

Konsentrasi dan Waktu Aplikasi Paklobutrazol, Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan dan Mutu Benih Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Monch)

The Concentration and Application Time of Paclobutrazol, Its Effect on Growth and Quality of Sorghum Seeds (*Sorghum bicolor* (L.) Monch)

Dwi Vista Anggraini¹, Eny Widajati^{2*}, Maryati Sari², Supijatno²

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Benih 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: eny_widajati@apps.ipb.ac.id

Disetujui: 20 Juni 2025 / Published Online September 2025

ABSTRACT

The sorghum variety Samurai can reach a plant height of up to 198.7 cm, which renders it prone to lodging and complicates maintenance and harvesting. The objective of the application of paclobutrazol is to inhibit plant height growth and to enhance the physiological quality of seeds. The objective of this study was to ascertain the optimal concentration and application time of paclobutrazol in order to produce sorghum seeds of the highest possible quality. The research was conducted from April 2023 to February 2024 at the Lewikopo experimental field. Paclobutrazol concentrations of 1000 ppm and 1500 ppm were applied at 5 and 7 weeks after planting, respectively. The quality of the seeds was evaluated at the time of harvest, as well as after one, two and three months of storage. The application of 1000 ppm paclobutrazol at 5 weeks after planting was identified as the most effective treatment for suppressing plant height growth. This treatment resulted in a substantial enhancement of plant morphological parameters (stem diameter, leaf length, and leaf width) and seed quality based on seed germination and dry weight of normal seedling. The application of paclobutrazol resulted in a significant decrease in the content of gibberellin in the seeds. However, the application of 1500 ppm paclobutrazol at 7 weeks post-sowing resulted in a decline in the quality of seeds after storage, based on seed germination, growth rate, and maximum growth potential.

Keywords: germination, gibberellin, growth rate

ABSTRAK

Sorgum varietas Samurai memiliki tinggi tanaman mencapai 198.7 cm, sehingga mudah rebah serta menyulitkan pemeliharaan dan pemanenan. Aplikasi paklobutrazol bertujuan menghambat pertumbuhan tinggi tanaman serta meningkatkan kualitas fisiologis benih. Penelitian ini bertujuan menentukan konsentrasi dan waktu aplikasi paklobutrazol yang tepat untuk menghasilkan benih sorgum bermutu tinggi. Penelitian dilaksanakan dari April 2023 hingga Februari 2024 di kebun percobaan Lewikopo. Konsentrasi paklobutrazol yang diberikan adalah 1000 ppm dan 1500 ppm, waktu aplikasi pada umur 5 dan 7 minggu setelah tanam. Mutu benih diuji pada saat panen dan setelah penyimpanan (1, 2, dan 3 bulan). Aplikasi paklobutrazol 1000 ppm pada umur 5 minggu setelah tanam merupakan perlakuan yang tepat untuk menekan pertumbuhan tinggi tanaman. Perlakuan dosis paklobutrazol ini menghasilkan peningkatan yang signifikan pada diameter batang, panjang daun, dan lebar daun serta mutu benih yaitu daya berkecambah dan bobot kering kecambah normal. Aplikasi paklobutrazol secara nyata menurunkan kandungan giberelin dalam benih. Aplikasi paklobutrazol 1500 ppm pada 7 minggu setelah tanam menurunkan mutu benih setelah simpan berdasarkan tolok ukur daya berkecambah, kecepatan tumbuh, dan potensi tumbuh maksimum.

Kata kunci: daya berkecambah, giberelin, kecepatan tumbuh

PENDAHULUAN

Sorgum merupakan tanaman cerealia yang berpotensi tinggi sebagai bahan pakan, bahan baku industri, dan alternatif bahan pangan yang dapat dibudidayakan secara komersial di Indonesia. Biji sorgum memiliki komposisi kimia yang terdiri atas protein 9.76%, serat kasar 34.5%, dan karbohidrat ±72.9% (Malalantang *et al.*, 2019). Kemampuan adaptasi yang dimiliki tanaman sorgum sangat luas dimulai dari dataran rendah sampai dataran tinggi sehingga sangat sesuai untuk dikembangkan di seluruh Indonesia (Yan Pieter dan Irmansyah, 2015). Tanaman sorgum dapat beradaptasi dan toleran terhadap kekeringan serta dapat tumbuh di berbagai kondisi lingkungan. Putri (2022), menyatakan bahwa sorgum dapat beradaptasi terhadap cekaman abiotik khususnya pada kekeringan maupun cuaca panas. Tanaman sorgum juga masih dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang tergenang atau pada tanah yang berpasir dengan pH tanah berkisar 5 hingga 7 (Siregar, 2021).

Paklobutrazol merupakan salah satu zat pengatur tumbuh golongan triazol yang dapat menghambat biosintesis giberelin dengan menghambat konversi kaurene menjadi kaurenoic acid. Mekanisme ini menyebabkan penurunan kadar giberelin dalam tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan vegetatif dan mendorong pembentukan fase generatif (Fletcher *et al.*, 2000). Penelitian Kumar *et al.* (2019), menunjukkan bahwa paklobutrazol dapat mengurangi panjang tunas tanaman mangga dari 17.9 cm menjadi 11.6 cm. Penelitian Liu *et al.* (2018), menunjukkan bahwa paklobutrazol dapat mengurangi tinggi tanaman sebesar 17-23% dari tanaman kontrolnya. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan paklobutrazol dapat untuk menghambat tinggi tanaman dan meningkatkan kualitas tanaman sehingga dapat digunakan sebagai upaya meningkatkan kualitas dan mengurangi tinggi tanaman sorgum (Weaver, 1972). Tanaman yang terlalu tinggi menjadi kendala dalam perawatan dan pemanenan.

Aplikasi paklobutrazol pada sorgum diperlukan untuk mengendalikan laju pertumbuhan vegetatif yang berlebihan, yang dapat mengalihkan alokasi energi dan nutrisi dari pembentukan biji menuju daun dan batang, sehingga menurunkan potensi hasil biji. Paklobutrazol telah terbukti efektif dalam menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman, sehingga mengalihkan sumber daya tanaman dari pertumbuhan daun dan batang menuju pembentukan benih. Forghani *et al.* (2018) menyatakan bahwa paklobutrazol 17 μ M dapat mempengaruhi biosintesis giberelin, menyebabkan

retardasi tinggi tunas pada sorgum. Paklobutrazol menekan pertumbuhan vegetatif dengan mengalokasikan lebih banyak sumber daya ke fase generatif untuk meningkatkan pembentukan bunga dan biji (Singh dan Sharma, 2023).

