

Evaluasi awal karakteristik fisikokimia dan efikasi pra-tumbuh herbisida alami berbahan dasar fermentasi air kelapa terhadap gulma *Asystasia gangetica*

Preliminary Evaluation of Physicochemical Properties and Pre-emergence Efficacy of Fermented Coconut Water-Based Natural Herbicide Against Asystasia gangetica

Rizky Rahmadi^{1*}, Priyadi¹, Denny Sudrajat¹, Dea Musytari Intan Iripawa¹, Tri Pujiana¹, Juwita Suri Maharani¹, Fajar Rochman¹

AFILIASI

¹Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung

*Korespondensi:

rizky.rahmadi@polinela.ac.id

Diterima: 03-10-2026

Disetujui: 23-10-2026

COPYRIGHT @ 2026 by
Agricola: Jurnal Pertanian.

This work is licensed under a
Creative Commons Attributions
4.0 International License

ABSTRACT

The intensive and persistent use of synthetic herbicides has triggered ecological crises and induced resistance in invasive weeds, such as *Asystasia gangetica*. Exploring environmentally friendly control alternatives utilizing organic waste, such as the bioconversion of fermented coconut water and garlic, is highly necessary. This study aims to evaluate the physicochemical dynamics of coconut water fermentation and to test the preliminary efficacy of this natural herbicide formulation against the seed viability of *A. gangetica* in soil media in a greenhouse. The formulation was fermented anaerobically for 14 days, with physicochemical observation intervals every two days. The pre-emergence efficacy test was structured using a single-factor Randomized Complete Block Design (RCBD) with five concentration levels (0%, 5%, 10%, 15%, and 20%) and five replications. Physicochemical results indicated an exponential decrease in acidity, reaching an extreme pH (3.02), and a surge in dissolved solids (2740 ppm) by day 14. Despite the formulation's high acidity, the Analysis of Variance (ANOVA) confirmed that all concentration levels had no significant effect on germination rate, germination capacity (89.80–93.40%), morphological growth, and seedling dry weight biomass. This ineffectiveness is attributed to rapid acid neutralization caused by the pH buffering capacity of Ultisol, the biodegradation of organosulfur agents in the soil ecosystem, and the impermeability of the *A. gangetica* seed testa. Based on these preliminary findings, fermented coconut water-based natural herbicide is not recommended for pre-emergence weed control applications in the soil but should be exclusively developed for post-emergence foliar contact applications.

KEYWORDS: Allelopathy, Natural herbicide, Organic acid, Organosulfur, Pre-emergence

ABSTRAK

Penggunaan herbisida sintetis secara intensif dan persisten telah memicu krisis ekologi dan memunculkan resistensi pada gulma invasif, seperti *Asystasia gangetica*. Eksplorasi alternatif pengendalian yang ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah organik, seperti bio-konversi fermentasi air kelapa dan bawang putih, sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dinamika karakteristik fisikokimia dari fermentasi air kelapa, serta menguji efikasi awal dari formulasi herbisida alami tersebut terhadap viabilitas kecambah biji gulma *A. gangetica* di media tanah pada rumah kaca. Formulasi difermentasi secara anaerobik selama 14 hari dengan interval pengamatan fisikokimia setiap dua hari. Uji efikasi pra-tumbuh (*pre-emergence*) dirancang menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal dengan lima taraf konsentrasi (0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%) dan lima ulangan. Hasil pengamatan fisikokimia menunjukkan penurunan eksponensial derajat keasaman hingga mencapai pH ekstrem (3,02) dan pelonjakan padatan terlarut (2740 ppm) pada hari ke-14. Meskipun formulasi bersifat asam pekat, hasil uji *Analysis of Variance* (ANOVA) mengonfirmasi bahwa seluruh taraf konsentrasi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kecepatan perkecambahan, daya berkecambah (89,80–93,40%), pertumbuhan morfologis, maupun bobot biomassa kecambah. Ketidakefektifan ini diduga berkaitan dengan terjadinya netralisasi asam yang sangat cepat akibat kapasitas

penyangga tanah (*pH buffering capacity*) Ultisol, biodegradasi agen organosulfur di tanah, serta impermeabilitas testa biji *A. gangetica*. Berdasarkan temuan awal ini, formulasi herbisida alami fermentasi air kelapa tidak direkomendasikan untuk aplikasi pengendalian gulma pra-tumbuh di tanah.

