

Dormansi Benih Kacang Bambara (*Vigna subterranea* L. Verdc): Faktor Penyebab dan Metode Pematahannya

*Dormancy of Bambara Groundnut Seed (Vigna subterranea L. Verdc):
Causes and Breaking Methods*

Maryati Sari, Satriyas Ilyas*, M Rahmad Suhartanto, Abdul Qadir

Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

*email: satriyas_ilyas@apps.ipb.ac.id

NASKAH DITERIMA 11 Mei 2023 ; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 8 SEPTEMBER 2023

ABSTRAK

Benih kacang bambara mengalami dormansi tetapi belum diketahui dengan pasti faktor penyebabnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor penyebab dormansi (percobaan I) dan mendapatkan metode pematahan dormansi benih kacang bambara (percobaan II). Kedua percobaan disusun dalam rancangan petak tersarang. Percobaan I, perlakuan sebelum penecambahan (kontrol, skarifikasi mekanik, perendaman KNO₃, dan skarifikasi diikuti perendaman KNO₃) tersarang pada periode *after-ripening* (1, 2, 3 bulan). Percobaan II, perlakuan pematahan dormansi (kontrol, pemanasan kering 40°C 48 jam, pemanasan kering 50°C 48 jam, perendaman air 6 jam, perendaman air 12 jam, pemanasan kering 40°C 48 jam diikuti perendaman air 6 jam, pemanasan kering 40°C 48 jam diikuti perendaman air selama 12 jam, pemanasan kering 50°C 48 jam diikuti perendaman air 6 jam, pemanasan kering 50°C 48 jam diikuti perendaman air 12 jam) tersarang pada jenis lanras (Sukabumi dan Tasikmalaya). Hasil penelitian menunjukkan bahwa benih kacang bambara memiliki dormansi *after-ripening*. Faktor penyebab dormansi adalah keseimbangan hormon GA dan ABA dan rendahnya permeabilitas testa. Penyimpanan kering (kadar air benih 12%) mampu memperbaiki keseimbangan hormon dan meningkatkan permeabilitas testa dengan persistensi dormansi 3,0–3,9 bulan. Pematahan dormansi pada benih kacang bambara lanras Sukabumi (umur 3 minggu setelah panen) dapat dilakukan dengan pemanasan kering 50°C selama 48 jam, dan perlakuan perendaman air 12 jam dengan atau tanpa didahului pemanasan kering dengan peningkatan daya tumbuh dari 59,3 % menjadi 85,3–91,3 %.

Kata kunci: *after-ripening*, benih keras, lignin, persistensi dormansi, viabilitas benih

ABSTRACT

Bambara groundnut seeds experience dormancy. However, the causative factor (s) of the dormancy is still uncertain. Therefore, this study aimed to investigate the factors responsible for seed dormancy (experiment I) and to find methods of breaking the dormancy (experiment II). Both experiments were arranged in a

nested plot design. Experiment I, pre-treatment before germination (control, mechanical scarification, KNO₃ immersion, and scarification followed by KNO₃ immersion) was nested in the after-ripening period (1, 2, 3 months). Experiment II, dormancy-breaking treatments (control, dry heating at 40°C for 48 hours, dry heating at 50°C for 48 hours, water immersion for 6 hours, water immersion for 12 hours, dry heating at 40°C for 48 hours followed by 6 hours of water immersion, dry heating at 40°C for 48 hours followed by water immersion for 12 hours, dry heating at 50°C for 48 hours followed by water immersion for 6 hours, dry heating at 50°C for 48 hours followed by water immersion for 12 hours) were nested in the landraces (Sukabumi and Tasikmalaya). The results showed that bambara groundnut seeds indicated after-ripening dormancy. Factors that responsible for seed dormancy were hormonal (GA and ABA) balance and low testa permeability. Dry storage (seeds with the moisture content of 12%) improved hormonal balance and increased testa permeability with a dormancy persistence of 3.0–3.9 months. The 50°C dry heating treatment for 48 hours or the 12-hour immersion in water with or without dry heating effectively broke the dormancy of the Sukabumi landrace seeds (3 weeks after harvested) with the increase of field emergence from 59.3 % to 85.3–91.3 %.

Keywords: *after-ripening*, *hard seed*, *lignin*, *persistence of dormancy*, *seed viability*

PENDAHULUAN

Kacang bambara atau kacang bogor (*Vigna subterranea* L. Verdc) telah lama dikenal di Indonesia, namun hingga saat ini masih tergolong dalam *underutilized crops*. Pemanfaatan produknya masih terbatas sebagai makanan ringan atau makanan selingan dan penanamannya masih sangat terbatas. Ketersediaan benih dan pengembangan varietas unggul sangat diperlukan karena komoditas ini berpotensi untuk dikembangkan sebagai tanaman pangan alternatif. Kacang bambara merupakan sumber karbohidrat kaya protein dengan berbagai kandungan mineral, yaitu kalsium, zat besi, zink, magnesium, dan mangan (Adebola *et al.* 2017).

Sebagian genotipe kacang bambara peka terhadap perkecambahan di lapangan sebelum panen (Sari *et al.* 2021), namun umumnya memiliki sifat dorman (Miya dan Modi 2017). Benih yang dorman berkecambah lambat dan tidak serempak. Keberadaan dormansi pada benih kacang bambara dapat mengganggu kegiatan penanamannya, baik pada kegiatan penelitian maupun pada kegiatan produksi di tingkat petani. Keceragaman pengisian dan kemasakan polong saat panen menjadi rendah. Koné *et al.* (2015) melaporkan bahwa perkecambahan *in vitro* benih kacang bambara bertesta lebih lambat dibandingkan benih tanpa testa maupun perkecambahan *excised embryo*. Miya dan Modi (2017) menguatkan hasil penelitian tersebut dan mengemukakan bahwa benih kacang bambara memiliki dormansi akibat testa yang keras. Namun demikian, sebuah penelitian lain berhasil meningkatkan perkecambahan benih kacang bambara tanpa perlakuan skarifikasi ataupun perlakuan lain yang biasa dilakukan untuk meningkatkan laju imbibisi. Ilyas dan Sopian (2013) berhasil meningkatkan perkecambahan benih kacang bambara menggunakan perlakuan *matrix-conditioning* dengan atau tanpa pemberian *Rhizobium*. Daya berkecambah benih (dipanen umur 125 hari, diuji 28 hari setelah panen) meningkat dari 17,3% menjadi 68,0 - 70,7%. Peningkatan daya berkecambah sangat nyata tetapi perkecambahan yang dihasilkan masih kurang dari 80%.

