

This file has been cleaned of potential threats.

If you confirm that the file is coming from a trusted source, you can send the following SHA-256 hash value to your admin for the original file.

9fe39589022e1f3fd1b6b575841158e1d3df17194c3adb2d97aeb7f9e0c4b314

To view the reconstructed contents, please SCROLL DOWN to next page.

# PENGARUH ZAT EKSTRAKTIF KAYU GAMAL (*Gliricidia sepium* Jacq.) TERHADAP NILAI KALOR (*The Effect of Extractives from Gamal Wood (Gliricidia sepium Jacq.) on The Calorific Value*)

Rahmi Mauladdini, Wasrin Syafii, & Deded Sarip Nawawi

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB, Bogor 16680

E-mail: wasrinsy@apps.ipb.ac.id

Diterima 25 Maret 2022, direvisi 12 Mei 2022, disetujui 22 Juli 2022

## ABSTRACT

*The development of gamal wood (Gliricidia sepium Jacq.) aims to meet the needs of biomass energy in rural areas. Many studies on extractives of gamal wood have been carried out, but there is very little information about the effect of extractives on the calorific value. The effect of extractives on the calorific value can be determined by analyzing extractives compounds contained in the wood. This study aimed to determine the extractives compounds that affect the wood calorific value. The sawdust of gamal bark and wood was extracted by successively maceration by using solvents with different polarities. The free-extractives sawdust was then measured for its calorific value. To ascertain the effect of extractives on the calorific value, the extract of the gamal bark and wood was added to the oil palm sawdust, then the increase in calorific value was measured. The results showed that the extractives in gamal bark and wood affect the change of calorific value. The removal of extractives by using different solvents caused a different decrease in calorific value. The highest decrease in calorific value (4.03%) was obtained by non-polar (n-hexane) soluble extractive of the gamal bark. The addition of gamal wood extracts to oil palm sawdust also causes an increase in the calorific value. Phytochemical and LC-MS/MS analysis of n-hexane soluble extractives from gamal bark detected groups of terpene compounds, amides alkaloids, flavonoids, coumarins, and benzopyrans. Based on the results of this study, the n-hexane soluble compounds was suspected to have the most influence on the calorific value.*

*Keywords: Calorific value, different polarities, Gliricidia sepium Jacq., maceration, n-hexane soluble compounds*

## ABSTRAK

Pengembangan jenis kayu gamal (*Gliricidia sepium* Jacq.) bertujuan untuk memenuhi kebutuhan kayu energi di pedesaan. Penelitian mengenai zat ekstraktif pada tanaman gamal sudah banyak dilakukan, namun informasi mengenai pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor masih sangat sedikit. Pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor dapat diketahui dengan cara menganalisis senyawa ekstraktif yang terdapat pada kayu tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa ekstraktif yang berpengaruh terhadap perubahan nilai kalor kayu. Serbuk kulit dan kayu gamal diekstraksi dengan cara maserasi bertingkat menggunakan pelarut yang memiliki kepolaran berbeda. Serbuk yang telah bebas ekstraktif kemudian diukur nilai kalornya. Untuk memastikan pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor, ekstrak kulit dan kayu gamal tersebut ditambahkan ke serbuk batang sawit, lalu diukur kenaikan nilai kalornya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa zat ekstraktif pada kulit dan kayu gamal berpengaruh terhadap perubahan nilai kalor, dan, penghilangan zat ekstraktif dengan menggunakan pelarut yang berbeda menyebabkan penurunan nilai kalor yang berbeda. Penurunan nilai kalor paling tinggi (4,03%) dihasilkan dari zat ekstraktif kulit gamal yang terlarut pelarut non-polar (n-heksana). Penambahan ekstraktif kayu gamal ke serbuk batang sawit juga menyebabkan peningkatan nilai kalor. Analisis fitokimia dan LC-MS/MS terhadap ekstraktif terlarut n-heksana dari kulit kayu gamal mendeteksi adanya kelompok senyawa terpena, amida, alkaloid, flavonoid, coumarin, dan benzopyrans. Berdasarkan hasil penelitian ini, senyawa terlarut n-heksana diduga paling berpengaruh terhadap nilai kalor.

Kata kunci: *Gliricidia sepium* Jacq., maserasi, nilai kalor, polaritas berbeda, senyawa terlarut n-heksana

## I. PENDAHULUAN

*Gliricidia sepium* (Jacq.) adalah jenis tanaman cepat tumbuh yang berasal dari Amerika Tengah. Tanaman ini dikenal sebagai tanaman serbaguna yang telah banyak dibudidayakan. Jenis kayu gamal dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi

biomassa di pedesaan (Atapattu et al., 2017). Sejauh ini, jenis tanaman gamal banyak diteliti pemanfaatan bagian daunnya antara lain dalam bidang farmasi dan pengawet alami (Welfle et al., 2020; Jasmine et al., 2017). Dari penelitian tersebut diketahui bahwa daun tanaman gamal mengandung senyawa alkaloid,

steroid, fenolik, tanin, terpenoid, phenol, flavonoid, quinon, dan saponin yang memiliki aktivitas antioksidan dan memiliki sifat toksisitas terhadap insektisida (Nukmal et al., 2019; Oduola et al., 2018). Adejoro & Lajide (2019) menjelaskan bahwa kayu gamal mengandung senyawa tanin, aformosin, medikarpin, couumeric, dan quercetin yang bersifat anti-rayap. Pemanfaatan kayu gamal diharapkan dapat dioptimalkan sebagai sumber bahan bakar baik dalam skala lokal maupun nasional (Narendra et al., 2020; Atapattu et al., 2017). Kayu gamal mulai dikembangkan oleh perusahaan kehutanan Indonesia untuk menjadi sumber bahan baku biomassa energi. Upaya pengembangan kayu gamal pada daerah tropis sebagai sumber energi biomassa perlu dilakukan mengingat potensinya yang sangat besar (Borchard et al., 2018).

Kayu gamal merupakan salah satu kayu cepat tumbuh yang memiliki nilai kalor yang besar yakni 4.548–4.900 k.kal/kg dan dengan produksi biomassa sekitar 15 m<sup>3</sup>/tahun (Mulyana et al., 2021; Seethalashmi, 2016; Ahmad, 2014). Karakteristik tersebut yang menyebabkan kayu gamal sangat cocok digunakan sebagai sumber energi biomassa. Oyelere & Oluwadare (2019) mengkaji potensi kayu gamal sebagai sumber energi berdasarkan sifat kimianya. Pada penelitian sebelumnya, kualitas kayu energi ditentukan dari komposisi polisakarida dan lignin yang keragamannya hampir sama pada setiap jenis. Sedangkan, zat ekstraktif pada kayu energi masih kurang diperhatikan yang disebabkan oleh persentase kadar zat ekstraktif rendah dengan keragaman tinggi. Akan tetapi, proses penghilangan zat ekstraktif tersebut bisa berpengaruh terhadap nilai kalor. Kumar et al. (2020) melaporkan bahwa kayu yang telah dihilangkan zat ekstraktifnya nilai kalornya mengalami penurunan. Penelitian mengenai pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor jarang dilakukan, oleh karena itu diperlukan penelitian sejenis terhadap jenis-jenis kayu energi di Indonesia, salah satunya adalah penelitian pengaruh zat ekstraktif kayu gamal terhadap nilai kalor.