Paklobutrazol diaplikasikan dengan cara menyemprotkan pada daun dan akan diserap kemudian ditranslokasi ke bagian tanaman yang sedang tumbuh aktif (Desta dan Amare, 2021). Pemberian paklobutrazol pada tanaman dengan konsentrasi tertentu telah terbukti dalam mengendalikan tinggi tanaman, meningkatkan ketahanan rebah, serta memperbaiki struktur tanaman sehingga lebih efisien dalam menyerap cahaya dan nutrisi. Pengaplikasian paklobutrazol pada tanaman lidah mertua menunjukkan bahwa aplikasi paklobutrazol dapat menghambat pertumbuhan tinggi tanaman secara signifikan (Ardigusa dan Sukma, 2015). Aplikasi paklobutrazol pada tanaman jagung telah terbukti mengurangi tinggi tanaman, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap rebah (Wulan dan Bintoro, 2021). Pada penelitian lainnya aplikasi paklobutrazol pada tanaman sorgum dapat menghambat pertumbuhan pada parameter luas daun, berat kering tanaman, dan volume akar, namun belum dapat meningkatkan hasil tanaman (Selfiandri *et al.*, 2024). Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan konsentrasi paklobutrazol dan waktu pemberian yang tepat untuk dapat menekan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan mutu benih sorgum.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Leuwikoopo dan Laboratorium Penyimpanan dan Pengujian Mutu Benih, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor pada bulan April 2023 sampai dengan Februari 2024.

Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Aplikasi Paklobutrazol terhadap Pertumbuhan Tanaman Sorgum

Percobaan disusun dengan rancangan acak kelompok faktorial dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi paklobutrazol yaitu 0 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm dan faktor kedua adalah waktu aplikasi 5 minggu setelah tanam (MST) dan 7 MST. Percobaan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 18 satuan percobaan. Satu unit percobaan berupa satu bedengan dengan ukuran 1 m x 15 m. Benih ditanam dengan jarak tanam 60 cm x 40 cm dengan 2 benih per lubang. Benih ditanam dengan kedalaman ±3 cm. Pemupukan

dilakukan dengan mengaplikasikan 50 kg pupuk kandang per bedengan. Pupuk NPK dengan komposisi 15:15:15 diberikan 2 kali pada saat tanam sebanyak 270 g per bedengan dan pemupukan kedua pada 4 MST sebanyak 270 g per bedengan. Penyemprotan paklobutrazol pada seluruh daun dilakukan pada saat 5 MST dan 7 MST. Penyemprotan paklobutrazol sesuai perlakuan memerlukan 500 mL per tanaman.

Pengamatan:

1. Kecepatan pertambahan tinggi tanaman (cm). Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga ujung daun tertinggi pada 10 tanaman sampel pada setiap satuan percobaan. Pengukuran dilakukan setiap minggu mulai tanaman berumur 4 MST.
2. Diameter batang (mm). Pengukuran dilakukan pada ruas tanaman ke-3 dengan menggunakan jangka sorong.
3. Panjang daun (cm). Pengamatan panjang daun dilakukan pada saat tanaman sebelum dipanen dengan mengukur dari pangkal daun sampai ujung daun pada daun ke 5 dari akar.
4. Lebar daun (cm). Panjang malai diukur dari sisi kiri ke kanan atau bagian daun terlebar pada daun kelima tanaman. Pengamatan dilakukan pada saat sebelum panen.
5. Panjang malai (cm). Pengukuran panjang malai dilakukan dengan mengukur ruas terakhir tanaman (batang malai) sampai ujung malai. Pengukuran dilakukan pada saat sebelum panen.

Pengaruh Paklobutrazol terhadap Mutu Benih Sorgum

Penelitian terdiri atas dua percobaan yaitu mutu benih pada saat panen dan mutu benih setelah simpan:

1. Mutu benih pada saat panen: percobaan disusun dengan rancangan acak (RAL) faktorial dua faktor. Faktor pertama adalah konsentrasi paklobutrazol yaitu 0 ppm (P0), 1000 ppm (P1), dan 1500 ppm (P2) dan faktor kedua adalah waktu aplikasi 5 MST (W5) dan 7 MST (W7). Percobaan ini diulang sebanyak 3 kali sehingga terdiri dari 18 satuan percobaan.
2. Mutu benih setelah penyimpanan: percobaan ini disusun dengan rancangan split plot dengan petak utama yaitu periode simpan (0, 1, 2, dan 3, bulan) dan anak utama yaitu kombinasi perlakuan konsentrasi paklobutrazol dengan waktu aplikasi (P0W5, P0W7, P1W5, P1W7, P2W5, dan P2W7). Percobaan ini diulang sebanyak 3 kali sehingga terdiri dari 72 satuan percobaan.

Pengamatan:

1. Daya berkecambah (DB): DB diamati dengan

menggunakan metode *between paper* dan diamati berdasarkan persentase kecambah normal pada hari ke-4 (KN I) dan ke-10 setelah tanam (KN II) ISTA (2023). DB dapat dihitung berdasarkan rumus:

$$DB (\%) = \frac{(KN 1 + KN 2)}{(n)} \times 100 \%$$

2. Bobot kering kecambah normal (BKKN): Dilakukan dengan mengoven kecambah normal di oven pada suhu 80 °C selama 24 jam lalu dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit, selanjutnya ditimbang.
3. Kecepatan tumbuh (K_{CT}): Perhitungan nilai K_{CT} dengan menjumlahkan kecambah normal setiap etmal (24 jam) sampai hitungan terakhir pengujian perkecambahan (Sadjad, 1994). Pengamatan K_{CT} benih sorgum dilakukan setiap hari selama 10 hari.
4. Perhitungan indeks vigor (IV): IV diperoleh dengan menghitung jumlah kecambah normal pada *first count* atau pada umur 4 HST. Rumus indeks vigor (ISTA, 2014) sebagai berikut:

$$IV (\%) = \frac{SKN 1}{(n)} \times 100 \%$$

5. Potensi tumbuh maksimum (PTM): PTM diamati dari persentase permunculan kecambah yang dihitung berdasarkan jumlah benih yang tumbuh normal dan abnormal terhadap jumlah benih yang ditanam dalam kondisi optimum.
6. Penetapan daya hantar listrik (DHL): Pengukuran DHL dilakukan dengan merendam 100 butir benih pada 250 mL aquabidestilata atau air bebas ion yang daya hantar listriknya $<5\mu S^{cm.g^{-1}}$ pada suhu 20 ± 2 °C selama 18 –24 jam. Pengukuran dilakukan dengan mengukur larutan blanko dan selanjutnya larutan contoh benih setelah 24 jam perendaman (ISTA, 2014).

