

EFEKTIVITAS PERLAKUAN SKARIFIKASI DAN PLASMA FINE BUBBLES UNTUK PERBAIKAN VIABILITAS DAN VIGOR BENIH KRASIKARPA (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth.)

SALSABILA WIDYANTI



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Efektivitas Perlakuan Skarifikasi dan Plasma *Fine Bubbles* untuk Perbaikan Viabilitas dan Vigor Benih Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juni 2023

Salsabila Widyanti

F14190045

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

SALSABILA WIDYANTI. Efektivitas Perlakuan Skarifikasi dan Plasma *Fine Bubbles* untuk Perbaikan Viabilitas dan Vigor Benih Krasikarpa (*Acacia crasscarpa* A. Cunn. Ex Benth). Dibimbing oleh Y. ARIS PURWANTO dan DEDE J. SUDRAJAT.

Krasikarpa (*Acacia crasscarpa* A. Cunn. Ex Benth.) adalah salah satu jenis tanaman cepat tumbuh unggulan untuk pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI) di Indonesia karena memiliki peran penting dalam pengembangan industri kayu serat. Jenis ini memiliki manfaat cukup luas, seperti dapat digunakan sebagai naungan, fiksasi nitrogen udara, dan pencegahan erosi. Bagian kayunya dapat dijadikan sumber bahan baku *pulp* dan kertas, bahan kayu bakar, konstruksi bangunan, mebel dan kapal. Kendala utama budidaya krasikarpa adalah benihnya termasuk ortodok dengan kulit yang keras dan tebal. Meskipun benih ini mampu disimpan dalam kurun waktu yang lama namun viabilitas benih akan semakin menurun karena benih tetap melakukan respirasi selama masa simpan. Salah satu cara untuk meningkatkan perkecambahan pada benih adalah dengan perlakuan skarifikasi dan pemanfaatan teknologi plasma *fine bubbles*. Penelitian ini bertujuan menganalisis kombinasi perlakuan skarifikasi dan teknologi plasma *fine bubbles* untuk perbaikan viabilitas dan vigor benih krasikarpa. Rancangan acak lengkap pola faktorial digunakan untuk menguji pengaruh perlakuan skarifikasi benih dengan air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, larutan H₂SO₄ 98% selama 15 menit, 20 menit, dan 25 menit dan perlakuan plasma *fine bubbles* dengan konsentrasi ozon 2 ppm dan 3 ppm selama 5 menit dan 10 menit. Parameter perkecambahan yang diamati adalah daya berkecambah, kecepatan berkecambah, rata – rata waktu berkecambah, nilai perkecambahan, panjang radikula, panjang hipokotil, panjang keseluruhan kecambah, dan indeks vigor. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata pada kecepatan berkecambah, rata – rata waktu berkecambah, nilai perkecambahan, panjang hipokotil, panjang radikula, panjang keseluruhan kecambah, dan indeks vigor. Perlakuan yang paling efektif untuk meningkatkan viabilitas dan vigor terdapat pada kombinasi perlakuan skarifikasi larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit dengan nilai daya berkecambah (90,75%), kecepatan berkecambah (20,28%/hari), panjang radikula (6,31 cm), panjang keseluruhan kecambah (12,20 cm), dan indeks vigor (11,07).

Kata kunci : Krasikarpa, perkecambahan, plasma *fine bubbles*, skarifikasi, viabilitas



ABSTRACT

SALSABILA WIDYANTI. Combination of Scarification and Plasma Fine Bubbles for Viability Improvement and Vigor of Krasikarpa Seeds (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth). Supervised by Y. ARIS PURWANTO dan DEDE J. SUDRAJAT.

Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth.) is a superior fast-growing tree species for establishment of industrial plantation forest in Indonesia because it has an important role in the development of the fiber wood industry. The benefits of this species are quite extensive, such as being used as shade, fixing air nitrogen, and preventing erosion. The wood part can be used as a source of raw materials *pulp* and paper, fuelwood, building construction, furniture and ships. The main obstacle to krasikarpa cultivation is that the seeds are of the orthodox with a hard and thick seed coat. Even though these seeds can be stored for a long time, the viability of the seeds will decrease because the seeds continue to respire during their shelf life. One way to improve seed germination is by treating scarification and using plasma *fine bubbles* technology. This study aims to analyze the combination of scarification treatment and plasma *fine bubbles* technology to improve the viability and vigor of Krasikarpa seeds. Completely randomized design with factorial pattern was used to test the effect of seed scarification treatment with 80°C water and chill for 24 hours, H₂SO₄ solution 98% for 15 minutes, 20 minutes, and 25 minutes and plasma *fine bubbles* treatment with ozone concentrations of 2 ppm and 3 ppm for 5 minutes and 10 minutes. Germination parameters observed were germination power, germination speed, average germination time, germination value, radicle length, hypocotyl length, overall length of sprouts, and vigor index. The results showed a combination of scarification and plasma *fine bubbles* treatment gave a significant effect on germination rate, average germination time, germination value, hypocotyl length, radicle length, overall length of sprouts, and vigor index. The most effective treatment to increase viability and vigor is in the combination of scarification H₂SO₄ solution treatment for 25 minutes with plasma *fine bubbles* concentration of 3 ppm for 10 minutes with germination rate (90.75%), germination rate (20.28%/day), radicle length (6.31 cm), overall sprout length (12.20 cm), and vigor index (11.07).

