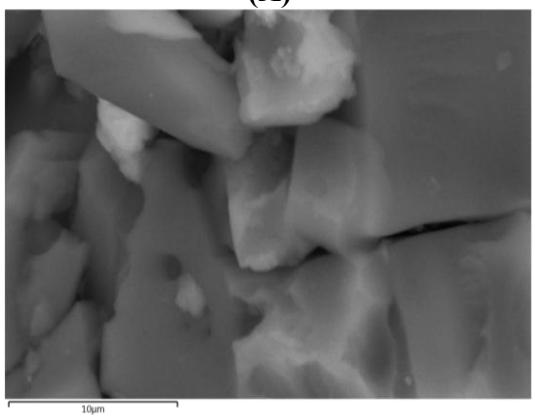


(B)

Gambar 5. Hasil uji SEM serbuk bunga sepatu (A: SEM overview; B: SEM 4000×).



(A)



(B)

Gambar 6. Hasil uji SEM karbon aktif kayu ulin (**A**: SEM overview; **B**: SEM 4000×).

Perubahan morfologi karbon aktif dapat dikaitkan dengan penggilingan HEM dan aktivasi NaOH. HEM memperkecil partikel dan meningkatkan area eksternal, sedangkan aktivasi alkali dapat memodifikasi struktur karbon [12]. Walaupun citra menunjukkan permukaan yang tidak seragam, klaim peningkatan porositas memerlukan analisis adsorpsi gas atau metode porosimetri.

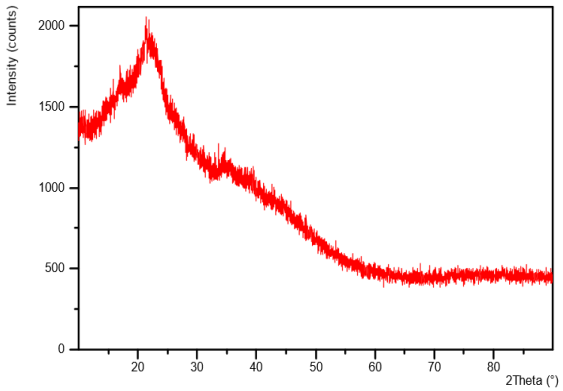
Secara kualitatif, karbon aktif kayu ulin lebih sesuai dipertimbangkan sebagai prekursor penyangga karbon, sedangkan bunga sepatu menyediakan komponen organik dengan morfologi biomassa. Karena material campuran tidak ditampilkan, SEM dalam penelitian ini belum dapat membuktikan penyebaran bunga sepatu pada karbon atau pembentukan morfologi komposit.

3.4. Analisis Struktur Kristalin dan Amorf

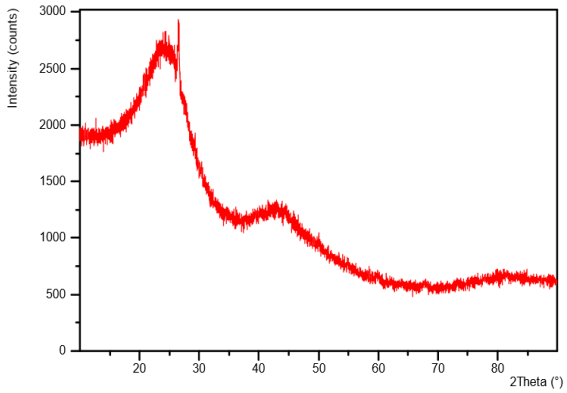
Difraktogram XRD serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin masing-masing disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Serbuk bunga sepatu menunjukkan puncak lebar dengan maksimum utama sekitar 22–25° (2θ), sedangkan karbon aktif kayu ulin menunjukkan maksimum lebar pada rentang yang sama dan bahu tambahan sekitar 40–45° (2θ).

Bentuk puncak yang lebar menunjukkan bahwa kedua bahan didominasi struktur amorf atau keteraturan jarak pendek. Pada material karbon, domain amorf dan cacat struktural dapat menyediakan lokasi interaksi permukaan, tetapi keberadaannya tidak secara otomatis menunjukkan aktivitas katalitik [20]. Fase mineral spesifik juga tidak dapat ditetapkan tanpa pencocokan basis data difraksi.



Gambar 7. Difraktogram XRD serbuk bunga sepatu.



Gambar 8. Difraktogram XRD karbon aktif kayu ulin.