Nilai kalor kayu dipengaruhi salah satunya oleh kandungan zat ekstraktif yang terdapat dalam kayu tersebut. Untuk mengetahui pengaruh ekstraktif tersebut maka perlu dilakukan proses ekstraksi menggunakan pelarut tertentu. Kelarutan zat ekstraktif disebabkan oleh perbedaan sifat polaritas karena keragaman senyawa penyusun zat ekstraktif yang tinggi (Domingos et al., 2020). Penelitian Rossi et al. (2013) memfokuskan peran zat ekstraktif terhadap nilai kalor, beberapa jenis kayu dievaluasi dan dihasilkan perbedaan kontribusi zat ekstraktif terhadap nilai kalor berdasarkan kelarutan zat

ekstraktif oleh pelarut tertentu. Hasil tersebut disebabkan perbedaan sifat kepolaran senyawa zat ekstraktif. Zat ekstraktif kayu tersusun dari senyawa polar hingga non-polar yang serta komponen yang bersifat *volatile* (mudah menguap) dan *non-volatile* (tidak mudah menguap) (Abdullah et al., 2021). Penelitian Mauladdini et al. (2022) hanya mengevaluasi pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor melalui proses ekstraksi menggunakan pelarut etanol-benzena (1:2), kemudian hasil zat ekstraktif tersebut dicampurkan ke dalam biomassa nilai kalor rendah untuk mengkonfirmasi pengaruh zat ekstraktif terhadap peningkatan nilai kalor. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan mengidentifikasi golongan senyawa zat ekstraktif berdasarkan kelarutannya menggunakan tiga jenis pelarut dalam kayu gamal yang diduga berpengaruh terhadap nilai kalor.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang dan kulit kayu gamal yang berasal dari Jawa Barat. Pelarut yang digunakan antara lain n-heksana, etil asetat, etanol, akuades, magnesium, HCl, HgCl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, alcohol, FeCl<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COOH, dietil eter, khloroform, asetat anhidrat, methanol, serbuk mg, amil alcohol, dan pereaksi Dragendorff, Meyer, dan Wagner. Alat yang digunakan diantaranya adalah golok, *willemill*, kertas koran, terpal, peralatan gelas (toples, gelas kimia, Erlenmeyer, batang pengaduk), penguap putar, kertas saring, sudip, pipet ukur, pipet tetes, oven, tanur, lemari pendingin, *waterbath*, *bomb calorimeter Parr 6400*, dan Instrumen LC-MS/MS dengan spesifikasi *LC system: Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC)*, *LC Column: UPLC Column High Strength Silica*, dan *Mass Spectrometer: Xevo G2-S Quadrupole time-of-flight (QTOF) mass spectrometry*.

### B. Metode Penelitian

Sampel gamal bagian kayu dan kulit dikeringudarkan sampai mencapai kadar air sekitar 15%, lalu dibuat serbuk dengan ukuran 40–60 mesh. Serbuk yang telah diketahui kadar airnya diekstraksi dengan metoda maserasi bertingkat menggunakan pelarut dengan kepolaran berbeda yaitu n-heksana, etil asetat, dan etanol. Proses ekstraksi dilakukan sampai semua ekstrak keluar dari sampel yang ditandai dengan pelarut yang sudah tidak berwarna lagi. Ekstrak hasil maserasi dipekatkan menggunakan penguap putar (*rotary evaporator*) pada suhu  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ . Ekstrak terbaik ditentukan berdasarkan pengaruhnya terhadap perubahan nilai kalor. Ekstrak terpilih disimpan dalam botol vial untuk pengujian analisis

fitokimia dan analisis senyawa LC-MS/MS. Analisis fitokimia kualitatif dilakukan untuk mengetahui golongan senyawa zat ekstraktif pada sampel. Pengujian analisis fitokimia meliputi uji alkaloid, fenolhidrokuinon, flavonoid, steroid, triterpenoid, tannin, dan saponin. Komponen alkaloid ditentukan melalui pencampuran 0,3 mL fraksi ekstrak, 1,5 mL kloroform, dan 3 tetes amonia. Fraksi kloroform yang dicampurkan dengan 2 tetes asam sulfat untuk direaksikan dengan 3 jenis pereaksi. Adanya endapan merah hingga jingga untuk pereaksi Dragendrof, endapan putih kekuningan untuk Mayer, dan endapan coklat untuk Wagner menunjukkan hasil positif alkaloid.

Fenolhidrokuinon positif dalam bahan jika terbentuk warna hijau atau hijau kebiruan. Hasil ini ditentukan melalui pencampuran 1 mL fraksi ekstrak dan 2 tetes  $\text{FeCl}_3$  5%. Flavonoid ditunjukkan dengan terbentuknya warna merah melalui pemanasan campuran 0,3 mL fraksi ekstrak dan 1,5 mL metanol pada suhu  $50^\circ\text{C}$  selama lima menit, kemudian direaksikan dengan asam sulfat pekat (1:1). Komponen steroid dan triterpenoid ditentukan oleh pelarutan fraksi ekstrak dalam etanol 30% yang dipanaskan. Penambahan 1 mL eter pada filtrat tersisa, selanjutnya fraksi eter sebanyak 5 tetes diuji dengan 3 tetes asetat anhidrat dan 1 tetes asam sulfat pekat. Steroid positif dihasilkan dari terbentuknya warna hijau dan triterpenoid ditandai warna merah atau ungu. Komponen tanin positif ditandai dengan perubahan warna menjadi biru tua atau hijau kehitaman melalui pencampuran 3 tetes fraksi ekstrak dan 3 tetes  $\text{FeCl}_3$  1%. Komponen saponin ditentukan melalui pemanasan dan pengenceran sampel (1:10) selama lima menit. Saponin positif ditandai dengan buih yang stabil selama 10 menit setelah proses pengocokan selama 10 detik.

