

Potensi Ekstrak Daun *Eucalyptus pellita* sebagai Bioherbisida Pratumbuh untuk Pengendalian Gulma

Potential of Eucalyptus pellita Leaf Extract as Pre-emergence Bioherbicide to Control Weeds

Yuni Andriyani¹, Dwi Guntoro^{2*}

¹Program Studi Agronomi dan Hortikultura Departemen Agronomi dan Hortikultura,
Institut Pertanian Bogor (IPB University)

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, (IPB University)
Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

*Penulis Korespondensi: dwi.guntoro@apps.ipb.ac.id

Disetujui: 20 November 2024 / Published Online Januari 2025

ABSTRACT

The application of bioherbicides is an alternative to reduce the risk of environmental pollution due to the use of synthetic herbicides. *Eucalyptus pellita* plants contain allelochemical substances that have the potential to be bioherbicides. The study aimed to reveal the potential of *E. pellita* leaf extract as a pre-emergence bioherbicide for weed control in greenhouse experiments. The experiment was arranged in a randomized block design with four replications. The treatments consisted of seven leaf extract concentrations, namely 0 (control), 50, 100, 150, 200, 300, and 400 g L⁻¹. The experimental unit was a pot 15 cm in diameter and 20 cm high. The target weeds were *Asystasia gangetica*, *Borreria alata*, *Eleusine indica*, and *Cyperus brevifolius*. The results showed that *E. pellita* leaf extracts suppressed the germination of target weed seeds in greenhouse experiments. The *E. pellita* leaf extracts at 200 g L⁻¹ up to 400 g L⁻¹ suppressed the growth of plumule and radicle of the target weeds in a greenhouse experiment. The extracts did not affect the germination of *C. brevifolius*.

Keywords: allelopathy, bioherbicide, concentration, germination, weed suppression

ABSTRAK

Aplikasi bioherbisida merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat penggunaan herbisida sintesis. Tanaman *Eucalyptus pellita* mengandung zat alelokimia yang berpotensi sebagai bioherbisida. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekstrak daun *E. pellita* sebagai bioherbisida pratumbuh untuk pengendalian gulma dalam percobaan di rumah kaca. Percobaan disusun menggunakan rancangan acak kelompok dengan empat ulangan. Perlakuan terdiri dari tujuh konsentrasi ekstrak daun, yaitu 0 (kontrol), 50, 100, 150, 200, 300, dan 400 g L⁻¹. Unit percobaan berupa pot berdiameter 15 cm dan tinggi 20 cm. Gulma yang menjadi target adalah *Asystasia gangetica*, *Borreria alata*, *Eleusine indica*, dan *Cyperus brevifolius*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun *E. pellita* menekan perkecambahan benih gulma target dalam percobaan rumah kaca. Ekstrak daun *E. pellita* pada 200 g L⁻¹ hingga 400 g L⁻¹ menekan pertumbuhan plumula dan radikula gulma target dalam percobaan rumah kaca. Ekstrak tidak mempengaruhi perkecambahan *C. brevifolius*.

Kata kunci: alelopati, bioherbisida, konsentrasi, perkecambahan, penekanan gulma

PENDAHULUAN

Gulma merupakan salah satu kendala dalam produksi pertanian yang dapat menyebabkan penurunan hasil pada semua sistem produksi pertanian (Tucuch-Pérez *et al.*, 2023; Aurelio *et al.*,

2020). Pengendalian gulma saat ini banyak dilakukan dengan menggunakan herbisida sintetik karena alasan efisiensi waktu dan biaya tenaga kerja (Dar *et al.*, 2020). Herbisida menyumbang 60% dari semua pestisida yang paling banyak diterapkan dalam pertanian (Kaur, 2019). Namun, penggunaan

herbisida sintetik berisiko menyebabkan pencemaran lingkungan (Geetha, 2019; Soares *et al.*, 2019; Shahena *et al.*, 2020), menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan manusia dan munculnya gulma resistan terhadap herbisida (Scavo *et al.*, 2020), serta dapat memunculkan masalah resistensi gulma ketika aplikasinya yang terus menerus dan kumulatif (Benchaa *et al.*, 2018).

Pendekatan ekologis dalam pengelolaan gulma pada sistem produksi pertanian diarahkan pada upaya mengurangi risiko pencemaran lingkungan dan mencegah resistensi gulma (Balaure *et al.*, 2017; Ofusu *et al.*, 2023). Salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan herbisida sintetik adalah penggunaan bioherbisida yang berasal dari zat alelopati tumbuhan (Lins *et al.*, 2019; Pinto *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022).

