

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

## IDENTIFIKASI SENYAWA ALELOKIMIA PADA EKSTRAK AKAR SORGUM MENGGUNAKAN GC-MS DAN EVALUASI POTENSINYA SEBAGAI BIOHERBISIDA

*(Identification of Allelochemical Compounds in Sorghum Root Extracts Using GC-MS and Evaluation of Their Potential as Bioherbicides)*

Edi Susilo<sup>1\*</sup>, Nanik Setyowati<sup>2</sup>, Hesti Pujiwati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Ratu Samban, Jl. Jenderal Sudirman No. 87 Arga Makmur, Kabupaten Bengkulu Utara, Indonesia; <sup>2</sup>Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu, Jl. WR. Supratman Kandang Limun Kota Bengkulu, Indonesia

\*Corresponding Author, Email: [susilo\\_agr@yahoo.com](mailto:susilo_agr@yahoo.com)

### ABSTRACT

*Weed control using synthetic herbicides has hurt the environment, prompting the need for more environmentally friendly weed management. This study aims to determine the allelochemical compounds contained in sorghum (*Sorghum bicolor* L.) root extract and analyze its potential as a bioherbicide. This study was conducted from July to September 2023 at the Faculty of Agriculture, Bengkulu University. Compound analysis used Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS). Root extraction was performed by maceration with methanol, and identification of organic compounds was performed by matching mass spectra to NIST. GC-MS analysis showed that sorghum root extract contained secondary metabolites with potential allelochemical activity, especially phenolics, organosulfur compounds, fatty acids, fatty acid amides, and alkaloids. Polar and semi-polar compounds with potential as water-based bioherbicides include 2-aminoethanethiol hydrogen sulfate (12.28%), 2,3-dihydro-1-benzofuran (2.16%), and phenol (1.40%). Furthermore, the dominant compounds identified were derived from unsaturated fatty acids, namely (9E)-9-octadecenoic acid (22.95%), trans-13-octadecenoic acid (16.48%), and 9-octadecenamide (5.67%), as well as indolizino-carbazole alkaloids (2.24%), suspected to contribute to phytotoxic activity due to disruption of cell membranes and metabolism of the target plant. This indicates that sorghum roots can serve as a natural source of bioherbicides to support a more sustainable weed control system.*

**Keywords:** allelopathy, bioherbicide, *Sorghum bicolor*, sorghum roots, GC-MS

### ABSTRAK

Pengendalian gulma menggunakan herbisida sintesis telah menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan yang memunculkan kebutuhan untuk penanganan gulma yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa alelokimia yang terkandung dalam ekstrak akar sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan menganalisis kemungkinan sebagai bioherbisida. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli s.d. September 2023 di Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Analisis senyawa menggunakan alat Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS). Ekstraksi akar dilakukan dengan cara maserasi menggunakan pelarut metanol, sedangkan identifikasi senyawa organik dilakukan dengan pencocokan spektrum massa dengan NIST. Analisis GC-MS menunjukkan bahwa ekstrak akar sorgum teridentifikasi mengandung metabolit sekunder yang berpotensi sebagai alelokimia, terutama yang tergolong fenolik, organosulfur, asam lemak, amida asam lemak, dan alkaloid. Senyawa polar dan semi-polar yang berpotensi sebagai bioherbisida berbasis air antara lain adalah 2-aminoethanethiol hydrogen sulfate (12,28%), 2,3-dihydro-1-benzofuran (2,16%), dan phenol

(1,40%). Selain itu, senyawa dominan yang teridentifikasi berasal dari asam lemak tak jenuh, yakni (9E)-9-octadecenoic acid (22,95%), trans-13-octadecenoic acid (16,48%), dan 9-octadecenamide (5,67%), serta alkaloid indolizino-carbazol (2,24%), diduga berkontribusi terhadap terjadinya aktivitas fitotoksik akibat gangguan terhadap membran sel dan metabolisme dari tanaman yang menjadi sasaran. Hal ini mengindikasikan bahwa akar sorgum dapat menjadi sumber bioherbisida alami untuk mendukung sistem pengendalian gulma yang berkelanjutan.

**Kata kunci:** alelopati, bioherbisida, *Sorghum bicolor*, akar sorgum, GC-MS

## PENDAHULUAN

Gulma adalah salah satu hambatan terpenting dalam produksi pertanian, karena bisa mengurangi baik jumlah maupun kualitas panen karena bersaing dengan tanaman terhadap air, nutrisi, cahaya, dan ruang (Hasan et al., 2021). Beberapa spesies gulma juga dapat berfungsi sebagai tempat tinggal alternatif bagi hama dan patogen, dan mereka juga menghasilkan senyawa yang menghambat pertumbuhan dan perkecambahan tanaman di sekitarnya (Mali et al., 2021; Wang et al., 2024). Herbisida sintesis masih menjadi pilihan utama untuk pengendalian gulma di lapangan karena dianggap praktis dan efektif. Namun, penggunaan terus menerus dapat menyebabkan resistensi gulma, pencemaran lingkungan, dan gangguan terhadap mikroorganisme tanah dan kesehatan manusia (Hasan et al., 2021). Selain itu, strategi pengendalian gulma yang lebih berkelanjutan diperlukan karena tidak ada bahan aktif baru yang diciptakan (Khamare et al., 2022).

