



PERKECAMBAHAN BENIH DAN KANDUNGAN FLAVONOID EKSTRAK SORGUM PADA BERBAGAI TINGKAT CEKAMAN KEKERINGAN

Edi Susilo^{1*}, Hesti Pujiwati², Wismalinda Rita³

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Ratu Samban, Jl. Jenderal Sudirman No. 87 Arga Makmur Kabupaten Bengkulu Utara, Bengkulu, Indonesia

²Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Jl. WRSupratman Kandang Limun, Kota Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

³Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, Universitas Muhammadiyah Bengkulu, Jl. Bali Kota Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

*Corresponding Author: susilo_agr@yahoo.com

ABSTRACT

[SEED GERMINATION AND FLAVONOID CONTENT OF SORGHUM EXTRACTS UNDER DIFFERENT LEVELS OF DROUGHT STRESS]. Weeds are one of the major challenges in agricultural cultivation systems, as they can reduce crop productivity. One strategy to enhance the production of secondary metabolites in sorghum plants is the application of abiotic stress, such as drought. This approach not only has the potential to produce high-quality extracts but also supports the development of effective bioherbicides. This study aims to analyze the effects of drought stress on flavonoid content and the allelopathic properties of sorghum. The research was conducted from June to August 2024 in the Greenhouse of Bengkulu University, with bioassay tests performed in Pematang Gubernur, Muara Bangkahulu, Bengkulu City. The study employed a single-factor completely randomized design (CRD) using two sorghum varieties, Super 1 and Suri 4. The drought stress treatments included three levels of watering frequency: daily, once every three days, and once every five days. The bioassay was conducted using the petri dish method, where each petri dish was treated with 10 mL of sorghum aqueous extract, 25 mung bean seeds were sown, and incubation was carried out for three days. The results showed that the highest total flavonoid content was found in the Super 1 variety with watering every five days (4067.01 µg/g), while the lowest was observed in the Suri 4 variety with daily watering (2948.07 µg/g). The highest seed germination inhibition was recorded in both Suri 4 and Super 1 varieties under the five-day watering interval. These findings indicate that the Super 1 and Suri 4 sorghum varieties subjected to drought stress can serve as potential bioherbicide sources for sustainable weed management.

Keyword: *allelopathy, bioassay, irrigation pattern, organic farming*

ABSTRAK

Gulma merupakan salah satu tantangan utama dalam sistem budidaya pertanian, yang dapat menurunkan produktivitas tanaman. Salah satu strategi untuk meningkatkan produksi metabolit sekunder pada tanaman sorgum adalah melalui penerapan cekaman abiotik, seperti kekeringan. Pendekatan ini tidak hanya berpotensi menghasilkan ekstrak berkualitas tinggi, tetapi juga mendukung pengembangan bioherbisida yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh cekaman kekeringan terhadap kadar flavonoid dan sifat alelopatik sorgum. Penelitian dilakukan pada Juni–Agustus 2024 di Rumah Kaca Universitas Bengkulu dan uji bioassay dilaksanakan di Pematang Gubernur, Muara Bangkahulu, Kota Bengkulu. Rancangan penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktor tunggal dengan dua varietas sorgum, yaitu Super 1 dan Suri 4. Perlakuan cekaman air terdiri atas tiga tingkat frekuensi penyiraman: setiap hari, setiap 3 hari sekali, dan setiap 5 hari sekali. Uji bioassay dilakukan menggunakan metode cawan petri, di mana setiap cawan petri diberi 10 mL ekstrak air sorgum, 25 biji kacang hijau ditanam, dan diinkubasi selama tiga hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar flavonoid tertinggi diperoleh pada varietas Super 1 dengan penyiraman setiap 5 hari sekali (4067,01 µg/g), sedangkan kadar terendah ditemukan pada varietas Suri 4 dengan penyiraman setiap hari (2948,07 µg/g). Penghambatan perkecambahan tertinggi terjadi pada varietas Suri 4 dan Super 1 dengan penyiraman setiap 5 hari sekali. Sorgum varietas Super 1 dan Suri 4 dengan perlakuan cekaman kekeringan dapat dimanfaatkan sebagai sumber bioherbisida potensial dalam pengelolaan gulma secara hayati.

Kata kunci: *alelopati, bioassay, pertanian organik, pola pengairan*

PENDAHULUAN

Gulma merupakan salah satu faktor pembatas utama dalam sistem budidaya pertanian, karena bersaing dengan tanaman dalam memperoleh sumber daya, seperti air, nutrisi, dan ruang tumbuh, yang berakibat pada penurunan hasil panen (Little *et al.*, 2021). Tantangan dalam budidaya tanaman tidak hanya terbatas pada keberadaan gulma, tetapi juga mencakup aspek lain, seperti pemilihan benih unggul, serangan hama dan penyakit, degradasi lahan, serta dampak perubahan iklim (Farooq *et al.*, 2023). Pengelolaan gulma merupakan bagian dari strategi pengendalian hama dan penyakit yang krusial dalam sistem pertanian.

