

Review Pematahan Dormansi Biji dengan Metode Skarifikasi Mekanik dan Kimia

Review of Seed Dormance Breaking with Mechanical and Chemical Scarification Method

PUPUT RETNO WIJAYANTI

Program Studi Magister Pertanian Tropika Basah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Jl. Pasir Balengkong No.1, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75123, East Kalimantan, Indonesia.
email: retno96wijayanti@gmail.com

Manuscript received: 6 September 2022 Revision accepted: 4 Oktober 2022

ABSTRACT

Higher plants reproduce by using seeds so as not to become extinct. Seeds are formed from mature and fertilized flower ovules. Most seeds are very easy to germinate, but there are also seeds that are very difficult to germinate even under favorable conditions. This can be affected by dormancy. However, seeds that are dormant or not are still very difficult to know because dormancy can only be measured by the presence or absence of germination. Seed germination is a mechanism, by which morphological and physiological changes result in embryo activation. Seed germination is controlled by a number of mechanisms necessary for the growth and development of the embryo. However, in seed plants not all seeds can germinate even under favorable conditions. This article aims to determine the nature of seeds that must be treated with mechanical or chemical scarification and to determine the effect of scarification on seeds. Seed germination and dormancy are important processes affecting plant production. Seed dormancy can be caused by immature embryos, physiological changes in seeds, inhibitory hormones contained in seeds and after ripening period. Scarification is a method used to break dormancy. Scarification method is divided into two, namely mechanical scarification using tools such as knives, files, sandpaper and others and chemical scarification using chemicals such as sulfuric acid, HCl, KNO₃, HNO₃ and the hormone gibberellins. Mechanical and chemical scarification is very necessary, especially for seeds that are experiencing physical dormancy such as thick and hard seed coats so that water and gas cannot enter. Scarification has positive effects on plant growth, such as increasing germination, accelerating germination, affecting seed vigor and breaking dormancy.

Keywords: seed, dormancy, breaking dormancy, chemical scarification, mechanical scarification.

ABSTRAK

Tanaman tingkat tinggi melakukan pengembangbiakan dengan menggunakan biji agar tidak punah. Biji terbentuk dari ovula bunga yang matang dan telah dibuahi. Sebagian besar biji sangat mudah untuk dikecambahkan, namun juga terdapat biji yang sangat susah untuk dikecambahkan walau dalam kondisi yang menguntungkan. Hal tersebut dapat dipengaruhi dormansi. Namun, biji yang dormansi atau tidak masih sangat sulit untuk diketahui karena dormansi hanya dapat diukur dengan ada dan tidak adanya perkecambahan. Perkecambahan biji adalah suatu mekanisme, di mana perubahan morfologi dan fisiologis menghasilkan aktivasi embrio. Perkecambahan biji dikendalikan oleh sejumlah mekanisme yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan embrio. Namun, pada tanaman berbiji tidak semua biji dapat berkecambah walau pada kondisi yang menguntungkan. Artikel ini bertujuan untuk mengetahui sifat biji yang harus diberi perlakuan skarifikasi mekanik maupun kimia dan mengetahui efek dari skarifikasi pada biji. Perkecambahan biji dan dormansi adalah proses penting yang mempengaruhi produksi tanaman. Dormansi biji dapat disebabkan oleh belum matangnya embrio, perubahan fisiologis pada biji, hormon penghambat yang terkandung didalam biji dan *after ripening*. Skarifikasi merupakan cara yang digunakan untuk mematahkan dormansi. Metode Skarifikasi terbagi menjadi dua yaitu skarifikasi mekanik yang menggunakan alat seperti pisau, kikir, amplas dan lain-lain dan skarifikasi kimia yang menggunakan bahan kimia seperti Asam sulfat, HCl, KNO₃, HNO₃ dan hormon giberelin. Skarifikasi mekanik dan kimia sangat perlu dilakukan, terutama pada biji yang mengalami dormansi fisik seperti kulit biji tebal dan keras sehingga tidak dapat dimasuki air dan gas. Skarifikasi memberikan efek positif terhadap pertumbuhan tanaman, seperti meningkatkan daya kecambah, mempercepat perkecambahan, mempengaruhi vigor benih dan pematahan dormansi.