Analisis LC-MS/MS dilakukan untuk menganalisis senyawa kimia dalam sampel ekstrak yang berpengaruh terhadap nilai kalor. Analisis LC-MS dilakukan menggunakan UPLC-MS yang dilengkapi pompa biner. LC terhubung ke spektrometer massa QTOF yang digabungkan ke ESI. Jenis MS yang digunakan adalah Xevo G2-S QTOF dengan mode ionisasi positif. Parameter ESI yang digunakan adalah temperatur desolvasi  $350^\circ\text{C}$ , gas desolvasi 793 L/jam, dan energi tumbukan 4 V dan 25–50 V. Rentang analisis massa dari 50–1200m/z dilakukan dengan suhu sumber  $100^\circ\text{C}$ . Kolom UPLC yang digunakan adalah *Acquity* UPLC HSS C18  $1,8\ \mu\text{m}$ ,  $2,1 \times 100\ \text{mm}$  HSS. Pelarut A adalah format amonium 5 mM; pelarut B adalah 0,5% asam format dalam asetonitril. Ekstrak diencerkan menggunakan pelarut metanol dan disaring

menggunakan 0,2  $\mu\text{L}$ . Sampel sebanyak lima  $\mu\text{L}$  filtrat dimasukkan ke dalam sistem LC-ESI-QTOF. Pelarut ditetapkan pada laju alir total 0,2 mL/menit berjalan selama 23 menit. Hasil diidentifikasi dengan menggunakan *database* referensi *National Institute of Standards and Technology* (NIST) untuk ditentukan jenis senyawanya.

Pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor dikonfirmasi melalui penambahan total ekstraktif kayu gamal ke dalam biomassa berkalor rendah. Proses ekstraksi menggunakan pelarut etanol-benzena (1:2) dilakukan untuk memisahkan seluruh zat ekstraktif dalam sampel gamal. Pencampuran zat ekstraktif gamal ke dalam biomassa nilai kalor rendah (konsentrasi 5% dalam persen berat/berat) dilakukan dengan proses perendaman. Sampel biomassa yang telah tercampur dengan zat ekstraktif gamal selanjutnya dikeringudarkan. Hasil peningkatan nilai kalor pada biomassa yang telah tercampur dengan zat ekstraktif gamal dievaluasi melalui analisis proksimat (Mauladdini et al., 2022). Pengujian analisis proksimat penelitian ini dilakukan terhadap sampel bebas ekstraktif dari masing-masing pelarut. Karakteristik yang diuji pada analisis proksimat adalah kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan kadar karbon terikat sesuai standar ASTM sebagai berikut.

Pengujian kadar air mengacu pada standar ASTM E871–82 (ASTM, 2019). Kadar air (KA) diukur dengan metode kering oven, dilakukan pengeringan oven suhu  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  pada sampel awal (Ba) sebanyak 2 g selama 24 jam kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat akhir (BKT). Persentase kadar air sampel dihitung menggunakan Persamaan 1:

$$\text{KA}(\%) = \frac{\text{Ba}-\text{BKT}}{\text{BKT}} 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Pengujian kadar abu sesuai standar ASTM D1102–84 (ASTM, 2013). Kadar abu (KAbu) ditentukan dengan memanaskan 2 g sampel awal (Ba) pada tanur suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 5 jam dan ditimbang setelah didinginkan dalam desikator untuk berat akhir (BAbu). Persentase kadar abu dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\text{KAbu}(\%) = \frac{\text{Ba}-\text{BKT}}{\text{BKT}} 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Pengujian kadar zat terbang mengacu pada ASTM E872 – 82 (ASTM, 2019). Kadar zat terbang (KZT) ditentukan dengan memanaskan sebanyak 2 g sampel awal (Ba) dalam tanur pada suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 7 menit dan ditimbang setelah didinginkan dalam desikator. Persentase kadar zat terbang dihitung menggunakan Persamaan 3.

$$\text{KZT}(\%) = \frac{\text{Ba}-\text{Bakhir}}{\text{Ba}} 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Kadar karbon terikat mengacu standar ASTM D-3175 (ASTM, 2013). Kadar karbon terikat (KT) ditentukan dari hasil pengurangan kandungan air, zat terbang dan abu, seperti pada Persamaan 4.

$$KT(\%) = 100 - KA - KZT - KAbu \dots\dots (4)$$

Pengujian nilai kalor mengacu pada standar ASTM E-711-87 (ASTM, 2004), ditentukan menggunakan bomb calorimeter. Sampel sebanyak  $\pm 1$  g dikemas rapat dengan mesin press. Sampel ditekan untuk mencegah percikan dan pembakaran sampel yang tidak sempurna dalam bomb calorimeter. Semua sampel biomassa dianalisis sebanyak tiga kali ulangan untuk menjamin reproduktifitas metode. Standar deviasi juga dihitung untuk nilai yang telah diperoleh.

### C. Analisis Data

Data dianalisis secara statistik menggunakan *software Microsoft excel dan IBM SPSS Statistic 22*. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor. Hubungan parameter yang diteliti yakni jenis bagian dan pelarut menggunakan rancangan acak lengkap dan ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan tingkat kepercayaan 95% (taraf  $\alpha = 0,05$ ) dimana masing-masing perlakuan dilakukan tiga ulangan. Uji Duncan dilakukan apabila hasil berpengaruh nyata dari perlakuan yang diberikan terhadap penurunan nilai kalor.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar zat ekstraktif paling tinggi diperoleh dari bagian kulit dengan pelarut etanol (5,16%), sedangkan paling rendah (0,47%) didapatkan dari bagian kulit terlarut n-heksana (Tabel 1). Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa kadar zat ekstraktif yang didapatkan dalam studi ini dipengaruhi oleh jenis bagian dan pelarut yang digunakan. Persentase kadar zat ekstraktif terlarut etanol lebih besar dibandingkan etil asetat dan n-heksana. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Adejoro & Lajide, (2019), perbedaan ini disebabkan oleh etanol yang merupakan pelarut bersifat polar, sedangkan n-heksana adalah pelarut non-polar. Penelitian lain juga melaporkan bahwa konsentrasi kadar zat ekstraktif paling tinggi dihasilkan dari pelarut etanol, kemudian etil asetat, dan terendah n-heksana (Simorangkir et al., 2019).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa zat ekstraktif total pada kayu gamal memengaruhi perubahan nilai kalor (Tabel 1). Hasil analisis statistik menunjukkan jenis pelarut dan bagian sampel berpengaruh signifikan terhadap nilai kalor, namun tidak terdapat interaksi antara keduanya. Hasil uji

lanjut Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) menunjukkan bahwa pengaruh zat ekstraktif terlarut n-heksana terhadap nilai kalor ialah tertinggi dan berbeda nyata dengan zat ekstraktif terlarut etil asetat dan etanol pada kedua bagian. Nilai kalor mengalami penurunan tertinggi (4,03%) disebabkan kehilangan zat ekstraktif terlarut n-heksana, sedangkan penurunan terendah (0,17%) dihasilkan dari zat ekstraktif terlarut n-heksana+etil asetat. Fenomena serupa juga diidentifikasi pada penelitian sebelumnya dimana total zat ekstraktif lima jenis kayu menunjukkan korelasi positif terhadap nilai kalor (Ruiz-Aquino et al., (2019). Sebagian besar studi mengkorelasikan zat ekstraktif terhadap nilai kalor. Domingos et al. (2020) hasil penelitian menyebutkan bahwa perbedaan nilai kalor bergantung pada jenis sampel dan senyawa zat ekstraktif. Menurut Sengupta et al. (2018), penurunan nilai kalor tertinggi disebabkan oleh hilangnya zat ekstraktif terlarut n-heksana. Kejadian tersebut disebabkan oleh jenis senyawa ekstraktif yang terlarut n-heksana.