Dalam praktiknya, petani sering menghadapi keterbatasan dalam menerapkan metode pengendalian gulma yang efektif. Sementara perusahaan pertanian skala besar cenderung menggunakan teknologi modern, petani kecil lebih bergantung pada metode manual yang padat karya atau penggunaan herbisida sintetik akibat keterbatasan tenaga kerja (Tibugari *et al.*, 2020a). Pengendalian manual lebih umum diterapkan di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, sedangkan penggunaan herbisida sintetik lebih sering ditemukan di wilayah dengan kepadatan penduduk rendah. Meskipun herbisida sintetik efektif dan lebih praktis, penggunaannya dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan strategi alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk pengelolaan gulma dalam sistem pertanian berkelanjutan (van Bruggen *et al.*, 2021).

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah pengelolaan gulma secara organik dengan memanfaatkan senyawa alelopatik dari tanaman tertentu (Travlos *et al.*, 2020). Alelopati merupakan mekanisme alami di mana tanaman melepaskan senyawa kimia (allelokimia) yang dapat menghambat pertumbuhan gulma. Penggunaan bioherbisida berbasis alelopati telah dikaji sebagai alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan dalam pengendalian gulma (Jabran & Chauhan, 2020). Selain itu, alelopati dapat dikombinasikan dengan metode pengendalian gulma lainnya untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan gulma (Macías *et al.*, 2007).

Sorgum merupakan salah satu tanaman yang memiliki potensi alelopati dan toleransi tinggi terhadap cekaman lingkungan. Tanaman ini dapat beradaptasi dengan kondisi lahan marginal, seperti tanah dengan kesuburan rendah dan curah hujan yang terbatas (Ali *et al.*, 2023). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak air sorgum (sorgaab) mampu mengurangi kerapatan dan biomassa gulma dalam sistem pertanian gandum hingga 31% dan 27% lebih rendah dibandingkan kontrol (Kandhro *et al.*, 2016; Susilo *et al.*, 2021). Dengan demikian, pemanfaatan

genotipe sorgum sebagai bahan bioherbisida memiliki prospek yang menjanjikan.

Potensi alelopati sorgum dapat bervariasi antar varietas, tergantung pada faktor genetik dan lingkungan tumbuh. Salah satu faktor lingkungan yang berperan dalam meningkatkan produksi senyawa alelopatik adalah cekaman abiotik, seperti kekeringan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa cekaman air dapat meningkatkan kadar flavonoid dalam tanaman (Kustiawan & Kusuma, 2019). Namun, penelitian yang secara spesifik membahas hubungan antara cekaman kekeringan, kadar flavonoid, dan sifat alelopatik sorgum pada lahan Inceptisols dengan berbagai pola penyiraman masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh cekaman abiotik berupa kekeringan terhadap kadar flavonoid dan sifat alelopatik sorgum sebagai upaya pengembangan bioherbisida yang lebih ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan media

Penelitian ini menggunakan dua varietas sorgum, yaitu Super 1 dan Suri 4, yang ditanam pada media tanah Inceptisol. Tanaman diperlakukan dengan tiga tingkat cekaman air: penyiraman setiap hari, setiap 3 hari sekali, dan setiap 5 hari sekali. Tanaman dipanen pada usia 4 minggu setelah tanam. Berdasarkan hasil analisis tanah penelitian menunjukkan bahwa pH tanah 4,51 (masam), C-organik 3,29 % (sedang), N 0,17% (sedang), P 5,20 ppm (rendah), K 0,26 me/100 (sedang), Ca 1,31 me/100 g (sedang), Mg 0,39 me/100 g (rendah). Tanaman sorgum dipanen pada usia 4 minggu setelah tanam. Bagian tajuk dan akar tanaman dipanen, dikeringkan selama 14 hari di bawah sinar matahari, lalu dilanjutkan dengan oven pada suhu 70°C selama 72 jam. Berangkas kering tersebut kemudian dipotong dengan ukuran 1–2 cm dan dihaluskan menggunakan blender tipe 5000 series Philips HR 2223/30. Serbuk yang dihasilkan digunakan sebagai bahan dasar ekstrak air untuk percobaan analisis flavonoid total maupun uji *bioassay*.

Persiapan ekstrak air sorgum

Bagian tajuk dan akar tanaman dipanen, dikeringkan selama 14 hari di bawah sinar matahari, lalu dioven pada suhu 70 °C selama 72 jam. Berangkas kering dipotong menjadi 1–2 cm dan dihaluskan menggunakan *grinder* hingga menjadi serbuk. Sebanyak 100 g serbuk kering (5% w/v) direndam dalam 1900 mL air aquades dan diaduk selama 24 jam pada suhu ruang. Campuran disaring menggunakan kain kasa dan kertas saring, lalu disimpan dalam wadah

bertutup hingga digunakan untuk analisis flavonoid total dan uji *bioassay*.