Ukuran kristalit tidak dihitung karena data FWHM terkalibrasi, panjang gelombang sumber, dan koreksi pelebaran instrumen tidak tersedia. Oleh karena itu, interpretasi XRD dibatasi pada bentuk dan posisi relatif puncak, sehingga tidak dibuat klaim kuantitatif mengenai derajat kristalinitas atau ukuran kristalit.

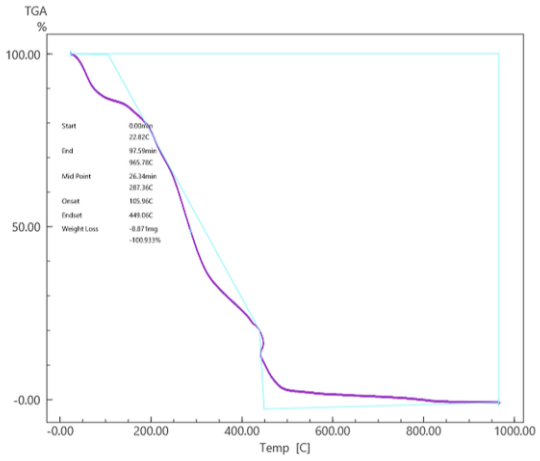
Secara keseluruhan, XRD menunjukkan bahwa serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin sama-sama memiliki kontribusi amorf, tetapi pola keduanya tidak identik. Perbedaan tersebut mendukung penggunaan keduanya sebagai bahan dengan karakter struktur berbeda; interaksi struktur setelah pencampuran masih harus diuji pada material komposit.

3.5. Analisis TGA dan DTA

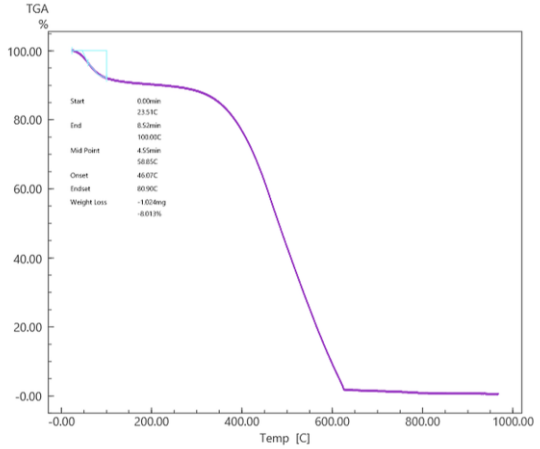
Profil TGA serbuk bunga sepatu ditampilkan pada Gambar 9. Kurva menunjukkan awal tahap degradasi utama sekitar 105,96 °C, titik tengah 287,36 °C, dan akhir tahap utama sekitar 449,06 °C. Massa kemudian mendekati nilai minimum pada sekitar 500 °C, yang menunjukkan bahwa komponen organik bunga sepatu terdegradasi secara luas selama pemanasan.

Profil TGA karbon aktif kayu ulin ditampilkan pada Gambar 10. Pada tahap awal, kehilangan massa dilaporkan sekitar 8,013% dengan onset 46,07 °C dan endset 80,90 °C, yang dapat dikaitkan dengan pelepasan air atau komponen ringan. Setelah itu, massa relatif bertahan hingga sekitar 300 °C sebelum penurunan utama berlangsung pada kisaran sekitar 300–650 °C. Dibandingkan serbuk bunga sepatu, karbon aktif kayu ulin mempertahankan massa ke rentang suhu yang lebih tinggi sebelum degradasi utama.

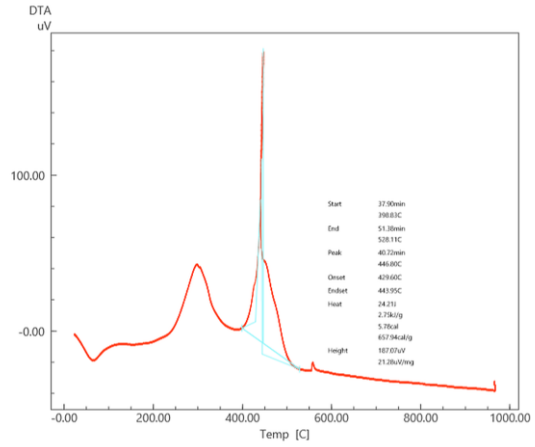
Profil DTA serbuk bunga sepatu dan karbon aktif kayu ulin masing-masing disajikan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Kedua kurva menunjukkan peristiwa termal utama pada kisaran sekitar 450 °C, dengan suhu puncak yang dilaporkan sebesar 446,80 °C untuk serbuk bunga sepatu dan 449,55 °C untuk karbon aktif kayu ulin.