Zat ekstraktif terlarut n-heksana merupakan senyawa non-polar dengan komposisi senyawa penyusunnya didominasi oleh komponen hidrokarbon. Kayu dengan kandungan zat ekstraktif yang didominasi oleh komponen karbon apabila diekstraksi akan menyebabkan penurunan nilai kalor yang signifikan (Henne et al., 2019; Stolarski et al., 2018). Fenomena ini juga terjadi pada sampel kayu bebas ekstraktif terlarut n-heksana. Meskipun rendemen zat ekstraktif terlarut n-heksana rendah, namun menyebabkan nilai kalor tertinggi. Fenomena ini diduga bahwa pengaruh zat ekstraktif bukan hanya dari segi kuantitatif saja, melainkan juga dari segi jenis senyawa yang dikandungnya (Domingos et al., 2020). Berdasarkan hasil studi ini, komponen zat ekstraktif non-polar diduga berperan besar terhadap perubahan nilai kalor tersebut.

Mauladini et al. (2022) telah mengevaluasi pengaruh zat ekstraktif terhadap nilai kalor dengan adanya peningkatan nilai kalor biomassa kayu sawit setelah penambahan ekstraktif kayu gamal (Tabel 2). Zat ekstraktif kayu gamal ditambahkan dalam biomassa sawit yang diketahui memiliki nilai kalor rendah. Hasil penambahan zat ekstraktif meningkatkan nilai kalor biomassa sawit dengan kisaran 7,40–10,33%. Namun, golongan senyawa ekstraktif yang bertanggung jawab terhadap peningkatan nilai kalor biomassa dalam hasil penelitian tersebut belum diketahui. Penelitian ini mengidentifikasi bahwa dalam zat ekstraktif gamal diduga mengandung kelompok senyawa non-polar yang mampu meningkatkan nilai kalor biomassa sawit. Hal ini dibuktikan oleh kehilangan senyawa non-polar dapat menurunkan nilai kalor paling tinggi

**Tabel 1 Kadar zat ekstraktif dan pengaruhnya terhadap nilai kalor**  
**Table 1 Extractives content and their effect on the calorific value**

Jenis sampel (Type of sample)	Kadar zat ekstraktif (Extractive content, %)	Nilai kalor (Calorific value, kkal/kg)	Penurunan nilai kalor kayu (Decrease in calorific value)	
			(kkal/kg)	(%)
S <sub>0B</sub>		4798 ± 68,0		
S <sub>0K</sub>		4228 ± 37,6		
S <sub>1B</sub>	0,77 ± 0,1	4690 ± 47,1	-108 ± 25,3	-2.31 ± 0,5
S <sub>1K</sub>	0,47 ± 0,1	4065 ± 43,5	-163 ± 60,1	-4.03 ± 1,5
S <sub>2B</sub>	3,04 ± 0,2	4668 ± 97,8	-22 ± 52	-0.48 ± 1,1
S <sub>2K</sub>	2,29 ± 0,2	4059 ± 57,1	-6 ± 73,4	-0.17 ± 1,8
S <sub>3B</sub>	2,25 ± 0,2	4645 ± 49,7	-23 ± 119,6	-0.50 ± 2,6
S <sub>3K</sub>	5,16 ± 0,1	4041 ± 15,7	-18 ± 56,1	-0.43 ± 1,4

Keterangan (Remarks): S<sub>0</sub> = serbuk kontrol (Control); S<sub>1</sub> = residu bebas ekstraktif n-heksana (n-hexana soluble extractive free residue), S<sub>2</sub> = residu bebas ekstraktif n-heksana, dan etil asetat (n-hexana and ethyl acetate soluble extractive free residue), S<sub>3</sub> = residu bebas ekstraktif n-heksana, etil asetat, dan etanol (n-hexana, ethyl acetate, and ethanol soluble extractive free residue); B = batang (Wood); K = kulit (Bark).

dalam sampel gamal (Tabel 1), selain itu gamal diketahui mengandung kelompok senyawa terpena yang merupakan senyawa non-polar (Adejoro & Lajide, 2019).

Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian sebelumnya dimana zat ekstraktif yang dihasilkan dari jenis kayu yang sama memiliki perbedaan konsentrasi dan jenis senyawanya. Perbedaan ini diakibatkan faktor umur pohon, musim, lokasi, dan bagian sampel yang bervariasi (Arisandi et al., 2020; Routa et al., 2017). Jenis senyawa zat ekstraktif yang beragam di antara bagian yang berbeda diduga menimbulkan keragaman pada nilai kalor. Begitu pula dengan faktor jenis pelarut, terlarutnya suatu jenis zat ekstraktif dipengaruhi oleh kesamaan sifat polaritas suatu pelarut dan zat terlarut (Chormey & Bakirdere, 2018). Jenis zat ekstraktif dalam sampel dan terlarutnya zat ekstraktif sesuai sifat keterlarutan menjelaskan bahwa jenis senyawa zat ekstraktif itulah yang diduga menyebabkan keragaman dan perubahan nilai kalor. Tabel 1 menunjukkan perubahan nilai kalor berdasarkan kelarutan pada bagian dan pelarut. Sampel gamal bagian kulit terlarut n-heksana menghasilkan penurunan nilai kalor paling tinggi. Selanjutnya, terhadap zat ekstraktif tersebut dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi senyawa

penyusun zat ekstraktif yang berkontribusi terhadap nilai kalor jenis gamal.

Berdasarkan analisis fitokimia kualitatif terdeteksi kelompok senyawa flavonoid dan terpenoid dalam zat ekstraktif kulit gamal terlarut n-heksana (Tabel 3). Hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa sampel bagian kulit jenis gamal mengandung kelompok senyawa flavonoid dan terpenoid (Gbolade et al., 2019). Sementara itu, pelarut n-heksana dapat melarutkan senyawa non-polar seperti kelompok terpenoid, sedikit fenol, flavonoid, alkaloid (Da Costa Cordeiro et al., 2018; Jannah et al., 2020; Uba et al., 2020). Berdasarkan hal tersebut, zat ekstraktif jenis gamal terlarut dalam pelarut n-heksana ditemukan senyawa flavonoid dan terpenoid yang berpengaruh terhadap perubahan nilai kalor.