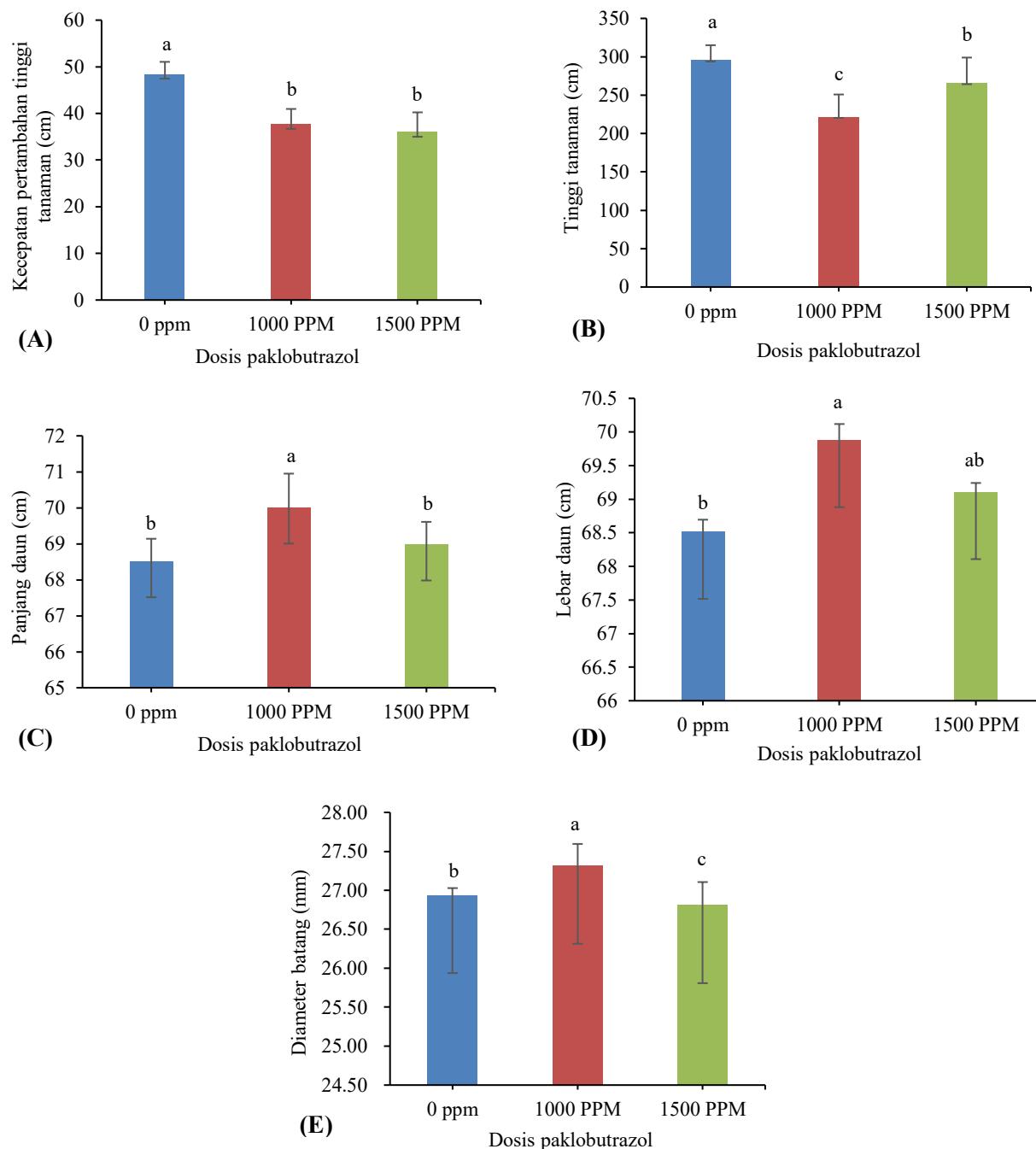
Analisis Data

Data dianalisis dengan uji-F menggunakan perangkat lunak MS. Excel dan SAS. Hasil uji F menunjukkan pengaruh nyata, dilakukan uji lanjut menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Aplikasi Paklobutrazol terhadap Pertumbuhan Tanaman Sorgum

Dosis paklobutrazol berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman sorgum, terutama untuk menekan tinggi tanaman (mencegah pemanjangan batang), mempengaruhi panjang dan lebar daun, serta memperbesar diameter batang (Gambar 1).



Gambar 1. Pengaruh perlakuan paklobutrazol terhadap pertambahan tinggi (A), tinggi tanaman (B), panjang daun sorgum (C), lebar daun (D), diameter batang (E)

Zhang *et al.* (2018) menemukan bahwa paklobutrazol menghambat tinggi tanaman jagung, namun meningkatkan alokasi assimilate pada fase generatif. Hasil analisis ragam menunjukkan dosis paklobutrazol berpengaruh nyata terhadap semua tolak ukur. Interaksi dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol berpengaruh nyata terhadap panjang daun. Perlakuan dosis paklobutrazol memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. Perlakuan kontrol menghasilkan tinggi tanaman tertinggi pada minggu ke-5 (281.1 cm) dan minggu ke-7 (308.72 cm), hasil ini menunjukkan pertumbuhan yang optimal. Perlakuan 1500 ppm menunjukkan

tinggi tanaman 264.3 cm pada minggu ke-5 dan 266.24 cm pada minggu ke-7. Perlakuan 1000 ppm menunjukkan penurunan tinggi tanaman pada minggu ke-5 (229.76 cm) dan minggu ke-7 (213.08 cm).