Keywords: Germination, crassicarpa, plasma *fine bubbles*, scarification, viability



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2023
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**EFEKTIVITAS PERLAKUAN SKARIFIKASI DAN PLASMA
FINE BUBBLES UNTUK PERBAIKAN VIABILITAS DAN
VIGOR BENIH KRASIKARPA (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex
Benth.)**

SALSABILA WIDYANTI

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Muhamad Yulianto, ST, MT



Judul : Efektivitas Perlakuan Skarifikasi dan Plasma *Fine Bubbles* untuk Perbaikan Viabilitas dan Vigor Benih Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth)
Nama : Salsabila Widyanti
NIM : F14190045

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc

Pembimbing 2:
Dr. Dede J. Sudrajat, S.Hut. MT.



Diketahui oleh

Ketua Departemen
Teknik Mesin dan Biosistem:
Dr. Ir. Edy Hartulistyoso, M.Sc
NIP. 19630425198903 1 001



Tanggal Ujian:
27 Juni 2023

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2023 sampai bulan April 2023 ini ialah teknologi dengan judul “Efektivitas Perlakuan Skarifikasi dan Plasma *Fine Bubbles* untuk Perbaikan Viabilitas dan Vigor Benih Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth)”.

Kelancaran penulisan skripsi ini karena adanya pihak – pihak yang memberikan bantuan dan dukungan sehingga kendala – kendala yang terjadi dapat teratasi dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Budi Mulya dan Ibu Dyah Werdiningrum sebagai orang tua dari penulis dan Kak Dira, Biyi, dan Adya sebagai saudara kandung penulis yang telah memberikan dukungan doa selama penulis menempuh pendidikan dan penelitian
2. Prof. Dr. Ir. Y. Aris Purwanto, M.Sc., dan Dr. Dede J. Sudrajat, S.Hut. MT. sebagai pembimbing yang telah memberikan pengarahan kepada penulis
3. Dosen, teknisi, dan staf dari Departemen Teknik Mesin dan Biosistem yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama kegiatan perkuliahan
4. Bu Neng dan Pa Abay selaku staf dari Laboratorium Pengujian Benih, Balai Penerapan Standar dan Instrument Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BPSILHK) Bogor
5. Gendis, Hani, Kanya dan Marisa selaku teman dekat penulis yang telah menemani, membantu, dan memberikan dukungan kepada penulis
6. Ratna, Soraya, Ivanka, Hanipan, Yosua, Ansa, dan seluruh teman dari MANEUVER 56 yang telah membantu penelitian ini.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juni 2023

Salsabila Widyanti



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Akasia Krasikarpa (<i>Acacia crassicarpa</i> A. Cunn. Ex Benth)	4
2.2 Viabilitas dan Vigor Benih	5
2.3 Skarifikasi	5
2.4 Teknologi Plasma <i>Fine Bubbles</i>	6
III METODE	7
3.1 Waktu dan Tempat	7
3.2 Bahan dan Alat	7
3.3 Tahapan Penelitian	8
3.4 Analisis Data	14
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Hasil	15
4.2 Pembahasan	25
V SIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Simpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	33
RIWAYAT HIDUP	38



DAFTAR TABEL

1	Tabel 1 Daya berkecambah pada beberapa perlakuan plasma <i>fine bubbles</i>	16
2	Tabel 2 Daya berkecambah pada beberapa perlakuan skarifikasi	16
3	Tabel 3 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap kecepatan berkecambah	17
4	Tabel 4 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap rata – rata waktu berkecambah	19
5	Tabel 5 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap nilai perkecambahan	20
6	Tabel 6 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap panjang hipokotil (cm)	21
7	Tabel 7 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap panjang radikula (cm)	22
8	Tabel 8 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap panjang keseluruhan kecambah (cm)	24
9	Tabel 9 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap indeks vigor	25