Selain itu, hasil penelitian ini didukung dengan identifikasi senyawa lebih lanjut melalui analisis LC-MS/MS. Hasil analisis LC-MS/MS membuktikan adanya kelompok senyawa flavonoid dan terpenoid (Tabel 4). Kelompok senyawa terpenoid diketahui menjadi senyawa paling dominan dalam zat ekstraktif pada kulit gamal terlarut n-heksana (14,19%). Kelompok senyawa lain yang terdeteksi diantaranya yaitu kelompok senyawa amida (13,77%), alkaloid (2,81%), flavonoid (2,30%), coumarin (1,30%), dan benzopyrans (1,30%).

**Tabel 2 Peningkatan nilai kalor biomassa sawit hasil penambahan zat ekstraktif kayu**  
**Table 2 Increase in calorific value with the addition of wood extractive**

Sampel (Sample)	Nilai kalor (Calorific value, kkal/kg)	Peningkatan nilai kalor (Increase in calorific value)	
		(kkal/kg)	(%)
Sawit kontrol (Control palm)	4107 ± 29,5		
Sawit + batang gamal (palm + gamal wood)	4531 ± 139,7	424 ± 151,0	10,33 ± 3,7
Sawit + kulit gamal (palm + gamal bark)	4411 ± 87,4	304 ± 114,9	7,40 ± 2,8

(Mauladdini et al., 2022)



**Tabel 3 Hasil analisis fitokimia kualitatif sampel ekstraktif kulit gamal terlarut n-heksana**  
**Table 3 Results of phytochemical analysis of n-hexane soluble in *Gliricidia sepium* bark**

Jenis ekstraktif (Type of extractive)	Golongan senyawa (Compound group)						
	Alkaloid (Alkaloid)	Fenolhidrokuinon (Phenolhydroquinone)	Flavonoid (Flavonoid)	Steroid (Steroid)	Triterpenoid (Triterpenoid)	Tanin (Tannin)	Saponin (Saponin)
Kulit gamal terlarut n-heksana (Gamal bark soluble n-hexana)	-	-	++	-	++	-	-

Keterangan (Remarks): (-) tidak terdeteksi (not detected) (+) terdeteksi lemah (weak detected) (++) terdeteksi sedang (moderate detected) (+++) terdeteksi kuat (strong detected).

Kelompok terpena didefinisikan sebagai kelompok berbasis hidrokarbon yang memiliki struktur turunan dari isoprena (lima karbon berulang). Terpena diklasifikasikan berdasarkan jumlah unit lima karbon yang dikandungnya yakni berupa Hemiterpen (C5), Monoterpen (C10), Seskiterpen (C15), Diterpen (C20), Sesterterpen (C25), Triterpen (C30), dan Karotenoid (C40) (Chung et al., 2020). Kelompok senyawa terpena lebih dikenal sebagai senyawa yang memiliki dominasi karbon terlepas dari jumlah banyaknya karbon yang terkandung. Oleh karena itu, senyawa terpenoid yang dihilangkan dalam sampel melalui proses ekstraksi diduga menjadi penyebab utama penurunan nilai kalor.

Bahan yang mengandung zat ekstraktif resin dikenal memiliki nilai kalor lebih tinggi (Álvarez-Álvarez et al., 2018). Kelompok terpena merupakan salah satu penyusun zat ekstraktif jenis resin; kehadiran kelompok tersebut pada suatu bahan dapat menjadikan nilai kalor tinggi. Resin merupakan senyawa yang bersifat tidak mudah menguap dan juga didominasi oleh komponen karbon (Demko & Machava, 2022). Hasil penelitian sebelumnya

menunjukkan bahwa dalam senyawa resin juga terdapat monotepena, sesquiterpen, dan pentacyclic triterpene yang merupakan kelompok senyawa terpen yang terdeteksi melalui analisis GC-MS (Dehghanizadeh et al., 2020). Didukung oleh penelitian Ponce-Rodríguez et al. (2019), hasil analisis kualitatif dari resin terkandung senyawa terpen tersusun dari beberapa triterpene *non-volatile* rantai panjang.

Kandungan karbon biasa ditemukan berikatan dengan oksigen atau hidrogen. Dominasi komponen oksigen dapat menyebabkan lebih banyak senyawa *volatile*, sedangkan dominasi karbon dan hidrogen yang berikatan menjadi senyawa *non-volatile* dapat menghasilkan energi untuk pembakaran. Kandungan karbon dan hidrogen mendominasi dalam sampel arang menghasilkan nilai kalor lebih tinggi dibandingkan sampel kayu (Henne et al., 2019). Didukung oleh penelitian Kumar et al. (2020), hubungan antara kandungan karbon dan nilai kalor menunjukkan hasil semakin tinggi persentase karbon maka semakin tinggi nilai kalor dari bahan baku. Komponen karbon-hidrogen memiliki pengaruh yang

**Tabel 4 Hasil analisis LC-MS/MS ekstraktif kulit gamal terlarut n-heksana**  
**Table 4 Result of LC-MS/MS analysis of n-hexane soluble *Gliricidia sepium* bark extract**

No	Nama senyawa (Name of compound)	Kelompok (Group)	m/z	%
1	Austricine; Deacetoxymatricarin Deacetylmatricarin	Terpenoid (Terpenoid)	263.1292	14,19
2	<b>Asperglaucide;</b> <b>Aurantiamide acetate;</b> Lyciumamide	Amida (Amides)	445.2131	13,77
3	Liriodenine; Oxoushinsunine Spermatheridin Spermatheridine	Alkaloid (Alkaloid)	276.0667	2,81
4	Rhamnazin; <b>'7-Dimethylquercetin</b> <b>3',7-Di-O-methylquercetin</b>	Flavonoid (Flavonoid)	331.0822	2,30
5	3 hydroxycoumarin 2,3-DIHYDROXYCOUMARIN	Coumarin (Coumarine)	163.0395	1,30
6	<b>Citrinin;</b> Antimycin	Benzopyrans (Benzopyrans)	251.0925	1,30

lebih signifikan dibandingkan karbon-oksigen. Hasil ini ditegaskan oleh Tamilvanan (2013), bahan bakar yang mengandung dominasi karbon-oksigen (tingkat oksidasi lebih tinggi) akan memiliki nilai kalor yang lebih rendah. Hal tersebut karena lebih sedikit oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi lengkapnya. Namun, ketika bahan mengandung senyawa penyusun yang didominasi karbon-hidrogen (hidrokarbon yang memiliki tingkat oksidasi lebih rendah), maka cenderung meningkatkan nilai kalor suatu bahan biomassa. Berdasarkan uraian di atas, dalam senyawa yang terekstraksi (terpena) dengan penyusunnya terdapat dominasi hidrokarbon dapat berkontribusi terhadap pembakaran biomassa kayu yang menghasilkan tingginya nilai kalor. Nilai kalor sampel juga ditentukan oleh karakteristik sampel biomassa kayu yang diperoleh dari analisis proksimat.