Alelokimia tumbuhan digunakan untuk mengembangkan bioherbisida, yang merupakan metode yang berkembang. Metabolit sekunder yang disebut alelokimia memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan tanaman lain dengan mengganggu proses fisiologis dan biokimia seperti fotosintesis, respirasi, dan aktivitas enzim (Mudanigrat et al., 2023; Kostina-

Bednarz et al., 2023). Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) diketahui memiliki potensi alelopati yang kuat dalam hal ini, terutama melalui senyawa sorgoleone yang dilepaskan oleh rambut akar dan berfungsi untuk menghalangi fotosistem II tanaman target (Kostina-Bednarz et al., 2023). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa ekstrak akar sorgum dapat menghentikan pertumbuhan dan perkecambahan gulma (Anwar et al., 2021; Hussain et al., 2021). Namun, informasi tentang profil metabolit dominan yang bertanggung jawab atas efek fitotoksik masih terbatas, dan studi sebagian besar fokus pada evaluasi bioaktivitas ekstrak secara keseluruhan.

Namun, diduga bahwa ekstrak akar sorgum mengandung banyak senyawa bioaktif selain sorgoleone, seperti fenol, terpena, dan steroid. Senyawa bioaktif ini dapat memiliki sifat herbisidal (Akondo et al., 2024). Oleh karena itu, identifikasi dan karakterisasi metabolit secara menyeluruh sangat penting untuk menemukan alternatif senyawa yang lebih stabil, efektif, dan dapat dikembangkan sebagai bioherbisida yang ramah lingkungan (Portuguez-García et al., 2021; Kostina-Bednarz et al., 2023). Metode GC-MS yang sesuai digunakan untuk menemukan bahan volatil dan semi-volatil dengan menggunakan pola fragmentasi dan pencocokan spektrum massa (Fu et al., 2020; Sahrir et al., 2024). Penelitian baru ini

bertujuan untuk (1) mengidentifikasi profil senyawa alelokimia dalam ekstrak akar sorgum menggunakan GC-MS dan (2) menganalisis potensinya dengan menggunakan GC-MS untuk mengidentifikasi metabolit dominan yang mungkin berperan dalam aktivitas fitotoksik.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan dari Juli hingga September 2023 di Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu. Analisis senyawa kimia dilakukan menggunakan Gas Kromatografi-Spektrometri Massa (GC-MS) di Laboratorium Kesehatan DKI Jakarta. Bahan penelitian utama adalah akar sorgum yang dibudidayakan dari lapangan. Akar dipilih karena merupakan sumber utama eksudat dan metabolit sekunder yang berperan dalam mekanisme alelopati. Berbagai senyawa alelokimia seperti fenolik, terpenoid, dan kuinon, termasuk sorgoleone, diketahui disintesis dan dilepaskan melalui sistem akar dan karenanya berpotensi mampu menghambat pertumbuhan gulma. Alat utama yang digunakan mencakup oven pengering, blender, evaporator rotari, dan instrumen GC-MS.

### Persiapan Sampel dan Proses Ekstraksi

Akar sorgum yang berumur  $\pm 4$  minggu dipanen, dibersihkan dari sisa tanah, dan kemudian dikeringkan pada suhu ruang. Sampel sebanyak 3 kali ulangan kemudian digiling menjadi serbuk untuk meningkatkan luas permukaan yang bersentuhan dengan pelarut. Ekstraksi dilakukan menggunakan metode maserasi dengan metanol sebagai pelarut karena mampu melarutkan senyawa polar dan semi-polar. Proses maserasi dilakukan selama tiga hari dengan tiga pengulangan untuk memperoleh ekstrak yang

optimal.

Filtrat yang dihasilkan dari maserasi disaring dan diuapkan menggunakan evaporator rotari pada suhu 40-50 °C hingga diperoleh ekstrak yang terkonsentrasi. Ekstrak kemudian dilarutkan kembali dalam metanol murni. Natrium sulfat anhidrat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ditambahkan untuk menghilangkan sisa air dan campuran dibiarkan selama  $\pm 30$  menit. Sebelum dianalisis dengan GC-MS, larutan ekstrak disaring melalui membran ukuran pori 0,22  $\mu\text{m}$  untuk menghindari penyumbatan kolom kromatografi.

