



Identifikasi Tahap Perkembangan Mikrospora melalui Ukuran Floret pada Jantung Pisang Tanduk

^{1*}Devi Bunga Pagalla, ²Jusna Ahmad, ³Indriati Husain, ⁴Nazwa S. Lamante, ⁵Rika Eyato

^{1,2,4,5}Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia.

³Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia.

*Corresponding Author e-mail: devibungapagalla@ung.ac.id

Received: September 2025; Revised: October 2025; Accepted: November 2025; Published: December 2025

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara panjang floret dengan tahap perkembangan mikrospora pada jantung pisang tanduk (*Musa spp.* cv. Tanduk), serta menentukan kisaran panjang floret yang optimal sebagai sumber eksplan dalam kultur mikrospora. Penelitian dilakukan dengan menganalisis sepuluh lapisan braktea, masing-masing diambil lima floret untuk diukur panjangnya. Antera dari setiap floret diisolasi, dihancurkan dalam air steril, dan diamati secara mikroskopis menggunakan preparat basah. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa variasi panjang floret berkorelasi erat dengan tahapan perkembangan mikrospora. Mikrospora pada tahap uninukleat akhir (*vacuolated*) hingga binukleat muda secara konsisten ditemukan pada floret berukuran antara 4,68 hingga 4,34 cm. Berdasarkan hasil ini, floret dengan ukuran 4,60 hingga 4,00 cm direkomendasikan sebagai kisaran optimal untuk inisiasi kultur mikrospora karena memiliki proporsi mikrospora yang paling responsif terhadap induksi embriogenesis. Kesimpulannya, penelitian ini memberikan dasar morfologis dan sitologis yang signifikan untuk mendukung efisiensi seleksi eksplan pada regenerasi *in vitro* tanaman pisang melalui pendekatan kultur mikrospora.

Kata Kunci: Jantung pisang; mikrosporogenesis; kultur mikrospora; floret; braktea

Abstract: This study aimed to identify the relationship between floret length and the developmental stages of microspores in banana male inflorescence (*Musa spp.* cv. Tanduk), and to determine the optimal floret size range as an explant source for initiating microspore culture. Ten bract layers were analyzed, with five florets randomly selected from each layer and measured for their length. Anthers were extracted from each floret, crushed in sterile water, and observed microscopically using a wet mount preparation. The results revealed a strong correlation between floret length and microspore developmental stages. Microspores at the late uninucleate (*vacuolated*) to early bicellular stages were consistently found in florets ranging from 4.68 to 4.34 cm in length. Based on these findings, florets within the 4.60 to 4.00 cm range are recommended as the optimal size for microspore culture initiation, as they contain a higher proportion of developmentally competent microspores for embryogenesis induction. In conclusion, this study provides essential morphological and cytological criteria to support efficient explant selection for *in vitro* regeneration of banana through the microspore culture approach.

Keywords: Banana male bud; microsporogenesis; microspore culture; floret; bract

How to Cite: Pagalla, D. B., Ahmad, J., Husain, I., Lamante, N. S., & Eyato, R. (2025). Identifikasi Tahap Perkembangan Mikrospora melalui Ukuran Floret pada Jantung Pisang Tanduk. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 13(4), 2525–2535. <https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.17681>



<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v13i4.17681>

Copyright© 2025, Pagalla et al

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Pisang (*Musa spp.*) merupakan salah satu komoditas hortikultura utama di Indonesia yang memainkan peran penting dalam ketahanan pangan dan perekonomian masyarakat. Permintaan terhadap varietas unggul yang memiliki produktivitas tinggi dan ketahanan terhadap stres lingkungan mendorong perlunya pengembangan teknologi perbanyakan tanaman yang efisien, cepat, dan dapat diandalkan. Salah satu pendekatan yang telah banyak digunakan adalah teknologi kultur jaringan, yang memungkinkan produksi bibit dalam jumlah besar secara

seragam. Namun, teknik ini masih menghadapi keterbatasan, terutama dalam hal efisiensi regenerasi dan ketepatan seleksi eksplan.