KATA KUNCI: Alelopati, Asam organik, Herbisida alami, Pra-Tumbuh, organosulfur

1. PENDAHULUAN

Pengendalian gulma secara kimiawi menggunakan herbisida sintetis telah lama menjadi komponen utama dalam manajemen gulma di lahan perkebunan tropis maupun subtropis. Akan tetapi, aplikasi herbisida sintetis secara intensif dan terus-menerus dalam jangka waktu yang lama terbukti memicu peningkatan resistensi populasi gulma, mendisrupsi keseimbangan mikrobioma tanah, serta meninggalkan residu beracun yang persisten terhadap agroekosistem dan kesehatan manusia (Parven et al., 2025; Rahmadi et al., 2021). Kondisi ekologi yang semakin tertekan menyebabkan dominasi gulma-gulma invasif berkembang secara eksponensial (Kato-Noguchi, 2022). Salah satu spesies gulma berdaun lebar yang mulai menunjukkan tingkat invasif yang mengkhawatirkan di berbagai areal perkebunan di Indonesia, Australia, dan Asia Tenggara adalah *Asystasia gangetica* (L.) T.Anderson subsp. *micrantha* (Ayuningtyas et al., 2025).

Gulma *A. gangetica* dikenal sebagai gulma menjalar yang memiliki laju pertumbuhan vegetatif sangat cepat dan tingkat kompetisi kanopi yang agresif. Kemampuannya dalam mendominasi lahan sangat didukung oleh mekanisme pembiakan ganda; ia mampu berkembang biak melalui stek batang yang menyentuh tanah lembab, maupun melalui letupan kapsul polong (*explosive dehiscent*) yang mampu melontarkan bijinya dalam radius yang luas (Wahua & Odogwu, 2021). Selain persaingan hara, air, dan cahaya matahari secara fisik, tumbuhan yang memiliki potensi melepaskan senyawa alelopati secara signifikan mampu mereduksi indeks perkecambahan dan hasil biomassa tanaman utama di sekitarnya (Kong et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan inovasi teknologi pengendalian alternatif yang efektif namun tetap menjamin keberlanjutan kelestarian lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan herbisida alami yang memanfaatkan bahan baku lokal bebas kimia sintetis (Rahmadi et al., 2026).

Air kelapa merupakan limbah organik industri pertanian yang sangat potensial untuk direkayasa menjadi agen herbisida alami. Melalui proses fermentasi anaerobik menggunakan konsorsium bakteri asam laktat dan *Saccharomyces cerevisiae*, karbohidrat terlarut di dalam air kelapa dikonversi menjadi metabolit primer berupa asam organik (Limbad et al., 2023). Aplikasi asam organik pekat dengan derajat keasaman (pH) rendah pada permukaan daun secara fisiologis mampu meluruhkan lapisan lilin dan epikutikular, memicu desikasi, dan mematikan jaringan gulma secara kontak (El-Wakeel et al., 2026). Efikasi daya racun asam organik ini dapat diperkuat dengan penambahan ekstrak umbi bawang putih (*Allium sativum*). Umbi bawang putih kaya akan senyawa organosulfur, terutama kelompok dialil tiosulfonat (*allicin*), yang merupakan senyawa alelopati kuat dan bio-inhibitor alami (Yang et al., 2019). Formulasi ekstrak *A. sativum* ini terbukti secara sitologis mampu menghambat laju pembelahan sel (mitosis) pada zona meristematik akar (Cheng et al., 2016). Kombinasi antara peluruhan lapisan lilin oleh asam organik dan keracunan seluler oleh organosulfur bawang putih ini diproyeksikan mampu menjadi agen fitotoksik gulma.