DAFTAR GAMBAR

10	Gambar 1 Benih krasikarpa (<i>Acacia crassicarpa</i> A. Cunn. Ex Benth.)	4
11	Gambar 2 Plasma <i>fine bubbles</i>	6
12	Gambar 3 (a) <i>Ozon generator</i> (b) oksigen <i>concentrator</i> (c) <i>dissolved ozon detector</i>	7
13	Gambar 4 Tahapan penelitian	8
14	Gambar 5 Kombinasi perlakuan antara skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	9
15	Gambar 6 Benih yang direndam air panas	10
16	Gambar 7 Skarifikasi dengan H ₂ SO ₄ selama; (a) 15 menit (b) 20 menit (c) 25 menit. (d) benih setelah proses skarifikasi	11
17	Gambar 8 Pengukuran kandungan ozon	11
18	Gambar 9 Prosedur kerja teknologi plasma <i>fine bubbles</i>	12
19	Gambar 10 Perendaman benih krasikarpa pada plasma <i>fine bubbles</i> ; (a) 2ppm (b) 3 ppm	13
20	Gambar 11 Benih krasikarpa yang telah disimpan di germinator	13
21	Gambar 12 Daya berkecambah benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	15
22	Gambar 13 Kecepatan berkecambah benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	17
23	Gambar 14 Rata – rata waktu berkecambah benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	18
24	Gambar 15 Nilai perkecambahan benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	19
25	Gambar 16 Panjang hipokotil krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	20

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

26	Gambar 17 Panjang radikula krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	22
27	Gambar 18 Panjang keseluruhan kecambah krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	23
28	Gambar 19 Panjang kecambah kontrol dan terbaik dari setiap perlakuan	23
29	Gambar 20 Indeks vigor benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma <i>fine bubbles</i>	24

DAFTAR LAMPIRAN

30	Lampiran 1 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap daya berkecambah	33
31	Lampiran 2 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap kecepatan berkecambah	33
32	Lampiran 3 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap rata – rata waktu berkecambah	34
33	Lampiran 4 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap nilai perkecambahan	34
34	Lampiran 5 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap panjang hipokotil	35
35	Lampiran 6 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap panjang radikula	35
36	Lampiran 7 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap panjang keseluruhan kecambah	36
37	Lampiran 8 Uji keragaman interaksi antara skarifikasi dengan plasma <i>fine bubbles</i> terhadap indeks vigor	36
38	Lampiran 9 Dokumentasi hari ke-15	37

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hutan merupakan lahan yang berisikan sumberdaya yang dapat digunakan oleh makhluk hidup yang memiliki nilai ekonomi, religius, politik, sosial dan budaya. Fungsi hutan bagi kehidupan manusia adalah sebagai sumber oksigen, mata air, kayu – kayu atau rotan, makanan seperti buah, sayur, dan hewan ternak. Bagi manusia, kelangsungan hidup sangat bergantung pada ketersediaan sumberdaya hutan. Namun, kerusakan hutan di Indonesia cukup tinggi. Menurut Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, hutan di Indonesia menyusut 1,1 juta hektar setiap tahunnya. Ancaman terbesar bagi hutan di Indonesia adalah kebakaran hutan, penebangan liar, alih fungsi menjadi kebun dan eksploitasi secara tidak baik (Jazuli 2014). Salah satu upaya pemerintah akan masalah ini adalah pembangunan Hutan Tanaman Industri (HTI) sehingga dapat mengurangi tekanan terhadap kerusakan hutan alam, menghijaukan kembali hutan terdegradasi dan industri hasil hutan dapat berkembang dengan secara optimal.

Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth.) adalah salah satu jenis tanaman yang dikembangkan untuk HTI di Indonesia karena memiliki peran penting dalam pengembangan industri kayu serat. Krasikarpa tergolong dalam famili Fabaceae yang memiliki pertumbuhan yang cepat, mempunyai adaptasi yang luas dan tahan terhadap kondisi yang kurang mendukung, sehingga mulai banyak direkomendasikan untuk ditanam dalam rangka rehabilitasi lahan kritis maupun pembangunan HTI. Krasikarpa merupakan salah satu jenis tanaman yang cepat tumbuh di HTI, selain mangium (*Acacia mangium*) dan ekaliptus (*Eucalyptus pellita*) (Akbar *et al.* 2019). Jenis ini banyak merupakan unggulan hutan tanaman di lahan basah, seperti rawa atau rawa gambut (Ratna *et al.* 2008; Lisnawati *et al.* 2015). Akasia jenis ini menjadi salah satu pohon yang paling banyak ditanam pada tahun 2013, yaitu mencapai 700.000 ha (Nambiar dan Harwood 2014). Manfaat dari akasia jenis ini cukup luas, seperti dapat digunakan sebagai naungan, fiksasi nitrogen udara, dan pencegahan erosi. Bagian kayunya dapat dijadikan sumber bahan baku *pulp* dan kertas, bahan kayu bakar, konstruksi bangunan, mebel dan kapal (Doran dan Turnbull 1997). Produksi kayu akasia selama 2016 sampai 2020 mengalami peningkatan dalam jumlah cukup besar, yaitu 22,54 juta m³ tahun 2016, 30,98 juta m³ tahun 2017, 31,52 juta m³ tahun 2018, 31,51 juta m³ tahun 2019, dan 31,98 juta m³ tahun 2020 (BPS 2021).