Uji bioassay

Uji ini dilakukan menggunakan cawan petri berdiameter 9 cm yang berisi dua lapis kertas saring. Sebanyak 25 butir benih kacang hijau diletakkan di setiap cawan petri, lalu ditambahkan 10 mL ekstrak air berkonsentrasi 5%. Cawan petri diinkubasi selama 3 hari di ruang pertumbuhan dengan kondisi suhu dan kelembapan terkendali. Sebagai kontrol atau perlakuan pembanding terdapat cawan petri tanpa ekstrak. Cawan petri kemudian diinkubasi di ruang pertumbuhan (28 °C) selama 3 hari. Setiap kombinasi varietas sorgum dan tingkat cekaman air diulang sebanyak empat kali untuk memastikan keakuratan hasil.

Pengukuran kadar flavonoid dengan spektrofotometri

Preparasi dan analisa sampel sebagai berikut :
1). Uji total flavonoid. Pembuatan kurva standar dilakukan dengan menimbang baku standar Quercetin 10,0 mg dan menambahkan 0,3 mL natrium nitrit 5%. Setelah 5 menit ditambahkan 0,6 mL aluminium chloride 10%, menunggu 5 menit, ditambahkan 2 mL natrium hidroksida 1 M. Addkan dengan aquades hingga 10 mL dengan labu takar. Memindahkan ke dalam kuvet, tetap serapan pada panjang gelombang 510 nm. 2). Penetapan contoh uji total flavonoid. Menimbang \pm 100 mg sampel dan menambahkan 2 mL HCl 4N. Hidrolisis dengan autoclave pada suhu 110 °C selama 2 jam. Sampel disaring ke dalam filtrate dan menambahkan eter. Ekstraksi dengan eter, ambil fase eter. Melakukan pengulangan sebanyak 3x. Mengeringkan fase eter. Menambahkan 0,3 mL natrium nitrit 5% pada sampel yang telah kering. Setelah 5 menit menambahkan 0,6 mL aluminium chloride 10%, setelah ditunggu 5 menit, ditambahkan 2 mL natrium hidroksida 1 M. Addkan dengan aquades hingga 5 mL dengan labu takar. Mengencerkan sesuai kebutuhan. Memindahkan ke dalam kuvet, tetap serapan pada panjang gelombang 510 nm.

Variabel yang diukur

Variabel yang diamati meliputi kadar flavonoid total (dengan metode spektrofotometri), persentase perkecambahan, bobot segar kecambah hidup dan mati, bobot plumula dan radikula, serta panjang plumula dan radikula.

Rancangan percobaan dan analisis data

Percobaan dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan tiga tingkat cekaman air dan dua varietas sorgum, menghasilkan

6 kombinasi perlakuan dengan 4 ulangan (total 24 unit percobaan). Data dianalisis menggunakan ANOVA pada tingkat signifikansi $P < 0,05$, diikuti uji beda rata-rata BNT untuk membandingkan rata-rata antar perlakuan jika terdapat perbedaan signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel yang diamati dalam penelitian ini meliputi kadar flavonoid total serta VARIABEL perkecambahan tanaman uji, yang terdiri atas persentase kecambah hidup, persentase kecambah mati, bobot segar kecambah hidup, bobot segar kecambah mati, bobot segar plumula dan radikula, serta panjang plumula dan radikula. Perlakuan kombinasi ekstrak varietas dan tingkat cekaman kekeringan menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan terhadap seluruh variabel yang diamati, sebagaimana disajikan dalam Tabel 1. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa perlakuan yang diberikan berkontribusi secara signifikan terhadap kadar flavonoid total dan variabel perkecambahan tanaman uji.

Tabel 1. Pengaruh ekstrak air dari kombinasi varietas sorgum dan tingkat cekaman air yang berbeda terhadap kadar flavonoid total dan perkecambahan test plant

Variabel pengamatan	F hitung	Koefisien keragaman
Flavonoid total	8,56 **	1,15
Persentase kecambah hidup	45,00 **	26,18
Persentase kecambah mati	45,00 **	10,47
Bobot segar kecambah hidup	24,77 **	45,96
Bobot segar kecambah mati	54,57 **	10,25
Bobot segar plumula dan radikula	108,45 **	21,89
Panjang plumula dan radikula	186,00 **	17,39

Keterangan : ** berpengaruh sangat nyata

Pengaruh perlakuan ekstrak sorgum dari varietas Super 1 dan Suri 4 menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kadar flavonoid total tertinggi diperoleh pada varietas Super 1 dengan pola pengairan setiap 5 hari sekali, yaitu sebesar 4067,01 $\mu\text{g/g}$, yang secara statistik berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi perlakuan varietas dan pola pengairan lainnya. Sebaliknya, kadar flavonoid total terendah ditemukan pada varietas Suri 4 dengan pola pengairan setiap hari, yaitu sebesar 2948,07 $\mu\text{g/g}$, yang juga menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan dengan varietas lain-nya, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.