Potensi fitotoksitas formulasi fermentasi air kelapa ini sebelumnya telah dibuktikan efektif oleh Iskandar et al. (2023) sebagai herbisida pasca-tumbuh (*post-emergence*) yang merusak daun gulma secara kontak. Namun, respons kemanjurannya apabila diaplikasikan sebagai agen pra-tumbuh (*pre-emergence*) ke media tanah belum pernah dieksplorasi. Pengujian pra-tumbuh ini sangat penting dilakukan untuk mengevaluasi apakah daya korosif asam organik pekat dan senyawa penghambat mitosis tersebut juga mampu menembus dan merusak kulit biji (testa) gulma sebelum kecambah muncul ke permukaan tanah. Efektivitas herbisida yang diaplikasikan ke tanah (*soil-applied herbicide*) sangat dipengaruhi oleh kapasitas penyangga tanah (*soil buffering capacity*), laju biodegradasi bahan aktif oleh mikrobioma, dan pelarutan zat aktif (Grün et al., 2026). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dinamika karakteristik fisikokimia dari fermentasi air kelapa, serta menguji efikasi awal dari formulasi herbisida alami tersebut terhadap variabel viabilitas kecambah biji gulma *A. gangetica* secara *in vivo* di media tanah.(Grün et al., 2026)

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini merupakan riset eksperimental *in vivo* yang dilaksanakan pada bulan Juli hingga Agustus 2026. Seluruh tahapan persiapan, inkubasi formulasi, hingga pengujian efikasi pra-tumbuh dilakukan di fasilitas rumah kaca (greenhouse) *Teaching Factory Polinela Organic Farm* (TeFa POF), Politeknik Negeri

Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, yang terletak pada koordinat geografis 5°21'11"S 105°13'41"E dengan elevasi 113 mdpl.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan meliputi 1 liter air kelapa tua segar (*Cocos nucifera*), 5 gram ragi tape (sebagai sumber agen *S.cerevisiae* dan bakteri asam laktat), 5 gram umbi bawang putih (*A. sativum*) segar, 5 gram garam krosok (NaCl), dan biji gulma *A. gangetica* yang diambil secara serentak dari vegetasi alami lahan TeFa POF. Pengambilan biji dilakukan pada rentang waktu pagi hari guna mencegah pecahnya kapsul polong secara prematur akibat paparan suhu tinggi di siang hari. Biji yang telah dipanen kemudian diseleksi, dibersihkan, lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 1x24 jam untuk menstabilkan dormansi sesaat sebelum ditanam. Media tanam gulma yang digunakan yaitu jenis tanah Ultisol yang diambil langsung dari lahan TeFa POF pada kedalaman olah (lapisan *top soil* 0–20 cm). Alat yang digunakan meliputi bioreaktor anaerobik berkapasitas 2 liter, alat ukur pH-meter digital, TDS-meter, termometer cairan, *hand sprayer*, *tray* (nampan) semai plastik berukuran 30 x 20 cm, jangka sorong, timbangan analitik digital, dan oven laboratorium.

2.3. Proses Fermentasi dan Formulasi

Proses fermentasi dilakukan melalui modifikasi teknik fermentasi anaerobik Iskandar et al. (2023). Satu liter air kelapa dimasukkan ke dalam satu unit bioreaktor berkapasitas 5 liter, kemudian diinokulasi dengan 5 gram ragi tape yang telah dihaluskan. Bioreaktor ditutup rapat untuk menciptakan kondisi kedap udara (anaerobik) dan diinkubasi pada suhu ruang selama 14 hari. Pemantauan perubahan sifat fisikokimia cairan dilakukan setiap dua hari sekali (interval hari ke-0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, dan 14) melalui tiga kali ulangan pengukuran (n=3) dari sampel cairan pada wadah yang sama. Parameter yang diukur meliputi derajat keasaman menggunakan pH-meter, tingkat padatan terlarut total menggunakan TDS-meter (dalam satuan ppm), dan suhu cairan secara *real-time*. Setelah 14 hari, cairan disaring dari residu. Sesaat sebelum aplikasi ke *tray* yang berisi biji gulma, cairan fermentasi tersebut dihomogenisasi dengan ekstrak 5 gram bawang putih yang telah dilumatkan dan 5 gram NaCl. Penentuan takaran ini merupakan modifikasi dari metode formulasi herbisida alami yang dilaporkan oleh Aulia et al. (2024). Larutan pekat ini kemudian ditetapkan sebagai larutan stok (konsentrasi 100%) dan diencerkan menggunakan air destilasi sesuai dengan taraf perlakuan eksperimen.

2.4. Rancangan Penelitian dan Aplikasi Perlakuan

Uji viabilitas pra-tumbuh (*pre-emergence*) didesain menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktor tunggal. Perlakuan terdiri atas lima taraf konsentrasi aplikasi larutan herbisida alami, yaitu: P0 (Kontrol *aquades*/0%), P1 (5%), P2 (10%), P3 (15%), dan P4 (20%). Tiap-tiap taraf perlakuan direplikasi (diulang) sebanyak lima kali secara acak di dalam blok pengelompokan yang berbeda, sehingga secara keseluruhan terdapat 25 unit percobaan.