Teknik kultur jaringan atau perbanyakan benih pisang secara *in vitro* hingga menjadi tanaman utuh yang siap ditanam di lapangan memerlukan waktu sekitar $\pm$ 5–8 bulan, tergantung pada vigor tanaman dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya. Meristem bunga dapat berfungsi sebagai eksplan yang potensial. Metode ini lebih hemat biaya, memiliki keuntungan berupa tidak adanya kontaminasi latense seperti pada tunas yang ditanam di tanah, serta memberikan peluang untuk meregenerasi tanaman dengan karakter agronomis dan hasil yang diinginkan (Darvari, 2010).

Sebagai alternatif, teknik kultur mikrospora menjadi pendekatan lanjutan yang menawarkan peluang perbanyakan tanaman secara lebih presisi. Teknik ini memungkinkan produksi tanaman haploid atau double haploid secara langsung dari sel mikrospora melalui jalur embriogenik. Keberhasilan proses ini sangat bergantung pada pemilihan tahap perkembangan mikrospora yang tepat sebagai eksplan, khususnya pada fase uninukleat akhir (*vacuolat*) hingga binukleat muda, yang dikenal paling kompeten untuk induksi embriogenesis. Dalam praktiknya, parameter morfometrik seperti panjang kuncup bunga atau antera telah digunakan sebagai indikator visual non-destruktif untuk memprediksi tahap perkembangan mikrospora, sehingga mempercepat proses seleksi eksplan.

Karakterisasi morfometrik terhadap perkembangan mikrospora telah berhasil diterapkan pada berbagai tanaman model seperti *Brassica napus* dan *Solanum melongena* L., dengan hasil yang menunjukkan adanya korelasi kuat antara ukuran kuncup bunga dan tahap perkembangan mikrospora yang sesuai untuk induksi embriogenesis (Pagalla *et al.*, 2020). Namun, hingga saat ini belum terdapat laporan yang secara khusus mengkaji hubungan antara ukuran floret dan tahap perkembangan mikrospora pada pisang tanduk, padahal hal ini sangat penting untuk optimalisasi kultur mikrospora. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa bagian bunga jantan pisang memiliki potensi sebagai eksplan dalam regenerasi *in vitro*, termasuk pembentukan struktur seperti *cauliflower-like bodies* (CLB) (Nandariyah *et al.*, 2021). Namun demikian, respons eksplan sangat bergantung pada ketepatan seleksi tahap sel.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memetakan korelasi antara panjang floret dari berbagai lapisan braktea jantung pisang tanduk dengan tahap perkembangan mikrospora, serta untuk menentukan kisaran panjang floret yang paling sesuai sebagai sumber eksplan dalam inisiasi kultur mikrospora. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi pendekatan morfometrik dan analisis mikroskopis untuk memastikan identifikasi tahap perkembangan mikrospora secara akurat. Indikator utama yang digunakan meliputi panjang floret (dalam satuan cm) dan identifikasi tahap perkembangan mikrospora melalui pengamatan mikroskopis, meliputi uninukleat awal, uninukleat akhir (*vakuolet*), dan binukleat muda. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam penyusunan protokol regenerasi *in vitro* tanaman pisang melalui pendekatan kultur mikrospora yang lebih efisien dan berbasis seleksi morfometrik. Selain itu, pendekatan ini juga berpotensi untuk diadaptasi dalam pengembangan kultur mikrospora pada kultivar pisang lain, baik dalam skala laboratorium maupun industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara panjang floret dengan tahap perkembangan mikrospora pada jantung pisang tanduk (*Musa spp.* cv. Tanduk), serta menentukan kisaran panjang floret yang optimal sebagai sumber eksplan dalam kultur mikrospora.

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 3–9 September 2025. Sampel berupa jantung pisang tanduk diperoleh dari tanaman pisang di Desa Monano, Kecamatan Bone, Kabupaten Bone Bolango. Selanjutnya, pengamatan mikroskopis dilakukan di Laboratorium Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Negeri Gorontalo. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel jantung pisang tanduk

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah floret dari jantung pisang tanduk sebagai eksplan, serta air steril yang digunakan untuk proses preparasi dan pengamatan mikroskopis. Adapun alat yang dipakai meliputi mikroskop binokuler sebagai instrumen utama untuk mengamati mikrospora, penggaris untuk mengukur panjang floret, serta cawan petri sebagai wadah preparasi antera. Selain itu, digunakan mikropipet beserta blue tip untuk mengambil suspensi hasil gerusan antera, kaca preparat dan kaca penutup untuk menyiapkan sampel pengamatan, serta *tissue* untuk menjaga kebersihan area kerja. Dokumentasi visual selama penelitian dilakukan dengan bantuan kamera. Seluruh bahan dan alat tersebut digunakan secara terstandar untuk memastikan keakuratan pengukuran dan validitas hasil pengamatan

Prosedur

Penelitian ini diawali dengan pengamatan morfologi jantung pisang tanduk secara keseluruhan. Lapisan braktea dilepaskan secara hati-hati, kemudian dipilih 10 lapisan braktea secara acak dari satu jantung pisang sebagai sumber eksplan. Dari setiap lapisan, lima floret dipilih dan diukur panjangnya menggunakan penggaris dengan satuan sentimeter.