### Analisis GC-MS

Karakterisasi senyawa volatil dan semi-volatil dilakukan menggunakan Shimadzu GCMS-QP2010 yang dilengkapi dengan kolom kapiler HP-5MS (30 m  $\times$  0,25 mm; 0,25  $\mu\text{m}$ ). Gas helium digunakan sebagai gas pembawa dengan laju aliran 1 mL  $\text{min}^{-1}$ . Sampel diinjeksi dalam volume 1  $\mu\text{L}$  menggunakan mode split dengan rasio split 1:10. Suhu injektor diatur pada 230 °C, suhu antarmuka pada 250 °C, dan suhu sumber ion pada 200 °C. Ionisasi dilakukan dengan ionisasi elektron (EI) pada energi 70 eV. Program suhu oven dimulai pada 60 °C selama 2 menit, kemudian meningkat sebesar 5 °C  $\text{min}^{-1}$  hingga 310 °C dan ditahan selama 2 menit. Rentang massa pemindaian diatur pada 40-500 m/z. Setiap sampel dianalisis dalam triplikat untuk memastikan konsistensi hasil analisis.

### Identifikasi Senyawa dan Analisis Data

Identifikasi senyawa dilakukan dengan mencocokkan spektra massa yang diperoleh dengan spektrum literatur dari perpustakaan NIST11 dengan kecocokan  $\geq 80\%$  sebagai kriteria validitas identifikasi. Kelimpahan relatif dari suatu senyawa ditentukan oleh luas

puncak kromatografi dan dinyatakan sebagai persentase dari total luas. Senyawa yang teridentifikasi kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok kimia utama: asam lemak, fenolik, terpenoid, steroid, dan hidrokarbon, untuk mengevaluasi potensi fitotoksisitas. Persentase luas masing-masing komponen digunakan untuk menggambarkan konsentrasi relatif senyawa aktif dalam ekstrak akar sorgum (Widiyaningrum et al., 2023). Untuk mengonfirmasi keandalan identifikasi, pola fragmentasi dari spektra massa masing-masing senyawa dibandingkan dengan perpustakaan referensi, dan waktu retensi dianalisis secara komparatif. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh profil metabolit yang akurat sebagai dasar untuk mengevaluasi potensi alelopati dari akar sorgum yang diekstrak.

### **Kerangka Konseptual Penelitian**

Dalam penelitian ini, ekstrak akar sorgum diperlakukan sebagai variabel independen, sedangkan profil senyawa alelokimia yang diperoleh melalui analisis GC-MS ditempatkan sebagai variabel mediasi dalam memprediksi potensi fitotoksisitasnya sebagai bioherbisida. Metode ini didasarkan pada premis bahwa aktivitas biologis dari ekstrak berkaitan erat dengan komposisi kimia dan karakteristik senyawa penyusunnya.

Allelokimia dari akar sorgum mengganggu berbagai proses fisiologis tanaman target seperti fotosintesis, respirasi mitokondria, dan integritas membran sel, yang pada akhirnya menekan pertumbuhan gulma dan senyawa seperti sorgoleone dilaporkan dapat menghambat fotosistem II dan rantai transport elektron yang menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan sel pada tanaman (Kostina-Bednarz et al., 2023). Berbagai metabolit bioaktif interaktif

memberikan mekanisme penghambatan multiphase terhadap pertumbuhan gulma.

Potensi fitotoksisitas telah dievaluasi dengan mengaitkan komposisi kimia ekstrak dengan indikator biologis seperti pertumbuhan radikula dan plumula tanaman target yang sering digunakan sebagai parameter sensitivitas fisiologis (Freitas et al., 2019). Selain itu, gangguan aktivitas enzim keseimbangan ion lisosom juga telah digunakan sebagai indeks dari mekanisme penghambatan pertumbuhan gulma (Anwar et al., 2021). Diharapkan pendekatan ini dapat memperjelas struktur kimia alelokimia dan aktivitas biologisnya serta menyediakan dasar untuk pengembangan bioherbisida berbasis metabolit alami yang lebih ramah lingkungan.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Profil Senyawa Ekstrak Akar Sorgum melalui GC-MS dan Potensinya sebagai Bioherbisida**

Analisis GC-MS mengidentifikasi sejumlah senyawa yang mungkin berfungsi sebagai alelokimia pada ekstrak akar sorgum. Ini termasuk fenol, organosulfur, asam lemak, amida asam lemak, alkaloid, sterol, dan fraksi lipofilik. Beberapa senyawa fenolik, termasuk benzofuran dan organosulfur, diketahui dapat mengganggu aktivitas fisiologis dan metabolisme sel tanaman melalui perubahan sensitivitas enzim target dan respons fisiologis gulma. Senyawa pada Tabel 1 dan Tabel 2 biasanya memiliki gugus polar seperti -OH, -NH, -S, dan -SO<sub>4</sub>, yang berpotensi mendukung pengembangan bioherbisida berbasis air. Namun demikian, hasil penelitian ini belum didukung oleh data primer uji efikasi herbisida dan hanya menginterpretasikan potensi alelopati berdasarkan karakteristik senyawa yang

diidentifikasi.