Kata kunci: biji, dormansi, pematahan dormansi, skarifikasi mekanik, skarifikasi kimia

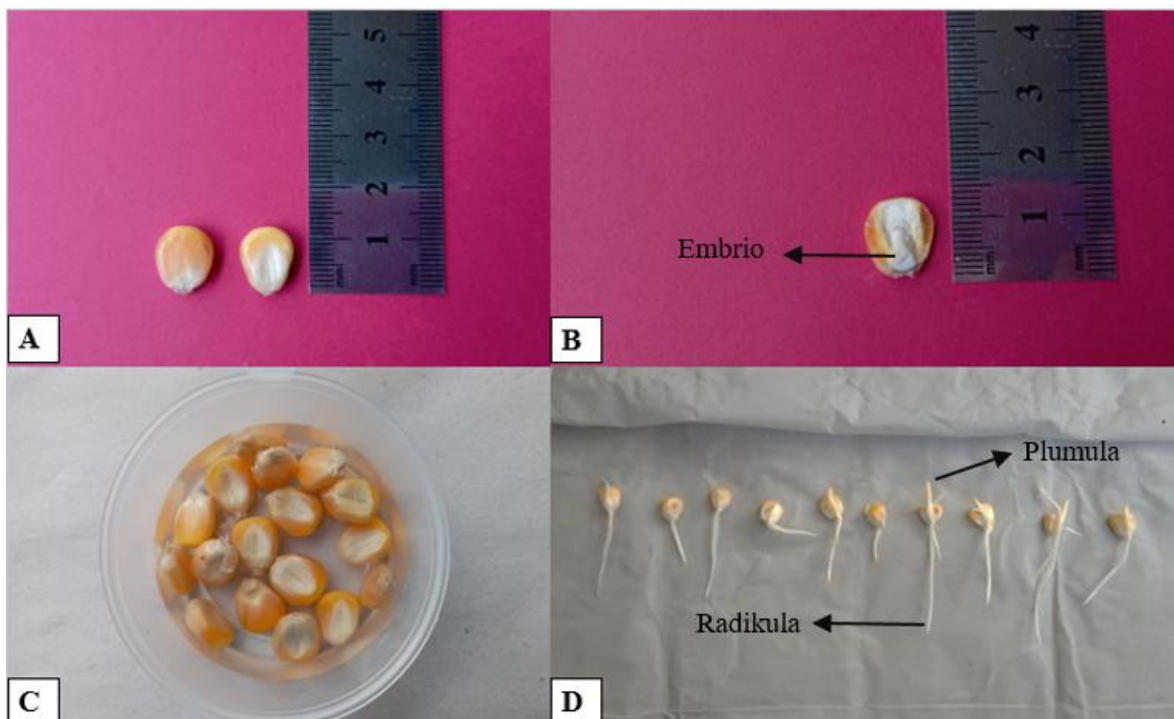
PENDAHULUAN

Biji merupakan ovula dari bunga yang matang dan telah dibuahi, serta berperan penting dalam proses pengembangbiakan tanaman. Biji sebelum inisiasi perkecambahan memiliki struktur yang terdiri atas embrio dan

cadangan makanan. Biji mulai berkecambah pada kondisi yang menguntungkan sebagai respons terhadap rangsangan lingkungan seperti cahaya, suhu, komponen tanah (terutama nitrat) dan mekanisme molekuler dari respons yang telah dikarakterisasi dengan baik (Nonogaki 2017). Perkecambahan biji merupakan perubahan siklus hidup tanaman yang menentukan keberhasilan dalam reproduksi dan kelangsungan hidup generasi tanaman berikutnya. Perkecambahan biji dianggap sebagai inisiasi fase perkembangan pertama dalam siklus hidup tanaman tingkat tinggi dan diikuti oleh pertumbuhan pascakecambah (Rajjou *et al.* 2012).

Secara umum diketahui bahwa karbohidrat yang tersimpan dalam endosperma sangat besar sehingga mempengaruhi ukuran biji, oleh sebab itu biji yang lebih besar memiliki awal hidup dan performa yang lebih baik daripada biji yang lebih kecil (Gholami *et al.* 2009; Gunaga and Vasudeva 2011). Bentuk dan ukuran benih dapat mempengaruhi imbibisi air, kadar air benih dan perkecambahan, serta kualitas benih (Balkaya and Odabas 2002; Cerdà and García-Fayos 2002; Mandal *et al.* 2010). Namun pada spesies tertentu, benih kecil tidak selalu menghasilkan pertumbuhan bibit yang lebih buruk, misalnya benih karet ukuran sedang memberikan persentase perkecambahan dan pertumbuhan bibit yang lebih tinggi daripada yang lebih besar (Bahri dan Saukani 2017) dan pada kedelai, benih yang berukuran besar memiliki daya kecambah yang rendah daripada benih sedang dan kecil (Yulyatin dan Diratmaja 2015). Selain ukuran, perkecambahan juga sangat dipengaruhi oleh dormansi pada biji. Hal lain terjadi pada beberapa biji yang memiliki sifat penghambat perkecambahan, yaitu dengan memproduksi senyawa ketahanan mekanis terhadap penonjolan radikula sehingga biji menjadi kedap air ataupun gas, misalnya stroberi dan tomat, tidak akan berkecambah dalam buah karena adanya zat penghambat perkecambahan. (Hilhorst *et al.* 1998)