Floret yang telah diukur kemudian dianalisis bagian antenanya. Antera dikeluarkan, diletakkan pada cawan petri berisi air steril, lalu dihaluskan hingga menghasilkan suspensi sel. Suspensi ini diambil menggunakan mikropipet, kemudian ditetaskan di atas kaca preparat dan ditutup dengan kaca penutup. Preparat diamati di bawah mikroskop cahaya binokuler dengan perbesaran 10x. Pengamatan difokuskan pada diameter sel mikrospora serta morfologi mikrospora yang terdapat

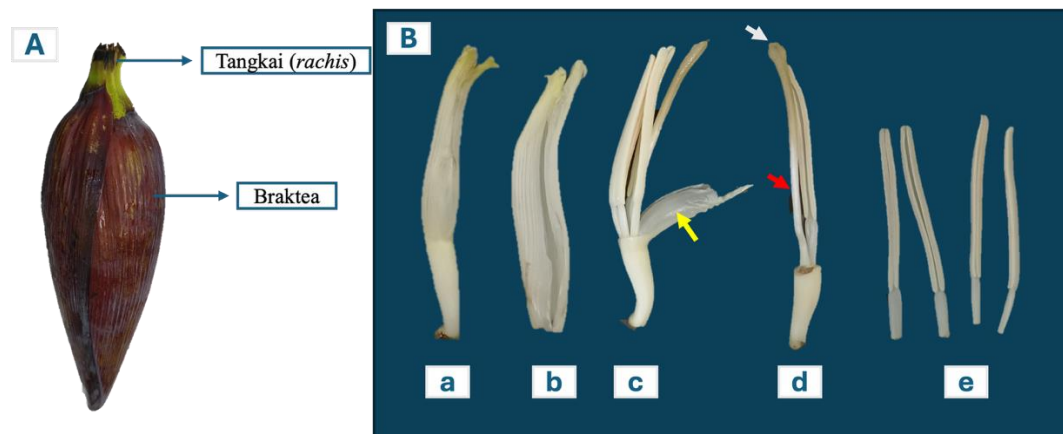
dalam setiap lapisan braktea. Dokumentasi visual dilakukan menggunakan kamera untuk mendukung data hasil pengamatan.

Analisis Data

Data yang diperoleh berupa rata-rata panjang floret pada masing-masing lapisan braktea, morfologi mikrospora yang teridentifikasi pada setiap lapisan braktea, dan rata-rata diameter sel mikrospora yang teramati dari sepuluh lapisan braktea. Data kuantitatif berupa panjang floret dan diameter mikrospora dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan perhitungan rata-rata, sedangkan data kualitatif berupa morfologi mikrospora dianalisis secara deskriptif kualitatif berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan dokumentasi foto untuk memperjelas hubungan antara panjang floret dengan tahap perkembangan mikrospora.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Floret (bunga kecil) merupakan keseluruhan struktur bunga pisang yang tersusun di dalam jantung pisang (Gambar 2a). Struktur ini terdiri dari putik, benang sari (antera), serta kelopak pelindung (*Calyx*) (Gambar 2b) dan memiliki peran penting dalam sistem reproduksi tanaman. Pada bunga betina, floret akan berkembang menjadi buah melalui proses partenokarpi, sedangkan pada bunga jantan berfungsi dalam pembentukan serta pelepasan serbuk sari.



Gambar 2. Morfologi jantung pisang dan *Floret*. A). Bagian-bagian jantung pisang tanduk; B) Bagian-bagian *Floret* (bunga kecil). a) Bunga utuh (*Floret*), b,c) *Calyx*, d) Pistil/putik (panah putih), style/tangkai putik (panah merah), e) Antera

Tahap perkembangan mikrospora dari antera *floret* pisang tanduk menunjukkan hubungan erat antara posisi lapisan braktea dengan panjang floret serta diameter mikrospora. Struktur jantung pisang terdiri dari banyak lapisan kulit (braktea) yang terdiri dari bagian luar berwarna gelap cokelat-ungu kemerahan dan di bagian dalam berwarna putih krim susu (Gambar 3).