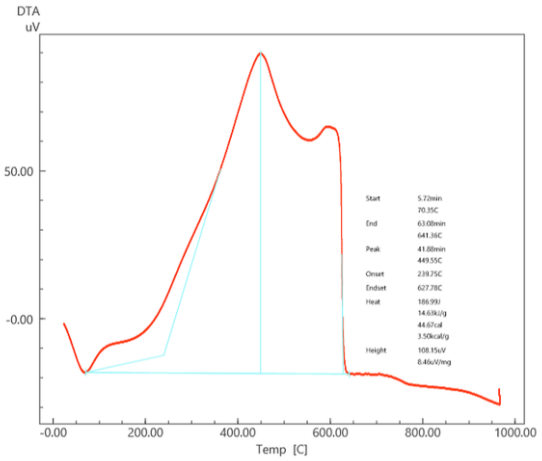
Gambar 9. Hasil uji TGA serbuk bunga sepatu.



Gambar 10. Hasil uji TGA karbon aktif kayu ulin.



Gambar 11. Hasil uji DTA serbuk bunga sepatu.



Gambar 12. Hasil uji DTA karbon aktif kayu ulin.

Pada serbuk bunga sepatu, kurva DTA juga menunjukkan peristiwa termal yang lebih lebar sebelum puncak utama, sejalan dengan keberadaan beragam komponen biomassa. Karbon aktif kayu ulin memperlihatkan peristiwa termal yang lebih lebar dari sekitar 239,75 hingga 627,78 °C pada anotasi kurva, yang menunjukkan transformasi termal bertahap pada matriks karbon.

Hasil TGA-DTA menunjukkan bahwa kedua bahan mengalami transformasi signifikan pada rentang suhu yang relevan dengan proses termokimia. Ketahanan relatif karbon aktif kayu ulin sebelum degradasi utama mendukung pertimbangannya sebagai prekursor penyangga, sedangkan bunga sepatu lebih mudah mengalami transformasi menjadi produk volatil dan residu karbon. Data ini belum membuktikan stabilitas katalis selama siklus pirolisis; pengujian berulang dan analisis residu setelah reaksi tetap diperlukan [21].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mempreparasi dan mengarakterisasi serbuk bunga sepatu serta karbon aktif kayu ulin sebagai dua bahan prekursor potensial untuk pengembangan katalis pirolisis plastik. Serbuk bunga sepatu memiliki kandungan fenol, flavonoid, antosianin, dan nilai aktivitas antioksidan yang lebih tinggi,

sedangkan karbon aktif kayu ulin menunjukkan kandungan senyawa organik yang lebih rendah serta matriks karbon dengan profil degradasi utama pada rentang suhu yang lebih tinggi. FTIR menunjukkan gugus beroksigen pada kedua bahan, SEM memperlihatkan morfologi permukaan yang berbeda, dan XRD mengindikasikan kontribusi struktur amorf.

Karbon kayu ulin dipreparasi melalui HEM, pengayakan 200 mesh, aktivasi NaOH 1,5 M selama 2 jam, pencucian hingga pH 6–7, dan pengeringan pada 105 °C selama 8 jam. Hasil penelitian mendukung penempatan bunga sepatu sebagai sumber senyawa organik beroksigen dan karbon aktif kayu ulin sebagai prekursor penyangga karbon. Namun, karena material campuran dan proses pirolisis belum diuji, penelitian ini belum membuktikan sinergi maupun aktivitas katalitik. Penelitian lanjutan perlu menetapkan rasio campuran, mengarakterisasi komposit, mengukur luas permukaan dan keasaman, serta menguji konversi dan distribusi produk pirolisis secara langsung.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dukungan dana hibah BIMA yang diberikan melalui skema Hibah Penelitian Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2026 dengan Nomor Kontrak Induk Penelitian: 290 / C3 / DT.05.00 / PL-BARU / 2026 Tanggal 30 Januari 2026. Bantuan ini sangat berharga bagi kelancaran pelaksanaan kegiatan penelitian dan pengembangan luaran yang dihasilkan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada laboratorium-laboratorium berikut atas dukungannya dalam penyelesaian proyek ini: (1) Laboratorium Terpadu Universitas Islam Malang, (2) Laboratorium Motor Bakar, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, (3) Laboratorium Terpadu, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, dan (4) Laboratorium Penelitian Terpadu Universitas Brawijaya (LRT-UB).