Kendala utama budidaya krasikarpa adalah benihnya termasuk jenis ortodok dengan kulit yang keras dan tebal. Meskipun benih ini mampu disimpan dalam kurun waktu yang lama namun viabilitas benih akan semakin menurun karena benih tetap melakukan respirasi selama masa simpan (Djamhuri *et al.* 2012). Penanganan benih untuk memperbaiki viabilitas benih krasikarpa sudah banyak dilakukan dengan berbagai perlakuan. Menurut Yuniarti *et al.* (2013), benih krasikarpa yang diberikan perlakuan dengan cara dicabik memiliki daya perkecambahan sebesar 96%, namun metode ini tidak efisien secara operasional karena benih yang digunakan dalam jumlah sangat besar. Purnomosidhi *et al.* (2013) menyatakan bahwa penanganan benih berkulit tebal dan keras dapat dilakukan dengan perendaman larutan kimia seperti asam sulfat (H₂SO₄), asam klorida (HCl), dan hidrogen peroksida (H₂O₂). Penanganan dengan metode skarifikasi kimia pada benih krasikarpa dengan merendamnya dalam larutan H₂SO₄ selama 30 menit sudah dilakukan Yuniarti *et al.* (2013) yang menghasilkan daya

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

perkecambahan sebesar 68% menggunakan metode uji di atas kertas (UDK) dengan germinator. Secara operasional di beberapa HTI, pemecahan dormansi fisik benih krasikarpa dilakukan dengan perendaman benih dalam larutan H_2SO_4 98% selama 15 menit, namun masih banyak menyisakan benih tidak berkecambah. Sementara, ISTA (2012) merekomendasikan perlakuan pengujian daya berkecambah benih krasikarpa dengan perendaman H_2SO_4 selama 5 menit. Perbedaan tersebut tentunya perlu validasi dan pengujian kembali sehingga mendapatkan hasil yang optimal karena perlakuan yang tidak tepat, seperti perendaman yang terlalu lama dapat merusak benih.

Menurut Suyatmi *et al.* (2011), perendaman menggunakan H_2SO_4 hanya mempengaruhi pelunakan kulit benih dan tidak mempengaruhi proses perkecambahan benih karena pelunakan tidak sampai pada embrio benih. Untuk itu, perlakuan untuk merangsang perkecambahan benih sangat diperlukan, seperti teknik invigorasi benih. Salah satu teknologi invigorasi benih yang relatif baru adalah teknologi plasma *fine bubbles*. Teknologi plasma *fine bubbles* dapat menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) dengan meradiasikan air dengan memanfaatkan plasma. Studi terbaru tentang fisiologi benih membuktikan bahwa ROS memiliki peran penting dalam pemberi sinyal sel yang mendukung perkecambahan dan dormansi benih (Kumar *et al.* 2015). Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang pengaruh ozon dalam pembentukan ROS dalam mempercepat perkecambahan benih tomat oleh Sudhakar *et al.* (2011) bahwa perlakuan gas ozon pada benih tomat dapat mempercepat perkecambahan dengan mematahkan dormansi benih terlebih dahulu. Penelitian sebelumnya mengenai efektivitas perlakuan *ultrafine bubble water* dalam mematahkan dormansi benih padi oleh Iswara *et al.* (2018) menyatakan bahwa *ultrafine bubble water* dapat mematahkan dormansi fisiologi benih padi. Kombinasi antara perlakuan skarifikasi H_2SO_4 yang tepat dengan invigorasi menggunakan teknologi plasma *fine bubbles* diharapkan mampu meningkatkan perkecambahan benih krasikarpa lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Menurut Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, hutan di Indonesia menyusut 1,1 juta hektar setiap tahunnya. Salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi tekanan terhadap hutan alam dan meningkatkan produksi kayu adalah pembangunan HTI sehingga industri hasil hutan dapat berkembang dengan pesat. Krasikarpa merupakan salah satu jenis tanaman hutan yang dikembangkan untuk HTI karena memiliki produktivitas dan adaptasi yang tinggi, khususnya di lahan basah (rawa atau rawa gambut). Kendala utama pada penanaman krasikarpa adalah pada ketersediaan benih berkualitas dan menurunnya produksi benih sebagai akibat berubahnya pola curah hujan (perubahan iklim). Selain itu, teknik perkecambahannya pun sering mengalami kendala. Kulit benih yang tebal dan keras memerlukan perlakuan khusus untuk mendapatkan hasil perkecambahan yang lebih optimal, seperti perlakuan skarifikasi. Penyimpanan benih krasikarpa juga dapat menurunkan viabilitas dan vigor benih sehingga kemampuan benih untuk berkecambah menjadi menurun. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan kombinasi antara metode skarifikasi dan teknologi plasma *fine bubbles*. Penerapan kombinasi kedua perlakuan tersebut diharapkan dapat meningkatkan viabilitas dan vigor benih krasikarpa.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan menganalisis kombinasi perlakuan skarifikasi dan teknologi plasma *fine bubbles* untuk perbaikan viabilitas dan vigor benih krasikarpa. Perlakuan skarifikasi dengan merendam benih pada air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam dan merendam benih dengan larutan H₂SO₄ 98% selama 15 menit, 20 menit, dan 25 menit dengan kombinasi teknologi plasma *fine bubbles* 2 ppm dan 3 ppm selama 5 menit dan 10 menit.