Penurunan kadar giberelin akibat aplikasi paklobutrazol menyebabkan laju pemanjangan batang melambat yang secara langsung berdampak pada kecepatan pertumbuhan tinggi tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis paklobutrazol yang diberikan, semakin rendah kecepatan pertumbuhan tinggi tanaman sorgum. Pengaruh ini menunjukkan bahwa

paklobutrazol bersifat responsif pada parameter kecepatan pertumbuhan tinggi tanaman dan tinggi tanaman, konsentrasi 1000 ppm dan 1500 ppm dapat menginduksi penghambatan yang kuat terhadap elongasi batang dibandingkan dengan kontrol. Dosis yang lebih tinggi (1500 ppm) menyebabkan penurunan panjang daun, lebar daun, dan diameter batang. Penurunan ini mungkin diakibatkan oleh penghambatan metabolismik yang lebih kuat, yang tidak hanya menghambat elongasi batang, tetapi juga memengaruhi ekspansi daun dan perkembangan diameter batang secara menyeluruh. Turu dan Palipi (2023) melaporkan bahwa aplikasi paklobutrazol pada konsentrasi 1200 ppm secara signifikan menghambat pertumbuhan vegetatif sorgum, termasuk penurunan luas daun dan secara umum mengurangi tinggi batang. Waktu aplikasi pada penelitian ini tidak menunjukkan pengaruh tunggal pada semua parameter, akan tetapi terdapat interaksi antara dosis dengan waktu aplikasi yang secara spesifik mempengaruhi panjang daun. Waktu aplikasi paklobutrazol, pada 5 maupun 7 MST, tidak berpengaruh nyata terhadap parameter pertumbuhan vegetatif tanaman sorgum. Perbedaan yang tidak signifikan ini menunjukkan bahwa respons fisiologis tanaman terhadap paklobutrazol lebih dipengaruhi oleh dosis dari pada waktu aplikasi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat interaksi nyata antara dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol terhadap panjang daun tanaman sorgum (Tabel 1). Rata-rata panjang daun tertinggi diperoleh pada perlakuan paklobutrazol dosis 1000 ppm, yaitu 70,00 cm, yang secara statistik nyata lebih tinggi dari dosis 0 ppm (kontrol) dan 1500 ppm, yang masing-masing menunjukkan nilai panjang daun sebesar 68,52 cm dan 68,98 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian paklobutrazol pada dosis 1000 ppm dapat memberikan stimulasi optimal terhadap perkembangan daun, khususnya pada panjang daun. Peningkatan ini menunjukkan bahwa

paklobutrazol tidak hanya berfungsi sebagai inhibitor pertumbuhan vertikal, tetapi juga dapat merangsang pertumbuhan lateral seperti daun. Penghambatan dominasi apikal akibat perlakuan paklobutrazol memicu peningkatan produksi cabang lateral dan daun, sehingga menyebabkan rasio massa daun menjadi lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa paklobutrazol tidak hanya berfungsi sebagai inhibitor pertumbuhan vertikal, tetapi juga merangsang pertumbuhan lateral daun (Santos Filho *et al.*, 2022).

Waktu aplikasi paklobutrazol pada 5 MST meningkatkan panjang daun, namun pada 7 MST tidak ditemukan perbedaan yang signifikan terhadap panjang daun, dengan rata-rata masing-masing sebesar 69,25 cm dan 69,08 cm, hal ini mengindikasikan bahwa pemberian paklobutrazol pada fase awal vegetatif lebih efektif dalam merangsang perkembangan panjang daun. Respons ini menunjukkan bahwa waktu aplikasi secara keseluruhan tidak berbeda nyata, tetapi terdapat titik optimum di mana sinkronisasi antara fase pertumbuhan tanaman dan waktu aplikasi paklobutrazol dapat memaksimalkan pertumbuhan daun. Aplikasi paklobutrazol pada fase pertumbuhan vegetatif yang tepat dapat mengoptimalkan respons morfologi daun, karena paklobutrazol tidak hanya menghambat pemanjangan batang, tetapi juga mempengaruhi aktivitas metabolismik tanaman yang berdampak pada peningkatan struktur dan fungsi daun. Paklobutrazol meningkatkan fotosintesis, efisiensi penggunaan air, dan memicu aktivitas metabolismik terkait dengan cekaman defisit air.

Penurunan kandungan hormon giberelin (GA) pada benih sorgum sebagai respons terhadap perlakuan paklobutrazol yang berperan dalam menghambat biosintesis giberelin, khususnya melalui jalur ent-kaurena oksidase. Berdasarkan Tabel 2, aplikasi paklobutrazol 1000 dan 1500 ppm nyata menurunkan kandungan GA, selain itu aplikasi lebih awal (5 MST) mampu menekan konsentrasi GA secara nyata dibanding 7 MST.

Tabel 1. Interaksi antara dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol terhadap panjang daun (cm) Sorgum pada 9 MST

Perlakuan	Waktu aplikasi (MST)	
Konsentrasi paklobutrazol (ppm)	5	7
0	68,00 c	69,03b
1000	70,71 a	69,30ab
1500	69,05 b	68,91b

Keterangan: MST: minggu setelah tanaman; nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Tabel 2. Interaksi antara pengaruh dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol terhadap kandungan hormon GA (ppm) pada benih sorgum

Perlakuan Konsentrasi paklobutrazol (ppm)	Waktu aplikasi (MST)	
	5	7
0	9.45 a	8.95 b
1000	7.30 e	8.26 c
1500	7.28 e	7.80 d

Keterangan: MST: minggu setelah tanaman; nilai rataan pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi paklobutrazol yang diaplikasikan, semakin kuat efek penghambatan terhadap sintesis GA. Selain itu, waktu aplikasi juga mempengaruhi efektivitas paklobutrazol. Respons tanaman terhadap paklobutrazol bersifat temporal dan terkait erat dengan fase fisiologis tanaman. Fenomena ini diperkuat oleh temuan Groszmann *et al.* (2020) pada tanaman *Raphanus raphanistrum*, paklobutrazol menyebabkan penurunan tinggi tanaman secara signifikan melalui penurunan biosintesis GA. paklobutrazol memberikan efek terhadap pertumbuhan tanaman dan biosintesis giberelin umumnya bergantung pada konsentrasi, di mana konsentrasi yang lebih tinggi menyebabkan penurunan kadar GA yang lebih nyata (Kamran *et al.*, 2018). Penurunan GA melalui aplikasi paklobutrazol dapat menjadi

strategi untuk mengendalikan pertumbuhan vegetatif, sekaligus mengarahkan sumber daya tanaman ke pengisian biji. Penghambatan pertumbuhan vegetatif berkontribusi pada peningkatan mutu fisiologis benih, seperti viabilitas, vigor, dan kekuatan tumbuh. Dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol terbukti memengaruhi kandungan hormon GA secara sinergis.

Pengaruh Paklobutrazol terhadap Mutu Benih Sorgum

Mutu benih pada saat panen

Hasil pada Tabel 3, pemberian paklobutrazol pada konsentrasi 1000 ppm secara signifikan meningkatkan daya berkecambah pada waktu aplikasi 7 MST.

