

PERUBAHAN MUTU FISILOGIS DAN BIOKIMIA BENIH HANJELI PADA BERBAGAI KADAR AIR AWAL SELAMA PENYIMPANAN

CHANGES IN PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL QUALITY OF HANJELI SEEDS AT VARIOUS INITIAL MOISTURE CONTENTS DURING STORAGE

Monica Christina Natalia^{1,2}, Anne Nuraini³, Fiky Yulianto Wicaksono^{3*}, Happy Suryati², Muhamad Kadapi^{3**}

¹ Prog Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21, Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

² Direktorat Perbenihan, Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian, Jln. AUP III, Pasar Minggu, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, Indonesia

³ Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Bandung Sumedang KM.21, Hegarmanah, Kec. Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, Indonesia

*Korespondensi: kadapi@unpad.ac.id

Diterima: 29 Mei 2026 / Direvisi: 07 Juli 2026 / Disetujui: 30 Juli 2026

ABSTRAK

Kadar air benih simpan merupakan salah satu faktor penting yang menentukan umur simpan benih untuk mencegah terjadinya deteriorasi yang berpengaruh terhadap perubahan fisiologis dan biokimia benih. Penelitian ini, bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar air awal benih terhadap fisiologis dan biokimia benih hanjeli (*Coix lacryma-jobi* L.) selama penyimpanan. Adapun tingkat kadar air awal pada penelitian ini adalah 14, 12, dan 10% sebagai perlakuan yang disimpan selama tiga bulan secara open storage. Pengamatan fisiologis benih yaitu daya berkecambah, indeks vigor, T50 dan daya hantar listrik, serta pengamatan biokimia yaitu MDA dan Lemak yang dievaluasi 0 dan 3 bulan setelah penyimpanan untuk menilai perubahan kualitas benih menggunakan uji duncan dan uji t. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 3 ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan kadar air awal benih mempengaruhi kualitas fisiologis dan biokimia benih hanjeli setelah penyimpanan. Kadar air 10% menunjukkan kualitas benih paling rendah dengan indikator nilai DHL dan MDA yang mengalami peningkatan paling tinggi yaitu nilai DHL semula $0,0404 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ menjadi $0,0691 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ pada 3 BSP. Daya berkecambah mengalami penurunan dari 81,67 menjadi 58,77% demikian juga indeks vigor, dan kandungan lipid. Pada perlakuan kadar air 14% peningkatan MDA yang terjadi belum menunjukkan pengaruh yang berarti terhadap penurunan kualitas fisiologis dan biokimia benih, tidak mengalami penurunan vigor dan daya berkecambah yang drastis. Pentingnya penentuan kadar air awal penyimpanan dan kadar air 14% dapat menghindari kerusakan benih di awal penyimpanan yang diduga disebabkan pengeringan. Penelitian selanjutnya yang diperlukan adalah teknik penyimpanan untuk mempertahankan kadar air simpan.

Kata kunci: Biokimia, *Coix lacryma-jobi* L., Fisiologis, Kadar Air, Penyimpanan

ABSTRACT

The moisture content of stored seeds is a key factors determining shelf life by preventing deterioration that causes physiological and biochemical seed changes. This study aims to determine the effect of initial seed moisture content on the physiological and biochemical properties of hanjeli (*Coix lacryma-jobi* L.) seeds during three months of open storage. Initial moisture contents were 14, 12, and 10%. Physiological parameters included germination, vigor index, T50, and electrical conductivity, while biochemical parameters included MDA and lipid content. These were evaluated at 0 and 3 months post-storage to assess changes in seed quality using Duncan's multiple range test and t-tests. This study employed a completely randomized design with 3 replicates. The results showed that initial moisture content of the seeds affects the physiological and biochemical quality of hanjeli seeds after storage. The 10% moisture content treatment exhibited the lowest quality, with highest increases in DHL and MDA; the DHL value rose from 0.0404 to 0.0691 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ at 3 BSP. Germination decreased from 81.67 to 58.77%, as did the vigor index and lipid content. The 14% moisture content, the increase in MDA did not yet show a real effect on the decline in the physiological and biochemical quality of the seeds; there was no drastic decrease in vigor or germination rate. Determining the initial moisture content of storage and the 14% moisture content is important to prevent seed damage early in storage, presumably caused by excessive drying. Further research is needed on storage techniques to maintain moisture content.

Key words: *Biochemical, Coix lacryma-jobi* L., *Physiology, Storage, Water Content*

PENDAHULUAN

Hanjeli (*Coix lacryma-jobi* L.) tergolong tanaman serealia dalam famili Poaceae. Hanjeli memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi sumber pangan alternatif. Potensi tersebut dikarenakan hanjeli memiliki kandungan gizi yang baik yaitu mengandung makronutrien dan mikronutrien. Kandungan makronutrien hanjeli sebesar 76,4% karbohidrat, 14,1% protein dan 7,9% lemak. Kandungan mikronutrien hanjeli yaitu vitamin B1, vitamin B2, vitamin C dan vitamin E, dan mineral (fosfor, zat besi, kalium dan lainnya) (Feng *et al.*, 2020; Juhaeti *et al.*, 2021).

Penyimpanan benih hanjeli merupakan aspek penting dalam mempertahankan kualitas fisiologis dan biokimia selama penyimpanan. Hal ini dikarenakan kualitas benih menentukan keberhasilan produksi tanaman dalam sistem pertanian berkelanjutan (Kansiime *et al.*, 2021; Syed &

Rizvi, 2021). Selama penyimpanan, benih mengalami deteriorasi oleh disebabkan kerusakan internal sehingga memicu penurunan kualitas secara bertahap sehingga tidak optimal untuk dijadikan bahan tanam (Dadlani *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2021; Sumadi & Nurmala, 2019). Penyimpanan benih dipengaruhi oleh faktor internal (kadar air awal, sifat genetik, serta komposisi kimia benih) dan eksternal (suhu dan kelembaban). Faktor ini penting dalam menentukan kualitas benih. Hal ini dibuktikan pada benih kedelai, variasi suhu penyimpanan mempengaruhi kadar air benih yang selanjutnya berdampak pada viabilitas dan vigor benih (Irwan *et al.*, 2024; Rahman *et al.*, 2024). Dalam penelitian ini faktor kunci yaitu kadar air benih.