Analisis proksimat dilakukan pada masing-masing sampel untuk mengetahui jumlah kadar abu, zat terbang, dan karbon tetap dari sampel yang dianalisis (Tabel 5). Berdasarkan hasil analisis statistik, komponen abu, zat terbang, dan karbon tetap tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kalor. Akan tetapi, kandungan zat terbang semakin rendah, karbon terikat semakin tinggi, dan kadar abu semakin rendah dalam sampel menghasilkan nilai kalor lebih tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kadar zat terbang pada bahan baku sampel batang 76,17% dan kulit 67,19%. Sedangkan, nilai kadar karbon terikat sampel batang 23,14% dan sampel kulit 27,11%. Nilai ini tidak jauh berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan jenis gamal. Kadar zat terbang disebutkan memiliki nilai sebesar 78%, secara umum biomassa memiliki kandungan zat terbang berkisar 70–86%. Selain itu, nilai kadar karbon terikat yang dihasilkan penelitian sebelumnya sebesar 23% (Tamilvanan, 2013). Namun, penelitian ini menunjukkan nilai kadar abu sampel batang lebih rendah 0,69% daripada sampel kulit 5,70%.

Nilai kadar abu untuk bahan energi biomassa memiliki batas maksimum sebesar 5%, hal tersebut untuk mencegah pencemaran lingkungan (Islam et al., 2019; Rajvanshi, 1986). Batas itu ditetapkan mengingat komponen abu tidak terbakar, sehingga semakin besar kandungan abu dalam sampel tidak disarankan untuk dijadikan bahan bakar. Selain itu, banyaknya abu juga mempengaruhi besarnya nilai kalor yang dihasilkan. Nilai kalor dalam standar kalorimeter menunjukkan jumlah panas yang berkembang dari massa dalam pembakaran sempurna karbon-hidrogen dengan oksigen pada suatu bahan bakar (Seethalashmi, 2016). Nilai kalor

jenis gamal pada bagian batang dan kulit sebelum proses ekstraksi menghasilkan nilai dalam rentang rata-rata standar ( $>4000$  kkal/kg) untuk bahan baku energi biomassa. Sehingga, jenis gamal memenuhi syarat sebagai bahan baku ditinjau dari karakteristik kadar zat terbang dan karbon terikat. Proses ekstraksi menjadikan nilai kalor menjadi lebih rendah, hal ini disebabkan oleh terjadinya perubahan karakteristik kadar zat terbang dan karbon terikat karena kehilangan zat ekstraktif (Tabel 5). Dalam suatu bahan bakar energi, persentase kadar zat terbang yang diharapkan adalah semakin rendah, hal ini menunjukkan sedikitnya zat yang terbuang tanpa menghasilkan nilai kalor. Kadar zat terbang setelah proses ekstraksi menunjukkan tren yang meningkat, sehingga terjadi penurunan nilai kalor. Menurut Cavalaglio et al. (2020), zat terbang merupakan bahan *volatile* (mudah menguap) dari sampel biomassa yang terdiri atas uap yang dapat terkondensasi dan gas permanen (tidak termasuk uap air) yang dilepaskan ketika biomassa dipanaskan selama beberapa menit. Selama pemanasan, sampel terurai menjadi gas dan zat padat yang ditinggalkan yaitu karbon terikat.

Nilai karbon terikat menunjukkan tren semakin menurun seiring terjadi peningkatan zat terbang. Keadaan ini berkaitan dengan hilangnya komponen karbon bersamaan dengan terlarutnya zat ekstraktif. Uraian di atas menunjukkan bahwa hilangnya zat ekstraktif menurunkan karbon terikat menyebabkan nilai kalor lebih rendah. Karbon terikat rendah menghasilkan panas pembakaran yang lebih rendah (Hoogmartens et al., 1996). Didukung penelitian Anshariah et al. (2020), korelasi positif ( $R^2 = 0,99$ ) menunjukkan kandungan karbon tetap dalam bahan meningkatkan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan nilai kadar karbon tetap juga diikuti dengan perubahan nilai kalor.

Umar et al. (2017) menggambarkan kandungan karbon terikat dan zat terbang dikenal sebagai rasio bahan bakar yang umum digunakan dalam mengevaluasi daya bakar bahan. Semakin tinggi rasio bahan bakar maka semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar. Oleh karena itu, suatu bahan bakar diharapkan memiliki kandungan karbon terikat tinggi dan kandungan zat terbang lebih rendah. Di sisi lain, abu merupakan sisa bahan yang tidak dapat dibakar dan tidak menghasilkan nilai kalor. Sehingga, dengan semakin meningkatnya sisa abu membuat semakin rendah nilai kalor (Yilmaz et al., 2019). Tabel 5 menyajikan nilai kadar abu bahan baku dan residu hasil ekstraksi tidak menampilkan tren perubahan yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi tidak mempengaruhi keberadaan abu.



**Tabel 5 Hasil analisis proksimat gamal sebelum dan setelah perlakuan**  
**Table 5 Result of proximate analysis of *Gliricidia sepium***

Jenis sampel (Type of sample)	Zat terbang (Volatile matter, %)		Karbon terikat (Fixed carbon, %)		Kadar Abu (Ash content, %)	
	b	k	b	k	b	k
S <sub>0</sub>	76,17	67,19	23,14	27,11	0,69	5,70
S <sub>1</sub>	80,65	71,91	18,52	21,33	0,82	6,76
S <sub>2</sub>	80,46	71,77	18,53	21,19	1,00	7,04
S <sub>3</sub>	82,27	72,71	17,10	20,83	0,63	6,46

Keterangan (Remarks): S<sub>0</sub> = serbuk kayu kontrol (Sample control); S<sub>1</sub> = residu bebas ekstraktif n-heksana (*n-hexana soluble extractive free residue*); S<sub>2</sub> = residu bebas ekstraktif n-heksana dan etil asetat (*n-hexana and ethyl acetate soluble extractive free residue*); S<sub>3</sub> = residu bebas ekstraktif n-heksana, etil asetat, dan etanol (*n-hexana, ethyl acetate, and ethanol soluble extractive free residue*); B = batang (Wood); K = kulit (Bark).