1.4 Manfaat

Penelitian ini bermanfaat untuk menemukan metode baru yang lebih efektif pada peningkatan viabilitas dan vigor benih krasikarpa dengan kombinasi perlakuan, yaitu skarifikasi dengan larutan H₂SO₄ dan penerapan teknologi plasma *fine bubbles* sehingga dapat digunakan untuk persemaian benih krasikarpa.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Akasia Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth)

Krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth) pertama kali dipublikasikan pada tahu 1842. Klasifikasi *Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth adalah Kingdom Plantae, Divisi Magnoliophyta, Class Magnoliopsida, Ordo Fabales, Famili Fabaceae, Genus *Acacia*, Spesies *Acacia crassicarpa*. Krasikarpa merupakan salah satu dari jenis tanaman tropik yang dapat tumbuh dengan cepat dengan berbagai keadaan tanah, dapat memperbaiki nitrogen, tahan terhadap api, dan kompetisi dengan gulma (Nurazizah 2004). Banyak dijumpai di bagian timur laut Queensland Australia, bara daya Papua New Guinea, dan beberapa bagian tenggara Papua Indonesia. Tanaman ini dapat tumbuh pada ketinggian 5 – 200 mdpl dan ketinggian 450 mdpl di dekat laut dengan curah hujan 1000 – 3500 mm/tahun (Doran dan Turnbull 1997). Sebaran lainnya dapat dilihat dari letak astronomisnya yang terdapat pada 8 – 12° LS, dengan iklim humid dan subhumid suhu maksimum rata – rata musim panas 32 - 34°C, suhu minimum rata – rata musim dingin 12 - 21°C dan suhu harian 32°C. Krasikarpa akan berbunga pada rentang Juli hingga September, dan akan berbuah pada rentang Januari hingga April. Krasikarpa dapat tumbuh pada tanah dengan pH asam yaitu 3,5 dan kondisi lingkungan yang kurang baik (Widyati 2007). Akasia jenis ini banyak dipilih untuk rehabilitasi lahan kritis dan konservasi tanah karena kemampuannya yang baik untuk tumbuh di berbagai jenis dan kondisi lahan. Krasikarpa termasuk pada golongan pohon dengan tinggi 20 – 30 m. Memiliki diameter pohon mencapai 50 cm dengan kulit batang luar berwarna coklat keabuan dan kulit batang dalamnya berwarna kemerahan. Benihnya berbentuk bulat lonjong dengan warna hitam mengkilat, dengan panjang 5 – 6 mm dan lebar 2 – 3 mm seperti pada Gambar 1. Bagian dari tanaman ini yang dapat dimanfaatkan yaitu kayu yang dapat dijadikan sebagai bahan baku kertas atau *pulp*, bahan kayu bakar, konstruksi bangunan, mebel dan kapal (Doran dan Turnbull 1997).



Gambar 1 Benih krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth.)

2.2 Viabilitas dan Vigor Benih

Perkecambahan benih berkaitan erat dengan viabilitas dan vigor benih. Viabilitas dan vigor menjadi indikator dari mutu benih, semakin tinggi viabilitas dan vigor benih maka mutu benih akan semakin tinggi. Ukuran benih menjadi indikator dari viabilitas dan vigor benih, benih yang berat umumnya mempunyai vigor yang lebih baik dibandingkan benih yang ringan (Sandi *et al.* 2014). Viabilitas benih adalah kemampuan atau daya hidup benih untuk tumbuh menjadi kecambah dengan nama lain daya kecambah benih, persentase kecambah benih atau daya tumbuh benih (Sari dan Faisal 2017). Parameter yang umum digunakan untuk viabilitas benih adalah persentase perkecambahan yang cepat dan pertumbuhan perkecambahan yang kuat. Daya berkecambah dapat menggambarkan viabilitas dari suatu benih karena melihat kemampuan benih untuk berkecambah dan menghasilkan bibit normal (Dewi 2015). Vigor benih merupakan kemampuan benih untuk menghasilkan tanaman normal dan dapat disimpan pada lingkungan yang suboptimal (Sadjad 1997). Benih yang memiliki nilai vigor yang tinggi akan berkecambah dengan normal pada lingkungan suboptimal dan memiliki kemampuan untuk tumbuh cepat dan serempak. Indikator dari vigor kekuatan benih dapat dilihat dari kecepatan benih karena benih yang memiliki kemampuan untuk berkecambah dengan cepat akan tahan terhadap lingkungan yang suboptimal (Lesilolo *et al.* 2013).