Ketepatan dalam mengidentifikasi faktor penyebab dormansi sangat penting untuk mendapatkan metode pematihan dormansi yang tepat. Benih dari famili yang sama dapat memiliki mekanisme dormansi yang sangat berbeda. Hambatan perkecambahan pada benih kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) dikendalikan oleh hormon (Rajan *et al.* 2020), sedangkan dormansi pada benih asam jawa (*Tamarindus indica* Linn) disebabkan oleh kulit benih yang keras (Abubakar dan Muhammad, 2013). Perbedaan faktor penyebab dormansi antara kedua jenis legum tersebut mengakibatkan keduanya memerlukan metode pematihan dormansi yang berbeda. Benih dengan dormansi fisiologi seperti pada kacang tanah, direkomendasikan oleh ISTA (2018) antara lain dengan perlakuan pemanasan $40 \pm 2^\circ\text{C}$ untuk mengatasi dormansi. Skarifikasi merupakan metode yang banyak dianjurkan pada pematihan dormansi benih keras. Selain itu penelitian Masara *et al.* (2015) menunjukkan bahwa dormansi kulit keras pada benih okra dapat diatasi dengan perendaman dalam air pada suhu 30°C selama 12 jam, sama baiknya dengan hasil pematihan dormansi menggunakan

perlakuan skarifikasi fisik. Benih padi yang baru dipanen mengalami dormansi fisiologis yang disebut *after-ripening*. Pemanasan benih pada suhu 50°C selama 48 jam diikuti dengan perendaman dalam air atau KNO_3 1% selama 24 jam efektif mematahkan dormansi benih padi gogo varietas Kalimutu dan Way Rarem yang baru dipanen (Ilyas dan Diarni 2007). Pada padi sawah varietas IPB 3S, perendaman benih dalam KNO_3 0,2% selama 36 jam pada suhu $28\text{--}30^\circ\text{C}$ dapat mematahkan dormansi benih yang baru dipanen dengan daya berkecambah 94,3% dibandingkan dengan tanpa perlakuan hanya 16,8% (Putri *et al.* 2023).

Metode pematihan dormansi yang efektif sangat diperlukan agar benih yang telah diproduksi dapat segera digunakan setiap saat diperlukan. Metode pematihan dormansi yang tepat akan lebih mudah diperoleh bila diketahui faktor penyebab dormansi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor penyebab dormansi dan memperoleh metode pematihan dormansi benih kacang bambara yang tepat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Ilmu dan Teknologi Benih, Institut Pertanian Bogor, pada bulan Januari hingga November 2017. Penelitian dilakukan melalui dua tahap percobaan. Percobaan pertama untuk mempelajari faktor penyebab dormansi. Hasil percobaan pertama menjadi dasar percobaan kedua, yaitu untuk mendapatkan metode pematihan dormansi yang tepat.

Percobaan 1:

Penentuan faktor penyebab dormansi

Benih yang digunakan adalah lanras Sukabumi, dipanen dari Kebun Situ Uncal, Dramaga, Bogor. Panen dilakukan pada umur 137 hari dengan kriteria polong dan benih telah mengeras, bernas, dan sehat. Benih dikeringkan hingga kadar air 12%. Selama periode *after-ripening*, benih disimpan dalam bentuk biji dalam kemasan plastik polipropilen pada suhu kamar ($27\text{--}29^\circ\text{C}$).

Percobaan disusun dalam rancangan petak tersarang dengan tiga ulangan. Perlakuan pematihan dormansi (PD) tersarang pada periode *after-ripening* (PAR). Perlakuan pematihan dormansi terdiri atas kontrol (PD1), skarifikasi mekanik (PD2), perendaman dalam KNO_3 1% selama 2 jam (PD3), dan skarifikasi mekanik diikuti perendaman dalam KNO_3 1% selama 2 jam (PD4). Periode *after-ripening* terdiri atas 1, 2, dan 3 bulan setelah panen (BSP).

Skarifikasi adalah pengikisan lapisan palisade yang terdapat pada bagian terluar kulit benih yang keras (Bewley *et al.* 2013). Skarifikasi mekanik pada percobaan ini dilakukan dengan cara mengamplas testa (Φ 3–5 mm) pada posisi yang berseberangan dengan letak hilum, dilanjutkan perendaman benih dalam KNO₃ 1% selama 2 jam pada suhu kamar (27–29°C) dalam kondisi terang.

Pengamatan dilakukan pada viabilitas benih, karakter fisik, kimia, dan fisiologi benih. Uji viabilitas benih dilakukan terhadap benih yang telah diberi perlakuan kemudian dikecambahkan menggunakan media pasir steril. Pengecambahan dilakukan pada suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Penyiraman dilakukan setiap hari untuk menjaga media tetap lembab. Daya berkecambah (DB) adalah persentase benih yang mampu menghasilkan kecambah normal. Intensitas dormansi (ID) adalah persentase benih yang tidak berhasil memunculkan radikula dan tidak mati hingga akhir pengamatan daya berkecambah. Pengujian dilakukan sebanyak tiga ulangan, setiap ulangan terdiri atas 25 butir benih. Penghitungan jumlah benih yang berkecambah dimulai pada 5 hari setelah tanam (HST), dan diakhiri pada 15 HST. Pengamatan ini diperpanjang setengah dari hitungan akhir yang ditetapkan (10 HST), sesuai rekomendasi ISTA (2018) untuk pengujian pada benih dorman. Persistensi dormansi 80 (PD₈₀) dan PD₁₀₀ merupakan waktu yang diperlukan hingga benih memiliki daya berkecambah mencapai 80% atau 100% berdasarkan nilai ekstrapolasi dari persamaan regresi nilai daya berkecambah selama periode *after-ripening*.

Pengamatan karakter fisik meliputi bobot 100 butir benih, berat jenis benih, tebal testa, dan permeabilitas benih. Tebal testa diamati menggunakan mikroskop Olympus DP 25 dengan pembesaran 10 kali. Pengamatan dilakukan pada 10 butir benih, masing-masing pada tiga titik pengukuran. Permeabilitas benih dinilai berdasarkan kecepatan imbibisi benih. Kecepatan imbibisi ditetapkan berdasarkan laju pertambahan bobot dari 10 g benih yang direndam dalam 100 ml air destilata dan diukur pertambahan bobotnya setiap 1 jam selama 6 jam pengamatan. Bobot 100 butir benih, berat jenis benih, dan kecepatan imbibisi benih ditetapkan berdasarkan nilai tengah dari 10 kali pengukuran.