Tabel 3. Pengaruh dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol terhadap mutu benih sorgum pada saat panen dengan tolok ukur DB (%), PTM (%), BKKN (g), dan DHL

Perlakuan konsentrasi paklobutrazol (ppm)	Waktu aplikasi (MST)		Rata-rata
	5	7	
-----Daya berkecambah (DB)-----			
0	74.0 ab	72.0 b	
1000	79.0 a	78.3 a	
1500	79.0 a	69.3 b	
-----Potensi tumbuh maksimum (PTM)-----			
0	82.3	81.0	81.67 b
1000	88.0	87.3	87.83 a
1500	87.7	79.3	83.33 ab
-----Bobot kering kecambah normal (BKKN)-----			
0	1.19	1.09	1.14 ab
1000	1.22	1.12	1.19 a
1500	1.17	1.08	1.10 b
Rata-rata	1.17 a	1.12 b	
-----Daya hantar listrik (DHL)-----			
0	19.98	22.27	21.12b
1000	21.31	22.04	21.67 b
1500	23.54	24.86	24.20 a
Rata-rata	21.61 b	23.06 a	

Keterangan: MST: minggu setelah tanaman; nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$ (DB); Nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$ (PTM, BKKN, DHL).

Dosis 1000 ppm merupakan dosis paling optimal untuk meningkatkan daya berkecambah benih sorgum, karena peningkatan dosis 1500 ppm menurunkan DB. Peningkatan daya berkecambah yang teramat konsisten dengan studi Kurniasih dan Hanudin (2018) pada bawang merah, yang mendukung bahwa paklobutrazol memengaruhi proses fisiologis tanaman dan berpotensi positif terhadap perkembangan serta kualitas benih. Perlakuan 1000 ppm dan 1500 ppm paklobutrazol mampu meningkatkan potensi pertumbuhan maksimum kecambah secara signifikan dibandingkan dengan kontrol. Aplikasi dengan konsentrasi tinggi menyebabkan kerusakan pada membran sel benih, yang ditunjukkan oleh meningkatnya hasil pengukuran daya hantar listrik (Tabel 4). Waktu aplikasi mendekati saat panen benih (7 MST) memberikan dampak yang kurang baik terhadap mutu benih, hal ini ditunjukkan oleh menurunnya daya berkecambah dan bobot kering kecambah normal, dan meningkatnya nilai DHL. Benih bermutu berperan penting dalam produksi tanaman. Mutu benih terdiri atas mutu fisik, fisiologi, dan genetik. Mutu benih tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) merupakan faktor yang mempengaruhi keberhasilan budidaya dan produktivitas tanaman. Ellis (2022) menyatakan bahwa benih berkualitas tinggi ditandai oleh viabilitas dan vigor yang tinggi, yang sangat penting untuk memastikan pertumbuhan tanaman seragam dan meningkatkan hasil panen secara signifikan.

Mutu Benih Setelah Penyimpanan

Hasil penelitian pada Tabel 4, menunjukkan bahwa kombinasi dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol berpengaruh signifikan terhadap daya berkecambah benih sorgum selama penyimpanan. Perlakuan kontrol (P0W5 dan P0W7) menunjukkan daya berkecambah stabil dan cenderung meningkat, dengan puncaknya pada P0W5 bulan ke-3 (86.3%). Perlakuan P1W5 (dosis

sedang, aplikasi awal) juga menunjukkan daya berkecambah tinggi dan konsisten, bahkan sedikit melampaui kontrol, menandakan efek positif paklobutrazol pada kondisi optimal. Sebaliknya, P2W5 (dosis tinggi, aplikasi awal) mengalami penurunan tajam pada bulan ke-1, namun meningkat kembali di bulan berikutnya. Peningkatan daya berkecambah pada bulan berikutnya dapat dijelaskan oleh beberapa mekanisme, seperti degradasi bertahap residu paklobutrazol dalam benih selama penyimpanan yang mengurangi efek penghambatannya, atau proses pematangan benih (*after-ripening*) yang terjadi selama penyimpanan yang dapat meningkatkan respons benih terhadap kondisi perkecambahan (Puspitasari *et al.*, 2020). Perlakuan P2W7 (dosis tinggi, aplikasi lambat) menunjukkan daya berkecambah terendah dan menurun selama penyimpanan, menegaskan efek negatif paklobutrazol berlebih. Temuan ini menegaskan pentingnya pengaturan dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol untuk mempertahankan viabilitas benih selama penyimpanan.

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan interaksi dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol memengaruhi potensi tumbuh maksimum (PTM) benih sorgum selama penyimpanan. Pada awal penyimpanan (bulan ke-0) dan bulan ke-1, perlakuan dengan dosis moderat (P1W7 dan P1W5) menunjukkan PTM tertinggi (87.6% dan 90.7% secara berurutan), menandakan kombinasi ini efektif menjaga viabilitas benih. Sebaliknya, perlakuan P2W7 (dosis lebih tinggi, waktu aplikasi lebih lama) secara konsisten menghasilkan PTM terendah, menurun dari 79.3% (bulan ke-0) menjadi hanya 70.7% (bulan ke-3). Ini mengindikasikan bahwa dosis paklobutrazol yang terlalu tinggi atau waktu aplikasi yang terlalu lama dapat bersifat fitotoksik, merusak viabilitas benih sorgum, terutama selama penyimpanan jangka panjang.