Data ini menunjukkan bahwa kadar flavonoid total tertinggi dicapai oleh varietas Super 1 pada tingkat cekaman kekeringan yang paling tinggi, yaitu dengan pola pengairan setiap 5 hari sekali. Temuan ini

mengindikasikan bahwa cekaman kekeringan pada tingkat tertentu dapat meningkatkan akumulasi flavonoid total pada varietas tertentu. Kadar flavonoid total tertinggi kedua diperoleh pada varietas Suri 4 dengan tingkat cekaman kekeringan yang sama, yaitu pola pengairan setiap 5 hari sekali. Hal ini menunjukkan bahwa setiap varietas sorgum yang mengalami cekaman kekeringan dengan pola pengairan setiap 5 hari sekali cenderung menghasilkan kadar flavonoid total yang lebih tinggi.

Sebaliknya, kadar flavonoid total terendah diperoleh pada varietas Suri 4 dengan tingkat cekaman kekeringan terendah, yaitu pola pengairan setiap hari. Temuan ini menunjukkan bahwa kadar flavonoid total cenderung lebih rendah pada kondisi cekaman kekeringan yang lebih rendah, baik pada varietas Super 1 maupun Suri 4. Namun demikian, kadar flavonoid total terendah secara keseluruhan ditemukan pada varietas Suri 4 dengan pola pengairan setiap hari.

Tabel 2. Rata-rata kadar flavonoid total pada kombinasi varietas dan cekaman kekeringan sorgum

Perlakuan	Flavonoid total ($\mu\text{g/g}$)
Super 1 + setiap hari	3342,25 e
Super 1 + setiap 3 hari sekali	3604,91 d
Super 1 + setiap 5 hari sekali	4067,01 a
Suri 4 + setiap hari	2948,07 f
Suri 4 + setiap 3 hari sekali	3758,00 c
Suri 4 + setiap 5 hari sekali	3841,65 b

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.

Flavonoid merupakan senyawa fenolik yang berperan sebagai antioksidan dalam melindungi tanaman dari kerusakan akibat peningkatan spesies oksigen reaktif (*reactive oxygen species* atau ROS) selama cekaman kekeringan. Cekaman kekeringan memicu stres oksidatif, yang menyebabkan akumulasi ROS seperti superoksida, hidrogen peroksida, dan radikal hidroksil. Flavonoid berperan dalam menetralkan ROS tersebut, sehingga kadar flavonoid dalam tanaman cenderung meningkat sebagai mekanisme pertahanan terhadap stres lingkungan.

Selain itu, cekaman kekeringan juga menginduksi jalur metabolisme sekunder, termasuk biosintesis flavonoid. Proses ini umumnya dikendalikan oleh gen yang diaktifkan dalam kondisi stres. Enzim seperti fenilalanin amonia-liase (PAL), yang berperan dalam jalur biosintesis flavonoid, menunjukkan peningkatan aktivitas pada tanaman yang mengalami cekaman kekeringan (Dong & Lin, 2021).

Hubungan antara tingkat cekaman kekeringan dan kadar flavonoid menunjukkan bahwa pada

tingkat kekeringan moderat, tanaman cenderung meningkatkan produksi flavonoid sebagai respons adaptif. Namun, pada tingkat kekeringan ekstrem, biosintesis flavonoid dapat terganggu akibat ketidakmampuan tanaman dalam mempertahankan aktivitas metabolisme normal, yang menyebabkan penurunan kadar flavonoid (Syafriada *et al.*, 2018; Saputri, 2019).

Respon tanaman terhadap cekaman kekeringan dalam kaitannya dengan flavonoid dapat bervariasi tergantung pada spesies, genotipe, dan kapasitas adaptasi tanaman tersebut. Tanaman yang lebih toleran terhadap kekeringan umumnya menunjukkan peningkatan kadar flavonoid yang lebih signifikan dibandingkan tanaman yang sensitif terhadap kekeringan. Oleh karena itu, kadar flavonoid total dapat digunakan sebagai indikator adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Peningkatan kadar flavonoid mencerminkan upaya tanaman dalam melindungi diri dari stres oksidatif akibat defisiensi air, meskipun efektivitasnya bergantung pada tingkat kekeringan dan karakteristik spesifik tanaman (Abdillah *et al.*, 2015; Kumar & Pandey, 2013).

Flavonoid juga memiliki peran penting sebagai senyawa alelopati yang berpotensi digunakan sebagai bioherbisida. Alelopati merupakan fenomena di mana senyawa kimia yang dilepaskan oleh suatu tanaman memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, atau kelangsungan hidup tanaman lain di sekitarnya. Flavonoid termasuk dalam kelompok senyawa fenolik yang sering terlibat dalam aktivitas alelopati. Senyawa ini dapat dilepaskan ke lingkungan melalui eksudat akar, dekomposisi jaringan daun, atau pembentukan senyawa volatil. Flavonoid mampu menghambat berbagai proses fisiologis penting pada tanaman lain, seperti pembelahan sel, pemanjangan akar, dan penyerapan nutrisi.