Tanaman *Eucalyptus* spp. merupakan tanaman kehutanan yang tumbuh cepat dan banyak dikembangkan sebagai Hutan Tanaman Industri (HTI) (Hazama *et al.*, 2022). Tanaman ini banyak dimanfaatkan untuk produksi pulp, kayu lapis, kayu solid, dan minyak aromatik (Kanas *et al.*, 2020; Dhakad *et al.*, 2018). Spesies *Eucalyptus* mengandung zat alelokimia antara lain α -pinene, 1,8-cineol dan pinocarveol-trans. Kandungan senyawa 1,8-cineol mencapai sebesar 49.07-83.59% (Kanas, 2020; Sebei *et al.*, 2015). Spesies *Eucalyptus bicostata*, *Eucalyptus gigantea*, *Eucalyptus intertexta*, *Eucalyptus obliqua* mengandung eukaliptol (25.3-91.4%). Spesies *Eucalyptus pauciflora* dan *Eucalyptus tereticornis* mengandung piperiton (28.8-54.0%). Zat alelokimia pada daun *Eucalyptus* dapat menghambat perkecambahan gulma (Ghnaya *et al.*, 2015).

Pengujian zat alelokimia *Eucalyptus* terhadap gulma *Sinapis arvensis*, *Lolium multiflorum*, dan *Raphanus sativus* menunjukkan bahwa ekstrak daun *Eucalyptus* dapat menghambat perkecambahan biji, menghambat pemanjangan radikula, serta menyebabkan fitotoksisitas terhadap *S. arvensis* dan *R. sativus* (Polito *et al.*, 2022). Ghnaya *et al.* (2015) melaporkan bahwa ekstrak daun *Eucalyptus erythrocorys* menghambat perkecambahan dan pertumbuhan bibit gulma dan gandum. Vishwakarma *et al.* (2014) melaporkan bahwa ekstrak *Eucalyptus tereticornis* konsentrasi 250 $\mu\text{g mL}^{-1}$ dapat menurunkan perkecambahan, perkembangan bibit, dan kandungan klorofil bibit, aktivitas respirasi, fitotoksisitas terhadap *E. crus-galli*, serta memiliki potensi sebagai bioherbisida. Pinto *et al.* (2023) melaporkan bahwa perlakuan ekstrak daun segar dan kering dari *Eucalyptus*

globulus pada konsentrasi 10% (w/w) dapat menghambat perkecambahan benih *Portulaca oleracea* L. sebesar 63% dan menginduksi hilangnya viabilitas sel.

Spesies yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah *Eucalyptus pellita*. Produksi tanaman *Eucalyptus* di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 13.3 juta ton (BPS, 2020). Daun spesies *E. pellita* mengandung senyawa tanin, saponin, fenol, dan glikosida (Ayepola dan Adeniyi, 2008; Epinosa *et al.*, 2008). Dalam upaya mencari alternatif baru untuk pengendalian gulma yang ramah lingkungan, maka penelitian potensi pemanfaatan daun *E. pellita* sebagai bioherbisida sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap potensi ekstrak daun *E. pellita* sebagai bioherbisida pratumbuh untuk pengendalian gulma pada produksi tanaman.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Ecotoxicology, Waste and Bioagent, Departemen Agronomi dan Hortikultura, IPB. Percobaan disusun dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dan empat ulangan. Faktor yang diuji yaitu konsentrasi ekstrak daun *E. pellita* yang terdiri atas 7 taraf, yaitu 0 (kontrol), 50, 100, 150, 200, 300, 400 g L^{-1} . Satuan percobaan berupa pot semai berukuran diameter 15 cm dan tinggi 20 cm.

Pembuatan bioherbisida dari daun *E. pellita* menggunakan ekstraksi air. Daun *E. pellita* dikeringanginkan pada suhu kamar. Setelah kering, daun dihaluskan menggunakan *blender*, kemudian ditimbang sesuai konsentrasi perlakuan. Daun halus direndam ke dalam akuades 1000 ml dan diinkubasi selama 24 jam, selanjutnya disaring dengan kertas whatman. Air yang telah disaring digunakan sebagai bahan bioherbisida.