Kadar air benih merupakan faktor yang mempengaruhi kualitas fisiologis dan biokimia benih selama penyimpanan. Persentase air dalam benih memiliki peran penting dalam mempengaruhi umur simpan

benih dikarenakan berkaitan dengan laju metabolisme benih (Chala & Bekana, 2017; Gebeyaw, 2020). Kadar air yang terlalu rendah atau tinggi dapat mempercepat proses kemunduran dan mengurangi kemampuan benih untuk berkecambah. Hal ini dibuktikan dengan umur simpan terpendek ditemukan pada benih dengan kadar air awal tertinggi (Bakhtavar & Afzal, 2021; Solberg *et al.*, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa kadar air benih berpengaruh dalam proses penyimpanan untuk memperpanjang umur simpan benih.

Respirasi dan proses deteriorasi mengakibatkan perubahan pada komponen nutrisi benih selama penyimpanan. Selain itu terjadi peningkatan malondialdehid akibat reaksi oksidatif melalui pembentukan radikal bebas (Corbinau, 2024). Malondialdehid (MDA) merupakan produk sampingan utama dari peroksidasi lipid (Ebene *et al.*, 2019) berfungsi sebagai *biomarker* untuk kerusakan benih (Yue *et al.*, 2024). Pada benih kedelai yang telah menua, kadar MDA menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan kontrol (Xing *et al.*, 2023). Penelitian pada benih jagung menjelaskan berdasarkan periode penyimpanan, kadar air simpan ditemukan lebih rendah pada benih yang disimpan dengan kadar air awal benih yang lebih rendah yaitu 12% (Marahatta, 2021). Namun, saat ini informasi mengenai pengaruh kadar air awal benih terhadap kualitas fisiologis dan biokimia benih hanjeli selama penyimpanan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kadar air awal terhadap kualitas fisiologis dan biokimia benih hanjeli selama periode penyimpanan.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Produksi Tanaman divisi Teknologi Benih, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Pengujian terhadap kualitas fisiologis benih dilakukan di Laboratorium Produksi Tanaman divisi Teknologi Benih dan pengujian terhadap kualitas biokimia benih dilakukan di Unit Laboratorium Terpadu Institut Pertanian Bogor, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Waktu Penelitian dilakukan pada bulan Agustus sampai dengan Desember 2025.

Alat dan bahan

Benih hanjeli yang digunakan varietas *ma-yuen*, dipanen pada bulan Januari 2025 kultivar Watani Wado. Jumlah benih yang dibutuhkan per perlakuan per ulangan sebanyak 2.500 butir atau setara dengan 312,5 g, sehingga diperlukan sejumlah 45.000 butir atau sekitar 5.625 g untuk 3 perlakuan dengan 3 ulangan untuk dua kali waktu pengamatan (0 dan 3 BSP). Alat dan bahan yang diperlukan untuk proses penetapan kadar air awal benih adalah oven listrik, cawan porselen, desikator, dan timbangan *digital carat scale capacity* 50 x 0,001 g. Alat dan bahan yang diperlukan untuk uji perkecambahan benih dan daya hantar listrik, adalah kertas merang, plastik polietilen transparan, tali plastik, botol *sprayer* ukuran 1 L, aquades, *beaker* gelas, dan *seed germinator*, *conductivity meter*. Alat dan bahan yang digunakan untuk mengetahui kandungan lemak dan MDA adalah cawan porselen, tanur listrik, neraca analitik, botol timbang tertutup, desikator, oven, kertas saring, labu lemak 100 mL, alat soxhlet, pemanas listrik, kapas bebas lemak, petroleum ether 40-60 °C, tabung

mojonner, pipet mohr 5 dan 10 mL, gelas ukur, etanol 95%, amonium hidroksida, indikator fenolftalein 0,5% (w/v) dalam alkohol, petroleum benzine 40-60 °C, dietileter, etanol, HCl (25+11), corong buchner, pompa vakum, asam sulfat, natrium hidroksida, kertas saring whatman 54, TBA Reagent 25 mL, 10% Trichloroacetic acid (TCA) 25 mL, Standard 50 µL 6 M MDA.

Rancangan percobaan dan respon

Metode yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) yaitu perlakuan 3 taraf kadar air dengan 3 ulangan dan 2 duplo. Tiga taraf kadar air awal benih yaitu 14, 12 dan 10%. Parameter yang diteliti adalah kualitas biokimia benih dan karakter fisiologis benih. Kualitas biokimia benih yang menjadi parameter pengujian adalah kandungan malondialdehid (MDA) dan lemak. Karakter fisiologis yang menjadi parameter penelitian yaitu Daya Berkecambah (DB), Indeks Vigor (IV), Daya Hantar Listrik (DHL) dan T50. Uji perkecambahan dilakukan dengan metode Uji Kertas Digulung dengan Plastik (UKDdP) dengan media kertas merang yang dilembapkan dengan air. Benih ditanam di atas 3 lembar kertas merang yang telah dilapisi plastik kemudian di atas benih tersebut diletakkan 2 lembar kertas merang sebagai penutup, kemudian digulung beserta plastik, lalu dimasukkan ke dalam *seed germinator* untuk proses perkecambahan mulai dari hari ke-8 hari (*first day count*) sampai hari ke-21 hari perkecambahan (*last day count*) (ISTA, 2025). Setiap ulangan UKDdP terdiri dari 40 benih. Pelaksanaan Penelitian didahului dengan tahapan penetapan kadar air awal benih kemudian uji kualitas benih pada 0 bulan setelah penyimpanan (BSP) untuk mengetahui kualitas biokimia dan fisiologis

benih. Setelah itu, dilakukan penyimpanan benih pada kemasan plastik dengan rata-rata suhu sebesar 25 °C dan kelembapan 71% selama 3 bulan, untuk selanjutnya dilakukan pengamatan dan pengujian sesuai dengan parameter yang ditetapkan. Adapun parameter tersebut terbagi menjadi parameter fisiologis dan biokimia. Parameter fisiologis antara lain: Daya Berkecambah (DB), Indeks Vigor (IV), Daya Hantar Listrik (DHL) dan T50. Parameter biokimia yaitu kandungan malondialdehid (MDA) dan Lemak.

Penetapan kadar air awal benih

Benih hanjeli yang digunakan pada penelitian dipanen 6 bulan setelah tanam dengan kondisi kadar air awal benih setelah panen yaitu kisaran 25-30%. Kadar air awal benih ditentukan pada 3 taraf, yaitu 14, 12 dan 10%. Dengan cara mengoven benih pada suhu 40 °C yang setiap jamnya dilakukan pengukuran penurunan persentase kadar air benih sampai memperoleh taraf sesuai perlakuan (14, 12 dan 10%). Pengukuran kadar air menggunakan metode oven suhu tinggi yaitu, dengan menyiapkan cawan porselen dengan tutupnya kemudian letakkan di atas timbangan digital. Lalu masukkan benih hanjeli ke dalam cawan porselen dan ditimbang beratnya mencapai 5 g. Lakukan hal yang sama sebanyak 2 kali sebagai ulangan sehingga diperoleh 3 cawan porselen yang berisi benih hanjeli untuk penetapan kadar air awal benih. Kemudian oven disiapkan dengan suhu 130 °C. Penetapan kadar air awal benih dengan menggunakan oven pada suhu 130°C selama 4 jam ± 12 menit. Setelah itu, keluarkan cawan yang berisi benih tersebut dari dalam oven dan masukkan ke dalam desikator selama 30-45 menit sebelum ditimbang nilai kadar air awal benih (ISTA, 2025).