Referensi

[1] Geyer, R., Jambeck, J. R., dan Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7), e1700782. DOI: https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

[2] Al-Salem, S. M., Lettieri, P., dan Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. Waste Management, 29(10), 2625–2643. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004

[3] Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., dan Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. Energy Conversion and Management, 115, 308–326. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037

[4] Miandad, R., Rehan, M., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Khan, H., Ismail, I. M. I., Dhavamani, J., Gardy, J., Hassanpour, A., dan Nizami, A. S. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving toward pyrolysis based biorefineries. Frontiers in Energy Research, 7, 27. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00027

[5] López, A., de Marco, I., Caballero, B. M., Laresgoiti, M. F., dan Adrados, A. (2011). Catalytic pyrolysis of plastic wastes with two different types of catalysts: ZSM-5 zeolite and Red Mud. Applied Catalysis B: Environmental, 104(3–4), 211–219. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.03.030

[6] Aguado, J., Serrano, D. P., dan Escola, J. M. (2008). Fuels from waste plastics by thermal and catalytic processes: A review. Industrial & Engineering Chemistry Research, 47(21), 7982–

7992. DOI: https://doi.org/10.1021/ie800393w

[7] Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Alimuddin, Z., dan Yoshikawa, K. (2014). Fuel oil production from municipal plastic wastes in sequential pyrolysis and catalytic reforming reactors. Energy Procedia, 47, 180–188. DOI: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.212

[8] Serrano, D. P., Aguado, J., dan Escola, J. M. (2012). Developing advanced catalysts for the conversion of polyolefinic waste plastics into fuels and chemicals. ACS Catalysis, 2(9), 1924–1941. DOI: https://doi.org/10.1021/cs3003403

[9] Rahimi, A. R., dan García, J. M. (2017). Chemical recycling of waste plastics for new materials production. Nature Reviews Chemistry, 1, 0046. DOI: https://doi.org/10.1038/s41570-017-0046

[10] Coates, G. W., dan Getzler, Y. D. Y. L. (2020). Chemical recycling to monomer for an ideal, circular polymer economy. Nature Reviews Materials, 5, 501–516. DOI: https://doi.org/10.1038/s41578-020-0190-4

[11] Da-Costa-Rocha, I., Bonnlaender, B., Sievers, H., Pischel, I., dan Heinrich, M. (2014). Hibiscus sabdariffa L.-A phytochemical and pharmacological review. Food Chemistry, 165, 424–443. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.002

[12] Lillo-Ródenas, M. A., Cazorla-Amorós, D., dan Linares-Solano, A. (2003). Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH: An insight into the chemical activation mechanism. Carbon, 41(2), 267–275. DOI: https://doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00279-8

[13] Yahya, M. A., Al-Qodah, Z., dan Ngah, C. W. Z. (2015). Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 46, 218–235. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.051

[14] Ioannidou, O., dan Zabaniotou, A. (2007). Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(9), 1966–2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013

[15] Yani, A., Wijayanti, W., Nur, M., Wahyudi, S., Suwandono, P., dan Musyaroh, M. (2025). Synergistic co-pyrolysis of polyethylene terephthalate and Hibiscus rosa-sinensis: Catalytic mechanisms for optimizing pyrolysis yields. South African Journal of Chemical Engineering, 53, 281–302. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sajce.2025.05.008

[16] Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., dan Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25–30. DOI: https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

[17] Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. Journal of Separation Science, 30(18), 3268–3295. DOI: https://doi.org/10.1002/jssc.200700261

[18] Coates, J. (2000). Interpretation of infrared spectra, a practical approach. Dalam R. A. Meyers (Ed.), Encyclopedia of Analytical Chemistry. DOI: https://doi.org/10.1002/9780470027318.a5606

[19] Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., dan Joy, D. C. (2018). Scanning

Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6676-9

[20] Langford, J. I., dan Wilson, A. J. C. (1978). Scherrer after sixty years: A survey and some new results in the determination of crystallite size. Journal of Applied Crystallography, 11(2), 102–113. DOI: https://doi.org/10.1107/S0021889878012844

[21] Vyazovkin, S., Burnham, A. K., Criado, J. M., Pérez-Maqueda, L. A., Popescu, C., dan Sbirrazzuoli, N. (2011). ICTAC Kinetics Committee recommendations for performing kinetic computations on thermal analysis data. Thermochimica Acta, 520(1–2), 1–19. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tca.2011.03.034