Sebagai bioherbisida, flavonoid bekerja melalui beberapa mekanisme. Pertama, flavonoid dapat menghambat pertumbuhan gulma dengan mengganggu proses perkecambahan biji dan pertumbuhan awal. Hal ini terjadi melalui modulasi aktivitas enzim atau perusakan struktur membran sel. Kedua, flavonoid mampu mengganggu siklus fotosintesis dengan mengintervensi fungsi kloroplas atau menurunkan efisiensi pemanfaatan cahaya, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman target. Ketiga, flavonoid dapat memicu stres oksidatif pada gulma dengan menyebabkan akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS), yang pada akhirnya mengakibatkan kerusakan oksidatif dan menghambat kelangsungan hidup gulma.

Flavonoid memiliki beberapa keunggulan sebagai bioherbisida. Pertama, flavonoid bersifat ramah lingkungan karena berasal dari tanaman, sehingga lebih mudah terurai dibandingkan herbisida sintesis. Kedua, flavonoid memiliki selektivitas tinggi, beberapa jenisnya dapat menargetkan gulma tertentu tanpa

mengganggu pertumbuhan tanaman utama. Ketiga, mekanisme kerja flavonoid yang beragam membantu menghambat perkembangan resistensi gulma terhadap herbisida, sehingga lebih efektif dalam pengendalian gulma jangka panjang (Chen *et al.*, 2018; Khalid *et al.*, 2020).

Pengaruh perlakuan ekstrak air dari tanaman yang mengalami berbagai tingkat cekaman kekeringan (perbedaan pola pengairan) terhadap persentase kecambah hidup menunjukkan hasil yang signifikan. Persentase kecambah hidup tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol dan berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi varietas dan pola pengairan lainnya. Sebaliknya, persentase kecambah hidup terendah ditemukan pada kombinasi varietas Suri 4 dengan penyiraman setiap lima hari sekali (0%), yang secara statistik berbeda nyata dari perlakuan lainnya (Tabel 3).

Data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan pada tanaman bahan ekstrak, semakin rendah persentase kecambah hidup. Hal ini mengindikasikan bahwa benih yang diaplikasikan dengan ekstrak dari tanaman yang mengalami cekaman kekeringan memiliki daya hambat perkecambahan yang lebih tinggi.

Tabel 3. Pengaruh kombinasi varietas sorgum dan cekaman air terhadap peubah kecambah

Perlakuan	Kecambah hidup (%)	Benih tidak tumbuh (%)	Bobot kecambah hidup (g)
Kontrol	90,00 a	10 d	2,460 a
Super 1 + penyiraman 1 hari sekali	20,00 bc	80 bc	0,321 bc
Super 1 + penyiraman 3 hari	25,00 b	75 c	0,340 bc
Super 1 + penyiraman 5 hari sekali	10,00 bc	90 ab	0,127 c
Suri 4 + penyiraman 1 hari sekali	25,00 b	75 c	0,517 bc
Suri 4 + penyiraman 3 hari sekali	30,00 b	70 c	0,693 b
Suri 4 + penyiraman 5 hari sekali	0,00 d	100a	0,000 c

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.

Menurut Bewley & Black (1994), cekaman lingkungan, termasuk kekeringan, berdampak langsung pada proses fisiologis benih. Kekeringan dapat me-

nyebabkan stres osmotik yang mengurangi ketersediaan air bagi proses metabolisme penting selama perkecambahan. Selain itu, tanaman yang mengalami cekaman kekeringan cenderung menghasilkan metabolit sekunder, seperti senyawa fenolik atau hormon stres (misalnya asam absisat/ABA), yang dapat mempengaruhi kualitas ekstrak yang dihasilkan.

Aplikasi ekstrak dari tanaman yang terpapar cekaman kekeringan pada benih dapat meningkatkan daya hambat perkecambahan, terutama melalui pengaruh negatif terhadap enzim-enzim penting, seperti alfa-amilase, yang berperan dalam pemecahan cadangan makanan. Kondisi stres yang berat dapat menyebabkan perubahan fisiologis yang berakibat pada penurunan viabilitas dan vigor benih, baik secara langsung maupun melalui efek dari ekstrak yang dihasilkan.

Perlakuan ekstrak air dari tanaman yang mengalami berbagai tingkat cekaman kekeringan (perbedaan pola pengairan) berpengaruh signifikan terhadap persentase benih yang tidak berkecambah. Persentase benih tidak tumbuh tertinggi ditemukan pada kombinasi varietas Suri 4 dengan penyiraman setiap lima hari sekali, yang berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi varietas dan pola pengairan lainnya. Sebaliknya, persentase benih tidak tumbuh terendah ditemukan pada perlakuan kontrol, yang juga menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 3).

Data tersebut menunjukkan bahwa perlakuan dengan cekaman kekeringan tertinggi, seperti pada kombinasi Suri 4 + penyiraman lima hari sekali dan Super 1 + penyiraman lima hari sekali, menghasilkan persentase benih tidak tumbuh yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Sebaliknya, pada perlakuan kontrol, persentase benih tidak tumbuh paling rendah karena tidak terdapat pengaruh penghambatan akibat alelopati dari ekstrak tanaman.