Gambar 3. Karakteristik morfologi lapisan braktea yang diamati

Floret yang terletak pada lapisan braktea terluar memiliki ukuran yang lebih panjang (5,5 cm) dan menghasilkan mikrospora berdiameter lebih besar (335,87 μm), sementara floret pada lapisan terdalam menunjukkan ukuran yang lebih pendek (2,16 cm) dan diameter mikrospora lebih kecil (143,93 μm) (Tabel 1).

Tabel 1. Rata-rata diameter mikrospora yang teramati pada 10 lapisan braktea

Braktea	Rata-rata Panjang Bunga (Cm)	Rata-rata Diameter Mikrospora (Mm) $\pm$ Std.
1	5,5	335, 867 $\pm$ 19,939
2	5,34	302,967 $\pm$ 21,374
3	4,68	284,833 $\pm$ 18,846
4	4,36	284,633 $\pm$ 9,166
5	4,34	278,633 $\pm$ 34,394
6	3,68	220,467 $\pm$ 4,463
7	3,32	219,367 $\pm$ 18,232
8	2,8	171,167 $\pm$ 9,702
9	2,26	165,167 $\pm$ 5,619
10	2,16	143,933 $\pm$ 4,384

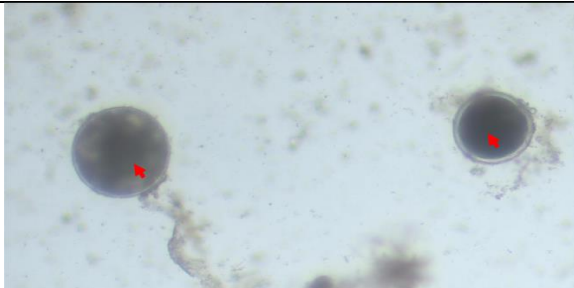
Diameter rata-rata mikrospora pada Tabel 1 mengindikasikan adanya gradien perkembangan mikrospora secara spasial dari luar ke dalam jantung pisang, yang sejalan dengan tingkat maturasi mikrospora. Hal ini penting dalam penentuan stadium perkembangan yang optimal untuk aplikasi kultur antera atau kultur mikrospora pada proses perbanyakan tanaman atau pembentukan haploid ganda. Temuan ini mendukung pernyataan (Nandariyah et al., 2021) bahwa keberhasilan *in vitro* sangat dipengaruhi oleh pemilihan tahap perkembangan bunga. Vilhena et al., (2019) menjelaskan bahwa floret pisang tersusun dalam kelompok yang didukung oleh braktea berwarna merah keunguan, dengan antera tetrasporangiat dan ovarium inferior trilokular. Morfoanatomi ini menunjukkan diferensiasi antara bunga jantan dan betina serta mendukung korelasi antara struktur morfologis dan kematangan mikrospora.