Parameter kualitas fisiologis benih

Daya Berkecambah (DB) diukur dengan menghitung jumlah kecambah normal mulai dari hari ke-8 FDC sampai dengan hari ke-21 LDC. Persentase daya berkecambah dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (ISTA, 2025) :

$$DB (\%) = \frac{\sum KN}{\sum \text{Benih ditanam}} \times 100\%$$

Keterangan : DB adalah Daya Berkecambah; KN adalah Kecambah Normal.

Pada perhitungan Indeks Vigor (IV) dilakukan terhadap jumlah kecambah normal pada hari pertama hingga hari ke 8 (ISTA, 2025) dibagi dengan waktu berkecambah. Adapun nilai indeks vigor diperoleh dengan rumus:

$$IV = \sum \frac{KN}{T}$$

Keterangan: IV adalah Indeks Vigor; KN adalah Kecambah Normal; T adalah waktu pengamatan.

Pengujian Daya Hantar Listrik (DHL) dilakukan dengan merendam 25 butir benih hanjeli ke dalam aquades sebanyak 75 mL selama 24 jam. Sebelum perendaman, dilakukan penimbangan pada benih, kemudian dilakukan pengujian daya hantar listrik dengan mengukur larutan blanko terlebih dahulu setelahnya mengukur larutan rendaman benih. Alat yang digunakan untuk mengukur daya hantar listrik adalah tersebut adalah *conductivity meter*. Nilai daya hantar listrik diperoleh dengan rumus (Fatonah & Rozen, 2017) :

$$DHL = \frac{\text{Nilai DHL benih} - \text{DHL blanko}}{\text{Berat Benih (g)}}$$

Keterangan: DHL ($\mu\text{S/cm.g}$) adalah Daya Hantar Listrik.

T50 (*Time to 50% Germination*) adalah waktu yang dibutuhkan benih untuk mencapai perkecambahan sebesar 50% dari keseluruhan benih yang ditanam. T50 merupakan salah satu parameter fisiologis untuk mengevaluasi vigor benih. T50 dihitung dalam satuan hari (Kadapi *et al.*, 2021).

Parameter kualitas biokimia benih

Perubahan kualitas biokimia benih yang menjadi parameter pengujian yaitu kandungan malondialdehid (MDA) dan Lipid. Analisis kandungan malondialdehid (MDA) dengan metode Quantitative Determination of Thiobarbituric Acid Reactive Substances Assay Kit (DTBA-100) (BioAssay Systems, 2021; Liang *et al.*, 2020; Nawab *et al.*, 2019; Paul *et al.*, 2021). Analisis kandungan lemak dengan metode Soxhlet (Marliza *et al.*, 2023). Metode tersebut untuk menguji perubahan kandungan MDA dan lipid setelah periode penyimpanan selama 3 BSP. Pengujian dilakukan dengan memberikan sampel uji sebanyak 300 g untuk setiap perlakuan sehingga total ada 9 sampel uji.

Analisis data

Penelitian ini menggunakan analisis ragam Rancangan Acak Lengkap (RAL) dari uji t dan uji F pada taraf nyata 5%. Uji F digunakan untuk menguji pengaruh perlakuan kadar air benih terhadap parameter fisiologis dan biokimia dan uji t digunakan untuk membandingkan pengaruh pada kondisi 2 penyimpanan dari perlakuan kadar air pada parameter fisiologis benih. Selain itu, dilakukan juga analisis regresi yang bertujuan untuk melihat pengaruh antar parameter pengamatan. Uji F, uji t dan analisis regresi menggunakan aplikasi SmartstatXL V.3.6.5.4. Apabila menunjukkan

pengaruh nyata pada uji F, maka dilanjutkan dengan menggunakan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf nyata 5% (Gomez & Gomez, 1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan kualitas fisiologis benih setelah penyimpanan.

Benih hanjeli pada penelitian ini disimpan selama 3 bulan untuk mengetahui pengaruh kadar air awal terhadap daya simpannya. Peningkatan kadar air simpan benih terjadi pada 3 BSP untuk seluruh perlakuan (Tabel 1). Peningkatan paling tinggi terjadi pada perlakuan kadar air awal benih 10%.

Tabel 1. Kadar air benih 0 dan 3 bulan setelah penyimpanan (BSP)

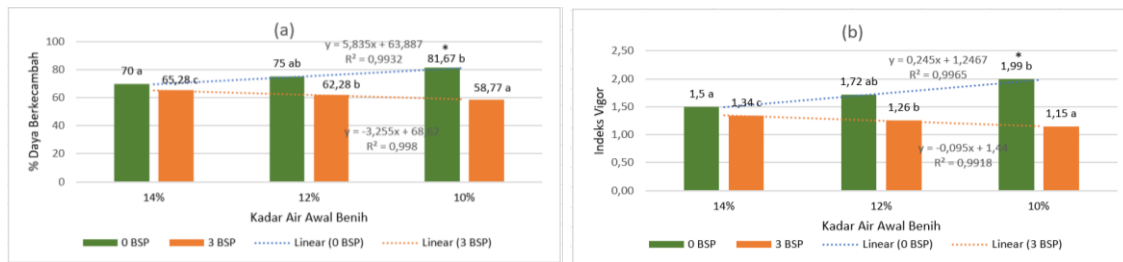
Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Simpan (%)		
	0 BSP	3 BSP	Δ (3 - 0 BSP)
14	14,00	18,55	4,55 a
12	12,00	20,16	8,16 b
10	10,00	21,11	11,11 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%.

Peningkatan kadar air benih meningkatkan laju respirasi benih yang menyebabkan peningkatan suhu sehingga mengaktifkan enzim lalu terjadi perombakan cadangan makanan yang menurunkan kualitas fisiologis benih. Setiap penurunan kadar air benih sebesar 1% dapat meningkatkan umur simpan benih hingga dua kali lipat (Harrington & Kozlowski, 1972) demikian jika terjadi peningkatan kadar air benih maka akan menurunkan umur simpan benih.