Hasil ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan yang dialami oleh tanaman bahan ekstrak, semakin tinggi pula persentase benih yang tidak tumbuh. Respons tanaman terhadap cekaman lingkungan, termasuk kekeringan, dapat secara signifikan memengaruhi metabolisme tanaman, terutama dalam produksi metabolit sekunder yang bersifat alelopatik. Kekeringan yang berat diketahui memicu akumulasi senyawa-senyawa seperti asam fenolat, flavonoid, dan hormon stres (misalnya asam absisat) dalam jaringan tanaman. Jika senyawa-senyawa ini diekstraksi, maka ekstrak yang dihasilkan dapat memiliki efek penghambatan yang kuat terhadap perkecambahan benih lain.

Dalam konteks temuan bahwa perlakuan Suri 4 + penyiraman lima hari sekali menghasilkan persentase benih tidak tumbuh tertinggi, Farooq *et al.* (2009) menjelaskan bahwa cekaman kekeringan

berat menyebabkan peningkatan konsentrasi senyawa alelopatik dalam ekstrak tanaman. Akumulasi senyawa ini dapat menghambat berbagai aktivitas fisiologis penting pada benih, termasuk penyerapan air, aktivasi enzim, dan metabolisme awal yang mendukung pertumbuhan. Sebaliknya, pada perlakuan kontrol yang tidak mengalami cekaman kekeringan, produksi senyawa alelopatik dalam ekstrak relatif rendah, sehingga tidak menimbulkan hambatan terhadap perkecambahan benih. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan, semakin besar efek penghambatan yang ditunjukkan oleh peningkatan persentase benih tidak tumbuh.

Perlakuan ekstrak air dari tanaman yang mengalami berbagai tingkat cekaman kekeringan (perbedaan pola pengairan) berpengaruh signifikan terhadap bobot kecambah hidup. Bobot kecambah hidup tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol dan berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi varietas serta pola pengairan lainnya. Sebaliknya, bobot kecambah hidup terendah ditemukan pada kombinasi Suri 4 + penyiraman setiap lima hari sekali dan Super 1 + penyiraman setiap lima hari sekali. Hasil ini berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan Suri 4 + penyiraman setiap tiga hari sekali dan kontrol, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan yang dialami oleh tanaman bahan ekstrak, semakin rendah bobot kecambah hidup yang dihasilkan.

Cekaman abiotik, seperti kekeringan, secara langsung memengaruhi fungsi fisiologis tanaman, termasuk kualitas bahan ekstrak yang dihasilkan (Taiz *et al.*, 2015). Kekeringan mendorong tanaman untuk memproduksi metabolit sekunder, seperti asam fenolat, flavonoid, dan hormon stres, termasuk asam absisat (ABA). Senyawa-senyawa ini dapat memengaruhi berbagai proses fisiologis pada benih, seperti penyerapan air, aktivasi enzim, dan pemecahan cadangan makanan, yang semuanya berperan penting dalam pertumbuhan kecambah.

Perlakuan ekstrak air dari tanaman yang mengalami berbagai tingkat cekaman kekeringan (perbedaan pola pengairan) berpengaruh signifikan terhadap bobot benih mati. Bobot benih mati tertinggi ditemukan pada perlakuan Suri 4 dengan penyiraman setiap lima hari sekali, yang berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi varietas dan pola pengairan lainnya. Sebaliknya, bobot benih mati terendah ditemukan pada perlakuan kontrol, yang juga menunjukkan perbedaan nyata dibandingkan perlakuan kombinasi varietas dan pola pengairan lainnya (Tabel 4). Data tersebut menunjukkan bahwa bobot benih mati tertinggi dihasilkan oleh ekstrak dari tanaman sorgum yang mengalami cekaman kekeringan paling tinggi, yaitu dengan penyiraman

setiap lima hari sekali. Secara keseluruhan, semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan yang dialami oleh tanaman bahan ekstrak, semakin tinggi bobot benih mati.

Tabel 4. Pengaruh kombinasi varietas sorgum dan cekaman air terhadap peubah benih dan plumula

Perlakuan	Bobot benih mati (g)	Bobot plumula+radikula (g)	Panjang plumula+radikula
Kontrol	0,165 e	0,148 a	7,311 a
Super 1 + penyiraman 1 hari sekali	0,839 cd	0,024 c	1,183 b
Super 1 + penyiraman 3 hari sekali	0,770 d	0,015 cd	1,200 b
Super 1 + penyiraman 5 hari sekali	0,949 bc	0,008 de	0,577 c
Suri 4 + penyiraman 1 hari sekali	1,030 b	0,028 c	1,160 b
Suri 4 + penyiraman 3 hari sekali	1,068 b	0,047 b	1,200 b
Suri 4 + penyiraman 5 hari sekali	1,468 a	0,000 e	0,000 d

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama berbeda tidak nyata pada uji BNT 5%.