**Tabel 1.** Senyawa yang teridentifikasi dalam ekstrak akar tanaman sorgum

No	RT (min)	Compound	Molecular Formula	Area (%)
1	6.466	Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	1.40
2	13.451	2,3-Dihydro-1-benzofuran	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	2.16
3	29.510	2-Aminoethanethiol hydrogen sulfate	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	1.45
4	30.579	Hexadecanoic acid, ethyl ester	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	8.25
5	30.937	(9E)-9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	8.06
6	31.068	Hexadecanoic acid	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	2.76
7	31.172	2-Aminoethanethiol hydrogen sulfate	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	3.66
8	31.599	(9E)-9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	11.84
9	31.833	trans-13-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	8.68
10	32.323	2-Aminoethanethiol hydrogen sulfate	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	7.17
11	32.495	trans-13-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	3.05
12	32.661	3A-Ethyl-7-methyl-2,3,3A,5,5A,7,8,13,14,15A-decahydro-1H,4H-indolizino[8,1-cd][1,4]oxazino[2,3,4-jk]carbazol-10-yl methyl ether	C <sub>23</sub> H <sub>32</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2.24
13	32.868	9-Octadecenamide	C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> NO	5.67
14	32.999	trans-13-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	4.75
15	47.334	22-Stigmasten-3-one	C <sub>29</sub> H <sub>48</sub> O	1.11
16	49.086	Ergost-4-en-3-one (24R)	C <sub>28</sub> H <sub>46</sub> O	5.72
17	50.368	4,22-Stigmastadiene-3-one	C <sub>29</sub> H <sub>46</sub> O	9.38
18	52.526	Stigmast-4-en-3-one	C <sub>29</sub> H <sub>48</sub> O	1.38
19	55.774	17-(1,5-Dimethylhexyl)-10,13-dimethyl-3-vinyl-hexadecahydrocyclopenta[a]phenanthren-3-ol	C <sub>29</sub> H <sub>50</sub> O <sub>3</sub>	1.52

**Tabel 2.** Senyawa teridentifikasi kandidat sebagai bioherbisida larut air

Senyawa	Rumus Kimia	Golongan	Kadar (%)	Sifat Kimia
Phenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	Senyawa fenolik	1.40	Polar
2,3-Dihydro-1-benzofuran	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	Aromatik heterosiklik	2.16	Semi-polar
2-Aminoethanethiol hydrogen sulfate	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	Organosulfur / garam sulfat	12.28*	Polar

Variasi mekanisme alelopati dan konsentrasi senyawa di media tumbuh memengaruhi keragaman struktur metabolit sekunder (Indarwati et al., 2023). Senyawa alelopati di lingkungan tanah dapat diangkat,

didegradasi oleh mikroba, dan diserap oleh akar. Akibatnya, konsentrasinya dapat menurun di zona perakaran (Amrullah et al., 2024). Selain itu, senyawa alami yang memiliki banyak gugus O dan N cenderung

lebih mudah terdegradasi, yang dapat mengurangi akumulasi residu dan mengurangi bahaya bagi organisme yang tidak dimaksud (Anwar et al., 2021). Alelokimia sorgum dapat digunakan sebagai bioherbisida yang lebih ramah lingkungan karena karakteristiknya. Namun, diperlukan validasi lebih lanjut melalui pengujian biologis (Anwar et al., 2023; Pardo-Muras et al., 2022).

### Tantangan Aplikasi Biomolekul dan Strategi Formulasi

Ketidakstabilan senyawa, efek sifat biofisik tanah, dan dinamika komunitas mikroba yang memengaruhi ketersediaan alelokimia adalah beberapa hambatan untuk penggunaan senyawa di lapangan. Namun, beberapa senyawa menunjukkan bioaktivitas tinggi pada pengujian *in vitro* (Anh et al., 2021; Alanaz et al., 2023; Mushtaq & Fauconnier, 2024). Pengujian langsung pada media tanah diperlukan untuk memperoleh estimasi toksisitas yang lebih representatif karena faktor lingkungan seperti pH, kelembapan, dan proses di rizosfer dapat mempercepat transformasi senyawa sebelum mencapai konsentrasi yang efektif (Anwar et al., 2023). Selain itu, senyawa yang sangat larut dalam air mudah dicemari oleh mikroba,

yang dapat mengurangi aktivitas biologis di lapangan (Kostina-Bednarz et al., 2023; Amrullah et al., 2024). Reagen fitotoksik berbeda dalam aplikasi rumah kaca dan lapangan daripada pengujian laboratorium (Chukwuma et al., 2024).

Untuk melindungi senyawa aktif dari degradasi dan meningkatkan distribusi pada target aplikasi, formulasi menggunakan pembawa dan agen penstabil diperlukan dari perspektif teknologi (Hasan et al., 2021; Kostina-Bednarz et al., 2023). Namun, penggunaan ekstrak kasar dianggap lebih masuk akal pada tahap awal pengembangan karena biaya produksi untuk isolasi dan pemurnian alelokimia tumbuhan (Valiño et al., 2023). Kondisi cuaca juga membuat pengembangan bioherbisida berbasis mikroba menantang dalam hal produksi skala besar dan konsistensi kinerja di lapangan (Rajakumar et al., 2025). Selain itu, interaksi antara senyawa tanah baik sinergis maupun antagonis dapat memengaruhi stabilitas efek biologis dan menyebabkan respons lapangan yang berbeda (Fadji et al., 2025; Inderjit & Keating, 1999; Duke, 2015).