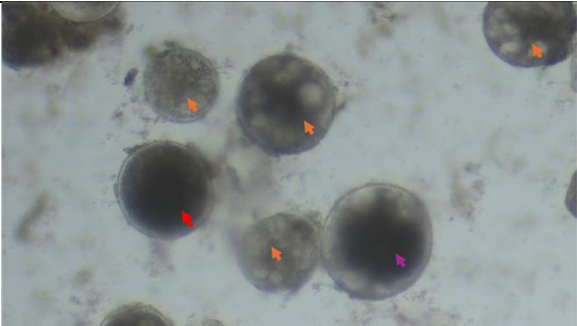
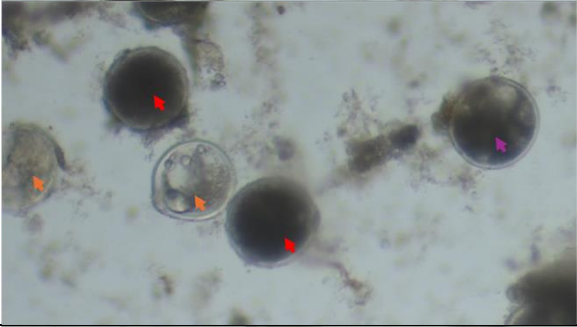
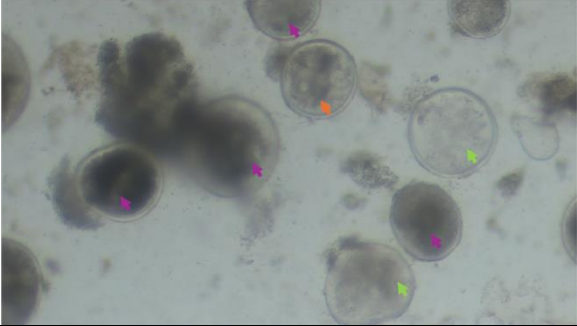
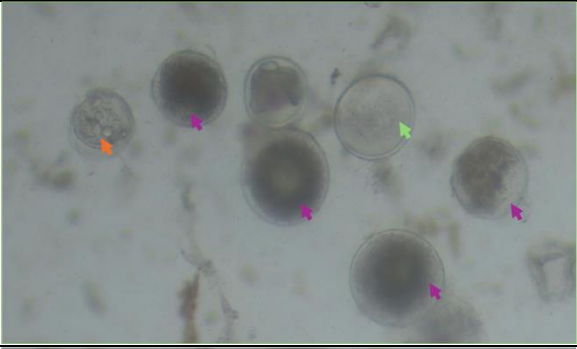
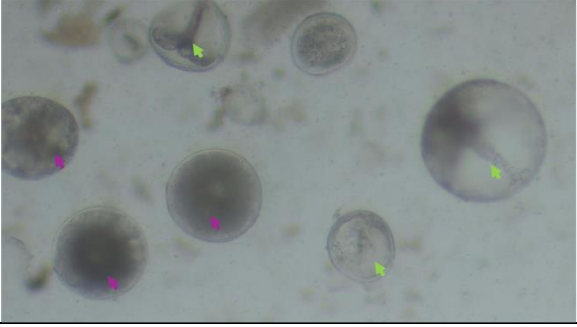
Penentuan tahap perkembangan mikrospora mengacu pada hasil penelitian Pagalla et al., (2020) yang menunjukkan bahwa pada mikrospora pisang tanduk juga ditemukan variasi tahap perkembangan sesuai dengan ukuran panjang floret yang diamati. Semakin kecil ukuran floret, semakin kecil pula diameter sel mikrospora yang dikandungnya. Pada floret dengan panjang 2,80–2,16 cm, mikrospora yang diamati didominasi oleh tahap uninukleat awal. Berdasarkan data pada Tabel 2, dari sepuluh

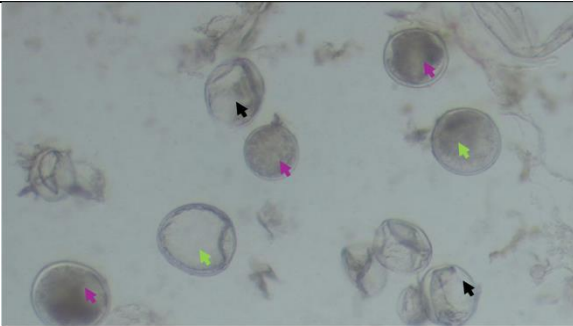
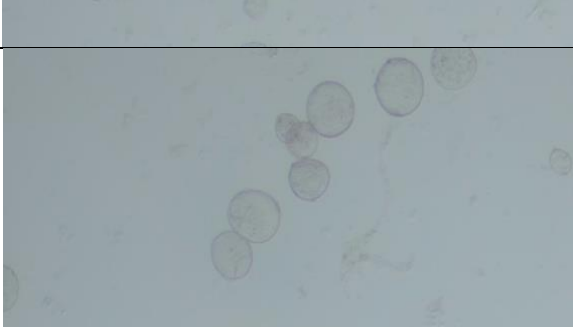
lapisan braktea yang diamati, hanya ditemukan empat tahap perkembangan mikrospora, yaitu uninukleat awal (*young microspore/YM*), uninukleat akhir (*vacuolated microspore/VM*), serbuk sari muda (*young bicellular pollen/YBP*), dan serbuk sari matang (*mature pollen*). Penelitian tahap perkembangan mikrospora pada tanaman terong yang dilakukan oleh Pagalla *et al.*, (2020) mengemukakan bahwa kisaran panjang kuncup bunga 10–17 mm dan panjang antera 5,0–6,9 mm mengandung proporsi tertinggi mikrospora pada tahap *vacuolated microspore (VM)* dan *YBP* (50–77,48%), yang menjadi indikator praktis dalam pemilihan bahan eksplan.