Kondisi fisiologis benih pada 0 BSP menunjukkan bahwa perbedaan kadar air awal mempengaruhi DB, IV, T50 dan DHL. Selain itu, pada Gambar 1 (a-b) dan Gambar 2 (a-b) perlakuan kadar air 10% menunjukkan pengaruh terbaik untuk semua karakter fisiologis benih, salah satunya % nilai DB tertinggi sebesar 81,67 dibandingkan kadar air 14% sebesar 70 dan

dan 12% sebesar 75. Hal ini dapat mengindikasikan bahwa benih hanjeli adalah salah satu benih ortodok dikarenakan ketika dikeringkan tidak menurunkan kualitasnya bahkan cenderung naik (Matilla, 2022). Penurunan kadar air benih hingga di bawah kadar air kritis dapat mengganggu integritas matriks kaca (*glassy state*) yang dapat mengakibatkan peningkatan porositas sehingga menyebabkan radikal bebas yang sebelumnya terperangkap dalam matriks kaca lebih mudah bergerak dan bereaksi yang mengakibatkan percepatan kerusakan sel (Chen *et al.*, 2021; Dadlani & Yadava, 2023; Zhang *et al.*, 2010). Selain itu, penurunan kadar air benih mengakibatkan peningkatan aktivitas enzim amilase dan protease yang saling mendukung dalam menyediakan nutrisi yang dapat meningkatkan kualitas benih (Liu *et al.*, 2024).



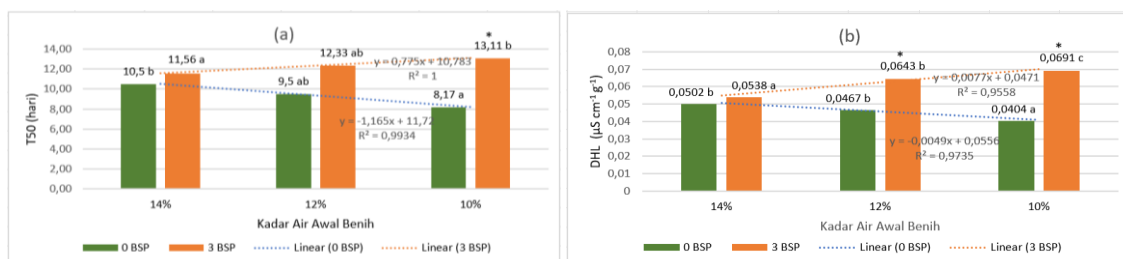
Gambar 1 (a) Daya berkecambah benih hanjeli; 1 (b) Indeks vigor benih hanjeli pada perlakuan kadar air awal 14%, 12% dan 10% setelah penyimpanan 0 dan 3 BSP.

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT 5%;

* = berbeda nyata menurut uji t 5%.

Peningkatan kadar air pada benih setelah penyimpanan berpengaruh terhadap kualitas benih. Analisis kualitas benih berdasarkan parameter fisiologis (DB, IV, DHL dan T50) setelah 3 BSP menunjukkan bahwa benih mengalami penurunan kualitas pada seluruh perlakuan yang dapat dilihat pada Gambar 1 (a-b) dan Gambar 2 (a-b). Data tersebut menunjukkan bahwa kadar air 14 dan 12% pada 3 BSP mengalami penurunan viabilitas yang tidak terlalu drastis dibandingkan kadar air 10%. Hal ini terlihat pada perlakuan kadar air 14% menunjukkan % nilai DB mengalami penurunan dari 70 menjadi 65,28% dan IV

dari 1,5 menjadi 1,34 dibandingkan kadar air 10%. Walaupun kualitas benih pada kadar air 14 dan 12% mengalami penurunan, tetapi dari hasil uji t pada beberapa parameter (DB, IV, T50 dan DHL) yang membandingkan antara nilai pada uji kualitas fisiologis 0 dan 3 BSP tidak berbeda nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan viabilitas benih pada kadar air 14 dan 12% relatif stabil dibandingkan kadar air awal 10% yang penurunannya signifikan sehingga nilainya berbeda nyata, yaitu salah satunya nilai daya berkecambah dari 81,67% menurun drastis menjadi 58,77%.



Gambar 2 (a) T50 benih hanjeli; 2 (b) DHL benih hanjeli pada perlakuan kadar air awal 14%, 12% dan 10% setelah penyimpanan 0 dan 3 BSP.

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT 5%;

* = berbeda nyata menurut uji t 5%.

Kualitas fisiologis benih hanjeli dalam penelitian ini dapat dilihat dari hasil uji pada masing-masing parameter yaitu DB, IV, DHL dan T50. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai DB pada kadar air awal benih 14% dan 12% adalah yang relatif stabil

walaupun terjadi penurunan dari 0 dibandingkan 3 BSP (Gambar 1 (a)). Sedangkan perlakuan kadar air awal 10% yang paling drastis penurunan nilai DB yaitu dari 81,67 menjadi 58,77%. Hal ini terjadi dikarenakan pada perlakuan kadar air 10%

terjadi peningkatan kadar air simpan paling tinggi pada 3 BSP seperti yang dibahas sebelumnya. Selain itu, penelitian lainnya menunjukkan kadar air awal benih yang terlalu rendah dapat memicu deteriorasi akibat ketidakstabilan sistem seluler. Menurut Xing *et al.*, (2025), kadar air rendah dapat mengakibatkan peningkatan sensitivitas benih terhadap stres oksidatif selama penyimpanan, sehingga terjadi penurunan daya berkecambah yang drastis.

Lebih lanjut, hasil penelitian menunjukkan kadar air awal benih 14, 12 dan 10% mengalami penurunan indeks vigor selama penyimpanan (Gambar 1 (b)). Penurunan indeks vigor pada kadar air 10% berbeda nyata, pada 0 BSP sebesar 1,99 menurun menjadi 1,15, sedangkan kadar air 14 dan 12% tidak berbeda nyata hasil uji t. Dari hasil uji tersebut, diperoleh bahwa pada kadar air 10% terjadi gangguan yang sangat signifikan pada benih seperti aktivitas enzim dan integritas membran sel sehingga nilai vigor benih sangat rendah. Vigor benih menjadi salah satu indikator kemunduran benih. Sehingga hal ini juga menjadi salah satu indikator bahwa benih pada kadar air awal 10% memiliki nilai viabilitas yang paling rendah dibandingkan benih pada kadar air awal lainnya. Penelitian oleh Farooq *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa nilai vigor benih dipengaruhi oleh keseimbangan redoks dan kestabilan membran sel selama penyimpanan.