Cekaman lingkungan, seperti kekeringan, dapat meningkatkan produksi metabolit sekunder dan senyawa stres lainnya dalam tanaman (Farooq *et al.*, 2009). Senyawa-senyawa ini, termasuk asam fenolat, flavonoid, dan hormon stres seperti asam absisat (ABA), berpotensi memengaruhi viabilitas dan vigor benih. Dalam konteks temuan bahwa bobot benih mati meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat cekaman pada tanaman bahan ekstrak, diketahui bahwa senyawa yang dihasilkan oleh tanaman dalam kondisi cekaman berat cenderung bersifat penghambat.

Ketika ekstrak dari tanaman yang mengalami cekaman tinggi diaplikasikan pada benih, senyawa-senyawa tersebut dapat menghambat proses fisiologis penting, seperti penyerapan air, aktivasi enzim, dan metabolisme awal yang mendukung perkecambahan. Hal ini menyebabkan penurunan viabilitas benih, yang pada akhirnya meningkatkan bobot benih mati. Cekaman kekeringan juga merusak integritas membran sel dan menghambat metabolisme energi yang diperlukan untuk perkecambahan serta pertumbuhan awal benih. Dengan demikian, penggunaan ekstrak dari tanaman yang mengalami cekaman kekeringan tinggi dapat memperburuk kondisi stres pada benih, sehingga mengurangi kemampuan benih untuk berkecambah dan bertahan hidup, yang berkontribusi pada peningkatan bobot benih mati.

Pengaruh perlakuan ekstrak air dari berbagai tingkat cekaman kekeringan (perbedaan pola pengairan) terhadap bobot plumula dan radikula menunjukkan hasil yang signifikan. Bobot plumula dan radikula tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol dan berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi varietas serta pola pengairan lainnya. Sementara itu, bobot plumula dan radikula terendah ditemukan pada kombinasi varietas Suri 4 dengan penyiraman setiap lima hari sekali, yang juga berbeda nyata dibandingkan perlakuan kombinasi varietas dengan pola pengairan lainnya, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan pada tanaman bahan ekstrak, maka semakin rendah bobot plumula dan radikula yang dihasilkan.

Pengaruh perlakuan ekstrak air dari berbagai tingkat cekaman kekeringan (perbedaan pola pengairan) terhadap panjang plumula dan radikula menunjukkan hasil yang signifikan. Panjang plumula dan radikula tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol dan berbeda nyata dibandingkan dengan kombinasi varietas serta pola pengairan lainnya. Sementara itu, panjang plumula dan radikula terendah ditemukan pada kombinasi varietas Suri 4 dengan penyiraman setiap lima hari sekali, yang juga berbeda nyata dibandingkan perlakuan kombinasi varietas dengan pola pengairan lainnya, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Data tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat cekaman kekeringan pada tanaman bahan ekstrak, maka semakin rendah panjang plumula dan radikula yang dihasilkan.

Cekaman abiotik, seperti kekeringan, memiliki dampak signifikan terhadap proses pertumbuhan awal tanaman, termasuk pembentukan dan pemanjangan plumula (tunas) serta radikula (akar primer) (Taiz *et al.*, 2015). Kekeringan meningkatkan stres osmotik, yang membatasi ketersediaan air bagi benih dan mengganggu proses metabolisme penting, seperti pembelahan dan pemanjangan sel. Selain itu, cekaman kekeringan memengaruhi sintesis hormon tanaman, seperti auksin, sitokinin, dan giberelin, yang berperan penting dalam pertumbuhan jaringan. Penurunan kadar hormon-hormon ini akibat cekaman dapat menyebabkan keterhambatan pemanjangan plumula dan radikula.

Sebaliknya, peningkatan hormon stres seperti asam absisat (ABA) pada tanaman bahan ekstrak dapat menghasilkan senyawa yang memengaruhi kemampuan kecambah untuk tumbuh secara optimal. Dengan meningkatnya intensitas cekaman pada tanaman bahan ekstrak, senyawa alelopatik atau metabolit sekunder dalam ekstrak menjadi lebih terkonsentrasi. Senyawa ini dapat menghambat aktivitas fisiologis, seperti penyerapan air dan nutrisi, serta mengganggu fungsi enzim yang mendukung pertumbuhan plumula dan radikula.