Pengamatan karakter kimia benih meliputi kandungan lignin dan tanin. Kandungan lignin diuji berdasarkan metode gravimetri. Analisis kandungan tanin dilakukan berdasarkan metode kromatografi menggunakan spektrofotometer HITACHI U-2010 pada panjang gelombang 725 nm. Sampel analisis kandungan lignin dan tanin masing-masing diambil dari $\pm$ 20 butir benih yang dihaluskan. Pengujian dilakukan sebanyak tiga ulangan.

Pengamatan karakter fisiologi benih dilakukan pada benih 1 BSP berdasarkan sensitivitas respons benih terhadap kehadiran hormon eksogen (ABA dan GA₃). Sebanyak 525 butir benih diskarifikasi untuk memastikan tidak ada hambatan imbibisi yang menghalangi masuknya hormon eksogen tersebut. Pengecambahan dilakukan dengan metode antarkertas dalam kotak plastik berukuran 15 cm $\times$ 10 cm $\times$ 5 cm. Sebanyak tiga lapis tisu *towel* digunakan sebagai media perkecambahan. Tisu *towel* dilipat menjadi dua bagian sehingga tiga lapis sebagai alas dan tiga lapis sebagai penutup. Benih disusun di antara lapisan kertas tersebut dan dilembabkan menggunakan 20 ml larutan hormon. Konsentrasi larutan hormon eksogen untuk pengujian adalah air destilata (0 ppm ABA, 0 ppm GA₃), ABA (2,5, 5, dan 10 ppm), GA₃ (100, 250, dan 500 ppm). Pengecambahan dilakukan pada alat pengecambah benih dalam kondisi gelap pada suhu 27–29°C. Pengamatan dilakukan pada 10 HST terhadap persentase muncul radikula (minimum 2 mm) dan panjang radikula. Pengujian dilakukan sebanyak tiga ulangan, masing-masing ulangan menggunakan 25 butir benih.

Percobaan 2: Penentuan metode pematihan dormansi yang tepat

Benih dipanen dari pertanaman di Kebun Kampung Manggis, Dramaga, Bogor pada awal Oktober 2017. Penelitian dilakukan saat benih masih dalam periode *after-ripening*, yaitu berumur 3 minggu setelah panen (MSP). Benih sebelum digunakan dikeringkan terlebih dahulu hingga kadar air 10% dan disimpan dalam kemasan plastik pada suhu kamar (27–29°C).

Percobaan dilakukan dengan rancangan petak tersarang. Perlakuan pematihan dormansi tersarang pada jenis lanras. Lanras yang digunakan yaitu lanras Sukabumi dan lanras Tasikmalaya. Perlakuan pematihan dormansi meliputi kontrol (P1), pemanasan kering 40°C selama 48 jam (P2), pemanasan kering 50°C selama 48 jam (P3), perendaman dalam air selama 6 jam (P4), perendaman dalam air selama 12 jam (P5), pemanasan kering 40°C selama 48 jam diikuti perendaman dalam air selama 6 jam (P6), pemanasan kering 40°C selama 48 jam diikuti perendaman dalam air selama 12 jam (P7), pemanasan kering 50°C selama 48 jam diikuti perendaman dalam air selama 6 jam (P8), pemanasan kering 50°C selama 48 jam diikuti perendaman dalam air selama 12 jam (P9). Pada setiap perlakuan perendaman, sebanyak 110 butir benih direndam dalam 250 ml air pada wadah plastik berukuran 15 cm $\times$ 10 cm $\times$ 5 cm.

Perendaman dilakukan pada kondisi terang pada suhu kamar (27–29°C). Percobaan dilakukan sebanyak tiga ulangan.

Pengamatan dilakukan terhadap kadar air benih setelah perlakuan pematangan dormansi (± 5 g per sampel), daya tumbuh di lapangan, kecepatan tumbuh, dan bobot kering bibit (50 butir per sampel). Pengamatan daya tumbuh dan kecepatan tumbuh diamati pada 10 HST, dan pengamatan bobot kering bibit dilakukan saat 15 HST. Pengamatan ini dilakukan menggunakan 50 butir benih per sampel.

Data dianalisis dengan sidik ragam dan pada parameter yang menunjukkan pengaruh perlakuan yang nyata dilanjutkan dengan uji Duncan (DMRT) pada $\alpha : 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor penyebab dormansi benih

Benih kacang bambara pada percobaan ini memiliki daya berkecambah rendah dan intensitas dormansi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa benih dalam kondisi dorman. Pada 1 BSP, benih kacang bambara hanya memiliki rata-rata daya berkecambah 41,7% dengan intensitas dormansi 28,3% (Tabel 1). Intensitas dormansi berkurang seiring dengan dilaluinya periode awal penyimpanan benih dalam kondisi kering yang diikuti dengan peningkatan daya berkecambah pada bulan kedua (Tabel 1). Dormansi ini dikenal dengan istilah dormansi *after-ripening*.

Intensitas dormansi berkurang dari 24,4% (kontrol) menjadi 10,9% pada perlakuan skarifikasi mekanik (Tabel 1). Penipisan sebagian testa akibat skarifikasi diduga telah memicu proses perkecambah-

an akibat meningkatnya laju imbibisi. Testa memiliki peran penting dalam mengendalikan imbibisi, dimana imbibisi yang lambat diduga berkaitan dengan kandungan lignin yang tinggi pada testa kacang bambara. Lignin merupakan komponen yang cukup dominan pada testa benih kacang bambara (Olaleye *et al.* 2013). Kandungan lignin pada testa kacang bambara mencapai $44,87 \pm 0,8$ % dengan ketebalan testa $140,8 \pm 32,6 \mu\text{m}$ (Tabel 2). Sementara kandungan lignin pada testa kedelai hanya 4–7% (Krzyzanowski *et al.* 2008). Ran *et al.* (2015) melaporkan bahwa kandungan lignin pada benih *Brassica napus* memiliki hubungan dengan ketebalan testa dan rasio testa terhadap benih. Benih dengan kandungan lignin yang lebih rendah memiliki testa yang lebih tipis.

Intensitas dormansi yang berkurang secara nyata pada perlakuan skarifikasi belum diiringi dengan peningkatan daya berkecambah secara nyata (Tabel 1). Daya berkecambah meningkat secara nyata dari 60% tanpa perlakuan atau dengan skarifikasi saja (57,8%) maupun KNO_3 saja (57,3%) menjadi 72% ketika benih diberi perlakuan skarifikasi kemudian direndam dalam KNO_3 sebelum dikecambahkan (Tabel 1). Perendaman dalam KNO_3 merupakan pendekatan untuk mengatasi masalah fisiologi. Senyawa KNO_3 dikenal sebagai anti inhibitor untuk mematahkan dormansi *after-ripening*. Penggunaan KNO_3 bahkan direkomendasikan pada pengujian benih padi yang bermasalah dengan dormansi *after-ripening* (ISTA 2018). Berkurangnya intensitas dormansi yang semakin nyata pada perlakuan skarifikasi yang diikuti perendaman dalam KNO_3 (6,2%) dibandingkan perlakuan skarifikasi tanpa perendaman dalam KNO_3 (10,9%) juga membuktikan adanya masalah fisiologi keseimbangan hormon pada periode *after-ripening* yang mengakibatkan dormansi benih.