Setiap unit percobaan menggunakan satu *tray* plastik yang diisi oleh media tanah Ultisol homogen setebal 5 cm. Sebanyak 10 butir biji *A. gangetica* viabel ditaburkan ke dalam tiap *tray* pada kedalaman tanam yang seragam (± 1 cm), lalu ditutup tipis dengan agregat tanah. Segera sesudah fase penanaman (0 Hari Setelah Tanam), larutan herbisida alami diaplikasikan langsung menyelimuti permukaan tanah secara serentak menggunakan *hand sprayer*. Tekanan pompa nosel disesuaikan untuk mencapai *output* semprotan ekuivalen 500 L/ha guna memastikan lapisan permukaan tanah terbasahi oleh partikel semprotan. Selama dua minggu fase observasi, unit percobaan dijaga kelembapannya melalui penyemprotan dengan air pada pagi hari.

2.5. Variabel Pengamatan dan Analisis Data

Evaluasi efikasi formulasi herbisida alami berbahan dasar fermentasi air kelapa dilakukan secara berkala dan diakhiri dengan panen destruktif pada 14 Hari Setelah Aplikasi (HSA). Parameter morfologis dan fisiologis yang dikuantifikasi meliputi:

- Kecepatan Perkecambahan (%/hari): Dihitung setiap hari menggunakan persamaan Indeks Kecepatan Perkecambahan Gardarin et al. (2011).

$$IKP = \sum \frac{N_i}{T_i} \quad (1)$$

Dimana :

N_i merepresentasikan persentase benih yang berkecambah pada observasi hari ke- i ,

T_i merupakan waktu pengamatan dalam satuan hari

- b. Daya Kecambah (%): Dihitung secara kumulatif pada 14 HSA berdasarkan rasio jumlah biji yang sukses membentuk kecambah normal terhadap total populasi biji yang ditanam awal (10 biji/tray).
- c. Tinggi Kecambah (cm): Diukur secara linear dari batas kerah akar (pangkal batang di permukaan tanah) hingga ke titik tumbuh tajuk apikal tertinggi.
- d. Panjang Akar (cm): Diukur pada 14 HSA pasca-ekstraksi kecambah dari media tanah; membentang dari pangkal sistem perakaran hingga ke ujung akar meristematik terdalam.
- e. Bobot Kering Kecambah (g): Ditimbang menggunakan timbangan analitik pasca-pengeringan suhu konstan dalam oven bersuhu 80 °C selama 48 jam.
- f. Keracunan (%): Dievaluasi secara kuantitatif untuk mengidentifikasi ada tidaknya kerusakan jaringan (seperti gejala klorosis atau nekrosis pada kotiledon) mengacu pada standar Canadian Weed Science Society (2018).

Seluruh data pengamatan dianalisis menggunakan metode Analisis Sidik Ragam (ANOVA) (*F-test*) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Apabila *F*-hitung menunjukkan pengaruh nyata, analisis dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Pengolahan data komputasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Statistical Tool for Agricultural Research* (STAR) versi 2.0.1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengamatan Fisikokimia Herbisida Alami

Proses fermentasi anaerobik air kelapa menggunakan konsorsium ragi tape selama 14 hari menghasilkan dinamika perubahan sifat fisikokimia yang sejalan dengan laju kinetika glikolisis. Pengamatan kuantitatif terhadap derajat keasaman (pH), konsentrasi *Total Dissolved Solids* (TDS), dan suhu cairan disajikan pada Tabel 1. Hasil pengamatan (Tabel 1) menunjukkan terjadinya penurunan pH cairan secara eksponensial dari awal masa inkubasi. Pada fase adaptasi di hari ke-0, pH cairan berada pada tingkat keasaman sedang (5,42). Seiring berjalannya waktu, pH cairan merosot tajam hingga mencapai titik puncak keasaman pada akhir masa inkubasi (hari ke-14) dengan nilai pH 3,02. Penurunan derajat keasaman ini merupakan salah satu indikator utama dari keberhasilan metabolisme konsorsium mikroba. Ragi tape mengandung konsorsium kompleks, termasuk *S. cerevisiae*, kapang (*Amylomyces/Rhizopus*), dan bakteri asam laktat (Limbad et al., 2023). Akumulasi asam organik dalam konsentrasi tinggi menjadikan formulasi herbisida nabati ini secara teoritis memiliki daya korosif yang kuat terhadap jaringan epidermis tumbuhan (El-Wakeel et al., 2026).