Perkecambahan umumnya dimulai dari imbibisi air, mobilisasi cadangan makanan, sintesis protein dan penonjolan radikula (Hasanuzzaman *et al.* 2013) (Gambar 1). Untuk mempertahankan perkembangan bibit, benih merupakan tempat penyimpanan energi, karbon dan nitrogen untuk pertumbuhan (Zienkiewicz *et al.* 2014). Apabila biji tidak mengalami proses fisiologis tersebut dapat dikatakan biji tersebut dorman. Namun, biji/benih dorman atau tidak masih sangat sulit untuk diketahui karena dormansi hanya dapat diukur dengan tidak adanya perkecambahan pada benih/biji. Selain itu, penyebab dormansi bermacam-macam seperti dormansi fisik, fisiologis dan hormon yang terkandung di dalam biji. Oleh sebab itu penting sekali untuk mempelajari tentang dormansi biji dan metode pematangan dormansi pada biji, dengan tujuan mengetahui sifat biji yang harus diberi perlakuan skarifikasi mekanik maupun kimia dan mengetahui efek dari skarifikasi pada biji.



Gambar 1. (A) Bentuk benih jagung secara utuh, (B) benih jagung dipotong melintang, (C) imbibisi air pada benih jagung, (D) pertumbuhan radikula dan plumula

DORMANSI BIJI

Dormansi benih merupakan suatu keadaan benih yang matang dan layak, namun benih tersebut tidak berkecambah walaupun dalam kondisi pertumbuhan yang menguntungkan (Chahtane *et al.* 2017). Dormansi benih juga merupakan mekanisme adaptif yang mempengaruhi kemungkinan kelangsungan hidup suatu spesies tumbuhan (Kluczyńska and Pawłowski 2021). Tingkat dormansi benih pada kondisi di alam biasanya berputar sepanjang tahun, sehingga benih memiliki potensi mengalami perkecambahan pada awal musim pertumbuhan (Footitt *et al.* 2011). Tipe dormansi terbagi menjadi dua yaitu dormansi primer dan dormansi sekunder. Dormansi benih yang terjadi setelah embrio berkembang dan masih berada pada tanaman induk disebut sebagai dormansi primer (Halimursyadah *et al.* 2020). Sedangkan dormansi sekunder dapat dialami oleh benih yang tidak dorman, misalnya lingkungan yang dibutuhkan untuk proses perkecambahan tidak mendukung.

Mekanisme dormansi terbagi menjadi dua tipe, yaitu dormansi fisik dan dormansi fisiologis. Dormansi fisik terjadi akibat adanya pembatasan mekanis dimana kulit biji yang kedap air atau endokarp yang mencegah air masuk ke embrio, sehingga tidak terjadi perkecambahan pada biji. Contoh spesies dengan kulit biji yang keras dan kedap air terdapat pada *Arenga pinnata* Merr. (Rozen 2016). Sedangkan dormansi fisiologis terjadi karena embrio belum matang dan perubahan fisiologis benih selama penyimpanan.

Embrio belum matang

Embrio tidak matang dapat menyebabkan dormansi pada biji (Piña-Rodrigues and Figliolia 2005), karena embrio yang belum tumbuh sempurna (Ariyanti *et al.* 2017). Embrio biji yang belum matang dapat menghambat pertumbuhan perkecambahan, karena itu memungkinkan embrio matang sepenuhnya dan berkecambah (Bareke 2018).

Perubahan fisiologis benih selama penyimpanan

Ketidakmampuan benih berkecambah akibat perubahan fisiologis benih selama penyimpanan. Benih ini bisa langsung berkecambah bila setelah panen diberi perlakuan khusus. Kerusakan benih padi dapat menyebabkan penurunan metabolisme karbohidrat, konsumsi cadangan pati dalam endosperma, akumulasi malondialdehid dan penurunan aktivitas enzim antioksidan yang disebabkan oleh kondisi penyimpanan dan selama penyimpanan (Wang *et al.* 2018). Kerusakan benih diakibatkan oleh inaktivasi protein selama penyimpanan benih yang mengurangi kemampuan metabolisme sel untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada proses penuaan (Dahuja and Yadav 2015). Penuaan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembaban; gen; dan bahan yang digunakan, termasuk kadar air dan kualitas benih pada waktu penyimpanan (Rajjou and Debeaujon 2008). Penurunan viabilitas benih selama penyimpanan juga terkait dengan peningkatan kebocoran elektrolit (Fotouo-M. *et al.* 2015).