Tabel 1. Daya berkecambah dan intensitas dormansi benih kacang bambara lanras Sukabumi selama tiga bulan periode *after-ripening*. Bogor, 2017.

Perlakuan pematangan dormansi	Periode <i>after-ripening</i> (BSP)							
	1	2	3	Rata-rata	1	2	3	Rata-rata
	Daya berkecambah (%)				Intensitas dormansi (%)			
Kontrol	36,0	66,7	77,3	60,0 b	45,3 a	18,7 a	9,3	24,4 a
Skarifikasi mekanik	40,0	73,3	60,0	57,8 b	17,3 ab	13,3 a	2,0	10,9 b
Perendaman KNO_3 1% selama 2 jam	29,3	73,3	69,3	57,3 b	38,7 a	14,7 a	1,3	18,2 ab
Skarifikasi + KNO_3 1% 2 jam	61,3	84,0	70,7	72,0 a	12,0 b	1,3 b	5,3	6,2 c
Rata-rata	41,7 B	74,3 A	69,3 A		28,3 A	12,0 B	4,5 C	

Keterangan: Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama atau huruf kapital yang sama pada baris yang sama pada setiap tolak ukur menunjukkan angka tidak berbeda nyata pada DMRT ($\alpha : 0,05$). Analisis data daya berkecambah dilakukan setelah data ditransformasi pada arcsin ($\sqrt{(x/100)} \cdot 180/\pi$). Pr > F untuk PAR: <0,0001**; PD: 0,0247*; PAR(PD): 0,1306^m; KK: 12,58%. Analisis data intensitas dormansi dilakukan setelah data ditransformasi pada $\sqrt{(x+0,5)}$, Pr > F untuk PAR: <0,0001**; PD: 0,0004**; PAR(PD): 0,0171*; KK: 29,88%, *: berbeda nyata; **: berbeda sangat nyata; ^m: tidak nyata; KK: koefisien keragaman, BSP: bulan setelah panen.

Tabel 2. Karakter fisik dan kimia benih kacang bambara lanras Sukabumi. Bogor, 2017.

Karakter	Satuan	Nilai (rata-rata)
Tanin benih	mg/100 g	140,8 ± 32,6
Lignin testa	%	44,9 ± 0,8
Ketebalan testa	μm	140,8 ± 32,6
Bobot benih	g/100 butir	95,5 ± 9,8
Berat jenis benih	g/cm ³	1,75 ± 0,06

Benih yang memiliki dormansi *after-ripening* secara umum memiliki kepekaan terhadap kehadiran hormon GA₃ dan ABA. Perkecambahan benih kacang bambara pada media dengan berbagai konsentrasi GA₃ menunjukkan respons kuadratik pada pola hubungan antara konsentrasi GA₃ eksogen dan persentase muncul radikula maupun panjang radikula (Gambar 1). Pengujian pada media dengan berbagai konsentrasi ABA juga menunjukkan adanya respons benih kacang bambara terhadap kehadiran ABA eksogen. Hanya 10% benih kacang bambara yang mampu memunculkan radikula pada konsentrasi ABA 2,5 ppm, dan tidak ada benih yang mampu memunculkan radikula pada konsentrasi ABA yang lebih tinggi meskipun ABA tidak menghambat pemanjangan akar setelah radikula berhasil muncul. Kondisi tersebut menunjukkan respons nyata benih terhadap kehadiran ABA karena pada 0 ppm ABA eksogen (kontrol) sebanyak 60% benih mampu memunculkan radikula (data tidak ditampilkan).

Tuttle *et al.* (2015) mengemukakan bahwa kehadiran GA eksogen pada tahap pertama dormansi *after-ripening* (*very dormant*) tidak dapat mendorong terjadinya perkecambahan, sedangkan kehadiran ABA eksogen pada tahap keempat (*fully after-ripening*) tidak akan menekan perkecambahan. Berdasarkan pengelompokan tahapan dormansi *after-ripening* oleh Tuttle *et al.* (2015) dan hasil penelitian ini, benih kacang bambara lanras Sukabumi umur 1 BSP berada pada tahap kedua

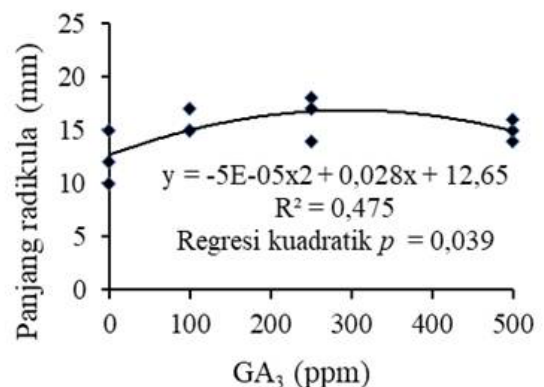
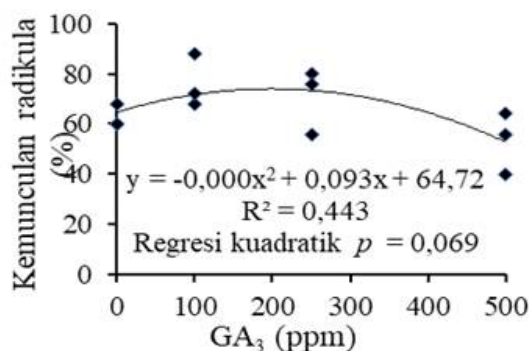
atau ketiga dormansi *after-ripening* (*partially after-ripening*). Benih kacang bambara pada umur 1 BSP masih dormant tetapi sudah memungkinkan untuk ditanam dengan perlakuan pematihan dormansi yang tepat karena sudah cukup peka untuk merespons perlakuan pematihan dormansi yang diberikan.