#### IV. KESIMPULAN

##### A. Kesimpulan

Kadar zat ekstraktif gamal bagian batang berkisar 0,77–3,04%, sedangkan bagian kulit kayu berkisar 0,47–5,16%. Kadar zat ekstraktif paling tinggi diperoleh dari fraksi etanol sampel kulit kayu. Hasil analisis proksimat membuktikan bahwa zat ekstraktif berperan terhadap nilai kalor jenis gamal. Hal tersebut ditunjukkan oleh penurunan nilai kalor pada sampel residu bebas ekstraktif (0,17–4,03%). Pengaruh total ekstraktif juga dibuktikan melalui peningkatan nilai kalor pada biomassa berkalor rendah dengan penambahan zat ekstraktif kayu. Perubahan nilai kalor disebabkan oleh perbedaan sifat senyawa zat ekstraktif. Analisis fitokimia kualitatif dan analisis senyawa LC-MS/MS mendeteksi adanya kelompok senyawa terpenoid, amida, alkaloid, flavonoid, coumarin, dan benzopyrans dalam zat ekstraktif gamal bagian kulit yang dapat mempengaruhi perubahan nilai kalor. Terpenoid diduga merupakan golongan senyawa yang berperan penting terhadap nilai kalor karena jumlah yang dominan dalam studi ini.

##### KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain, dan rancangan percobaan dilakukan oleh RM, WS dan DN; percobaan dan perlakuan pengujian dilakukan oleh RM; pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh RM; penulisan manuskrip oleh RM, WS dan DN; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh WS dan DN.

##### DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, F. O., Hamahameen, B., & Dastan, D. (2021). Chemical constituents of the volatile and nonvolatile, cytotoxic and free radical scavenging activities of medicinal plant: *Ranunculus millefoliatus* and *Acanthus dioscoridis*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(3), 1981–1989. doi: 10.15244/pjoes/128265.

- Adejoro, F., & Lajide, L. (2019). *Termiticidal and repellency activity of three selected tropical woods against subterranean termite worker (Macrotermes bellicosus)*. *World Applied Sciences Journal*, 37(1), 34–40. doi: 10.5829/idosi.wasj.2019.34.40
- Ahmad, N. R. (2014). *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan* (H. Abimanyu & S. Hendrana (eds.)). Jakarta: LIPI Press.
- Álvarez-Álvarez, P., Pizarro, C., Barrio-Anta, M., Cámara-Obregón, A., María Bueno, J. L., Álvarez, A., Gutiérrez, I., & Burslem, D. F. R. P. (2018). Evaluation of tree species for biomass energy production in Northwest Spain. *Forests*, 9(4), 1–15. doi: 10.3390/f9040160.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2004). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter (ASTM E 711-87).
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2013). Test Method for Ash In Wood (ASTM D-1102).
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2013). Test Method for Fixed Carbon In Wood (ASTM D-3175).
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2019). Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels (ASTM E-872).
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2019). Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particular Wood Fuels (ASTM E-872).
- Anshariah, Imran, A. M., Widodo, S., & Irvan, U. R. (2020). Correlation of fixed carbon content and calorific value of South Sulawesi Coal, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 473(1), 1–7. doi: 10.1088/1755-1315/473/1/012106.

- Arisandi, R., Ashitani, T., Takahashi, K., Marsoem, S. N., & Lukmandaru, G. (2020). Lipophilic extractives of the wood and bark from *Eucalyptus pellita* F. Muell grown in Merauke, Indonesia. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 40(2), 146–154. doi: 10.1080/02773813.2019.1697295.
- Atapattu, A. A. A. J., Pushpakumara, D. K. N. G., Rupasinghe, W. M. D., Senarathne, S. H. S., & Raveendra, S. A. S. T. (2017). Potential of *Gliricidia sepium* as a fuelwood species for sustainable energy generation in Sri Lanka. *Agricultural Research Journal*, 54(1), 34. doi: 10.5958/2395-146x.2017.00006.0.
- Borchard, N., Bulusu, M., Hartwig, A. M., Ulrich, M., Lee, S. M., & Baral, H. (2018). Screening potential bioenergy production of tree species in degraded and marginal land in the tropics. *Forests*, 9(10), 1–8. doi: 10.3390/f9100594.
- Cavalaglio, G., Cotana, F., Nicolini, A., Coccia, V., Petrozzi, A., Formica, A., & Bertini, A. (2020). Characterization of various biomass feedstock suitable for small-scale energy plants as preliminary activity of biocheaper project. *Sustainability*, 12(6678), 1–10. doi: 10.3390/su12166678
- Chormey, D. S., & Bakirdere, S. (2018). Principles and recent advancements in microextraction techniques. In *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 81, pp. 257–294). doi: 10.1016/bs.coac.2018.03.011
- Chung, M. S., Lee, G. W., Lee, S. S., Chung, B. Y., & Lee, S. (2020). Comparative analysis of volatile terpenoids composition in Rosemary leaves in response to ionizing radiation. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 48–54. doi: 10.1080/0972060X.2020.1782775.
- Da Costa Cordeiro, B. M. P., De Lima Santos, N. D., Ferreira, M. R. A., De Araújo, L. C. C., Junior, A. R. C., Da Conceição Santos, A. D., De Oliveira, A. P., Da Silva, A. G., Da Silva Falcão, E. P., Dos Santos Correia, M. T., Da Silva Almeida, J. R. G., Da Silva, L. C. N., Soares, L. A. L., Napoleão, T. H., Da Silva, M. V., & Paiva, P. M. G. (2018). Hexane extract from *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae) leaves has antioxidant activity and is an anti-Candida agent by causing mitochondrial and lysosomal damages. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 1–10. doi: 10.1186/s12906-018-2350-2
- Dehghanizadeh, M., Cheng, F., Jarvis, J. M., Holguin, F. O., & Brewer, C. E. (2020). Characterization of resin extracted from guayule (*Parthenium argentatum*): A dataset including GC–MS and FT-ICR MS. *Data in Brief*, 31, 1–10. doi: 10.1016/j.dib.2020.105989.
- Demko, J., & Machava, J. (2022). Tree resin, a macroergic source of energy, a possible tool to lower the rise in atmospheric CO2 levels. *Sustainability*, 14, 1–18. doi: 10.3390/su14063506.
- Domingos, I., Ayata, U., Ferreira, J., Cruz-Lopes, L., Sen, A., Sahin, S., & Esteves, B. (2020). Calorific power improvement of wood by heat treatment and its relation to chemical composition. *Energies*, 13(20), 1–10. doi: 10.3390/en13205322
- Gbolade, A., Adedokun, O., Bello, A., & Bello, Z. (2019). Cytotoxic and growth inhibitory activities of *Gliricidia sepium* (Jacq.) kunth ex walp. (Fabaceae) and *Hymenocardia acida* Tul. (Phyllanthaceae) stem bark. *Nigerian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 18(2), 1–10.
- Henne, R. A., Brand, M. A., Schweitzer, B., & Schein, V. A. S. (2019). Thermal behavior of forest biomass wastes produced during combustion in a boiler system. *Revista Arvore*, 43(1), 1–9. doi: 10.1590/1806-90882019000100008.
- Hoogmartens, I., Vanderzande, D., Martens, H., & Gelan, J. (1996). Effects of carbonisation temperature on charcoal from some tropical trees. *Bioresource Technology*, 57, 91–94. doi: 10.1016/0379-6779(92)90376-T.
- Islam, M. N., Ratul, S. B., Sharmin, A., Rahman, K. S., Ashaduzzaman, M., & Uddin, G. M. N. (2019). Comparison of calorific values and ash content for different woody biomass components of six mangrove species of Bangladesh Sundarbans. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 16(2), 110–117. doi: 10.1007/s13196-019-00246-9.
- Jannah, N., Saleh, C., & Pratiwi, D. R. (2020). Skrining fitokimia ekstrak etanol dan fraksi-fraksi daun alamanda (*Allamanda Catharica* L.). *Prosiding Seminar Nasional Kimia Bermawasan Lingkungan 2020*, 81–85.
- Jasmine, T., Sundaram, R. M., Poojitha, M., Swarnalatha, G., Padmaja, J., Kumar, M. R., & Reddy, K. B. (2017). Medicinal properties of *Gliricidia sepium*: A review. *International Journal of Current Pharmaceutical & Clinical Research*, 7(1), 35–39.
- Kumar, R., Chandrashekar, N., Prasad, N. R. R., & Tailor, R. (2020). Effect of extractive content on fuelwood characteristics of certain woody and non-woody biomass. *Current Science*, 118(6), 966–969. doi: 10.18520/cs/v118/i6/966-969.
- Mauladdini, R., Nawawi, D. S., & Syafii, W. (2022). Pengaruh zat ekstraktif kayu terhadap nilai