Asam absisat (ABA)

Asam absisat merupakan hormon tanaman yang penting untuk perkecambahan benih dan mengatur dormansi pada benih (Nambara *et al.* 2010), serta penunda benih perkecambahan (Vaistij *et al.* 2013). ABA yang terkandung pada benih yang sedang berkembang sebagian besar berasal dari jaringan induk, sedangkan ABA yang terkandung dalam benih dewasa disintesis oleh embrio dan endosperm pada benih selama embriogenesis akhir atau setelah panen. Cara kerja ABA sebagai penghambat pada perkecambahan biji yaitu melalui penundaan ekspansi radikula dan melemahnya endosperm, serta peningkatan ekspresi faktor transkripsi, yang dapat mempengaruhi proses perkecambahan biji (Graeber *et al.* 2012). Dormansi benih pada saat pematangan benih dipengaruhi oleh rangsangan pensinyalan auksin pada jalur pensinyalan ABA (Liu *et al.* 2013).

After-ripening

After-ripening adalah proses pengaturan periode waktu dan lingkungan yang terjadi pada benih kering, yang dapat menentukan potensi perkecambahan benih (Carrera *et al.* 2008). Periode waktu kering *after-ripening* diperlukan benih yang baru dipanen dan proses ini menentukan terjadinya perkecambahan pada benih (Chahtane *et al.* 2017). Benih yang mengalami dormansi primer disebabkan oleh *after ripening*, sehingga benih baru harus disimpan pada jangka waktu tertentu (Sari *et al.* 2020).

METODE PEMATAHAN DORMANSI

Skarifikasi mekanik

Skarifikasi mekanis merupakan metode yang sesuai sebagai perlakuan pematihan dormansi pada benih impermeable. Teknik yang digunakan untuk merusak jaringan testa meliputi penusukan, penggosokan, pemecahan, pengikiran dan pembakaran pada biji, serta pengupasan kulit benih yang digunakan dalam metode ini antara lain pisau, jarum, pemotong kuku, kikir dan kertas amplas. Selain itu, pemecahan dormansi fisik dapat dilakukan dengan merendam benih ke dalam air bersuhu tinggi dan lama waktu perendaman tertentu, disesuaikan dengan ukuran biji. Perendaman menggunakan air panas mampu mematahkan dormansi benih dan meningkatkan persentase perkecambahan benih (Hidayat dan Marjani 2017; Nurhaliza *et al.* 2021; Siregar 2013). Skarifikasi mekanik pada biji dilakukan untuk memudahkan terjadinya imbibisi air sehingga perkecambahan terjadi lebih cepat.

Tabel 1. Beberapa biji tanaman yang diberi perlakuan skarifikasi mekanik

No	Tanaman	Nama Ilmiah	Perlakuan	Hasil	Jurnal
1	Aren	<i>Arenga pinnata</i>	Pengikisan kulit dengan kertas pasir dan pengamplasan kulit benih pada bagian operculum	Mematahkan dormansi dan mempercepat perkecambahan benih	(Rozen 2016; Widyawati <i>et al.</i> 2009)
2	Semangka merah	<i>Citrullus vulgaris</i> Schard L.	Pelukaan pada kulit benih	Meningkatkan daya kecambah	(Sunarlim <i>et al.</i> 2011)
3	Pinang	<i>Areca Catechu</i> L.	Skarifikasi pada bagian pangkal biji	Meningkatkan laju perkecambahan benih	(Mistian 2012)
4	Palem Putri	<i>Veitchia merillii</i>	Skarifikasi pada lapisan endocarp benih dengan kertas amplas hingga halus	Meningkatkan kecepatan tumbuh	(Elfianis <i>et al.</i> 2019)
5	Kelor	<i>Moringa oleifera</i>	Skarifikasi pada dua sisi benih; mengkombinasikan metode tersebut dengan media tanam campuran tanah dan pasir	Meningkatkan daya kecambah dan bobot kering kecambah; mempengaruhi vigor	(Ubaidillah <i>et al.</i> 2020)
6	Kebiul	<i>Caesalpinia bonduc</i> L.	Pelukaan kulit benih	Meningkatkan pemecahan dormansi kulit	(Uyatmi <i>et al.</i> 2016)
7	Pala	<i>Myristica Fragrans</i> HOUTT	Skarifikasi pada tempurung biji	Mempercepat perkecambahan	(Nurahmi <i>et al.</i> 2010)
8	Porang	<i>Amorphophallus muelleri</i>	Skarifikasi dengan pemotong kuku	Menghasilkan daya berkecambah yang tinggi	(Harijati dan Widoretno 2018)
9	Lamtoro	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Skarifikasi 70°C selama 15 menit	Persentase tertinggi imbibisi, perkecambahan dan kecepatan perkecambahan	(Rachma <i>et al.</i> 2022)

Skarifikasi kimia

Skarifikasi kimia dapat mempercepat permulaan perkecambahan dan secara signifikan meningkatkan perkecambahan biji. Skarifikasi kimia dalam pematihan dormansi umumnya menggunakan beberapa bahan kimia sebagai berikut.