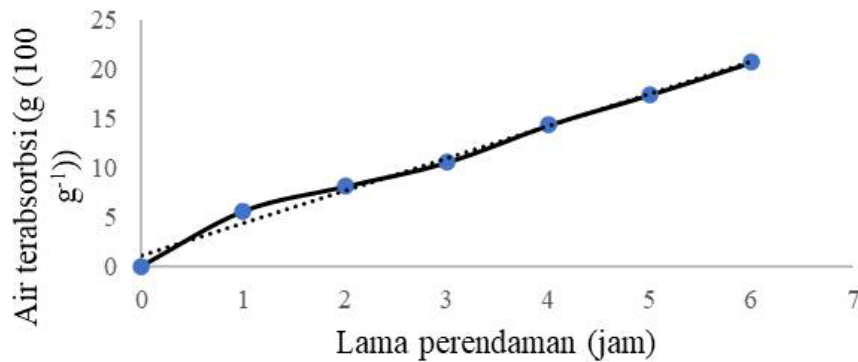
Testa kacang bambara tidak sepenuhnya *impermeabel* (Gambar 2), namun cukup menghambat proses imbibisi. Oleh karena itu perendaman benih dalam KNO₃ tanpa skarifikasi tidak dapat mengurangi intensitas dormansi dan meningkatkan daya berkecambah secara nyata (Tabel 1). Kedua masalah tersebut, baik hambatan fisik maupun hambatan fisiologi, harus diatasi sekaligus.

Persistensi Dormansi

Intensitas dormansi semakin berkurang seiring dengan semakin lamanya benih berada dalam penyimpanan kering atau yang dikenal dengan periode *after-ripening*. Selama periode tersebut benih secara bertahap mampu mengatasi kedua faktor penyebab dormansi, baik faktor fisik maupun fisiologi, sehingga intensitas dormansi benih tanpa pematihan dormansi berkurang dari 45,3% menjadi 9,3% (Tabel 1). Nelson *et al.* (2017) mengemukakan bahwa *after-ripening* merupakan proses biologi yang terjadi pada kadar air benih 5–15%, ketika sebagian besar metabolisme terhenti. Selama periode *after-ripening*, terjadi proses biologi yang melibatkan gen-gen pengendali hormon GA dan ABA yang menentukan kesiapan benih berkecambah.

Intensitas dormansi semakin berkurang seiring semakin lama periode *after-ripening* yang dilaluinya. Hasil pengamatan menunjukkan intensitas dormansi berkurang dari 28,3% pada 1 BSP menjadi 4,5% pada 3 BSP (Tabel 1). Periode *after-ripening* yang diperlukan benih untuk mematahkan dormansinya biasa dikenal sebagai persistensi dormansi. Nilai persistensi dormansi dapat diduga melalui

**Gambar 1.** Respons benih kacang bambara lanras Sukabumi terhadap hormon GA₃ eksogen. Bogor, 2017.



Gambar 2. Absorpsi pada benih kacang bambara lanras Sukabumi selama perendaman dalam air. Bogor, 2017.

pendekatan kurva peningkatan daya berkecambah benih selama periode *after-ripening* hingga minimal 80% benih diharapkan mampu tumbuh menjadi kecambah normal. Berdasarkan persamaan linier sederhana $y = 20,667x + 18,667$ (y = daya berkecambah (%), x = periode *after-ripening* (BSP) dan $R^2 = 0,6618$) diperoleh nilai persistensi dormansi 3,0 BSP dan mencapai 3,9 BSP bila diharapkan semua benih viabel mampu berkecambah normal pada waktu yang diharapkan. Hal ini berarti petani perlu menunggu minimal 3,0–3,9 bulan sebelum benih kacang bambara, khususnya lanras Sukabumi, dapat ditanam tanpa dormansi.

Pengaruh perlakuan pematangan dormansi terhadap intensitas dormansi benih tergantung pada periode *after-ripening* yang telah dilalui benih tersebut. Saat benih berumur 1 dan 2 BSP, perlakuan pematangan dormansi dengan skarifikasi kemudian diikuti perendaman dalam KNO_3 sangat diperlukan untuk mengurangi intensitas dormansi. Saat benih berumur 3 BSP, benih tanpa perlakuan pematangan dormansi (kontrol) memiliki intensitas dormansi yang tidak berbeda nyata dengan benih yang diberi perlakuan skarifikasi diikuti perendaman dalam KNO_3 (Tabel 1). Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan benih terhadap KNO_3 semakin berkurang dan permeabilitas benih semakin meningkat seiring berlalunya periode *after-ripening*. Perubahan tersebut diduga karena keseimbangan hormon yang semakin mendukung proses perkecambahan, termasuk dalam pelunakan dan pecahnya testa selama proses perkecambahan. Dugaan ini diperkuat dengan hasil penelitian Leubner-Metzger (2002) pada benih tembakau yang menunjukkan bahwa pelunakan dan pecahnya testa dipengaruhi oleh GA dan ABA. Perlakuan ABA mampu menunda pecahnya testa. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa penyimpanan yang dilalui selama periode *after-ripening* juga mengurangi kebutuhan benih terhadap GA eksogen untuk memecahkan testa pada

benih yang diimbibisikan dalam gelap (Leubner-Metzger 2002). Berdasarkan fakta bahwa hambatan testa semakin berkurang seiring berlalunya periode *after-ripening*, dapat dipahami bila petani tidak menghadapi masalah dormansi benih keras saat menggunakan benih yang telah beberapa bulan disimpan meskipun Miya dan Modi (2017) mengemukakan adanya dormansi akibat kulit keras pada benih kacang bambara. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa benih keras atau rendahnya permeabilitas pada benih kacang bambara bersifat sementara dan akan menghilang ketika periode *after-ripening* telah terlewati.

Metode pematangan dormansi

Menurut Manggung *et al.* (2015) benih empat jenis lanras kacang bambara (Bogor testa hitam, Sukabumi testa hitam, Sumedang testa hitam, dan Sumedang testa cokelat) hanya memerlukan waktu 8–10 hari untuk berkecambah. Pada percobaan ini, benih kacang bambara lanras Sukabumi yang diuji saat berumur 3 MSP baru memiliki daya tumbuh 59,3% pada 10 HST, sedangkan lanras Tasikmalaya baru memiliki daya tumbuh 45,3% (Tabel 3). Percobaan 1 memberikan informasi bahwa rendahnya perkecambahan pada benih yang baru dipanen disebabkan adanya dormansi *after-ripening*. Dormansi tersebut akan hilang saat benih telah melewati kondisi penyimpanan kering selama 3,0–3,9 bulan.