### Interpretasi Senyawa Fitotoksik Dominan dari Ekstrak Akar Sorgum

**Tabel 3.** Senyawa teridentifikasi yang kemungkinan bersifat fitotoksik

Senyawa	Rumus Kimia	Golongan	Kadar Total (%)	Keterangan
(9E)-9-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	Asam lemak tak jenuh	22.95	Fitotoksik
Trans-13-Octadecenoic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	Asam lemak tak jenuh	16.48	Fitotoksik
Hexadecanoic acid	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	Asam lemak jenuh	2.76	Fitotoksik ringan
9-Octadecenamamide	C <sub>18</sub> H <sub>35</sub> NO	Amida asam lemak	5.67	Bioaktif
Alkaloid indolizino-karbazol	C <sub>23</sub> H <sub>32</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Alkaloid	2.24	Fitotoksik

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

Tabel 3 sebagian besar mengandung komponen asam lemak rantai panjang, terutama asam lemak tidak jenuh. Asam lemak ini telah dikaitkan dengan penghambatan perkecambahan, pemanjangan akar, dan pertumbuhan awal tanaman dalam beberapa penelitian. Selain itu, diduga bahwa alkaloid kompleks bekerja dengan sistem enzimatis tanaman untuk meningkatkan efek fitotoksik. Meskipun sebagian besar senyawa tidak larut dalam air, keberadaannya dapat memengaruhi aktivitas biologis ekstrak secara keseluruhan (Indarwati et al., 2023). Alelokimia diketahui secara mekanistik memiliki kemampuan untuk mengganggu sintesis DNA/RNA, respirasi, dan transport elektron pada tanaman target. Tingkat efek bergantung pada jenis tanaman, konsentrasi senyawa, dan sensitivitas spesiesnya (Khamare et al., 2022; Hasan et al., 2021; Amrullah et al., 2024).

Gangguan integritas membran dan

metabolisme energi sel tanaman biasanya dikaitkan dengan efek fisiologis alelokimia. Kerusakan membran dapat meningkatkan permeabilitas sel dan menghentikan transportasi ion, air, dan aktivitas enzim yang mendukung pertumbuhan tanaman. Ada bukti bahwa senyawa fenolik larut air dan asam organik dapat menghambat perkecambahan dengan mengganggu penyerapan air, nutrisi, dan aktivitas enzimatis. Akibatnya, pertumbuhan bibit terhambat (Anwar et al., 2021; Xie & Wang, 2024; Ammar et al., 2023; Almarie, 2020). Selain itu, ada laporan bahwa beberapa terpenoid dan alkaloid dapat menghambat metabolisme enzim respirasi dan asam nukleat. Enzim-enzim ini bertanggung jawab atas biosintesis protein dan metabolisme seluler tanaman target (Cahyati et al., 2022; Elos et al., 2023; Rahaman et al., 2022).

#### Peran Fraksi Hidrofobik dalam Formulasi Bioherbisida

**Tabel 4.** Senyawa teridentifikasi yang tidak diprioritaskan untuk bioherbisida larut air (hidrofobik murni)

Senyawa	Rumus Kimia	Golongan	Kadar (%)
Hexadecanoic acid, ethyl ester	$C_{18}H_{36}O_2$	Ester asam lemak	8.25
22-Stigmasten-3-one	$C_{29}H_{48}O$	Steroid	1.11
Ergost-4-en-3-one	$C_{28}H_{46}O$	Steroid	5.72
4,22-Stigmastadiene-3-one	$C_{29}H_{46}O$	Steroid	9.38
Stigmast-4-en-3-one	$C_{29}H_{48}O$	Steroid	1.38
Fitosterol turunan	$C_{29}H_{50}O_3$	Steroid	1.52

Sebagian besar senyawa yang ditemukan pada Tabel 4 adalah steroid dan ester asam lemak, yang memiliki sifat hidrofobik yang membuatnya tidak cocok untuk pembuatan bioherbisida berbasis air. Namun, fraksi lipofilik masih dapat berfungsi sebagai bagian bioaktif tambahan atau adjuvan yang dapat meningkatkan aktivitas

ekstrak secara keseluruhan. Ketika dibuat dalam minyak atau emulsi berbasis minyak, senyawa lipofilik dilaporkan memiliki kemampuan untuk meningkatkan penetrasi melalui kutikula dan penyerapan ke jaringan target. Penemuan serupa juga ditemukan pada ekstrak akar *Humulus scandens* dan bagian tanaman *Tetracera indica*; senyawa lipofilik

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

diduga berperan dalam mengganggu gangguan membran dan metabolisme energi gulma (Guntoro et al., 2020; Wang et al., 2021). Selain itu, beberapa turunan steroid dan triterpenoid dari tanaman lain juga diketahui memiliki sifat bioaktif yang berkontribusi pada penghentian pertumbuhan organisme yang dituju (Rachmawan & Dalimunthe, 2017; Mulyadi et al., 2021).