Kultur mikrospora terisolasi memiliki keunggulan luar biasa karena memungkinkan terjadinya pergiliran keturunan dalam siklus hidup tanaman angiospermae, yaitu peralihan antara generasi haploid gametofitik dan sporofitik, yang pada akhirnya menghasilkan sporofit dengan jumlah kromosom setara dengan gamet (Wang *et al.*, 2009). Kultur mikrospora yang ditumbuhkan secara *in vitro* memiliki implikasi penting dalam berbagai bidang, seperti: genetika dan pemuliaan, studi biokimia dan fisiologis, induksi dan seleksi mutan, transformasi genetik, serta konservasi plasma nutfah (Baillie *et al.*, 1992; Wang *et al.*, 2008). Melalui teknik ini, tanaman yang sepenuhnya homozigot dapat diperoleh dari induk heterozigot hanya dalam satu generasi, dibandingkan dengan metode perbaikan klasik melalui penyerbukan sendiri, yang memerlukan setidaknya 5–6 generasi (Gamborg *et al.*, 1976). Jika dibandingkan dengan teknik androgenesis melalui kultur antera, metode produksi tanaman dihaploid melalui kultur mikrospora menunjukkan keunggulan berupa kemampuan menghasilkan jumlah embrio haploid dan tanaman baru (*planlet*) yang jauh lebih banyak (Hale *et al.*, 2007). Keberhasilan kultur mikrospora, sebagaimana halnya kultur antera, bergantung pada kombinasi faktor intrinsik dan ekstrinsik. Untuk memperoleh respons androgenetik yang positif, diperlukan beberapa tahapan penting, yang secara umum mencakup tiga fase: (1) kondisi tanaman donor; (2) rentang waktu antara panen kuncup bunga dan pelaksanaan kultur mikrospora; serta (3) masa inkubasi (Gamborg *et al.*, 1976; Pechan & Smykal, 2008; Hale *et al.*, 2007).

Tabel 2. Rata-rata diameter mikrospora yang teramati pada 10 lapisan braktea

Rata-rata Panjang Floret (cm)	Tahap Perkembangan Mikrospora	Deskripsi Gambar
5,5		Didominasi oleh mikrospora pada tahap serbuk sari matang (panah merah)
5,34		Didominasi oleh mikrospora pada tahap serbuk sari matang (panah merah), serta ditemukan mikrospora multiselular/star-like (panah kuning).

Rata-rata Panjang Floret (cm)	Tahap Perkembangan Mikrospora	Deskripsi Gambar
4,68		Didominasi oleh mikrospora pada tahap serbuk sari muda (panah ungu), dengan jumlah mikrospora multiselular/star-like yang lebih banyak (panah oranye).
		
4,36		Ditemukan mikrospora pada tahap uninukleat akhir (panah hijau), serbuk sari muda (panah ungu), serta mikrospora multiselular/star-like (panah oranye)
4,34		Didominasi oleh mikrospora pada tahap uninukleat akhir (vacuolated)-panah hijau; serbuk sari muda (Young bicellular pollen)- panah ungu; dan mikropora yang multiselular (star-like)- panah oranye
		

Rata-rata Panjang Floret (cm)	Tahap Perkembangan Mikrospora	Deskripsi Gambar
3,68		Ditemukan mikrospora uninukleat akhir (panah hijau) dan serbuk sari muda (panah ungu); beberapa mikrospora mengalami lisis (panah hitam).
3,32		Didominasi oleh mikrospora pada tahap uninukleat akhir (vacuolated).
2,8		Seluruh mikrospora yang diamati berada pada tahap uninukleat awal, dengan ukuran sel yang lebih kecil.
2,26		
2,16		