Tabel 4. Interaksi antara kombinasi perlakuan (dosis dan waktu aplikasi) paklobutrazol terhadap daya berkecambah (%) sorgum selama penyimpanan (0, 1, 2, dan 3 bulan)

Perlakuan	Penyimpanan pada bulan ke-n			
	0	1	2	3
P0W5	74.0 cdefgh	83.7 ab	84.7 ab	86.3 a
P0W7	72.0 efgh	81.7 abcd	84.0 ab	78.7 abcde
P1W5	79.0 abcde	85.0 ab	85.7 ab	82.3 abc
P2W5	78.3 abcdef	69.7 fghi	77.0 bcdefg	82.7 abc
P1W7	79.0 abcde	73.3 defgh	80.3 abcde	82.0 abcd
P2W7	69.3 ghi	67.0 hi	62.0 i	67.7 hi

Keterangan: P0= 0 ppm, P1= 1000 ppm, P2= 1500 ppm, W5= 5 MST, W7=7 MST. Nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Tabel 5. Interaksi antara kombinasi perlakuan (dosis dan waktu aplikasi) paklobutrazol terhadap potensi tumbuh maksimum (PTM) sorgum selama penyimpanan (0, 1, 2, dan 3 bulan)

Perlakuan	Penyimpanan pada bulan ke-n			
	0	1	2	3
P0W5	82.3 abcd	89.0 ab	86.3 abc	88.0 abc
P0W7	81.0 abcde	83.3 ab	86.6 abc	84.6 abcd
P1W5	88.0 abc	90.7 a	89.0 ab	83.7 abcd
P2W5	87.3 abc	78.7 cdef	79.7 bcdef	85.6 abcd
P1W7	87.6 a	83.3 abcd	84.0 abcd	84.3 abcd
P2W7	79.3 bcdef	75.7 def	71.7 ef	70.7 f

Keterangan: P0= 0 ppm, P1= 1000 ppm, P2= 1500 ppm, W5= 5 MST, W7=7 MST. Nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Konsentrasi paklobutrazol yang terlalu tinggi dapat mengganggu sintesis giberelin secara berlebihan, yang vital untuk inisiasi perkecambahan dan pertumbuhan awal kecambah (Davies, 2013). Penentuan dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol yang cermat adalah krusial untuk memastikan tidak hanya pertumbuhan tanaman yang terkontrol tetapi juga kualitas benih yang optimal dan daya simpannya.

Data pada Tabel 6 menampilkan interaksi antara dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol terhadap kecepatan tumbuh (KCT) benih sorgum selama penyimpanan. Pada awal penyimpanan (bulan ke-0), perlakuan P2W5 menunjukkan KCT tertinggi sebesar 18.6% yang mengindikasikan bahwa kombinasi ini memicu perkecambahan yang cepat pada kondisi awal benih. KCT tinggi juga terjadi pada perlakuan P1W5 bulan ke-1, mencapai 18.3%. Data dari penelitian ini secara kolektif menunjukkan bahwa dosis paklobutrazol moderat hingga tinggi ketika diaplikasikan pada waktu yang tepat (5 MST), berpotensi signifikan meningkatkan kecepatan perkecambahan benih sorgum pada tahap awal penyimpanan. Dosis yang tepat mungkin mempercepat proses metabolisme awal benih, seperti hidrasi dan aktivasi enzim yang penting untuk inisiasi perkecambahan yang cepat

bahkan juga dapat mempengaruhi hasil dan kualitas benih secara keseluruhan (Gani *et al.*, 2022). Sebaliknya, KCT menurun drastis pada perlakuan P2W7 dari 15.2% bulan ke-0 menjadi 10.9% bulan ke-1, dan terus rendah hingga 11.0% pada bulan ke-3. Penurunan KCT signifikan pada P2W7 mengindikasikan bahwa dosis paklobutrazol yang lebih tinggi (P2) yang diaplikasikan pada waktu yang lebih lama (W7) memiliki efek negatif terhadap vigor benih, secara substansial memperlambat laju perkecambahan benih sorgum terutama selama penyimpanan. Efek ini kemungkinan terkait dengan gangguan metabolisme benih yang disebabkan oleh fitotoksitas paklobutrazol pada konsentrasi dan durasi paparan yang tinggi. Konsistensi rendahnya KCT pada P2W7 sepanjang waktu penyimpanan mengindikasikan bahwa kerusakan atau hambatan yang disebabkan oleh perlakuan ini tidak mudah dipulihkan dan berlanjut mempengaruhi kualitas benih seiring waktu (Alemayehu *et al.*, 2021). Penentuan dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol harus dilakukan dengan sangat cermat untuk mengoptimalkan bukan hanya pertumbuhan tanaman, tetapi juga kualitas dan daya simpan benih yang dihasilkan.

Tabel 6. Interaksi antara kombinasi perlakuan (dosis dan waktu aplikasi) paklobutrazol terhadap kecepatan tumbuh (KCT) sorgum selama penyimpanan (0, 1, 2, dan 3 bulan)

Perlakuan	Penyimpanan pada bulan ke-n			
	0	1	2	3
P0W5	16.9 abcde	16.5 abcde	14.6 def	12.9 fgh
P0W7	16.8 abcde	18.0 abc	15.4 abcdef	14.0 efg
P1W5	17.9 abc	18.3 ab	16.5 abcde	15.4 abcdef
P2W5	18.6 a	16.3 abcde	14.9 cdef	13.8 efg
P1W7	17.9 abcd	15.9 abcdef	14.9 cdef	14.6 ef
P2W7	15.2 bcdef	10.9 gh	10.1 h	11.0 gh

Keterangan: P0= 0 ppm, P1= 1000 ppm, P2= 1500 ppm, W5= 5 MST, W7=7 MST. Nilai rataan pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Hasil data pada Tabel 7 menunjukkan interaksi kombinasi perlakuan dosis dan waktu aplikasi paklobutrazol, serta durasi penyimpanan (0, 1, 2, dan 3 bulan) pada parameter indeks vigor benih. Indeks vigor merupakan indikator komprehensif dari kekuatan dan kecepatan pertumbuhan benih, merefleksikan kualitas fisiologis benih secara keseluruhan. Pada awal penyimpanan pada bulan ke-0, terlihat bahwa sebagian besar perlakuan termasuk kontrol (P0W5 dan P0W7), menunjukkan IV yang relatif serupa, berkisar antara 52.3 hingga 59.7. Ini menunjukkan bahwa paklobutrazol, pada dosis dan waktu aplikasi yang diuji, tidak memberikan efek peningkatan vigor yang signifikan pada benih sorgum di awal penyimpanan. Pada bulan ke-2 penyimpanan, perlakuan P1W5 (dosis 1, waktu aplikasi 5) mencapai IV tertinggi sebesar 81.7%, dan P0W5 juga menunjukkan IV tinggi (80.3%). Hal ini mengindikasikan bahwa dosis

paklobutrazol 1000 ppm (P1) dengan waktu aplikasi W5, atau bahkan tanpa paklobutrazol (P0W5), dapat membantu menjaga atau meningkatkan vigor benih selama dua bulan pertama penyimpanan. Vigor benih diketahui dapat berfluktuasi selama penyimpanan karena proses after-ripening atau adaptasi fisiologis terhadap kondisi lingkungan (Alemayehu *et al.*, 2021).