Profil GC-MS ekstrak akar sorgum umumnya menunjukkan kombinasi senyawa polar, semi polar, dan lipofilik. Senyawa polar dan semi polar dianggap lebih berpotensi untuk pembuatan bioherbisida berbasis air, sedangkan fraksi hidrofobik dianggap lebih berpotensi untuk mendukung aktivitas ekstrak atau sebagai kandidat formulasi berbasis minyak dan emulsi. Karakteristik kimia ini menunjukkan bahwa ekstrak akar sorgum memiliki potensi untuk berfungsi sebagai sumber bioherbisida alami yang lebih ramah lingkungan.

Selain identifikasi kuantitatif, visualisasi struktur kimia senyawa dominan seperti asam 9-octadecenoic, trans-13-octadecenoic acid, dan 2,3-dihydro-1-benzofuran sangat penting untuk memperkuat penjelasan kimiawi terhadap aktivitas alelopati ekstrak akar sorgum. Asam lemak tidak jenuh rantai panjang 9-octadecenoic dan trans-13-octadecenoic acid memiliki gugus karboksilat aktif dan ikatan rangkap yang diduga berperan dalam gangguan integritas membran sel tanaman target. Selain itu, struktur cincin aromatik heterosiklik 2,3-dihydro-1-benzofuran diketahui terkait dengan aktivitas biologis senyawa fenolik dan memiliki kemampuan untuk mempengaruhi proses fisiologis tanaman dengan berinteraksi dengan sistem enzimatik dan metabolisme seluler. Selain itu, keberadaan gugus polar

seperti -OH, -COOH dan heteroatom sulfur dan nitrogen pada beberapa senyawa yang dikenal menunjukkan kemungkinan kompatibilitas yang lebih baik dalam pembuatan bioherbisida berbasis air.

Sebaliknya, senyawa polar seperti phenol dan turunannya harus diperhatikan untuk stabilitas apabila diformulasikan dalam bentuk cair. Selama penyimpanan, senyawa fenolik diketahui rentan terhadap paparan suhu, cahaya, dan perubahan pH serta degradasi mikroba, yang dapat mengurangi aktivitas biologisnya. Sifat kelarutan tinggi air juga dapat meningkatkan kemungkinan transformasi kimia dan biodegradasi di lingkungan. Oleh karena itu, pembuatan formulasi cair memerlukan metode penstabilan seperti pengaturan pH, penggunaan agen pelindung, atau sistem pembawa tertentu. Ini akan memastikan bahwa senyawa aktif tetap stabil dan efektif baik selama penyimpanan maupun penggunaan di lapangan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sifat fisikokimia senyawa alelokimia mempengaruhi potensi bioaktivitas dan keberhasilan pembuatan bioherbisida yang stabil dan berguna.

## KESIMPULAN

Analisis GC-MS menunjukkan ekstrak akar sorgum mengandung banyak golongan senyawa alelokimia. Asam lemak tidak jenuh, fenolik, organosulfur, amida asam lemak, dan alkaloid adalah beberapa di antaranya. Senyawa dominan yang ditemukan adalah asam 9-octadecenoic (22,95%) dan asam trans-13-octadecenoic (16,48%), yang diduga bertanggung jawab atas aktivitas fitotoksik gulma. 2-aminoethanethiol hidrogen sulfat (12,28%), 2,3-dihydro-1-benzofuran (2,16%), dan fenol (1,40%) adalah beberapa senyawa polar-semi polar yang berpotensi

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

menghasilkan bioherbisida berbasis air. Secara keseluruhan, penelitian ini membantu dalam pemetaan profil alelokimia akar sorgum secara kuantitatif. Ini juga memberikan dasar ilmiah untuk memilih senyawa potensial dan memberi tahu cara membuat bioherbisida berbasis air dan emulsi/minyak. Hasilnya menunjukkan bahwa akar sorgum dapat digunakan sebagai sumber bioherbisida alami yang lebih ramah lingkungan untuk pengembangan.