KESIMPULAN

Kadar flavonoid tertinggi dihasilkan varietas Super 1 dengan penyiraman setiap 5 hari sekali (4067,01 µg/g), sedangkan kadar terendah ditemukan pada varietas Suri 4 dengan penyiraman setiap hari (2948,07 µg/g). Penghambatan perkecambahan tertinggi terjadi pada varietas Suri 4 dan Super 1 dengan penyiraman setiap 5 hari sekali. Sorgum varietas Super 1 dan Suri 4 dengan perlakuan cekaman kekeringan dapat dimanfaatkan sebagai sumber bioherbisida potensial dalam pengelolaan gulma secara hayati.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, D., Siswoyo, T. A. & Soedradjad, R. (2015). Pengaruh cekaman kekeringan terhadap kandungan fenolik dan antioksidan tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) pada Fase Awal Vegetatif. *Berkala Ilmiah Pertanian*, 1(1), 1-10.
- Bewley, J. D. & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Plenum Press., New York.
- Chen, S., Wei, H. & Zhang, C. (2018). Allelopathic effects of flavonoids from invasive plant species on native plants: A Review. *Allelopathy Journal*, 44(1), 65-78.
- Cheng, F. & Cheng, Z. (2021). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 12, 642494. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>.
- Dong, N.-Q. & Lin, H.-X. (2021). Contribution of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) to plant secondary metabolism and responses to environmental stresses. *Frontiers in Plant Science*, 12, 800.
- Farooq, A., Farooq, N., Akbar, H., Hassan, Z. U. & Gheewala, S. H. (2023). A critical review of climate change impact at a global scale on cereal crop production. *Agronomy*, 13(1), 162. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010162>.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms, and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (1), 185-212.
- Gniazdowska, A. & Bogatek, R. (2020). Allelopathic interactions between plants: Multi-site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, 25. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11738-005-0017-3>

- Jabran, K. & Chauhan, B. S. (2020). Overview and prospects of natural product-based herbicides for sustainable weed management. *Weed Science*, 68(5), 552-567.
- Kandhro M, Memon, H-R, Laghari M, Baloch, A. & Ansari, M (2016). Allelopathic impact of Sorghum and Sunflower on germinability and seedling growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Basic & Applied Sciences* 12. 98–102. DOI: <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2016.12.15>.
- Khalid, S., Ahmad, T. & Anjum, M. A. (2020). Allelopathic potential of *Euphorbia helioscopia* L. against germination and seedling growth of Wheat and Brassica. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 26(2), 157-168.
- Khanh, T. D., Linh, L. H. & Xuan, T. D. (2020). Allelopathic plants: Opportunities and challenges in weed management. *Agronomy*, 10(12), 1813. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121813>.
- Kumar, S. & Pandey, A. K. (2013). Flavonoids: Health benefits and their molecular mechanism. In *Flavonoids - from biosynthesis to human health*. *IntechOpen*, 1-16.
- Little, N. G., DiTommaso, A., Westbrook, A. S., Ketterings, Q. M. & Mohler, C. L. (2021). Effects of fertility amendments on weed growth and weed-crop competition: A review. *Weed Science*, 69(2), 132–146. DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.1>.
- Macías, F.A., Molinillo, J.M.G., Varela, R.M. & Galindo, J.C.G. (2007) Allelopathy—A natural alternative for weed control. *Pest Management Science*, 63, 327-348. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1342>.
- Manurung, H., Kustiawan, W. & Kusuma, I. W. (2019). The effect of drought stress on growth and total flavonoid content of Tabat Barito plant (*Ficus deltoidea* Jack). *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 10(1), 55-62. DOI: <https://doi.org/10.29244/jhi.10.1.55-62>.
- Saputri, M. (2019). Perbandingan Kadar Flavonoid Total Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) Berdasarkan Kekeringan Bahan. KTI Mahasiswa, Poltekkes Kemenkes Palembang, Palembang.
- Susilo, E., Setyowati, N., Nurjanah, U. & Mukhtar, Z. (2021a). Sorghum germination inhibition using its water extract cultivated in swamp-land with different irrigation patterns. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 694, (1), 012027. IOP Publishing.
- Susilo, E., Setyowati, N., Nurjannah, U. & Mukhtar, Z. (2021b). Effect of swamp irrigation pattern and Sorghum extract concentration on Sorghum seed sprout. In *3rd KOBICONGRESS, International and National Conferences (KOBICINC 2020)* (pp. 19-25). Atlantis Press.
- Syafrida, M., Darmanti, S. & Izzati, M. (2018). Pengaruh suhu pengeringan terhadap kadar air, kadar flavonoid dan aktivitas antioksidan daun dan umbi rumput Teki (*Cyperus rotundus* L.). *Bioma*, 20(1), 44-50. DOI: <https://doi.org/10.14710/bioma.20.1.44-50>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M. & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Tibugari, H., Chiduzza, C. & Mashingaidze, A. B. (2020a). A survey of problem weeds of sorghum and their management in two sorghum-producing districts of Zimbabwe. *Cogent Social Sciences*, 6(1), 1738840. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1738840>.
- Travlos, I. S., Cheimona, N. & Ralli, P. (2020). Integrating cultural and mechanical methods for weed management in organic farming systems: A sustainable approach. *Agronomy*, 10(8), 1156.
- Van Bruggen, A. H. C., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R. & Morris, J. G. (2021). Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment*, 616-617, 255-268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.309>
- Zhang, Y., Li, X., Chen, J., Wang, H. & Liu, Z. (2021). Enhancing allelopathic potential in rice through genetic engineering: A sustainable approach to weed management. *Frontiers in Plant Science*, 12, 654321. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654321>.