Penelitian Miya dan Modi (2017) menunjukkan benih kacang bambara memiliki dormansi benih keras. Skarifikasi mekanik dan kimia dilaporkan mampu meningkatkan daya tumbuh, namun menurunkan vigornya di lapangan. Berdasarkan percobaan 1 diketahui bahwa selama periode *after-ripening* ada dua faktor yang menyebabkan dormansi benih kacang bambara yaitu keseimbangan hormon (faktor fisiologi) dan permeabilitas testa yang rendah (faktor fisik). Perlakuan pematangan dormansi yang dipilih harus dapat mengatasi kedua

Tabel 3. Pengaruh perlakuan pematihan dormansi pada dua lanras kacang bambara terhadap daya tumbuh (%) dan kecepatan tumbuh (% per hari) di lapangan^{a)}. Bogor, 2017.

Pematihan dormansi	Daya tumbuh (%)			Kecepatan tumbuh (% per hari)		
	Skb	Tsm	Rata-rata	Skb	Tsm	Rata-Rata
Kontrol	59,3	45,3	52,3 c	6,35	4,79	5,57 c
Pemanasan 40°C 48 jam	69,3	39,3	54,3 bc	7,57	4,14	5,85 bc
Pemanasan 50°C 48 jam	86,0	72,7	79,3 a	9,27	7,96	8,61 a
Perendaman dalam air 6 jam	86,7	62,7	74,7 ab	9,77	6,65	8,21 ab
Perendaman dalam air 12 jam	90,7	72,0	81,3 a	10,21	8,00	9,10 a
Pemanasan 40°C 48 jam + perendaman 6 jam	85,3	55,3	70,3 abc	9,25	5,95	7,60 abc
Pemanasan 40°C 48 jam + perendaman 12 jam	85,3	70,7	78,0 a	9,65	7,79	8,72 a
Pemanasan 50°C 48 jam + perendaman 6 jam	88,0	56,0	75,2 ab	9,80	6,04	8,30 ab
Pemanasan 50°C 48 jam + perendaman 12 jam	91,3	63,3	77,3 a	10,50	7,12	8,81 a
Rata-rata	82,4 A	59,8 B		9,15 A	6,51 B	

^{a)} Pengujian dilakukan pada umur benih 3 MSP. Pengamatan dilakukan hingga 10 HST.

Keterangan: Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama atau huruf kapital yang sama pada baris yang sama pada setiap tolak ukur menunjukkan angka tidak berbeda nyata pada DMRT (α : 0,05). Pr > F daya tumbuh untuk Lanras : 0,0001^{**}; PD : 0,0415^{*}; Lanras(PD) : 0,9658^{ns}; KK : 24,01%. Pr > F kecepatan tumbuh untuk Lanras : 0,0001^{**}; PD : 0,0256^{*}; Lanras(PD) : 0,9536^{ns}; KK : 25,03%. Skb : lanras Sukabumi; Tsm : lanras Tasikmalaya; * : berbeda nyata; ** : berbeda sangat nyata; ^{ns} : tidak nyata;

masalah tersebut. Percobaan 1 menginformasikan perlakuan skarifikasi mekanik yang diikuti dengan perendaman dalam KNO₃ mampu mengatasi kedua masalah penyebab dormansi, namun perlakuan tersebut tidak praktis untuk diaplikasikan di luar laboratorium.

Empat perlakuan yang memberikan hasil terbaik adalah pemanasan 50°C selama 48 jam, perendaman dalam air selama 12 jam, dan pemanasan 40°C atau 50°C selama 48 jam yang diikuti perendaman dalam air selama 12 jam. Secara praktis, dapat dipilih dua perlakuan terbaik, yaitu perendaman dalam air selama 12 jam atau pemanasan pada suhu 50°C selama 48 jam. Perlakuan tersebut mampu meningkatkan daya tumbuh di lapangan dari rata-rata 52,3% menjadi 79,3% (pemanasan 50°C selama 48 jam) sampai 81,3% (perendaman dalam air selama 12 jam) (Tabel 3).

Stratifikasi merupakan metode pengaturan suhu selama periode tertentu dengan tujuan untuk mematahkan dormansi (Kim *et al.* 2019). Hasil penelitian ini membuktikan bahwa pemanasan kering atau stratifikasi pada suhu 50°C selama 48 jam terbukti mampu meningkatkan daya tumbuh benih di lapangan dari rata-rata 52,3% menjadi 79,3% (Tabel 3). Pemanasan kering ini efektif untuk mematahkan dormansi benih kacang bambara karena dapat mengatasi masalah fisiologi sekaligus masalah rendahnya permeabilitas testa. Dormansi fisik dan fisiologi dapat diatasi dengan perlakuan skarifikasi dan stratifikasi (Choi *et al.* 2016). Pemanasan kering merupakan perlakuan alternatif selain perlakuan KNO₃ yang direkomendasikan ISTA (2018) untuk mengatasi dormansi *after-ripening*

pada benih padi yang terjadi karena hambatan fisiologi. Pemanasan kering juga mampu mengatasi masalah permeabilitas yang rendah, sebagaimana hasil penelitian Chaodumrikul *et al.* (2016) yang melaporkan bahwa pemanasan kering mampu mengatasi masalah dormansi benih keras pada okra (*Luffa cylindrica*).

Intensitas dormansi pada lanras Tasikmalaya dilaporkan lebih tinggi dibanding lanras Sukabumi (Sari *et al.* 2021), demikian juga yang ditemukan pada penelitian ini. Lanras Sukabumi memiliki daya tumbuh rata-rata 82,4% dengan daya tumbuh pada kontrol tanpa pematihan dormansi 59,3%, sedangkan lanras Tasikmalaya memiliki daya tumbuh rata-rata masih 59,8% dengan daya tumbuh pada kontrol tanpa pematihan dormansi 45,3% (Tabel 3). Perlakuan pemanasan kering 50°C selama 48 jam cukup efektif pada lanras Sukabumi karena berhasil meningkatkan daya tumbuh dari 59,3% menjadi 86% (Tabel 3). Interaksi antara perlakuan pematihan dormansi dengan lanras tidak ditemukan pada semua tolak ukur pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa pola peningkatan daya tumbuh dan kecepatan tumbuh di lapangan tidak berbeda pada kedua lanras (Tabel 3). Perlakuan pemanasan kering 50°C selama 48 jam mampu meningkatkan daya tumbuh benih lanras Sukabumi sebesar 26,7% (dari 59,3 % menjadi 86%) dan 27,4% pada lanras Tasikmalaya (dari 45,3% menjadi 72,7%) (Tabel 3).