Asam kuat

Golongan asam kuat seperti H₂SO₄, HNO₃ dan HCl telah lama digunakan untuk pelunakan kulit biji dengan cara direndam (Ali *et al.* 2011; Munawar *et al.* 2015; Silalahi 2017) Perlakuan pematihan dormansi pada benih delima yang direndam dalam konsentrasi 70% H₂SO₄ selama 15 menit menghasilkan perkecambahan sebesar 90% dengan laju perkecambahan 14,04 hari (Satya *et al.* 2015). Larutan H₂SO₄ termasuk golongan asam kuat dan bersifat korosif, sehingga mampu melunakkan lapisan lilin dan mengikis kulit biji yang keras, sehingga lebih mudah ditembus oleh air. Namun, metode perlakuan asam sulfat (H₂SO₄) sangat cocok digunakan pada biji dengan kulit keras dan tidak permeabel untuk berkecambah dengan cepat (Ardiarini *et al.* 2021).

Kalium nitrat (KNO₃)

Kalium nitrat merupakan bahan kimia yang telah lama dikenal dan digunakan untuk mendorong perkecambahan pada berbagai spesies tanaman dan umumnya sebagai media perkecambahan. Efek kalium nitrat yang mendorong perkecambahan terjadi pada biji *Seashore paspalum* (Shim *et al.* 2008).

Giberelin

Giberelin dapat memicu aktivitas enzim hidrolitik, dimana hal ini dapat mempengaruhi penyediaan nutrisi yang cukup untuk perkecambahan (Lestari *et al.* 2016), dapat mematahkan dormansi pada biji serta mempercepat perkecambahan (Vaistij *et al.* 2013). Hormon tanaman giberelin A (GA) merangsang perkecambahan dan terlibat dalam hilangnya dormansi setelah pematangan dan stratifikasi suhu dingin. (Hauvermale *et al.* 2015). Perkecambahan biji memerlukan giberelin misalnya pada saat aktivasi pertumbuhan vegetatif embrio, melemahnya lapisan endosperm yang menghambat pertumbuhan di sekitar embrio, dan mobilisasi cadangan makanan yang disimpan dari endosperma (Bareke 2018). Giberelin mendorong pertumbuhan dengan meningkatkan plastisitas dinding sel diikuti dengan hidrolisis pati menjadi gula yang mengurangi potensi dalam sel, sehingga terjadi imbibisi air ke dalam sel yang menyebabkan perkecambahan biji. Dormansi hilang dan terjadi perkecambahan setelah imbibisi giberelin yang menyebabkan penurunan konsentrasi ABA pada biji. Imbibisi dapat menurunkan konsentrasi ABA (Shu *et al.* 2016). Keseimbangan antara kedua hormon ini telah terbukti dikombinasi oleh cahaya, suhu atau nitrat dan bertindak secara antagonis pada pertumbuhan embrio dan melemahnya endosperm (Carrera-Castaño *et al.* 2020; Liu and Hou 2018; Tuan *et al.* 2018).

Tabel 2. Berikut contoh biji tanaman yang dilakukan skarifikasi kimia

No	Tanaman	Nama Ilmiah	Perlakuan	Hasil	Jurnal
1	Asam jawa	<i>Tamarindus indica</i> L.	HCl, konsentrasi 45%	Paling efektif dalam mematahkan dormansi biji asam.	(Imansari dan Haryanti 2017)
2	Kecipir	<i>Psophocarpus tetragonolobus</i> L.	HNO ₃ , 5% selama 10 menit, media <i>in sand</i>	Meningkatkan persentase daya berkecambah dan keserempakan tumbuh benih	(Melasari <i>et al.</i> 2018)
3	Delima	<i>Punica granatum</i>	H ₂ SO ₄ , konsentrasi 70% selama 15 menit	Perkecambahan benih delima normal sebesar 90% dengan laju perkecambahan 14,04 hari	(Satya <i>et al.</i> 2015)
4	Kuwalo (buah makasar)	<i>Brucea javanica</i> (L.) Merr.	GA ₃ 1.000 mg L ⁻¹	Efektif untuk mempercepat dan meningkatkan perkecambahan	(Setyowati dan Utami 2008)
5	Pala	<i>Myristica fragrans</i>	KNO ₃ , 2%	Mempercepat laju perkecambahan	(Nur <i>et al.</i> 2018)
6	Palem putri	<i>Veitchia merillii</i>	GA ₃ , 450 ppm selama 2 jam	Meningkatkan kecepatan tumbuh	(Elfianis <i>et al.</i> 2019)
7	Yute	<i>Corchorus olitorius</i> L.	Perendaman biji pada suhu air 80°C selama 3 jam dan dikecambahkan pada media kertas merang basah.	Meningkatkan daya berkecambah benih	(Hidayat dan Marjani 2017)
8	Kopi arabika	<i>Coffea arabica</i>	Benih direndam dalam: Air bersuhu 75°C selama 60 menit, dilakukan selama 7 hari, Air kelapa 50% selama 4 jam dan H ₂ SO ₄ 20% selama 25 menit	Meningkatkan persentase perkecambahan	(Nurhaliza <i>et al.</i> 2021)
9	Kemiri	<i>Aleurites moluccana</i> Willd.	KNO ₃ , 0,2% selama 24 jam	Meningkatkan perkecambahan benih	(Damayanti <i>et al.</i> 2021)