T50 merupakan waktu perkecambahan 50% termasuk dalam parameter menentukan vigor benih. Nilai T50 yang rendah menggambarkan perkecambahan yang cepat dan nilai T50 yang tinggi berarti perkecambahan lambat (Onoabagbe *et al.*, 2024). T50 berkaitan dengan vigor dikarenakan mampu mengukur kecepatan dan keseragaman perkecambahan, yaitu

nilai T50 yang rendah menggambarkan vigor tinggi demikian juga sebaliknya (Reed & Bradford, 2022). Hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai T50 selama penyimpanan pada 3 BSP untuk seluruh perlakuan (Gambar 2 (a)). Dari hasil penelitian, semakin tinggi nilai T50 maka vigor benih semakin turun yang ditandai dengan daya berkecambah dan indeks vigor yang semakin rendah. Perlakuan kadar air awal benih 14% dan 12% mengalami peningkatan nilai T50 yang tidak signifikan antara 0 dan 3 BSP, sedangkan kadar air awal benih 10% memiliki nilai T50 paling tinggi yaitu 13,11 hari pada 3 BSP yang meningkat secara signifikan dibandingkan sebelum penyimpanan. Penelitian sebelumnya juga menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai T50 yang dihasilkan dapat menghambat perkecambahan yang mempengaruhi vigor benih (Kadapi *et al.*, 2021).

Daya Hantar Listrik (DHL) yang meningkat menunjukkan adanya kebocoran elektrolit pada benih, yang dijadikan indikator kerusakan membran sel. Nilai DHL benih hanjeli dari hasil penelitian menunjukkan kisaran nilai $0,0404 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ sampai $0,0691 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (Gambar 2 (b)). Nilai DHL tertinggi yaitu perlakuan kadar air awal benih 10%. Menurut Arief *et al.*, (2020), adanya peningkatan nilai DHL berkorelasi negatif dengan viabilitas benih, dapat diartikan semakin tinggi kebocoran elektrolit pada benih menyebabkan vigor benih rendah. Selama proses imbibisi, benih dengan struktur yang mengalami kerusakan dapat mengeluarkan elektrolit dari dalam ke media sekitarnya. Elektrolit ini dapat diukur menggunakan *conductivity meter* karena membawa muatan listrik. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai DHL cenderung meningkat seiring lamanya

penyimpanan dan terjadinya deteriorasi (Beedi *et al.*, 2018; Pamungkas & Kusberyunadi, 2020). Nilai DHL yang tinggi mengindikasikan adanya kerusakan pada membran sel benih, sehingga lebih banyak senyawa keluar, seperti asam amino, gula, enzim, serta ion organik (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} , dan Mn^{2+}) (Beedi *et al.*, 2018).

Hasil penelitian benih hanjeli menunjukkan bahwa semakin tinggi DB, maka nilai DHL dan T50 semakin rendah. Hal ini menunjukkan kadar air awal benih 14% masih mampu mempertahankan kemampuan fisiologis untuk berkecambah lebih baik dibandingkan kadar air awal benih 12% dan 10% setelah penyimpanan selama 3 BSP. Fenomena ini menunjukkan bahwa benih pada kadar air 14% berada dalam keadaan fisiologis yang mampu memperlambat laju penuaan. Pada penelitian benih padi dan kacang polong, kadar air benih yang paling baik (12-14%) dengan kondisi penyimpanan yang sesuai dapat mempertahankan viabilitas lebih baik (Cojocar *et al.*, 2024).

Analisa regresi yang dilakukan untuk melihat hubungan antar parameter pengamatan fisiologis yang diuji. Daya berkecambah, indeks vigor, T50 dan DHL (sumbu x) dan kadar air awal benih (sumbu y), hubungan yang dibentuk dari sumbu x dan sumbu y dinyatakan dalam persamaan garis regresi seperti pada Gambar 1 dan 2. Daya berkecambah dan indeks vigor dipengaruhi kadar air awal benih, dari persamaan regresi daya berkecambah yaitu $y = -3,255x + 68,62$; $R^2 = 0,998$ dan persamaan regresi indeks vigor yaitu, $y = -0,095x + 1,44$; $R^2 = 0,9918$, membentuk hubungan negatif dapat dilihat dengan adanya kemiringan (*slope*) negatif. Hal ini menunjukkan, setelah penyimpanan 3 BSP nilai daya berkecambah dan indeks vigor

akan semakin menurun pada tingkat kadar air awal benih yang rendah. T50 dan DHL menunjukkan persamaan regresi yang membentuk hubungan positif yang dapat dilihat dengan adanya kemiringan (*slope*) positif pada Gambar 2 (a-b). Hal ini dapat diartikan setelah penyimpanan 3 BSP, nilai T50 dan DHL akan semakin meningkat pada tingkat kadar air awal benih yang rendah. Selain itu, nilai r pada persamaan regresi untuk seluruh parameter fisiologis menunjukkan nilai yang tinggi yaitu 0,9 sehingga menunjukkan bahwa perubahan kadar air sangat mempengaruhi kerusakan membran dan stres oksidatif benih yang berpengaruh terhadap kualitas fisiologis benih selama masa simpan.

Perubahan kualitas biokimia benih (MDA dan lemak) setelah penyimpanan.

Deteriorasi benih menunjukkan bahwa kualitas benih tergantung pada keseimbangan antara laju konversi metabolit dan dampak kerusakan oksidatif. Jika perubahan komposisi biokimia terjadi terlalu cepat atau terlalu ekstrem, maka fungsi fisiologis benih akan menurun secara drastis. Kadar air awal yang terlalu rendah dapat mengakibatkan desikasi berlebih sehingga integritas membran sel terganggu. Kerusakan membran tersebut ditandai dengan perubahan kandungan lemak dan peningkatan MDA sebagai indikator peroksidasi lipid. Penurunan integritas membran juga meningkatkan kebocoran elektrolit yang tercermin pada peningkatan nilai DHL. Penelitian pada benih hanjeli menunjukkan kandungan lemak mengalami penurunan untuk seluruh perlakuan pada 3 BSP (Gambar 3 b).