Gulma yang diuji yaitu spesies *Asystasia gangetica*, *Borreria alata*, *Eleusine indica*, dan *Cyperus brevifolius*. Sebanyak 25 biji dari setiap spesies gulma tersebut ditanam pada pot dengan media tanam berupa tanah latosol Darmaga. Penanaman gulma *Cyperus brevifolius* dilakukan dengan menggunakan umbi yaitu sebanyak lima umbi per pot. Penyemprotan ekstrak daun *E. pellita* dilakukan pada saat penanaman biji gulma. Peubah yang diamati antara lain:

1. Daya Berkecambah (DB)

Daya berkecambah dihitung setiap hari berdasarkan jumlah biji yang berkecambah dari hari ke-1 hingga hari ke-14 setelah penanaman.

Persentase daya berkecambah dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$DK = \frac{\text{Jumlah biji berkecambah}}{\text{Jumlah total biji dikecambahkan}} \times 100\%$$

2. Kecepatan Tumbuh Kecambah (KcT)

Kecepatan tumbuh kecambah dihitung setiap hari berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\sum_{0}^{tn} \frac{\text{Persentase kecambah normal setiap pengamatan}}{\text{Waktu pengamatan}} \times 100\%$$

Keterangan:

tn: waktu akhir pengamatan

3. Panjang plumula dan radikula

Pengamatan panjang plumula dan radikula dilakukan dengan cara mencabut dan mengukur tiga kecambah pada setiap pot perlakuan setiap dua hari sekali. Pengamatan panjang plumula dan radikula *A. intrusa* dan *E. indica* mulai dilakukan pada 6 HSA (hari setelah aplikasi). Pengamatan panjang plumula dan radikula spesies *B. alata* dilakukan mulai 8 HSA.

4. Indeks vigor

Indeks vigor dihitung berdasarkan rumus:

$$\text{Indeks vigor} = \frac{G1}{D1} + \frac{G2}{D2} + \dots + \frac{Gn}{Dn}$$

Keterangan:

G: jumlah benih yang berkecambah pada hari tertentu

D: hari ke- berkecambah

n: hari akhir perkecambahan

5. Bobot kering kecambah

Sebanyak 3 kecambah diambil dan dioven pada suhu 80 °C selama 24 jam, selanjutnya ditimbang menggunakan neraca analitik.

6. Tinggi, panjang akar, dan bobot kering *Cyperus brevifolius*

Pengamatan tinggi, panjang akar, dan bobot kering *C. brevifolius* dilakukan pada hari ke-14.

Pengukuran panjang akar dilakukan dengan menggunakan jangka sorong digital (*caliper*).

Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan analisis ragam dengan uji lanjut *Duncan's multiple range test* (DMRT) dengan taraf $\alpha=5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Ekstrak Daun *E. pellita* terhadap Perkecambahan Biji Gulma

Perlakuan ekstrak air daun *E. pellita* dapat menghambat perkecambahan gulma spesies *A. gangetica*, *B. alata*, dan *E. indica*. Perlakuan konsentrasi mulai 200 g L⁻¹ hingga 400 g L⁻¹ dapat menurunkan daya kecambah, kecepatan tumbuh, dan indeks vigor gulma spesies *A. gangetica*. Perlakuan konsentrasi 200 g L⁻¹ menurunkan daya kecambah, kecepatan tumbuh, dan indeks vigor berturut turut sebesar 33.8%, 37.5%, dan 36.9% dibandingkan terhadap kontrol. Peningkatan konsentrasi lebih dari 200 g L⁻¹ menunjukkan daya kecambah, kecepatan tumbuh dan indeks vigor perkecambahan biji *A. gangetica* yang tidak berbeda nyata dibandingkan dengan konsentrasi 200 g L⁻¹ (Tabel 1). Perlakuan konsentrasi mulai 50 g L⁻¹ nyata menekan daya kecambah, kecepatan tumbuh, dan indeks vigor gulma spesies *B. alata* yaitu berturut turut sebesar 41.0%, 31.0%, dan 30.9% dibandingkan terhadap kontrol (Tabel 2). Perlakuan konsentrasi 400 g L⁻¹ nyata menekan daya kecambah spesies *E. indica* sebesar 90% dibandingkan terhadap kontrol. Perlakuan konsentrasi 200 g L⁻¹, 300 g L⁻¹, dan 400 g L⁻¹ menekan kecepatan tumbuh berturut-turut sebesar 70.1%, 89.5%, dan 95.4%, dan nyata menekan indeks vigor biji gulma spesies *E. indica* dibandingkan terhadap kontrol (Tabel 3). Mekonnen *et al.* (2024) juga melaporkan bahwa ekstrak air *Eucalyptus globulus* dari daun pohon muda, daun pohon tua, dan sampah daun signifikan menghambat perkecambahan dan pertumbuhan bibit tanaman gandum (*Triticale hexaploide*), jelai (*Hordeum vulgare*), dan jagung (*Zea mays*).