Parameter bobot kering kecambah normal (BKKN) pada Tabel 8, menunjukkan adanya penurunan BKKN seiring dengan peningkatan periode simpan. Rata-rata BKKN pada bulan ke-0 dan ke-1 tidak berbeda nyata (1.15 g dan 1.14 g), namun terjadi penurunan signifikan pada bulan ke-3 (0.93 g). Sebagaimana dijelaskan oleh Nadeem *et al.* (2022), pengaruh penuaan terhadap parameter vigor benih termasuk berat kering kecambah secara signifikan menyebabkan pengurangan pertumbuhan kecambah dan biomassa secara keseluruhan.

Tabel 7. Interaksi antara kombinasi perlakuan (dosis dan waktu aplikasi) paklobutrazol terhadap indeks vigor (IV) sorgum selama penyimpanan (0, 1, 2, dan 3 bulan)

Perlakuan	Penyimpanan pada bulan ke-n			
	0	1	2	3
P0W5	52.3 hi	61.0 cdefghi	80.3 ab	66.0 abcdefghi
P0W7	52.3 hi	58.7 defghi	71.0 abcdefgh	66.3 abcdefghi
P1W5	59.7 cdefghi	72.7 abcdef	81.7 a	71.3 abcdefg
P2W5	54.0 fghi	51.7 i	73.0 abcde	65.7 abcdefghi
P1W7	55.0 efgi	53.0 ghi	75.3 abcd	77.7 abc
P2W7	54.0 fghi	54.3 efgi	53.3 ghi	62.3 bcdefghi

Keterangan: P0= 0 ppm, P1= 1000 ppm, P2= 1500 ppm, W5= 5 MST, W7=7 MST. Nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Tabel 8. Pengaruh kombinasi perlakuan dan penyimpanan terhadap BKKN dan DHL benih sorgum

Perlakuan	Periode simpan (bulan)				Rata-rata
	0	1	2	3	
-----Berat kering kecambah normal (BKKN)-----					
P0W5	1.19	1.24	1.15	1.02	1.15 a
P0W7	1.09	1.16	1.13	0.96	1.08 ab
P1W5	1.22	1.13	1.08	1.00	1.10 ab
P2W5	1.18	1.12	1.03	0.91	1.03 bc
P1W7	1.12	1.10	1.02	0.90	1.06 bc
P2W7	1.09	1.08	1.00	0.80	0.99 c
Rata-rata	1.15 a	1.14 a	1.07 a	0.93 b	
-----Daya hantar listrik (DHL)-----					
P0W5	19.98	19.29	19.75	19.97	19.75 cd
P0W7	22.27	23.64	19.27	21.98	21.79 abc
P1W5	21.31	17.14	15.08	13.68	16.80 d
P2W5	23.54	2.35	24.34	21.67	23.48 ab
P1W7	22.04	20.57	21.96	18.65	20.81 bc
P2W7	24.86	25.75	24.76	24.22	24.89 a

Keterangan: P0= 0 ppm, P1= 1000 ppm, P2= 1500 ppm, W5= 5 MST, W7=7 MST. Nilai rata-rata pada masing-masing perlakuan yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf $\alpha = 5\%$.

Hal ini mengindikasikan bahwa lama penyimpanan mempengaruhi viabilitas benih, yang tercermin dari penurunan biomassa kecambah normal. Perlakuan P0W5 menunjukkan BKKN tertinggi secara signifikan (1.15 g) dibandingkan dengan perlakuan lain. Perlakuan P2W7 menghasilkan BKKN terendah (0.99 g). Pola ini menunjukkan bahwa aplikasi paklobutrazol, terutama pada dosis dan waktu yang lebih tinggi (P2W7), cenderung menurunkan berat kering kecambah normal. Hal ini mungkin disebabkan oleh efek fitotoksik paklobutrazol pada perkembangan embrio atau metabolisme perkecambahan, yang kemudian berdampak negatif pada biomassa kecambah. Secara umum, perlakuan tanpa paklobutrazol (P0W5 dan P0W7) cenderung menghasilkan BKKN yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang melibatkan paklobutrazol (P1W5, P2W5, P1W7, P2W7).

Data daya hantar listrik (DHL) menggambarkan kompleksitas respons integritas membran sel benih sorgum terhadap perlakuan paklobutrazol dan waktu aplikasi (Tabel 8). DHL mencerminkan kebocoran elektrolit dan berkorelasi negatif dengan vigor benih; semakin tinggi DHL, semakin besar kerusakan membran (Bradford, 2017). Perlakuan P2W7 (1500 ppm, 7 MST) menghasilkan DHL tertinggi (rata-rata 24.89), khususnya pada bulan ke-1 (25.75), yang menunjukkan kerusakan membran signifikan akibat kemungkinan fitotoksitas paklobutrazol dosis tinggi (Wang *et al.*, 2023). Perlakuan P1W5 (1000 ppm, 5 MST) mencatat DHL terendah (16.80), dengan tren menurun selama penyimpanan menunjukkan potensi protektif paklobutrazol dalam stabilisasi membran atau adaptasi seluler (Su *et al.*, 2021). Perlakuan kontrol (P0W5 dan P0W7) menunjukkan nilai DHL sedang dengan fluktuasi yang dapat dikaitkan dengan variabilitas alami benih tanpa perlakuan.

KESIMPULAN

Aplikasi paklobutrazol pada tanaman sorgum varietas Samurai efektif dalam mengendalikan pertumbuhan tinggi tanaman dan meningkatkan mutu fisiologis benih. Pemberian 1000 ppm paklobutrazol pada umur 5 MST terbukti menjadi perlakuan yang tepat untuk menekan pertumbuhan tinggi tanaman, meningkatkan diameter batang, panjang daun, dan lebar daun dan meningkatkan mutu benih berdasarkan daya berkecambah dan bobot kering kecambah normal. Aplikasi paklobutrazol menurunkan kandungan giberelin dalam benih secara signifikan. Dosis paklobutrazol yang terlalu tinggi (1500 ppm) dan waktu aplikasi yang lebih lambat (7 MST) menurunkan mutu benih setelah penyimpanan,