Lemak sebagai komponen utama membran sel rentan mengalami peroksidasi selama penyimpanan. Benih dengan kadar

air awal rendah mengalami stres kekeringan sehingga mempercepat terbentuknya radikal bebas yang memicu oksidasi lipid yang mengakibatkan penurunan integritas membran dan gangguan pada perkecambahan (Shahein & Shalaby, 2021; Vijayalakshmi *et al.*, 2018). Peningkatan kadar air selama penyimpanan mengaktifkan enzim yang memobilisasi cadangan energi, termasuk pecahnya lemak yang mengakibatkan aktivitas metabolisme yang lebih aktif, termasuk enzim lipase yang memodulasi pemanfaatan cadangan makanan (Kaur *et al.*, 2021). Hal ini sesuai dengan penelitian yang menjelaskan bahwa

aktivitas respirasi dan proses penuaan dapat memicu perubahan pada komponen nutrisi benih selama penyimpanan, termasuk degradasi lemak atau sumber energi lain (Corbineau, 2024). Kondisi ini mengakibatkan vigor benih menurun yang tercermin dari rendahnya nilai daya berkecambah dan indeks vigor. Hasil penelitian lain pada benih quinoa menunjukkan bahwa selama benih disimpan terjadi kerusakan benih melalui stres oksidatif, penurunan viabilitas, dan perubahan komposisi metabolit (Hamzeh *et al.*, 2025).



Gambar 3 (a) MDA benih hanjeli; 3 (b) Lemak benih hanjeli pada perlakuan kadar air awal 14%, 12% dan 10% setelah penyimpanan 0 dan 3 BSP.

Keterangan: Nilai di atas tidak diuji secara statistik dan dianalisis secara deksriptif.

Kandungan MDA pada benih hanjeli diukur pada 3 tingkat kadar air yang berbeda (14%, 12% dan 10%). Proses deteriorasi pada benih memicu terjadinya reaksi oksidatif dan degradasi makromolekul melalui pembentukan radikal bebas yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas benih. Hal ini mengakibatkan penurunan kandungan lipid serta peningkatan kadar MDA (Hamzeh *et al.*, 2025). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kandungan MDA setelah penyimpanan 3 BSP pada seluruh perlakuan (Gambar 3 (a)). Semakin tinggi kandungan MDA, semakin besar tingkat deteriorasi benih yang terjadi selama penyimpanan. Peningkatan MDA pada perlakuan kadar air awal rendah mengindikasikan bahwa benih mengalami

stres oksidatif yang lebih tinggi, sehingga viabilitas dan vigor benih menurun akibat stress oksidatif (Hanif *et al.*, 2023; Xing *et al.*, 2023; Yue *et al.*, 2024).

Analisa regresi yang dilakukan untuk melihat hubungan antar parameter pengamatan biokimia yang diuji. Lemak dan MDA (sumbu x) dan kadar air awal benih (sumbu y), hubungan yang dibentuk dari sumbu x dan sumbu y dinyatakan dalam persamaan garis regresi. Persamaan regresi lemak yaitu $y = 0,12x + 3,4567$. Nilai R^2 pada 3 BSP = 0,6279 lebih tinggi dibandingkan pada 0 BSP nilai $R^2 = 0,225$, yaitu dengan adanya penurunan di kadar air 12% namun tidak drastis, sedangkan tren naik dibandingkan 14% dan 10% baik di 0 dan 3 BSP. Hal ini yang menyebabkan persamaan

regresi menjadi positif dan nilai R^2 pada 3 BSP lebih tinggi dibandingkan R^2 pada 0 BSP. Persamaan regresi MDA yaitu $y = 3,03x + 7,2433$ membentuk hubungan positif yang dapat dilihat dengan adanya kemiringan (*slope*) positif. Hal ini menunjukkan, setelah penyimpanan nilai MDA akan semakin meningkat pada tingkat kadar air awal benih yang rendah. Selain itu, nilai r pada persamaan regresi MDA menunjukkan nilai yang tinggi, yaitu $R^2 = 0,9924$ untuk MDA sehingga menunjukkan bahwa kadar air awal benih sangat mempengaruhi kerusakan membran dan stres oksidatif benih selama masa simpan.

Hasil uji yang dilakukan memperlihatkan bahwa kadar air awal benih 10% mengalami peningkatan kadar air simpan paling tinggi sehingga mempercepat deteriorasi. Secara fisiologis, kadar air awal 14% lebih baik untuk menekan laju respirasi dan aktivitas enzimatis sehingga kualitas benih lebih stabil dibandingkan kadar air 12 dan 10%. Secara biokimia, kadar air 14% juga cenderung membatasi peroksidasi lemak (ditunjukkan oleh MDA) dan menurunkan kebocoran elektrolit (DHL), sehingga integritas membran sel lebih terjaga. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan kadar air sangat mempengaruhi kerusakan membran dan stres oksidatif benih. Hal tersebut didukung dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa MDA dan DHL secara bersamaan mencerminkan kerusakan seluler (Gao *et al.*, 2024; Barbosa *et al.*, 2021; Xing *et al.*, 2023). Implikasi dari peningkatan MDA dan DHL berhubungan dengan kualitas benih. Peningkatan MDA (indikator kerusakan biokimia benih) dan DHL (indikator kerusakan fisiologis/fungsi membran) mengakibatkan benih mengalami deteriorasi lanjut, sehingga terjadi penghambatan pada perkecambahan serta

penurunan vigor (Barbosa *et al.*, 2021; Gao *et al.*, 2024; Xing *et al.*, 2023; Yue *et al.*, 2024). Dari ketiga perlakuan taraf kadar air awal benih, kadar air 10% yang mengalami peningkatan nyata dibandingkan kadar air 14 dan 12%. Hal ini didukung dari hasil penelitian bahwa vigor benih hanjeli paling rendah setelah penyimpanan 3 BSP yaitu pada perlakuan kadar air 10%.

Penurunan daya berkecambah dan indeks vigor pada kadar air awal rendah menunjukkan penurunan kualitas fisiologis benih yang berkaitan dengan perubahan biokimia selama penyimpanan. Kadar air awal yang rendah diduga menyebabkan kerusakan membran lebih besar melalui peroksidasi lipid, ditandai dengan peningkatan MDA dan kebocoran benih (nilai DHL), sehingga mutu benih menurun. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air awal benih berpengaruh nyata terhadap kualitas fisiologis dan biokimia benih hanjeli, dengan kadar air awal 14% lebih mampu mempertahankan kualitas benih setelah penyimpanan dibandingkan 10%.

SIMPULAN

Penurunan kualitas benih selama penyimpanan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kerusakan akibat pengeringan berlebih, kerusakan membran dan peningkatan kadar air benih sehingga dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kadar air awal benih 14% setelah 3 BSP mengalami deteriorasi yang lebih lambat dibandingkan kadar air 12% dan 10%, menunjukkan daya simpan benih lebih baik, penurunan kadar air benih di awal penyimpanan tidak serta merta memperbaiki daya simpan benih seperti ditunjukkan pada penelitian ini. Pada 3 BSP penurunan nilai DB dan IV serta

peningkatan T50 dan DHL tidak berbeda nyata pada perlakuan kadar air 14%.