Tabel 1. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap perkecambahan biji *A. gangetica*

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Daya Berkecambah (%)	Kecepatan Tumbuh (%KN etmal ⁻¹)	Indeks Vigor
0	71.00 a	11.35 a	2.76 a
50	56.00 ab	9.42 ab	2.29 ab
100	68.00 ab	11.29 a	2.74 a
150	53.00 abc	8.67 ab	2.11 ab
200	47.00 bc	7.09 bc	1.74 bc
300	32.00 cd	4.62 c	1.13 c
400	22.00 c	3.47 c	0.84 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Tabel 2. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap perkecambahan biji *B. alata*

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Daya Berkecambah (%)	Kecepatan Tumbuh (%KN etmal ⁻¹)	Indeks Vigor
0	39.00 a	7.19 a	1.81 a
50	23.00 b	4.96 b	1.25 b
100	11.00 cd	2.55 c	0.64 c
150	17.00 bc	3.68 bc	0.93 bc
200	7.00 cd	1.53 c	0.38 c
300	2.00 d	2.75 bc	0.68 bc
400	11.00 cd	2.98 bc	0.75bc

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Tabel 3. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap perkecambahan biji spesies *E. indica*

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Daya Berkecambah (%)	Kecepatan Tumbuh (%KN etmal ⁻¹)	Indeks Vigor
0	12.50 a	3.04 a	3.04 a
50	5.75 ab	1.22 bc	1.22 abc
100	8.25 ab	1.72 ab	1.72 abc
150	4.75 ab	2.05 ab	2.05 ab
200	9.00 ab	0.91 bc	0.92 bc
300	4.25 ab	0.32 bc	0.33 bc
400	1.25 b	0.14 c	0.14 bc

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Selain menekan perkecambahan biji gulma, ekstrak air daun *Eucalyptus* juga dapat menekan gulma pada aplikasi pascatumbuh (Audina *et al.*, 2024). Menurut Grichi *et al.* (2018) *Eucalyptus* mengandung 15 senyawa fenolik. Ekstrak air dari daun *Eucalyptus camaldulensis* dapat menginduksi kebocoran elektrolit, menyebabkan kerusakan membran dan hilangnya integritas, serta menginduksi stres oksidatif sehingga dapat menurunkan perkecambahan, pertumbuhan bibit dan laju fotosintesis bersih.

Pengaruh Ekstrak Daun *E. pellita* terhadap Panjang Plumula, Radikula, dan Bobot Kering Kecambah Gulma

Perlakuan ekstrak daun *E. pellita* mulai konsentrasi 200 g L⁻¹ hingga 400 g L⁻¹ dapat menurunkan panjang plumula, radikula, dan bobot kering kecambah gulma spesies *A. gangetica* dan *B. alata* dibandingkan terhadap kontrol pada pengamatan 10 HSA. Peningkatan konsentrasi lebih tinggi dari 200 g L⁻¹ menunjukkan penghambatan terhadap kecambah *A. gangetica* dan *B. alata* yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi 200 g L⁻¹ (Tabel 4 dan Tabel 5). Perlakuan konsentrasi 400 g L⁻¹ nyata menghambat panjang plumula dan panjang radikula *E. indica*. Perlakuan

ekstrak daun *E. pellita* mulai mkonsentrasi 150 g L⁻¹ hingga 400 g L⁻¹ cenderung menekan bobot kering gulma spesies *E. indica* (Tabel 6). Perlakuan ekstrak daun *E. pellita* tidak berpengaruh terhadap tinggi kecambah, panjang akar, dan bobot kering kecambah gulma spesies *C. brevifolius* (Tabel 7).

Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan sebelumnya bahwa ekstrak daun *Eucalyptus* sangat potensial sebagai bioherbisida. Ekstrak daun *E. pellita* telah dilaporkan sebelumnya dapat menghambat pertumbuhan gulma pada fase pascatumbuh spesies *A. gangetica*, *B. alata*, dan *E. indica*, tetapi tidak menghambat pertumbuhan gulma *C. brevifolius* (Audina dan Guntoro, 2024). Ekstrak air daun *Eucalyptus*, cuka kayu, dan campurannya dapat menekan laju perkecambahan biji rapeseed (*Brassica rapa* L.). Kandungan malondialdehida pada ekstrak daun *Eucalyptus* dan cuka kayu selama periode perkecambahan benih dapat menghambat pertumbuhan gulma (Deng *et al.*, 2024). Penghambatan pertumbuhan bibit oleh senyawa alelopaty dari ekstraksi air daun *E. pellita* disebabkan oleh adanya induksi produksi senyawa ROS (*Reactive Oxygen Soecies*) yang berlebihan yang dapat mengakibatkan hilangnya integritas dan organisasi sel, yang ditandai dengan kerusakan pada beberapa sub-struktur seluler (Pinto *et al.*, 2023).

Tabel 4. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap panjang plumula, radikula, dan bobot kering gulma spesies *A. gangetica* pada 10 HSA

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Panjang plumula (cm)	Panjang radikula (cm)	Bobot kering (mg per kecambah)
0	0.41 ab	1.75 ab	20.20 ab
50	0.29 abc	1.10 ab	10.30 bc
100	0.51 abc	2.45 a	5.50 bc
150	0.52 a	2.55 a	23.1 a
200	0.00 c	0.00 c	0.00 c
300	0.00 c	0.00 c	0.00 c
400	0.00 c	0.00 c	0.00 c

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Tabel 5. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap panjang plumula, radikula, dan bobot kering gulma spesies *B. alata* pada 10 HSA

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Panjang plumula (cm)	Panjang radikula (cm)	Bobot kering (mg per kecambah)
0	3.35 a	1.48 a	5.4 a
50	2.27 ab	1.49 a	4.1 ab
100	1.66 abc	0.88 ab	4.3 ab
150	2.20 ab	0.92 ab	2.8 ab
200	0.12 bc	0.31 ab	0.0 b
300	0.00 c	0.00 b	0.0 b
400	0.66 bc	0.41 ab	1.4 ab

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Tabel 6. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap panjang plumula, radikula, dan bobot kering biomass gulma spesies *E. indica* pada 10 HSA

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Panjang plumula (cm)	Panjang radikula (cm)	Bobot kering (mg per kecambah)
0	0.96 ab	0.59 ab	1.00 ab
50	0.45 abc	0.51 ab	0.30 b
100	1.19 a	1.08 a	1.50 a
150	0.75 ab	0.69 ab	0.20 b
200	0.36 abc	0.25 bc	0.20 b
300	0.26 bc	0.37 bc	0.10 b
400	0.00 c	0.00 c	0.00 b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Tabel 7. Pengaruh ekstrak daun *E. pellita* terhadap tinggi, panjang akar, dan bobot kering gulma spesies *C. brevifolius* pada saat 14 HSA

Konsentrasi ekstrak daun <i>E. pellita</i> (g L ⁻¹)	Tinggi (cm)	Panjang akar (cm)	Bobot kering (mg per tanaman)
0	3.51	2.60 ab	0.57
50	1.80	2.27 ab	0.21
100	3.12	0.68 b	0.32
150	4.25	3.08 ab	0.09
200	2.20	1.37 ab	0.26
300	5.72	2.97 ab	0.28
400	6.38	4.90 a	0.52

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji DMRT taraf 5%.

Perlakuan ekstrak daun *E. pellita* tidak berpengaruh terhadap tinggi, panjang akar, dan bobot kering kecambah gulma teki *C. brevifolius* dibandingkan terhadap kontrol. Audina dan Guntoro (2024) juga melaporkan bahwa ekstrak daun *E. pellita* tidak dapat menghambat pertumbuhan gulma *C. brevifolius*. Hasil ini diduga bahwa ekstraksi air daun *E. pellita* tidak menghasilkan konsentrasi senyawa alelopati yang cukup untuk dapat menembus umbi teki, sehingga umbi teki dapat tumbuh normal.