Untuk memastikan bahwa respons biologisnya efektif, selektif, dan konsisten, penelitian lanjutan harus difokuskan pada uji bioaktivitas terarah terhadap gulma utama pada berbagai tingkat pengujian, mulai dari in vitro, rumah kaca, hingga lapangan. Selain itu, untuk meningkatkan stabilitas, daya simpan, dan efisiensi penggunaan senyawa aktif, formulasi yang sesuai perlu dikembangkan, termasuk sistem berbasis air dan emulsi minyak. Evaluasi persistensi, mobilitas, dan degradasi senyawa di tanah juga penting untuk menilai keamanan lingkungan dan risiko terhadap organisme non-target. Pengembangan bioherbisida akar sorgum yang lebih berguna dan berkelanjutan akan didukung oleh studi mekanisme kerja alelokimia, interaksi antar senyawa, dan metode ekstraksi yang lebih baik dan produksi skala besar.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Bengkulu dan Universitas Ratu Samban atas dukungan, fasilitasi, dan motivasi sehingga penelitian kolaboratif ini dapat dilaksanakan dengan baik. Semoga kolaborasi ini dapat terus terjalin di masa depan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alanaz, A. R., Alatawi, E. A. S., Alotaibi, R. S., Alatawi, E. A. H., Albalawi, A. D., Alhumayri, H. A., Alatawi, Q. S., & Alharbi, B. M. (2023). The bioherbicidal potential of some wild plants with allelopathic effects from the Tabuk Region on selected local weed species. *Frontiers in Plant Science*, *14*, Article 1286105. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1286105>
- Amrullah, R., Indarwati, I., & Susilo, A. (2024). Allelopathy test of *Cyperus rotundus* extract on germination and early growth of spiny amaranth weed (*Amaranthus spinosus*). *Journal of Applied Plant Technology*, *3*(2), 137–145. <https://doi.org/10.30742/6zjn2m95>
- Anh, L. H., Quan, N. V., Nghia, L. T., & Xuan, T. D. (2021). Phenolic allelochemicals: Achievements, limitations, and prospective approaches in weed management. *Weed Biology and Management*, *21*(2), 37–52. <https://doi.org/10.1111/wbm.12230>
- Anwar, S., Naseem, S., & Ali, Z. (2023). Biochemical analysis, photosynthetic gene (*psbA*) down-regulation, and in silico receptor prediction in weeds in response to exogenous application of phenolic acids and their analogs. *PLoS ONE*, *18*(3), e0277146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277146>
- Anwar, S., Naseem, S., Karimi, S., Asi, M. R., Akrem, A., & Ali, Z. (2021). Bioherbicidal activity and metabolic profiling of potent allelopathic plant fractions against major weeds of wheat—Way forward to lower the risk of synthetic herbicides. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 632390. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.632390>

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

- Cahyati, N., Sutanto, A., & Widowati, H. (2022). Pengaruh variasi campuran ekstrak *Imperata cylindrica* L. dan *Ageratum conyzoides* L. terhadap gulma dan pertumbuhan *Allium fistulosum* L. *Bioedukasi (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 13(1), 82–92. <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v13i1.5307>
- Chukwuma, O. C., Tan, S. P., Hughes, H., McLoughlin, P., O'Toole, N., & McCarthy, N. (2024). The potential of seaweeds as a rich natural source for novel bioherbicide formulation and development. *Weed Science*, 72(3), 216–225. <https://doi.org/10.1017/wsc.2024.1>
- Duke, S. O. (2015). Proving allelopathy in crop–weed interactions. *Weed Science*, 63(1), 121–132. <https://doi.org/10.1614/ws-d-13-00130.1>
- Elos, M. M., Campa-Perez, M. C., Ramírez-Pimentel, J. G., García-Rodríguez, J. G., Cervantes-Ortiz, F., & Rodríguez-Mercado, D. (2023). Actividad alelopática de exudados de raíz de alfalfa en *Arabidopsis thaliana*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(5), 1–12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i5.3090>
- Fadiji, A. E., Adeniji, A. A., Lanrewaju, A. A., & Babalola, O. O. (2025). Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: An overview of current knowledge and prospects. *Annals of Microbiology*, 75(1). <https://doi.org/10.1186/s13213-025-01812-y>
- Freitas, M. L. de O., Ricardo, L. L., Zonetti, P. da C., Carvalho, T. F. F. de, Andreola, R., Gonçalves-Zuliani, A. M. O., Mannigel, A. R., Oliveira, J. R. de, Felipe, D. F., Gasparotto, F., Schmidt-Filho, E., & Bido, G. de S. (2019). Control of invasive plants by the phytotoxicity effect of *Sorghum bicolor* [L.] Moench. *Journal of Agricultural Science*, 11(10), 313–321. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n10p313>
- Fu, Y., Bhadha, J. H., Rott, P., Beuzelin, J., & Kanissery, R. (2020). Investigating the use of aquatic weeds as biopesticides towards promoting sustainable agriculture. *PLoS ONE*, 15(8), e0237258. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237258>
- Guntoro, D., Rokhmaningsih, D. W., & Nuryana, F. I. (2020). Identification of allelochemical compounds from each part of *Tetracera indica* (L.) Merr. *Rasayan Journal of Chemistry*, 13(4), 2308–2316. <https://doi.org/10.31788/rjc.2020.1345763>
- Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An eco-friendly tool for sustainable weed management. *Plants*, 10(6), 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
- Hussain, M. I., Danish, S., Sánchez-Moreiras, A. M., Vicente, Ó., Jabran, K., Chaudhry, U. K., Branca, F., & Reigosa, M. J. (2021). Unraveling sorghum allelopathy in agriculture: Concepts and implications. *Plants*, 10(9), Article 1795. <https://doi.org/10.3390/plants10091795>
- Indarwati, I., Jili, A. Q. A., Susilo, A., & Suryaningsih, D. R. (2023). Potensi alelopati ekstrak gulma alang-alang sebagai bioherbisida. *Journal of Applied Plant Technology*, 2(1), 30–39. <https://doi.org/10.30742/japt.v2i1.77>