2.3 Skarifikasi

Skarifikasi merupakan salah satu cara untuk mematahkan dormansi pada benih yang memiliki kulit keras karena dapat meningkatkan imbibisi benih (Widhithyarani *et al.* 2013). Skarifikasi dapat dilakukan dengan perlakuan mekanis, seperti penusukan, pemecahan, pengikiran, penggoresan dan dengan bantuan pisau atau jarum. Perlakuan lainnya dengan menggunakan air panas. Skarifikasi menggunakan air panas (80°C) dapat mematahkan dormansi pada benih tanaman hutan, seperti *Acacia* sp. (Sudrajat *et al.* 2017). Pelunakan kulit benih dapat dilakukan dengan perendaman dengan air panas sehingga pori – pori kulit benih dapat terbuka sehingga terjadi peningkatan pada proses imbibisi (Sandi *et al.* 2014). Perlakuan lainnya adalah perlakuan kimia menggunakan larutan asam kuat, seperti penggunaan H₂SO₄, HCl, dan H₂O₂ dengan konsentrasi tinggi. Penggunaan zat kimia dapat merangsang pertumbuhan embrio atau kulit dari benih menjadi lunak sehingga dapat air dapat masuk dengan mudah saat proses imbibisi. Larutan asam kuat yang sering digunakan untuk skarifikasi merupakan asam sulfat (H₂SO₄) yang dapat memecahkan dormansi benih dengan variasi konsentrasi tertentu sesuai dengan kondisi benih yang akan digunakan (Fahmi 2012). Waktu perendaman pada larutan asam pekat juga perlu diperhatikan dengan melihat kondisi sehingga tidak akan merusak benih yang digunakan. Benih yang sudah disimpan dalam waktu yang lamaperlu perlakuan dengan perendaman yang lebih lama dibandingkan benih yang masih segar (Bhanu 2009).

2.4 Teknologi Plasma *Fine Bubbles*

Teknologi *fine bubbles* merupakan teknologi yang menghasilkan gelembung – gelembung air *ultrafine bubbles* (UFB) yang memiliki diameter kurang dari 100 μm dengan ukuran yang berbeda – beda dan bersifat invisible (Liu *et al.* 2016). Air *ultrafine bubbles* merupakan gelembung udara halus yang mengandung *Reactive Oxygen Species* (ROS). Teknologi plasma *fine bubbles* juga menghasilkan *ultrafine bubbles* dengan kandungan ozon dan ROS dengan penerapan reaktor ozon plasma *nanobubbles*. Ozon merupakan molekul yang berwarna kebiruan dengan sifat yang mudah menguap pada suhu ruang. Penggunaan listrik tegangan tinggi dan sinar ultraviolet dapat menghasilkan ozon dari reaksi oksigen (Miller *et al.* 2013 dalam Harvin 2021). Plasma *fine bubbles* menghasilkan ROS yang mengandung ozon dan diteruskan ke *nanobubble nozzle* untuk membentuk UFB. ROS yang dihasilkan oleh *fine bubbles* memiliki peran penting dalam perkecambahan benih dengan memberikan fasilitas berupa dinding sel yang dibutuhkan untuk ekstensi sel. ROS dengan jumlah yang tepat akan meningkatkan fisiologis organisme hidup (Purwanto *et al.* 2019). Teknologi ini telah banyak digunakan pada bidang sains industri, pertanian, kedokteran, limbah pengolahan air, sterilisasi, dan industri makanan.



Gambar 2 Plasma *fine bubbles*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

III METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Januari hingga Maret 2023. Lokasi penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Benih, Balai Penerapan Standar dan Instrument Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BPSILHK) Bogor dan Techno Park, Institut Pertanian Bogor.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah benih krasikarpa sebanyak 10.000 benih, larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 98%, air, dan kertas merang. Benih krasikarpa dikumpulkan dari area produksi benih krasikarpa di Desa Mandi Angin, Kecamatan Minas, Siak, Riau (0.83067 N, 101.47392 E). Benih tersebut diproses dan disimpan di Laboratorium Pengujian Benih Balai Penerapan Standar dan Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Bogor pada kadar air 7.2% selama 2 tahun.

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah plasma *fine bubbles* yang terdiri dari *ozon generator* dan oksigen *concentrator* yang berfungsi untuk memproduksi air *fine bubbles* yang mengandung ozon dan *dissolved ozon detector* untuk mengukur konsentrasi ozon. Alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Alat lain yang dibutuhkan adalah germinator untuk benih yang akan disemai. Peralatan lain yang digunakan, yaitu oven, cawan petri, kontainer, gelas ukur, gunting, plastik, dan pinset.