KESIMPULAN

Kesimpulan pada artikel ini yaitu skarifikasi mekanik dan kimia sangat perlu dilakukan, terutama pada biji yang mengalami dormansi fisik seperti kulit biji tebal dan keras sehingga tidak dapat dimasuki air dan gas. Skarifikasi

memberikan efek positif terhadap pertumbuhan tanaman, seperti meningkatkan daya kecambah, mempercepat perkecambahan, mempengaruhi vigor benih dan pematangan dormansi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali HH, Tanveer A, Nadeem, Ather M, Asghar, Naeem H. 2011. Methods to break seed dormancy of *Rhynchosia capitata*, a summer annual weed. *Chilean Journal of Agriculture Research* 71: 483–487.
- Ardiarini N, Lase JA, Hidayat Y, Habeahan KB. 2021. The effect of seed scarification on the germination process and the growth of long bean (*Vigna sinensis*) sprout. *EDP Sciences* 306: 1–5.
- Ariyanti M, Soleh ĀMA, Maxiselly ĀY. 2017. Respon pertumbuhan tanaman aren (*Arenga pinnata* Merr.) dengan pemberian pupuk organik dan pupuk anorganik berbeda dosis. *Jurnal Kultivasi* 16: 271–278.
- Bahri S, Saukani. 2017. Pengaruh ukuran biji dan media tanam terhadap perkecambahan dan pertumbuhan bibit karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Agrosamudra* 4: 58–70.
- Balkaya A, Odabas MS. 2002. Determination of the seed characteristics in some significant snap bean varieties grown in samsun, Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5: 382–387.
- Bareke T. 2018. Biology of seed development and germination physiology. *Adv Plants Agric Res.* 8: 336–346.
- Carrera-Castaño G, Calleja-Cabrera J, Pernas M, Gómez L, Oñate-Sánchez L. 2020. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants* 9: 1–42.
- Carrera E, Holman T, Medhurst A, Dietrich D, Footitt S, Theodoulou FL, Holdsworth MJ. 2008. Seed after-ripening is a discrete developmental pathway associated with specific gene networks in *Arabidopsis*. *The Plant Journal* 53: 214–224.
- Cerdà A, García-Fayos P. 2002. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. *Catena* 48: 293–301.
- Chahtane H, Kim W, Lopez-Molina L. 2017. Primary seed dormancy: A temporally multilayered riddle waiting to be unlocked. *Journal of Experimental Botany* 68: 857–869.
- Dahuja A, Yadav S. 2015. Biochemical basis of seed deterioration-an overview. *Seed Res* 43: 1–8.
- Damayanti E, Umar H, Wulandari R, Wahyuni D. 2021. Pengaruh berbagai skarifikasi terhadap perkecambahan benih kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.). *Jurnal Warta Rimba* 9: 163–168.
- Elfianis R, Hartina S, Permanasari I, Handoko J. 2019. Pengaruh skarifikasi dan hormon giberelin (GA3) terhadap daya kecambah dan pertumbuhan bibit palem putri (*Veitchia merillii*). *Jurnal Agroteknologi*, 10: 41–48.
- Footitt S, Douterelo-Soler I, Clay H, Finch-Savage WE. 2011. Dormancy cycling in *Arabidopsis* seeds is controlled by seasonally distinct hormone-signaling pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences. United States of America*, 108: 20236–20241.
- Fotouo-M H, du Toit ES, Robbertse PJ. 2015. Germination and ultrastructural studies of seeds produced by a fast-growing, drought-resistant tree: Implications for its domestication and seed storage. *AoB PLANTS* 7: 1-12.
- Gholami A, Sharafi S, Ghasemi S, Sharafi A. 2009. Pinto bean seed reserve utilization and seedling growth as affected by seed size, salinity and drought stress. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 411–414.
- Graeber KAI, Nakabayashi K, Miatton E, Leubner-metzger G, Soppe WIMJJ. 2012. Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, Cell and Environment* 35: 1769–1786.
- Gunaga RP, Vasudeva DR. 2011. Influence of seed size on germination and seedling growth in *Mammea suriga*. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 24: 415–416. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113240754>.
- Halimursyadah, Syamsuddin, Hasanuddin, Efendi, Anjani N. 2020. Penggunaan kalium nitrat dalam pematangan dormansi fisiologis setelah pematangan pada beberapa galur padi mutan organik spesifik lokal Aceh. *Jurnal Kultivasi* 19: 1061–1068.
- Harijati N, Widoretno W. 2018. The effects of scarification on seed germination of porang (*Amorphophallus muelleri*). *AIP Conference Proceedings* 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5061841>
- Hasanuzzaman M, Nahar K, Alam M, Roychowdhury R, Fujita M. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences* 14: 9643–9684.
- Hauvermale AL, Tuttle KM, Takebayashi Y, Seo M, Steber CM 2015. Loss of *Arabidopsis thaliana* Seed Dormancy is Associated with Increased Accumulation of the *GID1* GA Hormone Receptors. *Plant and Cell Physiology* 0: 1-13.
- Hidayat-R.ST., Marjani. 2017. Teknik pematangan dormansi untuk meningkatkan daya berkecambah dua aksesi benih yute (*Corchorus olitorius* L.). *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri* 9: 73–81.
- Hilhorst HWM, Groot SPC, Bino JR. 1998. The tomato seed as a model system to study seed development and germination. *Acta Bot. Neerl* 47: 169–183.
- Imansari F, Haryanti, S. 2017. Pengaruh konsentrasi HCl terhadap laju perkecambahan biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.). *Buletin Anatomi dan Fisiologi* 2: 187-192. ejournal2.undip.ac.id/index.php/baf/index.
- Klupeczyńska EA, Pawłowski TA. 2021. Regulation of seed dormancy and germination mechanisms in a changing