Berbanding terbalik dengan penurunan pH, nilai padatan terlarut (TDS) mengalami pelonjakan yang bersifat linear. Nilai TDS melonjak secara berangsur dari 1380 ppm (hari ke-0) menjadi 2740 ppm (hari ke-14). Peningkatan TDS sebesar dua kali lipat ini tidak hanya disebabkan oleh terurainya makromolekul karbohidrat menjadi monosakarida dan ion-ion asam terlarut, tetapi juga merepresentasikan lonjakan konsentrasi ion-ion bebas yang terlarut di dalam cairan akibat disosiasi ekskresi asam organik dari konsorsium mikroorganisme itu sendiri seiring dengan fase pertumbuhan eksponensial. Sementara itu, suhu cairan yang semula hangat (31,60 °C) akibat reaksi eksotermik di awal perombakan substrat, perlahan mendingin dan stabil di angka 27,90 °C pada hari ke-14. Penurunan suhu ini menandakan berhentinya aktivitas metabolisme akibat menipisnya cadangan nutrisi dan tingginya tingkat keasaman cairan yang membatasi perbanyakan sel lebih lanjut.

Table 1. Fisikokimia Herbisida Alami (Interval 2 hari) Selama 14 Hari Waktu Fermentasi

Waktu Fermentasi	Derajat Keasaman (pH)	Padatan Terlarut (ppm)	Suhu Cairan (°C)
Hari ke-0	5,42 ± 0,04	1380 ± 15,00	31,60 ± 0,30
Hari ke-2	4,90 ± 0,05	1610 ± 22,00	31,10 ± 0,20
Hari ke-4	4,35 ± 0,08	1845 ± 28,00	30,60 ± 0,40
Hari ke-6	3,98 ± 0,06	2060 ± 36,00	30,00 ± 0,20
Hari ke-8	3,65 ± 0,04	2275 ± 42,00	29,40 ± 0,50
Hari ke-10	3,34 ± 0,07	2450 ± 39,00	28,80 ± 0,30
Hari ke-12	3,08 ± 0,03	2610 ± 45,00	28,30 ± 0,20
Hari ke-14	3,02 ± 0,05	2740 ± 53,00	27,90 ± 0,10

Keterangan: Data disajikan dalam format rata-rata ± standar deviasi (n = 3 ulangan).

3.2. Efikasi Pra-Tumbuh Terhadap Gulma *A. gangetica*

Keberhasilan fitotoksitas dari kombinasi asam organik pekat dan ekstrak bawang putih (*organosulfur*) dievaluasi melalui uji aplikasi pra-tumbuh (*pre-emergence*) langsung ke media tanah Ultisol. Rekapitulasi hasil uji Analisis Sidik Ragam (ANOVA) dan rata-rata pengamatan viabilitas kecambah *A. gangetica* hingga umur 14 Hari Setelah Aplikasi (HSA) disajikan berturut-turut pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 2), aplikasi herbisida alami pada seluruh rentang taraf konsentrasi (5% hingga 20%) menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata (*non-significant*) secara statistik terhadap semua parameter viabilitas biji *A. gangetica* (nilai *p-value* > 0,05 dan F-hitung < F-tabel). Data empiris pada Tabel 3 memperkuat temuan ini. Laju pertumbuhan awal yang direpresentasikan melalui indeks kecepatan perkecambahan harian (12,15–12,52 %/hari) dan daya kecambah kumulatif pada 14 HSA (89,80–93,40%) dari seluruh perlakuan penyemprotan asam organik (P1-P4) setara kualitasnya dengan perlakuan kontrol yang diaplikasikan *aquades* (P0). Tidak hanya sukses berkecambah dan menembus permukaan tanah, morfologi kecambah yang muncul pada semua perlakuan bioherbisida tetap tumbuh dengan vigor yang normal tanpa menunjukkan adanya indikasi gejala hambatan meristematik (*stunting*). Konfirmasi viabilitas ini terlihat jelas dari seragamnya parameter pengamatan yang diamati antara perlakuan dan kontrol, serta persentase keracunan visual (evaluasi CWSS) yang stabil berada di angka 0,00%, mengindikasikan absennya fenomena klorosis (kegagalan pembentukan pigmen klorofil) maupun nekrosis (kematian jaringan kering) pada jaringan kotiledon.