2. Perlakuan kadar air awal benih 14%, peningkatan MDA sebagai indikator kerusakan membran sel akibat stress oksidatif dan penurunan kandungan lemak yang terjadi belum menunjukkan pengaruh yang berarti terhadap penurunan kualitas fisiologis dan biokimia benih dikarenakan tidak mengalami penurunan vigor dan daya berkecambah yang drastis dibandingkan perlakuan kadar air 12 dan 10%.
3. Penyimpanan benih hanjeli dengan pengaturan kadar air awal benih yang tepat merupakan salah satu upaya untuk menjaga kandungan biokimia benih sehingga mampu mempertahankan fisiologis benih hanjeli selama penyimpanan. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui teknik penyimpanan yang baik dalam mempertahankan kadar air simpan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pertanian yang telah membantu dalam pemberian bantuan dana penelitian, dan Laboratorium Produksi Tanaman divisi Teknologi Benih, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran yang telah menyediakan alat-alat untuk mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [ISTA] International Seed Testing Association. (2025). *International Rules for Seed Testing 2025* (2025th ed.). International Seed Testing Association (ISTA).
- Arief, R., Koes, F., & Komalasari, O. (2020). Effects of Seed Storage Duration and Matriconditioning Materials on Germination and Seedling Characteristics of Maize. *AGRIVITA*, 42(3), 425–434.
- Bakhtavar, M. A., & Afzal, I. (2021). Seed Storage and Longevity: Mechanism, Types and Management. In *Advances in Seed Production and Management* (pp. 451–468). Springer Singapore.
- Barbosa, R. M., Jesus, M. A. D. E., & Pereira, R. A. (2021). Electrical Conductivity and Ethanol Release to Assess Red Rice Seed Vigor¹. *Revista Caatinga*, 34(4), 791–798.
- Beedi, S., Macha, S. I., Gowda, B., & Savitha, A. S. (2018). Effect of Seed Priming on Germination Percentage, Shoot Length, Root Length, Seedling Vigour Index, Moisture Content and Electrical Conductivity in Storage of Kabuli Chickpea cv., MNK–1 (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2005–2010.
- BioAssay Systems. (2021). *Quantitative Determination of Thiobarbituric Acid Reactive Substances*.
- Chala, M., & Bekana, G. (2017). Review on Seed Process and Storage Condition in Relation to Seed Moisture and Ecological Factor. *Journal of Natural Sciences Research*, 7(9), 84–90.
- Chen, X., Börner, A., Xin, X., Nagel, M., He, J., Li, J., Li, N., Lu, X., Yin, G., & West, C. E. (2021). Comparative Proteomics at the Critical Node of Vigor Loss in Wheat Seeds Differing in Storability. *Frontiers in Plant Science*, 12(August), 1–16.
- Cojocaru, A., Carbune, R., Teliban, G., Stan, T., Mihalache, G., Rosca, M., Rusu, O., & Butnariu, M. (2024). Physiological, Morphological and Chemical Changes in Pea Seeds Under Different Storage Conditions. *Scientific Reports*, 12(1), 1–15.

- Corbineau, F. (2024). The Effects of Storage Conditions on Seed Deterioration and Ageing: How to Improve Seed Longevity. *Seeds*, 3(1), 56–75.
- Dadlani, M., Gupta, A., Sinha, S. N., & Kavali, R. (2023). Seed Storage and Packaging. *Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality*, 239–266. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5_11
- Dadlani, M., & Yadava, D. K. (2023). Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality. In *Seed Science and Technology: Biology, Production, Quality*. <https://doi.org/10.1007/978-981-19-5888-5>
- Ebone, L. A., Caverzan, A., & Chavarria, G. (2019). Physiologic Alterations in Orthodox Seeds Due to Deterioration Processes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 145(September), 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.028>
- Farooq, M. A., Zhang, X., & Zafar, M. M. (2021). Roles of Reactive Oxygen Species and Mitochondria in Seed Germination. *Frontiers in Plant Science*, 12(December). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.781734>
- Fatonah, K., & Rozen, N. (2017). Penetapan Metode Uji Daya Hantar Listrik untuk Benih Sorgum (*Sorghum bicolor* L.). *Jagur Jurnal Agroteknologi*, 1(1), 19–25.
- Feng, L., Zhao, Y., Zhang, Z., Zhang, S., Zhang, H., Yu, M., & Ma, Y. (2020). The Edible and Medicinal Value of *Coix lacryma-jobi* and Key Cultivation Techniques for High and Stable Yield. *Natural Resources*, 11(12), 569–575. <https://doi.org/10.4236/nr.2020.1112034>
- Gao, J., Liu, Y., Zhao, D., Ding, Y., & Gao, L. (2024). CeO₂NP Priming Enhances The Seed Vigor of Alfalfa (*Medicago sativa*) Under Salt Stress. *Frontiers in Plant Science*, 14(January), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1264698>
- Gebeyaw, M. (2020). Review on: Impact of Seed Storage Container on Seed Quality. *Plant Biotechnology-Microbiology*, 3(1), 17–21.
- Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1995). *Prosedur Statistika untuk Penelitian Pertanian*. Universitas Indonesia.
- Hamzeh, M., Ahmed, S. R., Ijaz, I., Naveed, M., Ahmad, A., Umer, A., Din, N., Khan, J., Ejaz, M., Khetran, M. A., Sadiq, N., & Liu, Y. (2025). Differential Humidity Effects on Seed Viability and Oxidative Stress Responses in Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.) During Short-term Storage. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1–17.
- Hanif, K., Ijaz, M., Sajid, M., Ammar, A., Noor, A., & Haris, M. (2023). Biotechnological Approaches in Seed Quality Enhancement: Current Status and Future Prospects. *Trends in Animal and Plant Sciences*, 1, 37–48.
- Harrington, J. F., & Kozlowski, T. T. (1972). Seed Storage and Longevity. In T. T. Kozlowski (Ed.), *Seed Biology* (pp. 145–245).
- Ibañez, R. (2024). Effects of Storage Methods and Packaging Materials on Viability of Adlai (*Coix lacryma-jobi* L.) Seeds. *Diversitas Journal*, 9(2), 560–573. <https://doi.org/10.48017/dj.v9i2.2977>
- Irwan, A. W., Sunarto, T., & Wahyudin, A. (2024). Pengaruh Penggunaan Jenis Desikan dan Penyimpanan terhadap Viabilitas dan Vigor Benih Kedelai (*Glycine max* L. Merr.) Kultivar