- environment. *International Journal of Molecular Sciences* 22: 1–18.
- Lestari D, Linda R, Mukarlina. 2016. Pematahan dormansi dan perkecambahan biji kopi arabika (*Coffea arabica* L.) dengan asam sulfat (H₂SO₄) dan giberelin (GA3). *Jurnal Protobiont* 5: 8–13.
- Liu X, Zhang H, Zhao Y, Feng Z, Li Q, Yang HQ, Luan S, Li J, He ZH. 2013. Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling by inducing ARF-mediated ABI3 activation in Arabidopsis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 17 September 2013.
- Liu X, Hou X. 2018. Antagonistic regulation of ABA and GA in metabolism and signaling pathways. *Frontiers in Plant Science* 9: 1–7.
- Mandal SM, Chakraborty D, Gupta K. 2008. Seed Size Variation: Influence on Germination and Subsequent Seedling Performance in *Hyptis suaveolens* (*Lamiaceae*). *Research Journal of Seed Science* 1: 26–33. <https://doi.org/10.3923/rjss>.
- Melasari N, Suharsi TK, Qadir A. 2018. Penentuan metode pematahan dormansi benih kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus* L.) aksesori cilacap. *Buletin Agrohorti* 6: 59–67.
- Mistian, D. 2012. Respons perkecambahan benih pinang (*Areca Catechu* L.) terhadap berbagai skarifikasi dan konsentrasi asam giberelat (GA3). *Jurnal Online Agroekoteknologi* 1: 15–25.
- Munawar S, Naeem M, Ali HH, Jamil M, Iqbal M, Nazir MQ, Balal RM, Safdar ME. 2015. Seed dormancy breaking treatments for african purslane (*Zaleya pentandra*). *Planta Daninha* 33: 623–629.
- Nambara E, Okamoto M, Tamematsu K, Yano R, Seo M. 2010. Abscisic acid and the control of seed dormancy and germination. *Seed Science Research* 20: 55–67.
- Nonogaki H. 2017. Seed biology updates - Highlights and new discoveries in seed dormancy and germination research. *Frontiers in Plant Science* 8: 1–16.
- Nur RM, Tolangara A, Ima W. 2018. Nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt.) dormancy breaking rate by potassium nitrate and sulfuric acid. *Ijsrm. Human* 10: 187–194.
- Nurahmi E, Herari, AI, Afriansyah. 2010. Viabilitas benih pala (*Myristica fragrans* HOUTT) pada Beberapa tingkat skarifikasi dan konsentrasi air kelapa muda. *Agrista* 14: 51–55.
- Nurhaliza A, Priyadi HR, Sunarya Y. 2021. Pengaruh berbagai pemecahan dormansi benih kopi arabika (*Coffea arabica* L.) terhadap perkecambahan. *Journal of Agrotechnology and Crop Science* 1: 36–43.
- Piña-Rodriguez FCM, Figliolia MB. 2005. Embryo immaturity associated with delayed germination in recalcitrant seeds of *Viola surinamensis* (Rol.) Warb. (*Myristicaceae*). *Seed Science and Technology* 33: 375–386.
- Rachma YA, Indrati R, Supriyadi. 2022. Karakteristik perkecambahan biji lamtoro [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit] dan perubahan nilai gizi kecambah dengan perlakuan skarifikasi. *Buletin Anatomi dan Fisiologi* 7: 11–19. ejournal2.undip.ac.id/index.php/baf/index
- Rajjou L, Debeaujon I. 2008. Seed longevity: Survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *Elsevier Masson SAS* 331: 796–805.
- Rajjou L, Duval M, Gallardo K, Catusse J, Bally J, Job C, Job D. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63: 507–533.