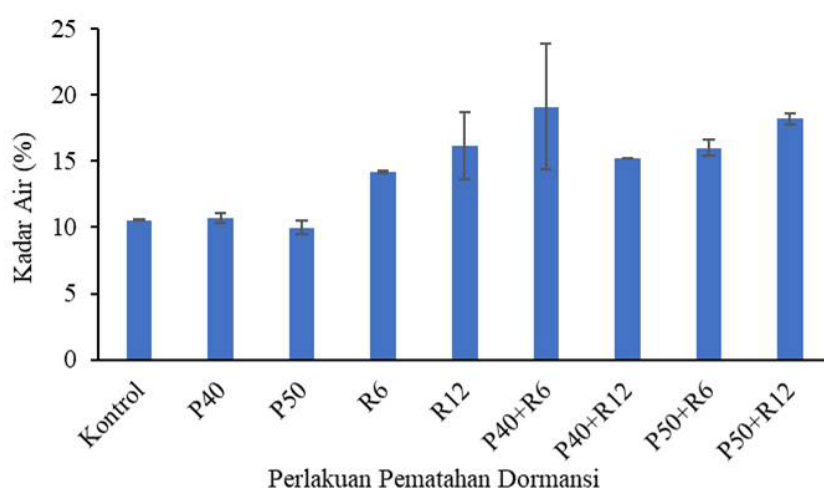
Benih tanaman pangan dapat dinyatakan mengalami patah dormansi ketika daya tumbuhnya telah mencapai 80%. Keberhasilan pematihan dormansi, khususnya pada lanras Tasikmalaya yang masih memiliki daya tumbuh kurang dari 80% pada

perlakuan tersebut, masih mungkin ditingkatkan dengan memperpanjang waktu pemanasan. Shiratsuchi *et al.* (2017) melaporkan bahwa pemanasan kering dengan suhu 50°C selama 5 hari efektif dilakukan pada benih padi yang memiliki dormansi *after-ripening*.

Suhu 50°C pada dasarnya merupakan suhu yang aman bagi benih ortodoks yang telah dikeringkan, namun munculnya benih keras yang *irreversible* perlu diwaspadai dalam penambahan waktu pemanasan kering. Hubungan dormansi dengan penurunan kadar air pada proses pengeringan benih kacang bambara meningkatkan rasio GA/ABA, namun impermeabilitas testa juga meningkat (Sari *et al.* 2020). Benih keras *impermeabel* dan tidak dapat balik dapat muncul pada benih legum bila kadar air benih terlalu rendah, sebagaimana hasil penelitian Shereena dan Salim (2006) pada benih *Pisum*

sativum yang diturunkan kadar airnya hingga 7,9%. Penelitian kali ini menunjukkan pemanasan kering 50°C selama 48 jam tidak menurunkan kadar air benih kacang bambara (tetap pada kisaran kadar air 10%) (Gambar 3), sehingga penambahan waktu pemanasan kering 50°C untuk meningkatkan efektivitas pematihan dormansi benih kacang bambara diduga akan tetap aman.

Permasalahan yang mungkin muncul pada metode pematihan dormansi dengan pemanasan kering adalah kebutuhan biaya selama proses pemanasan. Perendaman dalam air selama 12 jam merupakan alternatif pemecahan masalah tersebut. Perlakuan ini efektif untuk mematahkan dormansi benih kacang bambara dengan atau tanpa didahului dengan pemanasan kering. Perlakuan perendaman dalam air selama 12 jam mampu meningkatkan daya tumbuh benih lanras Sukabumi dari 59,3%



Gambar 3. Kadar air benih kacang bambara lanras Tasikmalaya setelah perlakuan pemataham dormansi. Keterangan: P40: pemanasan kering pada suhu 40°C selama 48 jam, P50: pemanasan kering pada suhu 50°C selama 48 jam, R6: perendaman dalam air selama 6 jam, R12: perendaman dalam air selama 12 jam. Bogor, 2017.

Tabel 4. Pengaruh perlakuan pematihan dormansi pada dua lanras kacang bambara terhadap bobot kering bibit (g per bibit) di lapangan^{a)}. Bogor, 2017.

Pematahan dormansi	Lanras Sukabumi	Lanras Tasikmalaya	Rata-rata
Kontrol	0,14	0,16	0,15 a
Pemanasan 40°C 48 jam	0,14	0,15	0,15 a
Pemanasan 50°C 48 jam	0,16	0,19	0,17 a
Peredaman 6 jam	0,17	0,17	0,17 a
Perendaman 12 jam	0,18	0,18	0,18 a
Pemanasan 40°C 48 jam + perendaman 6 jam	0,14	0,17	0,16 a
Pemanasan 40°C 48 jam + perendaman 12 jam	0,17	0,18	0,17 a
Pemanasan 50°C 48 jam + perendaman 6 jam	0,18	0,19	0,18 a
Pemanasan 50°C 48 jam + perendaman 12 jam	0,20	0,19	0,19 a
Rata-rata	0,16 A	0,17 A	

^{a)}Pengujian dilakukan pada umur benih 3 MSP, Pengamatan dilakukan pada umur 15 HST.

Keterangan: Huruf kecil yang sama pada kolom yang sama atau huruf kapital yang sama pada baris yang sama menunjukkan angka tidak berbeda nyata pada DMRT (α : 0,05). Pr > F untuk Lanras: 0,2245^{ns}; PD: 0,2817^{ns}; Lanras (PD): 0,9596^{ns}; KK: 18,41%, *: berbeda nyata; **: berbeda sangat nyata; ^{ns}: tidak nyata;

menjadi 90,7% dan meningkatkan daya tumbuh lanras Tasikmalaya dari 45,3% menjadi 72% (Tabel 3). Perlakuan pematihan dormansi tersebut dinilai aman karena peningkatan daya tumbuh dan kecepatan tumbuh (Tabel 3) diperoleh tanpa terjadi penurunan bobot kering bibit (Tabel 4).

Penelitian ini menghasilkan dua metode pematihan dormansi benih kacang bambara yang dapat diaplikasikan sesuai kebutuhan. Benih dorman yang akan segera ditanam oleh petani dapat dipatahkan melalui perendaman dalam air selama 12 jam karena metode ini cepat, mudah, dan hampir tanpa biaya. Benih kacang bambara yang akan segera dipasarkan setelah panen dapat dipatahkan dormansinya dengan metode pemanasan kering 50°C karena benih akan sampai ke tangan petani konsumen dalam kondisi siap tanam tanpa perlu khawatir mengalami kerusakan karena kadar air tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Benih kacang bambara memiliki dormansi *after-ripening* dengan dua faktor penyebab, yaitu masalah fisiologi keseimbangan hormon dan masalah fisik permeabilitas testa yang rendah. Dormansi tersebut patah secara alami selama benih dalam penyimpanan kering. Persistensi dormansi benih pada lanras Sukabumi mencapai 3,0–3,9 bulan.