- Anjasmoro. *Agronu: Jurnal Agroteknologi*, 3(02), 55–64. <https://doi.org/10.53863/agronu.v3i02.1232>
- Juhaeti, T., Setyowati, N., & Gunawan, I. (2021). Pemanfaatan dan Prospek Serealia Minor Jali (*Coix Lacryma-Jobi* L.) dalam Pembuatan Kuliner untuk Pengembangan Usaha Industri Rumah Tangga. *VIVABIO: Jurnal Pengabdian Multidisiplin*, 3(2), 6. <https://doi.org/10.35799/vivabio.3.2.2021.34113>
- Kadapi, M., Sobardini, D., Helena, E., Hanindianingrum, H., Noor, F., & Wicaksana, N. (2021). Allelopathic Effect of West Java Local Black Rice Varieties on Barnyard Grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.) at Germination Stage. *Current Applied Science and Technology*, 21(4), 673–685.
- Kansiime, M. K., Bundi, M., Nicodemus, J., Ochieng, J., Marandu, D., Njau, S. S., et al. (2021). Assessing Sustainability Factors of Farmer Seed Production: a Case of The Good Seed Initiative Project in Tanzania. *Agriculture and Food Security*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00289-7>
- Kaur, M., Tak, Y., Bhatia, S., Asthir, B., Lorenzo, J. M., & Amarowicz, R. (2021). Crosstalk during the Carbon – Nitrogen Cycle That Interlinks the Biosynthesis, Mobilization and Accumulation of Seed Storage Reserves. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 12032.
- Liang, K., Zu, H., & Wang, X. (2020). Effect of Storage on n-3 PUFA-Enriched Eggs. *CyTA - Journal of Food*, 18(1), 102–107. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1713896>
- Liu, L., Jiang, X., Chen, Y., Yaqoob, S., Xiu, L., Liu, H., Zheng, M., Cai, D., & Liu, J. (2024). Germination-induced Modifications of Starch Structure, Flour-processing Characteristics, and in Vitro Digestive Properties in Maize. *Food Chemistry: X*, 22(March), 101430. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101430>
- Marahatta, S. (2021). Assessment of the Effectiveness of Storage Structures for Maintaining the Quality of Maize Seed Stored at Different Moisture Levels. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 4(1), 96–110. <https://doi.org/10.3126/janr.v4i1.33231>
- Marliza, H., Sammulia, S. F., & Mayefis, D. (2023). Analisis Proksimat dan Skrining Fitokimia Tumbuhan di Perairan Pantai Sekilak Kota Batam. *The Journal General Health and Pharmaceutical Sciences Research*, 1(2), 41–54. <https://doi.org/10.57213/tjghpsr.v1i2.225>
- Matilla, A. J. (2022). The Orthodox Dry Seeds are Alive: a Clear Example of Desiccation Tolerance. *Plants*, 11(1), 20.
- Nawab, A., G. Li, W. Liu, R. Lan, J. Wu, Y. Zhao, K. K. et al. (2019). Effect of Dietary Curcumin on The Antioxidant Status of Laying Hens Under High-temperature Conditions. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21(02), eRBCA-2018-0868.
- Onoabagbe, O., Chidozie, M., & Beckley, O. (2024). Germination Characteristics of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Under Different pH Regimes After Chemo-priming. *Vegetos*, 37(5), 1876–1886. <https://doi.org/10.1007/s42535-024-00909-0>
- Paul, S., Gangwar, A., Bhargava, K., & Ahmad, Y. (2021). D4F Prophylaxis Enables

- Redox and Energy Homeostasis while Preventing Inflammation During Hypoxia Exposure. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 133, 11108.
- Rahman, A. R., Sari, M., & Diaguna, R. (2024). Peningkatan Daya Simpan Benih Kedelai (*Glycine max* L.) Melalui Perlakuan Antar Periode Simpan. *Buletin Agrohorti*, 12(2), 207–215. <https://doi.org/10.29244/agrob.v12i2.55449>
- Reed, R. C., & Bradford, K. J. (2022). Seed Germination and Vigor: Ensuring Crop Sustainability in a Changing Climate. *Heredity*, 128(January), 450–459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>
- Shahein, A. M. E. A., & Shalaby, N. E. (2021). Longevity of Maize Seed (*Zea mays* L.) under Different Storage Conditions. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, 47(4), 45–55. <https://doi.org/10.21608/jsas.2021.88439.1300>
- Solberg, S. Ø., Brodal, G., von Bothmer, R., Meen, E., Yndgaard, F., Andreassen, C., & Asdal, Å. (2020). Seed Germination After 30 Years Storage in Permafrost. *Plants*, 9(5), 1–9. <https://doi.org/10.3390/plants9050579>
- Sumadi, S., & Nurmala, T. (2019). Pengaruh Invigorasi Benih Hanjeli (*Coix lacryma – jobi* L.) Terdeteriorasi Terhadap Mutu Fisiologis serta Dampaknya Terhadap Hasil. *Jurnal Kultivasi*, 18(3), 1010–1014.
- Syed, A., & Rizvi, A. (2021). Maintaining Seed viability and Seed vigour: Important Aspects. *Justagriculture*. In. Retrieved September, 28(2), 2023.
- Vijayalakshmi, V., Ramamoorthy, K., & Natarajan, N. (2018). TiO₂ Nano Particles on Extending Seed Vigour and Viability of Naturally Aged Maize (*Zea mays* L.) Seeds. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1), 2221–2224.
- Xing, M., Long, Y., Wang, Q., Tian, X., Fan, S., & Zhang, C. (2023). Physiological Alterations and Nondestructive Test Methods of Crop Seed Vigor : A Comprehensive Review. *AGRICULTURE*, 13, 527, 1–25.
- Xing, W., Li, Y., Zhou, L., Hong, H., Liu, Y., Luo, S., Zou, J., Zhao, Y., Yang, Y., Xu, Z., & Tan, B. (2025). Deciphering Seed Deterioration : Molecular Insights and Priming Strategies for Revitalizing Aged Seeds. *Plants*, 14, 1730.
- Yue, G., Yang, R., Lei, D., Du, Y., Li, Y., & Feng, F. (2024). Physiological, Biochemical, and Ultrastructural Changes in Naturally Aged Sweet Corn Seeds. *Agriculture (Switzerland)*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture14071039>
- Zhang, K., Zhang, Y., Sun, J., Meng, J., & Tao, J. (2021). Deterioration of Orthodox Seeds during Ageing: Influencing Factors, Physiological Alterations and The Role of Reactive Oxygen Species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.031>
- Zhang, M., Zhuo, J., Wang, X., Wu, S., & Wang, X. (2010). Optimizing Seed Water Content : Relevance to Storage Stability and Molecular Mobility. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52(3), 324–331. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2010.00916.x>