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

- Inderjit, & Keating, K. I. (1999). Allelopathy: Principles, procedures, processes, and promises for biological control. In *Advances in agronomy* (Vol. 67, pp. 141–231). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60515-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60515-5)
- Khamare, Y., Chen, J., & Marble, C. (2022). Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1034649. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1034649>
- Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., & Barchañska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: Challenges and prospects for sustainable agriculture. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *22*(2), 471–490. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
- Mali, A., Pawar, M. S., & Khade, V. N. (2021). Allelopathic effect of two invasive weeds on growth performance of *Sorghum vulgare* Pers. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *10*(3), 210–214. <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i3c.14073>
- Mudaningrat, A., Indriani, B. S., Istianah, N., Retnoningsih, A., & Rahayu, E. S. (2023). Literature review: Pemanfaatan jenis-jenis *Syzygium* di Indonesia. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya (JB&P)*, *10*(2), 135–142. <https://doi.org/10.29407/jbp.v10i2.20815>
- Mulyadi, M., Mahdi, N., Hidayat, M., Ahadi, R., Amin, N., & Rahayuni, S. (2021). Interspecific association of kayu lasun (*Dysoxylum alliaceum*) at Ketambe Research Center, Gunung Leuser National Park District Aceh, Indonesia. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan*, *9*(2), 203–214. <https://doi.org/10.22373/biotik.v9i2.10942>
- Mushtaq, W., & Fauconnier, M. (2024). Phenolic profiling unravelling allelopathic encounters in agroecology. *Plant Stress*, *13*, Article 100523. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100523>
- Pardo-Muras, M., Puig, C. G., & Pedrol, N. (2022). Complex synergistic interactions among volatile and phenolic compounds underlie the effectiveness of allelopathic residues added to the soil for weed control. *Plants*, *11*(9), Article 1114. <https://doi.org/10.3390/plants11091114>
- Portuguez-García, M. P., Agüero-Alvarado, R., & Lutz, M. I. G. (2021). Actividad herbicida de tres productos naturales sobre cuatro especies de arvenses. *Agronomía Mesoamericana*, *32*(3), 991–1005. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.41394>
- Rachmawan, A., & Dalimunthe, C. I. (2017). Prospek pemanfaatan metabolit sekunder tumbuhan sebagai pestisida nabati untuk pengendalian patogen pada tanaman karet. *Warta Perkaratan*, *36*(1), 15–26. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v36i1.324>
- Rahaman, F., Juraimi, A. S., Rafii, M. Y., Uddin, K., Hassan, L., Chowdhury, A. K., Karim, S. M. M., Rini, B. Y., Oladosu, Y., Bashar, H. M. K., & Hossain, A. (2022). Allelopathic potential in rice: A biochemical tool for plant defence against weeds. *Frontiers in Plant Science*, *13*, Article 1072723.

DOI: <https://doi.org/10.32663/ja.v24i1.5415>

- <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1072723>
- Rajakumar, D., Gomathy, M., & Sabarinathan, K. G. (2025). Microbial allelopathy: A review on ecofriendly and sustainable weed management strategy. *Applied Ecology and Environmental Research*, 23(1), 621–635. [https://doi.org/10.15666/aecr/2301\\_621635](https://doi.org/10.15666/aecr/2301_621635)
- Sahrir, M. A. S., Yusoff, N., Azizan, K. A., & Aridi, N. A. M. (2024). Assessing the allelopathic effect of *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty root methanolic extract on *Brassica rapa* subsp. *chinensis* var. *parachinensis* using an untargeted metabolomic approach. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 84(2), 154. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392024000200154>
- Valiño, A., Pardo-Muras, M., Puig, C. G., Periago, E. L., & Pedrol, N. (2023). Biomass from allelopathic agroforestry and invasive plant species as soil amendments for weed control: A review. *Agronomy*, 13(12), Article 2880. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122880>
- Wang, X., Wang, S., Zhu, J., Li, L., Ma, J., Zuo, L., Sun, X., Chen, B., & Yang, Z. (2024). Inhibition of co-occurring weeds and young sugarcane seedling growth by perennial sugarcane root extract. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58082-y>
- Widiyaningrum, P., Subekti, N., Setiati, N., & Nabilah, A. R. (2023). Potensi ekstrak limbah kulit petai dan kulit ubi kayu sebagai bioinsektisida pengendali serangga hama peternakan (*Alphitobius diaperinus*). In *Bookchapter Alam Universitas Negeri Semarang* (Vol. 2, pp. 1–10). <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.13965660-7>
- Xie, M., & Wang, X. (2024). Allelopathic effects of *Thuidium kanedae* on four urban spontaneous plants. *Scientific Reports*, 14(1), Article 65660. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65660-7>