- kalor. *Jurnal Ilmu Kebutanan*, 16(1), 64–73. doi: 10.22146/jik.v16i1.2720.
- Mulyana, B., Soeprijadi, D., Rohman, R., Purwanto, R. H., & Reorita, R. (2021). A simulation study on forest inventory of gliricidia plantation using a virtual tree map. *AIP Conference Proceedings*, 2353(30017), 1–7. doi: 10.1063/5.0052673.
- Narendra, B. H., Siregar, C. A., & Salim, A. G. (2020). The potency of wood based electricity production from critical land in Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 935(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/935/1/012044>.
- Nukmal, N., Pratami, G. D., Rosa, E., Sari, A., & Kanedi, M. (2019). Insecticidal effect of leaf extract of gamal (*Gliricidia sepium*) from different cultivars on papaya mealybugs (*Paracoccus marginatus*, Hemiptera: Pseudococcidae). *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 12(1), 4–8. <https://doi.org/10.9790/2380-1201030408>.
- Oduola, T., Umar, R. A., Isah, B. A., Bello, M., Aiyelabegan, F., Isa, L. O., & Oduola, G. B. (2018). Use of *Gliricidia sepium* aqueous leaf extract as an antisickling agent: Oxidative stress biomarkers in wistar rats exposed to the extract. *International Journal of Medical and Health Research*, 4(August), 79–83.
- Oyelere, A. T., & Oluwadare, A. O. (2019). Studies on physical, thermal and chemical properties of wood *Gliricidia sepium* for potential bioenergy production. *International Journal of Biomass and Renewables*, 8(2), 28–38.
- Ponce-Rodríguez, H. D., Herráez-Hernández, R., Verdú-Andrés, J., & Campíns-Falcó, P. (2019). Quantitative analysis of terpenic compounds in microsamples of resins by capillary liquid chromatography. *Molecules*, 24(22), 1–12. doi.org/10.3390/molecules24224068
- Rajvanshi, A. (1986). *Biomass Gasification* (Y. Goswami (ed.); Nimbkar Ag). CRC Press.
- Rossi, T., Moura, L. F. De, Torquato, P. R., & Brito, J. O. (2013). Effect of extractive removal on the calorific value of Brazilian woods residues. *J. Chem. Chem. Eng.*, 7, 340–343.
- Routa, J., Anttila, P., & Asikainen, A. (2017). Wood extractives of finnish pine, spruce and birch – availability and optimal sources of compounds: A literature review. *Natural Resources Institute Finland*, 73, 1–55. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-495-3>
- Ruiz-Aquino, F., Ruiz-Ángel, S., Feria-Reyes, R., Santiago-García, W., Suárez-Mota, M. E., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2019). Wood chemical composition of five tree species from Oaxaca, Mexico. *BioResources*, 14(4), 9826–9839. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9826-9839>
- Seethalashmi, A. (2016). *Gliricidia sepium* bioenergy resource for power generation. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 4(3), 32–37.
- Sengupta, D., Samburova, V., Bhattarai, C., Kirillova, E., Mazzoleni, L., Iaukea-Lum, M., Watts, A., Moosmüller, H., & Khlystov, A. (2018). Light absorption by polar and non-polar aerosol compounds from laboratory biomass combustion. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(15), 10849–10867. <https://doi.org/10.5194/acp-18-10849-2018>
- Simorangkir, M., Nainggolan, B., & Silaban, S. (2019). Secondary metabolites phytochemical analysis of n-hexane, ethyl acetate and ethanol extracts of sarang banua (*Clerodendrum fragrans* Vent Willd) leaves. *AISTSSE Conference Proceedings*, 1–9. <https://doi.org/10.4108/eai.18-10-2018.2287344>
- Stolarski, M. J., Krzyzaniak, M., Zaluski, D., & Niksa, D. (2018). Evaluation of biomass quality of selected woody species depending on the soil enrichment practice. *International Agrophysics*, 32(1), 111–121. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0097>
- Tamilvanan, A. (2013). Preparation of biomass briquettes using various agro- residues and waste papers. *Journal of Biofuels*, 4(2), 47–55. <https://doi.org/10.5958/j.0976-4763.4.2.006>
- Uba, G., Dauda, H., Aujara, K. M., & Ali, U. (2020). Solvent extraction and its effects on the phytochemical yield and antioxidant capacity of *Commiphora africana* (Burseraceae). *Bioremediation Science and Technology Research*, 8(2), 8–11.
- Umar, D. F., Hudaya, G. K., & Sulistyohadi, F. (2017). Study on combustion characteristics of coal-biomass for co-firing system as a feedstock of coal gasification process. *Indonesian Mining Journal*, 20(2), 115–130. doi: 10.30556/imj.vol20.no2.2017.223.
- Welfle, D. A., Chingaira, S., & Kassenov, A. (2020). Decarbonising Kenya's domestic & industry sectors through bioenergy: An assessment of biomass resource potential & GHG performances. *Biomass and Bioenergy*, 142, 105757. doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105757.
- Yilmaz, S., Cuhadaroglu, D., & Toroglu, I. (2019). Correlation between non. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 362(1). doi: 10.1088/1755-1315/362/1/012094.