(a)



(b)

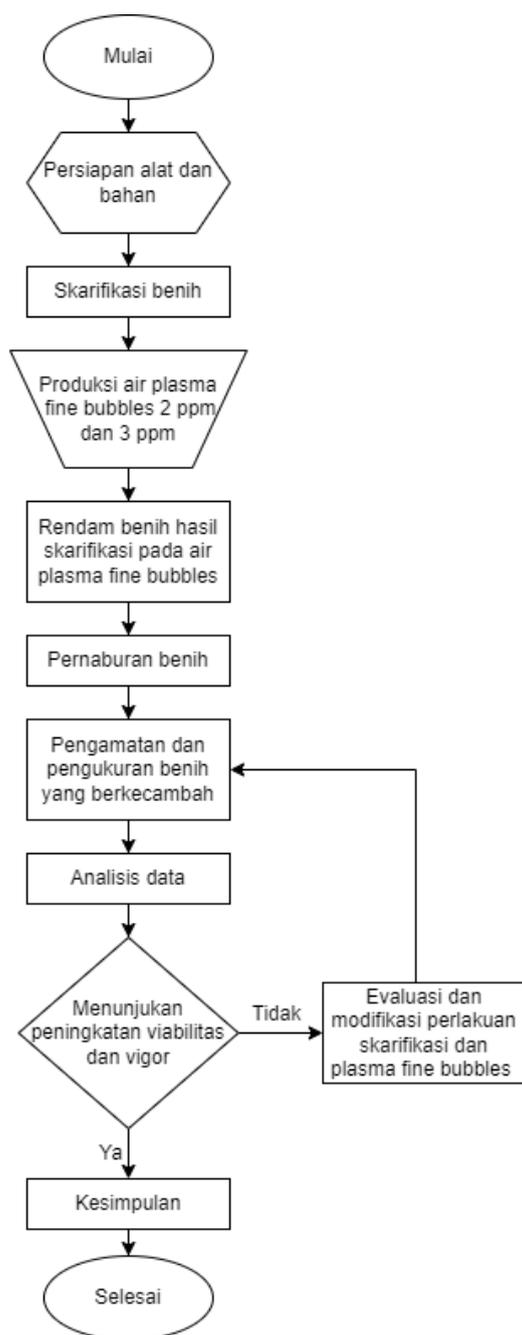


(c)

Gambar 3 (a) *Ozon generator* (b) oksigen *concentrator* (c) *dissolved ozon detector*

3.3 Tahapan Penelitian

Benih krasikarpa yang sudah disediakan akan disortasi terlebih dahulu dengan memisahkan benih dengan kualitas yang baik dan kurang baik. Salah satu indikator benih krasikarpa yang berkualitas baik yaitu berwarna hitam mengkilap. Sebanyak 10,000 benih krasikarpa yang sudah disortasi akan diberikan 25 perlakuan dengan masing – masing perlakuan menggunakan 100 benih dengan 4 ulangan pada setiap perlakuan. Setelah perlakuan selesai, benih ditabur pada cawan petri yang berisikan kertas merang basah lalu disimpan dalam germinator tipe IPB 73-2A/B. Pengamatan perkecambahan benih dilakukan setiap 2 hari sekali selama 15 hari setelah penaburan. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