- Rozen N. 2016. Pematahan dormansi benih enau (*Arenga pinnata*) dengan berbagai perlakuan serta evaluasi pertumbuhan bibit di lapangan. *PROS Sem Nas Masy Biodiv Indon* 2: 27–31.
- Sari M, Ilyas S, Suhartanto MR, Qadir A. 2020. Perubahan perilaku dormansi selama proses desikasi pada benih kacang bamba (*Vigna subterranea* L. *Verdc.*). *Jurnal Agronomi Indonesia* 48: 37–43.
- Satya I, Haryati H, Simanungkalit T. 2015. Pengaruh perendaman asam sulfat (H₂SO₄) terhadap viabilitas benih delima (*Punica Granatum* L.). *Jurnal Online Agroekoteknologi* 3: 1375 - 1380.
- Setyowati N, Utami NW. 2008. Pengaruh tingkat ketuaan buah, perlakuan perendaman dengan air dan larutan GA 3 terhadap perkecambahan *Brucea javanica* (L.) Merr. *Biodiversitas* 9 13–16.
- Shim SI, Moon JC, Raymer P, Kim W. 2008. Effect of Potassium Nitrate Priming on Seed Germination of *Seashore Paspalum*. *Hortscience* 43: 2259–2262.
- Shu K, Liu XD, Xie Q, He ZH. 2016. Two faces of one seed: hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant* 9: 34–45.
- Silalahi M. 2017. Perendaman terhadap laju imbibisi dan perkecambahan biji aren (*Arenga pinnata*). *AL-KAUNIYAH: Journal of Biology* 10: 73–82.
- Siregar BL. 2013. Perkecambahan dan pematahan dormansi benih andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.). *J. Agron. Indonesia* 41: 249–254.
- Sunarlim N, Zam SI, Purwanto J. 2011. Benih dan pertumbuhan tanaman semangka non biji (*Citrullus vulgaris* Schard L.). *Jurnal Agroteknologi* 2: 29–32.
- Tuan, P. A., Kumar, R., Rehal, P. K., Toora, P. K., & Ayele, B. T. 2018. Molecular mechanisms underlying abscisic acid/gibberellin balance in the control of seed dormancy and germination in cereals. *Frontiers in Plant Science* 9: 1–14.
- Ubaidillah, Zulaiha AV, Dianita R. 2020. Seed physical scarification and growing media on vigor of *Moringa oleifera*. *Pastura* 9: 94–97.
- Uyatmi Y, Inorih E, Marwanto. 2016. Pematahan dormansi benih kebiul (*Caesalpinia bonduc* L.) dengan berbagai

- metode. Akta Agrosia 19: 147–156.
- Vaistij FE, Gan Y, Penfield S, Gilday AD, Dave A, He Z, Josse EM, Choi G, Halliday KJ, Graham IA. 2013. Differential control of seed primary dormancy in *Arabidopsis* ecotypes by the transcription factor SPATULA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110: 10866–10871.
- Wang W, He A, Peng S, Huang J, Cui K, Nie L. 2018. The effect of storage condition and duration on the deterioration of primed rice seeds. *Frontiers in Plant Science* 9: 1–17.
- Widyawati N, Yudono P, Issirep S. 2009. Permeabilitas dan perkecambahan benih aren (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr.). *J. Agron. Indonesia* 37: 152-158.
- Yulyatin A, Diratmaja IA. 2015. Pengaruh ukuran benih kedelai terhadap kualitas benih. *Agros* 17: 166–172. <http://www.e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JA/article/viewFile/147/125>
- Zienkiewicz A, Zienkiewicz K, Rejón, JD, De Dios Alché J, Castro AJ, Rodríguez-García MI. 2014. Olive seed protein bodies store degrading enzymes involved in mobilization of oil bodies. *Journal of Experimental Botany* 65: 103–115.