Keberhasilan kultur antera tidak hanya ditentukan oleh kondisi biologis mikrospora, tetapi juga oleh metode isolasi dan lingkungan kultur. Kozar *et al.*, (2022) menyatakan bahwa teknik isolasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi pembentukan embrio. Faktor genetik, kondisi pertumbuhan tanaman donor, serta tahap perkembangan mikrospora saat isolasi juga berperan signifikan. Pagalla *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa mikrospora pada tahap vakuolat dan serbuk sari muda memiliki potensi embriogenik lebih tinggi, sehingga lebih cocok sebagai bahan eksplan. (Cristea *et al.*, 2021) menekankan bahwa media nutrisi dan ukuran eksplan mempengaruhi respons androgenetik mikrospora Brassica oleracea, menunjukkan pentingnya komposisi media terhadap pembentukan embrio. Selain itu, penggunaan zat pengatur tumbuh seperti 2,4-D telah lama dikenal sebagai penginduksi utama dalam kultur mikrospora (Weigt *et al.*, 2019) dan prinsip ini juga dapat diterapkan pada pisang.

Penelitian lanjutan menyoroti pentingnya optimalisasi media dan penggunaan senyawa bioaktif untuk meningkatkan regenerasi. Modifikasi konsentrasi kalsium serta regulasi aktivitas enzim seperti pektin metil esterase telah terbukti memengaruhi komposisi dinding sel dan mendukung embriogenesis (Calabuig-Serna *et al.*, 2024); (Pérez-Pérez *et al.*, 2019). Penyesuaian protokol kultur berdasarkan genotipe spesifik bahkan dapat meningkatkan rasio embrio yang terbentuk, termasuk pada tanaman pisang. Secara umum, perkembangan mikrospora dalam kultur antera merupakan proses kompleks yang dipengaruhi oleh interaksi antara perlakuan awal, kondisi lingkungan kultur, dan faktor genetik. Kombinasi optimal dari faktor-faktor ini menjadi kunci dalam strategi pemuliaan tanaman yang efisien. Tahapan fisiologis mikrospora bersifat dinamis dan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dalam kultur antera, perlakuan stres digunakan untuk menginduksi *reprogramming* mikrospora agar beralih ke jalur sporofitik yang berujung pada pembentukan embrio. (Weigt *et al.*, 2019) menegaskan bahwa penggunaan 2,4-D berpengaruh signifikan dalam meningkatkan efisiensi embriogenesis. Selain itu, pendekatan baru menggunakan pemilihan berdasarkan marker genetik menunjukkan potensi untuk mempercepat proses seleksi varietas unggul berbasis mikrospora (Klíma *et al.*, 2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara panjang floret dan tahap perkembangan mikrospora pada jantung pisang tanduk. Mikrospora pada tahap uninukleat akhir hingga binukleat muda merupakan fase yang paling responsif terhadap induksi embriogenesis secara konsisten ditemukan pada floret dengan ukuran panjang antara 4,68 hingga 4,34 cm. Berdasarkan hasil observasi morfometrik dan mikroskopis, kisaran panjang floret antara 4,60 hingga 4,00 cm direkomendasikan sebagai rentang optimal untuk seleksi eksplan dalam inisiasi kultur mikrospora. Temuan ini memberikan landasan ilmiah yang penting bagi pengembangan protokol perbanyakan tanaman pisang tanduk secara *in vitro* melalui teknik kultur mikrospora berbasis seleksi morfometrik. Selain itu, pendekatan ini juga berpotensi diterapkan pada kultivar pisang lainnya untuk meningkatkan efisiensi regenerasi dan mendukung program pemuliaan berbasis haploid ganda.

REKOMENDASI

Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji efektivitas kisaran panjang floret 4,60–4,00 cm dalam mendukung keberhasilan induksi embriogenesis pada kultur mikrospora pisang melalui uji *in vitro*. Selain itu, integrasi antara pendekatan