ditunjukkan oleh penurunan daya berkecambah, kecepatan tumbuh, dan potensi tumbuh maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Alemayehu, D., Y. Abebe, G. Ayana. 2021. Influence of storage period and packaging materials on seed quality of maize (*Zea mays L.*) varieties. *J. Exp. Biol. Agric. Sci.* 9(1):89-97.
- Ardigusa, Y., D. Sukma. 2015. Pengaruh paklobutrazol terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman sanseviera (*Sansevieria trifasciata Laurentii*). *J. Hort. Indonesia.* 6(1):45-53. DOI: <https://doi.org/10.29244/jhi.6.1.45-53>
- Bradford, K.J. 2017. What is vigor, and how do we measure it? Di dalam: D.M. Tekrony, J.G. Hampton, editor. *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*. CABI. hlm. 23-41.
- Davies, P.J. 2013. *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry, and Molecular Biology*. Springer Science dan Business Media.
- Desta, B., G. Amare. 2021. Paklobutrazol as a plant growth regulator: effects on crop growth and productivity. *J. Agric. Sci. Technol.* 23(1):45–53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>
- Ellis, R.H. 2022. Seed ageing, survival, and the improved seed viability equation; forty years on. *Seed Sci. Technol.* 50:1–20. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.01>.
- Fletcher, R., A. Gilley, N. Sankhla, T. Davis. 2000. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants. *Hort. Rev.* 24:55–137. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470650776.ch3>
- Filho, B.G.S., J.A. de Oliveira, M.M. Soares, M.A. Silva. 2022. Effects of paclobutrazol on morphological traits and leaf expansion in tropical grasses. *J. Plant Growth Regul.* 41(2):415–424.
- Forghani, A.H., A. Almodares, A.A. Ehsanpour. 2018. Comparative effects of gibberellin and paclobutrazol on Na and K content phenolic compounds and the activity of some enzymes in its biosynthesis pathway in sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salt stress. *J. Crop Product. Process.* 8(28):103-120. DOI: <https://doi.org/10.47176/jcpp.15.1.36824>.

- Gani, B., S.H. Wani, R.A. Lone, A.A. Sofi. 2022. Effect of exogenous application of plant growth regulators on seed yield and quality of Brassica crops: A review. *J Pharmacogn Phytochem.* 11(1):163-169.
- Groszmann, M., T. Paicu, F. Ma, S. Al-Babili. 2020. Manipulating gibberellin control over growth and fertility as a possible target for managing wild radish weed populations in cropping systems. *Front. Plant Sci.* 11:190. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00190>.
- [ISTA] International Seed Testing Association. 2014. International rules for seed testing. ISTA. Bassersdorf, Switzerland.
- [ISTA] International Seed Testing Association. 2023. International rules for seed testing. ISTA. Bassersdorf, Switzerland.
- Kumar, A., C.P. Singh, S. Ram. 2019. Biochemical and biological effects of kaurene oxidase inhibitor such as paclobutrazol on vegetative in Mango Cvs. Dashehri, Langra, Chausa and Fazri. *J. Plant. Environ. Res.* 3(12).
- Kurniasih, B., Hanudin. 2018. Pengaruh Paklobutrazol terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.). *Bul. Agrohorti.* 6(2):160-166.
- Liu, W., M. Zhang, H. Zhang, Y. Zhang. 2018. Effects of paklobutrazol on plant height and yield components in cereal crops: a meta-analysis. *J. Plant Growth Regul.* 37(2):456-467
- Malalantang, S.S., L. Abdullah, P.D.M.H. Karti, I.G. Permana. 2019. Agronomy characteristics of several types of sorghum from radiation mutations as a ruminant animal feed provide. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 399(1):012-031. IOP Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012031>.
- Nadeem, F., S. Saeed, N. Sarwar, N. Shahzadi, K. Mahmood. 2022. Effect of accelerated aging on seed germination and seedling vigor of different wheat cultivars. *Pak. J. Agric. Sci.* 59(4):603-610.
- Puspitasari, H., Khairunnisah, Asrila. 2020. Pengaruh umur simpan terhadap daya berkecambahan dan vigor benih kedelai (*Glycine max* L. Merr) varietas Anjasmoro dan Grobogan. *J. Agrotek Tropika.* 8(3):395-403.
- Putri, A.N.Z. 2022. Bertani Sorgum untuk Wilayah yang Kekeringan. Jakarta: Elementa Agri Lestari.
- Sadjad, M.A. 1994. Kemunduran Benih dan Cara Penanggulangannya. PT Gramedia. Jakarts, Indonesia.
- Selfiandri, B.T., T. Palupi. 2024. Pengaruh paklobutrazol terhadap pertumbuhan dan hasil sorgum pada tanah gambut di Kalimantan Barat. *J. Pertanian Agros.* 26(1):216-223. DOI: <https://doi.org/10.37159/jpa.v26i1.4348>.
- Singh, V., P. Sharma. 2023. Genetic and environmental influences on seed quality of sorghum: a review. *Int. J. Seed Sci.* 12(1), 14-27.
- Siregar, Z.A. 2021. Kajian Sorgum: Kajian Potensi sebagai Alternatif Pangan.
- Su, M., M. Zhang, Y. Liu, Z. Han. 2021. Abscisic acid, paklobutrazol, and salicylic acid alleviate salt stress in *Populus talassica* × *Populus euphratica* by modulating plant root architecture, photosynthesis, and the antioxidant defense system. *Forests.* 13(11):1864. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13111864>.
- Wang, C., S. Li, T. Wang, S. Zhang, P. Zhang, M. Li. 2023. The dual effects of paklobutrazol on plant growth and stress resistance: a comprehensive review. *J. Plant Physiol. Biochem.* 198:107693.
- Weaver, R.J. 1972. Plant Growth Substances in Agriculture. W.H. Freeman co. San Fransisco. hlm. 596
- Wulan, A.N., M. Bintoro. 2021. Pengaruh umur aplikasi paklobutrazol dan dosis pupuk boron terhadap produksi dan mutu benih jagung manis (*Zea mays saccharata* Sturt.). Agropross: National Conference Proceedings of Agriculture. 5:227-236. DOI: <https://doi.org/10.25047/agropross.2021.225>.
- Pieter, T.Y., L.M. Irmansyah. 2015. Pengujian kompos tithonia (*Tithonia diversifolia*) pada dua varietas sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) di desa Siopat Sosor Kabupaten Samosir. *J. Online Agroekoteknologi.* 3(3):923-928.
- Zhang, X., M. Kamran, W. Cui, I. Ahmad, X. Meng, W. Su, J. Chen, S. Ahmad, S. Fahad, Q. Han, T. Liu. 2018. Effect of paklobutrazol, a potential growth regulator, on stalk mechanical strength, lignin accumulation, and its relation with lodging resistance of maize. *Plant Growth Regul.* 84(2):317-331. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0342-8>.