Table 2. Rekapitulasi Hasil ANOVA Parameter Pengamatan Uji Efikasi Pra-Tumbuh Pada 14 HSA

Variabel Pengamatan	p-value	F-Hitung	CV (%)	Keterangan
Kecepatan Perkecambahan	0,912	0,23	4,85	tn
Daya Berkecambah	0,654	0,62	4,82	tn
Tinggi Kecambah	0,845	0,34	7,12	tn
Panjang Akar	0,958	0,14	6,34	tn
Bobot Kering Kecambah	0,551	0,78	9,80	tn

Keterangan: tn = tidak berpengaruh nyata pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$).

Table 3. EFikasi Pra-TUMbuh Herbisida Alami Terhadap *A. gangetica* Pada 14 HSA

Perlakuan	Kecepatan Perkecambahan (% / hari)	Daya Kecambah (%)	Tinggi Kecambah (cm)	Panjang Akar (cm)	Bobot Kering (g)	Keracunan (%)
P0 (0 %)	12,45 ± 0,62	92,60 ± 4,15	5,12 ± 0,35	3,85 ± 0,22	0,05 ± 0,00	0,00 ± 0,00
P1 (5%)	12,30 ± 0,55	91,20 ± 3,80	5,08 ± 0,42	3,78 ± 0,30	0,05 ± 0,01	0,00 ± 0,00
P2 (10%)	12,52 ± 0,70	93,40 ± 4,65	5,15 ± 0,38	3,90 ± 0,25	0,06 ± 0,01	0,00 ± 0,00
P3 (15%)	12,15 ± 0,48	89,80 ± 5,20	4,95 ± 0,28	3,75 ± 0,28	0,04 ± 0,00	0,00 ± 0,00
P4 (20%)	12,28 ± 0,65	90,60 ± 4,45	5,05 ± 0,40	3,82 ± 0,18	0,05 ± 0,01	0,00 ± 0,00

Keterangan: Data disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi

Ketidakmampuan formulasi herbisida alami ini dalam menekan viabilitas biji gulma membuktikan bahwa cairan fermentasi asam organik dan ekstrak bawang putih gagal bertindak sebagai agen pra-tumbuh. Kegagalan ini diakibatkan mekanisme hambatan interaksi antara kimia tanah dan biologi biji, yang diuraikan ke dalam tiga faktor utama yaitu kapasitas penyangga tanah, biodegradasi senyawa aktif, dan impermeabilitas biji *A. gangetica*.

Faktor penghambat yang pertama adalah tingginya kapasitas penyangga tanah (*pH buffering capacity*) dari substrat yang digunakan. Media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah Ultisol yang bersifat masam. Meskipun bersifat masam, Ultisol memiliki kandungan mineral liat silikat dan oksida besi-aluminium (seskuioksida) yang bertindak sebagai sistem penyangga pH (*pH buffering capacity*) yang masif di dalam tanah (Shi et al., 2017). Ketika larutan herbisida alami dengan derajat keasaman ekstrem (pH 3,02) disemprotkan ke permukaan, kelimpahan gugus hidroksil permukaan pada mineral liat Ultisol akan secara instan mengadsorpsi (mengikat) ion hidrogen (H^+) bebas dari cairan asam organik tersebut (Shi et al., 2017). Proses netralisasi kimiawi ini seketika menaikkan dan mengembalikan pH cairan di sekitar zona biji menuju pH ekuilibrium tanah hanya dalam hitungan jam. Akibatnya, daya korosif asam laktat lenyap sebelum sempat mengerosi lapisan benih.