KESIMPULAN

Ekstraksi air daun *E. pellita* berpotensi sebagai bioherbisida pratumbuh untuk mengendalikan perkecambahan gulma. Potensi sebagai bioherbisida pratumbuh ditunjukkan oleh kemampuannya menghambat perkecambahan gulma spesies *A. gangetica*, *B. alata*, dan *E. indica* pada percobaan *green house*. Perlakuan konsentrasi mulai 200 g L⁻¹ hingga 400 g L⁻¹ dapat menekan panjang plumula, radikula, dan bobot kering gulma spesies *A. gangetica*, *B. alata*, dan *E. indica*. Informasi ini sangat bermanfaat dalam upaya mencari senyawa kimia dari tumbuhan yang potensial untuk pengembangan bioherbisida yang ramah lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Agronomi dan Hortikultura atas fasilitas yang diberikan dan terima kasih kepada Tim Riset Gulma atas pendanaan yang diberikan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Audina, M., D. Guntoro. 2024. Potensi ekstrak daun *Eucalyptus pellita* F. Muell sebagai bioherbisida pascatumbuh. Bul. Agrohorti. 12(1):13-20. DOI: <https://doi.org/10.29244/agrob.v12i1.51585>.

Ayepola, B.A., Adeniyi. 2008. The antibacterial activity of leaf extracts of *Eucalyptus camaldulensis* (Myrtaceae). Appl. Sci. Res. 4(11):1410-1413.

Balaure, P.C., D. Gudovan, I. Gudovan. 2017. Nanopesticides: A new paradigm in crop protection. Di dalam: Grumezescu, A.M., editor. New Pesticides and Soil Sensors. Academic Press. hlm 129-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804299-1.00005-9>.

Benchaa, S., M. Hazzit, H. Abdelkrim. 2018. Allelopathic effect of *Eucalyptus citriodora* essential oil and its potential use as bioherbicide. Chem. Biodivers. 15:e1800202. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.201800202>.

Dhakad, A.K., V.V. Pandey, S. Beg, J.M. Rawat, A. Singh. 2018. Biological, medicinal and toxicological significance of Eucalyptus leaf essential oil: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture. 8(3):833-848. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8600>.

Dar, M.A., G. Kaushik, J.F.V. Chiu. 2020. Chapter 2 - Pollution Status and Biodegradation of Organophosphate Pesticides in the Environment. Abatement of Environmental Pollutants. Trends and Strategies. Elsevier. hlm 25-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818095-2.00002-3>.

Deng, He., Y. Zhang, K. Liu, Q. Mao, E. Agathokleous. 2024. Allelopathic effects of Eucalyptus extract and wood vinegar on germination and sprouting of rapeseed (*Brassica rapa* L.). Environ. Sci. pollution res. International. 31(3):4280-4289. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31481-w>.

Epinosa, Martinez, Quiros. 2008. Allelopathic potential of *Eucalyptus* spp plantations on germination and early growth of annual crops. Allelopathy Journal. 21(1):25-37.

Geetha, A. 2019. Phytotoxicity due to fungicides and herbicides and its impact in crop physiological factors. Advances in Agriculture Sciences, AkiNik Publications. hlm 29-66.

Ghnaya, A.B., L. Hamrouni, I. Amri, H. Ahoues, M. Hanana, A. Romane. 2015. Study of allelopathic effects of *Eucalyptus erythrocorys* L. crude extracts against germination and seedling growth of weeds and wheat. Natural Product Research. 30(18):2058-2064. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1108973>.

Grichi, A., Z. Nasr, M.L. Khouja. 2016. Phytotoxic effects of essential oil from *Eucalyptus lehmanii* against weeds and its possible use as a bioherbicide. Bull. Env. Pharmacol. Life Sci. 5(4):17-23.