morfometrik, karakterisasi sitologis, dan respon embriogenik sebaiknya dilakukan secara simultan untuk menyusun protokol kultur mikrospora yang lebih efisien dan terstandarisasi. Penelitian juga dapat diperluas pada kultivar pisang lain guna menguji validitas temuan ini secara lebih luas. Pengaruh media, hormon, serta perlakuan stres juga perlu dikaji lebih lanjut untuk mendukung konversi mikrospora menjadi embrio dan regenerasi tanaman secara optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Negeri Gorontalo atas pendanaan penelitian melalui dana PNPB BLU Universitas Negeri Gorontalo Tahun Anggaran 2025, dengan nomor kontrak 565/UN47.D1/PT.01.03/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Baillie, A. M. R., Epp, D. J., Hucheson, D., & Keller, W. A. (1992). *In vitro* culture of isolated microspores and regeneration of plants in *Brassica campestris*. *Plant Cell Reports*, 11(3), 234–237. <https://doi.org/10.1007/BF00235072>
- Calabuig-Serna, A., Mir, R., Sancho-Oviedo, D., Arjona-Mudarra, P., & Seguí-Simarro, J.M. (2024). Calcium levels modulate embryo yield in *Brassica napus* microspore embryogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1512500>
- Cristea, T. O., Iosob, G.-A., Brezeanu, C., & Brezeanu, M. (2021). Effect of Chemical Composition of Nutritive Medium and Explant Size Over Androgenetic Response in Microspore Culture of *Brassica oleracea* L. *Rev. Chim*, 71(10), 131–136. <https://doi.org/10.37358/Rev.Chim.1949>
- Darvari, F.M., Sariah, M., Puad, M.P., & Maziah, M. (2010). Micropropagation of some Malaysian banana and plantain (*Musa* sp.) cultivars using male flowers. *African Journal of Biotechnology*, 9(16): 2360-2366. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Gamborg, O.L., Murashige, T., Thorpe, T.A., & Vasil, I.K. (1976). Plant tissue culture media. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 12, 473–478. <https://doi.org/10.1007/BF02796489>
- Hale, A. L., Farnham, M. W., Nzaramba, M.N., & Kimbeng, C. A. (2007). Heterosis for horticultural traits in broccoli. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(3), 351–360. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0569-2>
- Klíma, M., Jozová, E., Jelínková, I., Kučera, V., Hu, S., & Čurn, V. (2019). Early in vitro selection of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) plants with the fertility restorer gene for CMS Shaan 2A via non-destructive molecular analysis of microspore-derived embryos. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 55(4), 162–165. <https://doi.org/10.17221/94/2018-CJGPB>
- Kozar, E. V., Kozar, E. G., & Domblides, E. A. (2022). Effect of the Method of Microspore Isolation on the Efficiency of Isolated Microspore Culture In Vitro for Brassicaceae Family. *Horticulturae*, 8(10). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8100864>
- Nandariyah, Endang, Y., & Yunian, T. A. (2021). Development of banana in vitro from male bud culture supplemented with some concentration of sucrose and benzyladenine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 724(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/724/1/012007>
- Pagalla, D. B., Indrianto, A., Maryani, & Semiarti, E. (2020). Induction of Microspore Embryogenesis of Eggplant (*Solanum melongena* L.) ‘Gelatik.’ *Journal of*

- Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 5(2), 124–131. <https://doi.org/10.22146/jtbb.53677>
- Pechan, P. M., & Smykal, P. (2008). Androgenesis: Affecting the fate of the male gametophyte. *Physiologia Plantarum*, 111(1), 1–8. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1110101.x>
- Pérez-Pérez, Y., Bárány, I., Berenguer, E., Carneros, E., Risueño, M. C., & Testillano, P.S. (2019). Modulation of autophagy and protease activities by small bioactive compounds to reduce cell death and improve stress-induced microspore embryogenesis initiation in rapeseed and barley. *Plant Signaling and Behavior*, 14(2). <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1559577>
- Vilhena, R. de O., Marson, B. M., Budel, J. M., Amano, E., Messias-Reason, I. J. de T., & Pontarolo, R. (2019). Morpho-anatomy of the inflorescence of *Musa paradisiaca*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(2), 147–151. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2019.01.003>
- Wang, M., Farnham, M. W., & Nannes, J. S. P. (2008). Ploidy of broccoli regenerated from microspore culture versus anther culture. *Plant Breeding*, 118(3), 249–252. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.1999.118003249.x>
- Wang, T. T., Li, H. X., Zhang, J., Ouyang, B., Lu, Y., & Ye, Z. (2009). Initiation and development of microspore embryogenesis in recalcitrant purple flowering stalk (*Brassica campestris* ssp. *chinensis* var. *purpurea* Hort) genotypes. *Scientia Horticulturae*, 121(4), 419–424. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.012>
- Weigt, D., Niemann, J., Siatkowski, I., Zyprych-Walczak, J., Olejnik, P., & Kurasiak-Popowska, D. (2019). Effect of zearalenone and hormone regulators on microspore embryogenesis in anther culture of wheat. *Plants*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/plants8110487>