Pematihan dormansi pada benih kacang bambara (umur 3 minggu setelah panen) dapat dilakukan secara efektif dengan pemanasan kering 50°C selama 48 jam atau dengan perlakuan perendaman dalam air selama 12 jam. Tidak ada interaksi antara jenis lanras dengan perlakuan pematihan dormansi. Kedua lanras memberikan respons peningkatan perkecambahan yang sama. Daya tumbuh lanras Tasikmalaya pada kedua perlakuan tersebut meningkat dari 45,3 % menjadi 72,7% dan 72%. Perlakuan yang sama mampu mematahkan dormansi benih lanras Sukabumi secara efektif dengan peningkatan daya tumbuh dari 59,3% menjadi 86% dan 90,7%.

Daya simpan benih kacang bambara setelah mengalami pematihan dormansi melalui metode pemanasan kering perlu diteliti sebelum direkomendasikan sebagai perlakuan pematihan dormansi untuk benih yang masih akan disimpan lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar ZA, Muhammad A. 2013. Breaking seed dormancy in tamarind (*Tamarindus indica*) a case study of gombe local government area. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 17(1): 83-87.
- Adebola M, Adelanwa M, Mohammed M, Esson A. 2017. Variation mineral compositions of some bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Vredc.) accessions. *Recent Research in Science and Technology* 26: 06–09.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3rd Ed. Springer Publishing, New York.
- Chaodumrikul S, Kaewson P, Chulaka P, Chanprasert W. 2016. Breaking seed dormancy in smooth loofah (*Luffa cylindrica* (L.) M. Roem) using scarification and dry heat treatment. *Agriculture and Natural Resources* 50(2): 85–88.
- Choi GE, Ghimire B, Lee H, Jeong MJ, Kim HJ, Ku JJ, Lee KM, Son SW, Lee CH, Park JI, Suh GU. 2016. Scarification and stratification protocols for breaking dormancy of *Rubus* (Rosaceae) species in Korea. *Seed Sci. Technol.* 44 (2): 239-252.
- Ilyas S, Diarni WT. 2007. Persistensi dan pematihan dormansi benih pada beberapa varietas padi gogo. *Jurnal Agrista* 11(2): 92-101.
- Ilyas S, Sopian O. 2013. Effect of seed maturity and invigoration on seed viability and vigor, plant growth, and yield of bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) Vredcourt). *Proc. 2nd Int. Symp. on Underutilized Plants Species "Crops for the Future–Beyond Food Security"*. F. Massawe *et al.* (Eds.). *Acta Hort* 979: 695–702.
- ISTA [International Seed Testing Association]. 2018. *International Rules for Seed Testing*. Edition 2018. International Seed Testing Association. Zurich. Switzerland.
- Kim SY, Warpeha KM, Huber SC. 2019. The brassinosteroid receptor kinase, BRI1, plays a role in seed germination and the release of dormancy by cold stratification. *Plant Physiol* 241(8): 1-8.
- Koné M, Koné T, Silué N, Soumahoro AB, Kouakou TH. 2015. In vitro seeds germination and seedling growth of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Vredc. (Fabaceae)). *Scientific World Journal* 2015: 1–8.
- Krzyzanowski FC, Neto JBF, Mandarino JMG, Kaster M. 2008. Evaluation of lignin content of soybean seed coat stored in a controlled environment. *Revista Brasileira de Sementes* 30(2): 220–223.
- Leubner-Metzger G. 2002. Seed after-ripening and over-expression of class I α -1,3 glucanase confer maternal effects on tobacco testa rupture and dormancy release. *Planta* 215(6): 959–968.
- Manggung RER. 2015. Studi fenologi, morfologi, dan penentuan masak fisiologi benih kacang bambara (*Vigna subterranea* (L.) Vredc.) berdasarkan konsep

- photothermal unit*. [Tesis]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Indonesia. [tidak dipublikasikan]
- Miya S, Modi AT. 2017. Overcoming the physical seed dormancy in bambara groundnut (*Vigna subterranea* L.) by scarification: A seed quality study slindile precious. *Journal of Agricultural Science and Technology B* 7: 13–24.
- Masara C, Chitamba J, Nhuvira C. 2015. Evaluation of different seed dormancy breaking techniques on okra (*Abelmoschus esculentus* L.) seed germination. *African Journal of Agricultural Research* 10(17): 1952-1956.
- Nelson SK, Ariizumi T, Steber CM. 2017. Biology in the dry seed: Transcriptome changes associated with dry seed dormancy and dormancy loss in the *Arabidopsis* GA-insensitive *sleepy1-2* mutant. *Frontier in Plant Science* 22(8): 2158.
- Olaleye AA, Adeyeye EI, Adesina AJ. 2013. Chemical composition of bambara groundnut (*V. subterranea* L. Verdc) seed parts. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 48(3): 167–178.
- Putri AA, Widajati E, Ilyas S. 2023. Determination of physiological maturity and methods for breaking dormancy of rice seeds of IPB 3S variety. *International Conference on Modern and Sustainable Agriculture (ICOMSA)*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1133 (2023) 012006 IOP Publishing.
- Rajan D, Kumar R, Devyani K, Ramya MJ. 2020. Role of ethrel and storage in dormancy breaking in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9(2): 2550-64.
- Ran X, Wan H, Li J, Liang Y, Xu J. 2015. An Investigation of the relationship between lignin content and seed coat traits in yellow-seeded *Brassica napus* L. *Academia Journal of Agricultural Research* 3(1): 1–8.
- Sari M, Ilyas S, Suhartanto MR, Qadir A. 2020. Perubahan perilaku dormansi selama proses desikasi pada benih kacang bambara (*Vigna subterranea* L. Verdc.). *Jurnal Agronomi Indonesia* 48(1): 37-43.
- Sari M, Ilyas S, Suhartanto MR, Qadir A. 2021. Pre-harvest sprouting on high-level seed dormancy of bambara groundnut (*Vigna subterranea*) landraces. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22(12): 5617–5623.
- Shereena J, Salim N. 2006. Influence of seed moisture content and leakage on germination and viability in *Pisum sativum* L. seeds. *International Journal of Botany* 2: 277–430.
- Shiratsuchi H, Ohdaira Y, Yamaguchi H, Fukuda A. 2017. Breaking the dormancy of rice seeds with various dormancy levels using steam and high temperature treatments in a steam nursery cabinet. *Journal Plant Production Science* 20: 183–192.
- Tuttle KM, Martinez SA, Schramm EC, Takebayashi Y, Seo M, Steber CM. 2015. Grain dormancy loss is associated with changes in ABA and GA sensitivity and hormone accumulation in bread wheat, *Triticum aestivum* (L.). *Seed Science Research* 25(2): 179–193.