- Grichi A., Z. Nasr, M.L. Khouja. 2018. Identification and phytotoxicity of phenolic compounds in *Eucalyptus camaldulensis*. Allelopathy Journal. 44(1):75–88. DOI: <https://doi.org/10.26651/allelo.j./2018-44-1-1155>.
- Hazama, N., T. Satriadi, S. Hamidah, S. 2022. Rendemen dan kualitas minyak Eukaliptus (*Eucalyptus alba*) dari Desa Tebing Siring Kabupaten Tanah Laut Kalimantan Selatan. Jurnal Sylva Scientiae. 5(2):301–306. DOI: <https://doi.org/10.20527/jss.v5i2.5367>.
- Kanatas, P. 2020. Potential role of *Eucalyptus* spp. and *Acacia* spp. allelochemicals in weed management. Chilean Journal of Agricultural Research. 80(3):452–458. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300452>.
- Kaur, G. 2019. Herbicides and its role in induction of oxidative stress- A review. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. 4:995-1004. DOI: <https://doi.org/10.22161/ijeab.4416>.
- Lins, L., S. Dal Maso, B. Foncoux, A. Kamili, Y. Laurin, M. Genva, M.H. Jijakli, C. De Clerck, M.L. Fauconnier, M. Deleu. 2021. Insights into the relationships between herbicide activities, molecular structure and membrane interaction of cinnamon and citronella essential oils components. Int. J. Mol. Sci. 20:4007. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20164007>.
- Mekonnen, A.B., A. Seid, W.A. Wassie. 2024. Allelopathic effects of *Nech Bahirzaf* (*Eucalyptus globulus* Labill.) on germination and seedling growth of crops. Natural Product Communications. 19(12). DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X241298880>.
- Ofori, R., E.D. Agyemang, A. Márton, G. Pásztor, Taller, G. Kazinczi. 2023. Herbicide resistance: managing weeds in a changing world. Agronomy. 13:1595. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061595>.
- Pinto, M., C. Soares, M. Martins, B. Sousa, I. Valente, R. Pereira, F. Fidalgo. 2021. Herbicidal effects and cellular targets of aqueous extracts from young *Eucalyptus globulus*. Labill. Leaves Plants. 10:1159. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10061159>.
- Pinto, M., B. Sousa, M. Martins, C. Pereira, C. Soares, F. Fidalgo. 2023. Unveiling the efficacy of pre-emergent application of young *Eucalyptus globulus* leaves as a weed control strategy: Bridging macroscopic effects and cellular responses. Plant Physiology and Biochemistry. 203:108010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.108010>.
- Puig, C.G., R.F. Gonçalves, P. Valentao, P.B. Andrade, M.J. Reigosa, N. Pedrol. 2018. The consistency between phytotoxic effects and the dynamics of allelochemicals released from *Eucalyptus globulus* leaves used as bioherbicide green manure. Journal of Chemical Ecology. 44:658–670. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10886-018-0983-8>.
- Radhakrishnan, R., A.A. Alqarawi, E.F. Abd Allah. 2018. Bioherbicides: Current knowledge on the weed control mechanism. Ecotoxicology and Environmental Safety. 158:131–138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.018>.
- Scavo, A., G. Pandino, A. Restuccia, G. Mauromicale. 2020. Leaf extracts of cultivated cardoon as a potential bioherbicide. Scientia Horticulturae. 261(109024). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109024>.
- Sebei, K., F. Sakouhi, W. Herchi, M.L. Khouja, S. Boukhchina. 2015. Chemical composition and antibacterial activities of seven *Eucalyptus* species essential oils leaves. Biological Research. 48:7. DOI: <https://doi.org/10.1186/0717-6287-48-7>.
- Shahena, S., M. Rajan, V. Chandran, L. Mathew. 2020. Controlled release herbicides and allelopathy as sustainable alternatives in crop production. Controlled Release of Pesticides for Sustainable Agriculture, Springer. hlm 237-252. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23396-9_10.
- Soares, C., R. Pereira, S. Spormann, F.Fidalgo. 2019. Is soil contamination by a glyphosate commercial formulation truly harmless to non-target plants? - evaluation of oxidative damage and antioxidant responses in tomato. Environ. Pollut. 247:256-265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.063>.

- Tucuch-Pérez, M.A., E.I. Mendo-González, A. Ledezma-Pérez, A. Iliná, F.D. Hernández-Castillo, C.L. Barrera-Martinez, J.C. Anguiano-Cabello, E.I. Laredo-Alcalá, R. Arredondo-Valdés. 2023. The herbicidal activity of nano- and micro-encapsulated plant extracts on the development of the indicator plants *Sorghum bicolor* and *Phaseolus vulgaris* and their potential for weed control. Agriculture. 13(2041):1-15. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112041>.
- Wahyudiono, S., M.D. Falah, S. Suwadji, K.S.N. Aeng. 2022. Evaluasi pertumbuhan tanaman Eukaliptus (*Eucalyptus sp*) pada variasi umur dan unit pengelolaan tanah yang berbeda. Jurnal Wana Tropika 12(02):55-62. DOI: <https://doi.org/10.55180/jwt.v12i02.309>.
- Zhang, W., Z. Miao, N. Li, C. He, T. Sun. 2020. Review of current robotic approaches for precision weed management. Current Robotics Reports. 3:139-151. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43154-022-00086-5>.