Faktor determinan kedua terletak pada kerentanan senyawa fitotoksik sekunder terhadap biodegradasi ekosistem tanah. Ekstrak bawang putih ditambahkan sebagai agen *phytotoxic* sekunder karena senyawa *organosulfur*-nya, terutama *allicin*, memiliki daya alelopati kuat untuk menghambat pembelahan sel (mitosis) akar (Cheng et al., 2016). Namun, *allicin* dikenal sebagai senyawa sulfur yang sangat tidak stabil secara struktural. Pada kondisi matriks tanah lembab, senyawa *allicin* mengalami degradasi secara cepat menjadi senyawa turunan *allyl sulfides* yang memiliki waktu paruh (*half-life*) sangat singkat dan berdaya racun rendah (Borlinghaus et al., 2014). Selain itu, komponen organik dari cairan fermentasi bertindak sebagai sumber karbon yang memicu lonjakan aktivitas mikroba heterotrof alami di dalam tanah, sehingga senyawa *organosulfur* tersebut habis terurai secara biologis (*biodegradation*) sebelum mencapai radikula biji gulma. Sifat herbisida alami ini sangat kontras dengan herbisida sintetik berbahan aktif *metsulfuron-methyl* atau *diuron* yang memang dirancang memiliki residu persisten berbulan-bulan di dalam profil tanah (Rahmadi et al., 2021).

Faktor terakhir yang menggagalkan efikasi formulasi ini berasal dari mekanisme pertahanan anatomi biji gulma sasaran. Biji *A. gangetica* dilindungi oleh lapisan kulit biji (testa) bersklerenkim yang tebal dan bersifat impermeabel (kedap cairan) selama masa dormansi (Yaqin et al., 2024). Karena asam organik (sebagai perusak kutikula) telah ternetralisir oleh kapasitas penyangga Ultisol, sisa senyawa yang ada kehilangan daya penetrasinya terhadap lapisan impermeabel testa tersebut. Embrio gulma tetap terlindungi sempurna hingga air murni meresap (*imbibisi*) dan memicu perkecambahan yang sehat.

Temuan dari uji pra-tumbuh ini mengonfirmasi bahwa herbisida alami berbasis fermentasi air kelapa dan ekstrak bawang putih tidak direkomendasikan untuk pengendalian preventif pada bank biji gulma di dalam tanah (*weed seed bank*).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa proses fermentasi anaerobik air kelapa yang diformulasikan dengan ekstrak bawang putih selama 14 hari berhasil menghasilkan formulasi herbisida alami dengan tingkat keasaman rendah (pH 3,02) dan padatan terlarut tinggi (2740 ppm). Meskipun memiliki sifat asam yang kuat, aplikasi formulasi ini hingga konsentrasi 20% terbukti tidak efektif sebagai agen pengendali gulma pra-tumbuh (*pre-emergence*) dalam menekan viabilitas dan pertumbuhan kecambah biji gulma *A. gangetica* di media tanah Ultisol. Kegagalan fitotoksitas ini diduga oleh netralisasi asam yang cepat akibat kapasitas penyangga tanah, laju biodegradasi senyawa aktif oleh mikrobioma tanah, serta terhambatnya penetrasi zat oleh anatomi kulit biji (testa) yang impermeabel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Lampung atas dukungan pendanaan yang telah diberikan untuk penelitian ini melalui Hibah Penelitian Terapan Reguler Dosen DIPA Politeknik Negeri Lampung 2026 Nomor Kontrak: 163.58/DST/PL15.8/PP/2026.

DAFTAR PUSTAKA

- Aulia, N., Tabitasari, M. P., & Mujoko, T. (2024). Pembuatan Bioherbisida Air Kelapa Untuk Mengendalikan Gulma di Dusun Ngadilegi Utara. *Jurnal Informasi Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 43–49. <https://doi.org/10.47861/jipm-nalanda.v2i1.751>
- Ayuningtyas, A. J., Afrianti, S., Baba, S., & Basyuni, M. (2025). Management recommendations for invasive alien plants in a university arboretum of North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 26(11). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d261116>
- Borlinghaus, J., Albrecht, F., Gruhlke, M., Nwachukwu, I., & Slusarenko, A. (2014). Allicin: Chemistry and Biological Properties. *Molecules*, 19(8), 12591–12618. <https://doi.org/10.3390/molecules190812591>
- Canadian Weed Science Society. (2018). *Description of 0-100 rating scale for herbicide efficacy and crop phytotoxicity*. <https://Weedscience.ca/Cwss-Visual-Ratings-Scale/>.
- Cheng, F., Cheng, Z., Meng, H., & Tang, X. (2016). The Garlic Allelochemical Diallyl Disulfide Affects Tomato Root Growth by Influencing Cell Division, Phytohormone Balance and Expansin Gene Expression. *Frontiers in Plant Science*, Volume 7-2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01199>
- El-Wakeel, M. A., Ahmed, S. E.-D. A. E.-G. A., & Messiha, N. K. (2026). Estimation of acetic acid as a natural-product herbicide for controlling purple nutsedge weed associated with maize plants in organic agriculture. *Journal of Natural Pesticide Research*, 18, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.napere.2026.100231>

- Gardarin, A., Dürr, C., & Colbach, N. (2011). Prediction of germination rates of weed species: Relationships between germination speed parameters and species traits. *Ecological Modelling*, 222(3), 626–636. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.10.005>
- Grün, E., Corrêa, A. R., Avila Neto, R. C., Leichtweis, E. M., Bortolin, E. S., Reis, K. V. V., Heinzmann, N., Folharini, P. H., & Ulguim, A. da R. (2026). Impact of Pre-Emergent Herbicides and Soil Management on Weed Community Dynamics and Soybean Yield. *International Journal of Agronomy*, 2026(1). <https://doi.org/10.1155/ioa/9309425>
- Iskandar, J., Anwar, R., & Sunarti, S. (2023). The Influence of Dose Herbicide Fermented Coconut Water Raw Material Against Weeds in Immature Oil Palm Plantations. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi Dan Budidaya Perairan*, 21(1), 282. <https://doi.org/10.32663/ja.v21i1.3918>
- Kato-Noguchi, H. (2022). Allelopathy and allelochemicals of *Imperata cylindrica* as an invasive plant species. *Plants*, 11(19), 2551.
- Kong, C.-H., Xuan, T. D., Khanh, T. D., Tran, H.-D., & Trung, N. T. (2019). Allelochemicals and signaling chemicals in plants. *Molecules*, 24(15), 2737.
- Limbadi, M., Gutierrez-Maddox, N., Hamid, N., Kantono, K., Liu, T., & Young, T. (2023). Microbial and Chemical Changes during Fermentation of Coconut Water Kefir Beverage. *Applied Sciences*, 13(12), 7257. <https://doi.org/10.3390/app13127257>
- Parven, A., Meftaul, I. M., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2025). Herbicides in modern sustainable agriculture: environmental fate, ecological implications, and human health concerns. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(2), 1181–1202. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05818-y>
- Rahmadi, R., Pujisiswanto, H., Dulbari, Subarjo, Priyadi, Rochman, F., & Suasono, B. (2026). Potensi Senyawa Fitokimia Gulma Invasif *Cyperus rotundus* dan *Imperata cylindrica* sebagai Herbisida Alami. *AGRICOLA*, 16(2), 128–135. <https://doi.org/10.35724/ag.v16i2.7305>
- Rahmadi, R., Sriyani, N., Yusnita, Y., Pujisiswanto, H., & Hapsoro, D. (2021). Resistance status and physiological activity test of *Sphenoclea zeylanica* and *Ludwigia octovalvis* in paddy field to 2,4-d and metsulfuron-methyl herbicides. *Biodiversitas*, 22(5), 2829–2838. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220547>
- Shi, R., Hong, Z., Li, J., Jiang, J., Baquy, M. A.-A., Xu, R., & Qian, W. (2017). Mechanisms for Increasing the pH Buffering Capacity of an Acidic Ultisol by Crop Residue-Derived Biochars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(37), 8111–8119. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02266>
- Wahua, C., & Odogwu, B. A. (2021). Taxonomic Characteristics and Phytochemical Constituents of *Asystasiagangetica* (L.) T. Anderson, a Member of Acanthaceae. *Asian Journal of Biology*, 18–24. <https://doi.org/10.9734/ajob/2021/v11i430149>
- Yang, F., Liu, X., Wang, H., Deng, R., Yu, H., & Cheng, Z. (2019). Identification and Allelopathy of Green Garlic (*Allium sativum* L.) Volatiles on Scavenging of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Reactive Oxygen Species. *Molecules*, 24(18), 3263. <https://doi.org/10.3390/molecules24183263>
- Yaqin, R. A., Santosa, E., & Guntoro, D. (2024). Allelopathic potential of *Asystasia gangetica*: A study on growth and production of sweet corn. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 52(3), 426–436. <https://doi.org/10.24831/jai.v52i3.59421>