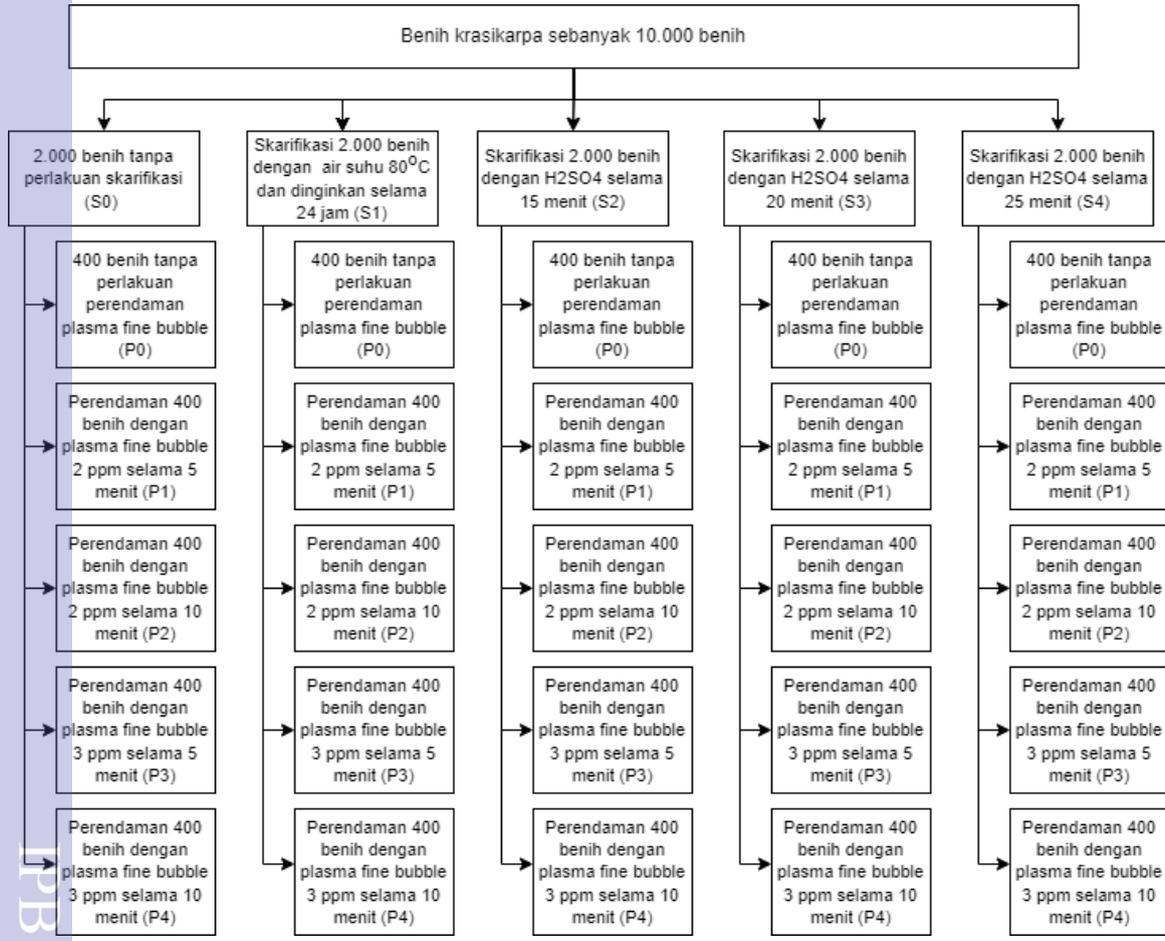


Gambar 4 Tahapan penelitian

Ozon dengan konsentrasi 0,01 – 4 ppm aman digunakan di bidang pertanian kesehatan, industri, dan lingkungan. Konsentrasi ozon untuk perkecambahan benih dapat menggunakan konsentrasi yang rendah karena dapat mematahkan dormansi benih dengan waktu yang singkat dengan menurunkan kandungan asam absisat (hormon tanaman) pada benih sehingga benih lebih cepat untuk berkecambah (Rifna *et al.* 2019). Perlakuan skarifikasi menggunakan larutan H₂SO₄ dan perendaman dengan air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam dapat mematahkan dormansi benih krasikarpa (Sudrajat 2010).

Berikut merupakan perlakuan benih krasikarpa dan diagram alir kombinasi perlakuan (Gambar 5):

1. Perlakuan skarifikasi (S)
 - a. Kontrol = S0
 - b. Rendam benih pada air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam = S1
 - c. Rendam menggunakan larutan H₂SO₄ 98% selama 15 menit = S2
 - d. Rendam menggunakan larutan H₂SO₄ 98% selama 20 menit = S3
 - e. Rendam menggunakan larutan H₂SO₄ 98% selama 25 menit = S4
2. Perlakuan aplikasi plasma *fine bubbles* (P)
 - a. Kontrol = P0
 - b. Rendam dengan plasma *fine bubbles* 2 ppm selama 5 menit = P1
 - c. Rendam dengan plasma *fine bubbles* 2 ppm selama 10 menit = P2
 - d. Rendam dengan plasma *fine bubbles* 3 ppm selama 5 menit = P3
 - e. Rendam dengan plasma *fine bubbles* 3 ppm selama 10 menit = P4



Gambar 5 Kombinasi perlakuan antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

3.3.1 Skarifikasi Benih Krasikarpa

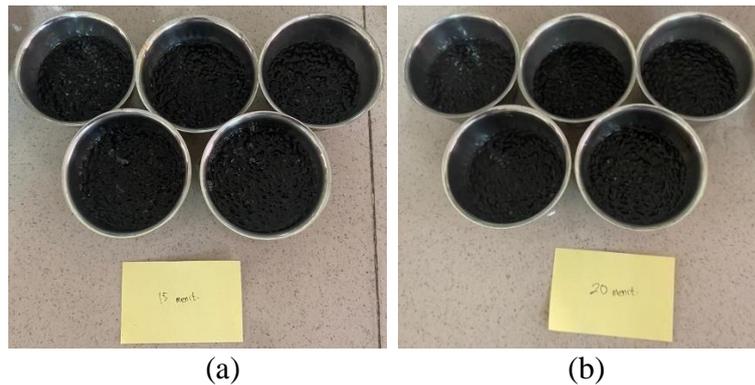
- a. Skarifikasi rendam benih pada air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam
Perlakuan dengan merendam benih pada air panas dan dibiarkan selama 24 jam hingga dingin dapat meningkatkan daya dan kecepatan berkecambah dari benih sawo kecik (Sudrajat dan Megawati 2010). Skarifikasi ini dilakukan dengan merendam benih dengan air panas dengan suhu 80°C pada gelas beaker dan dibiarkan dingin selama 24 jam seperti pada Gambar 6.

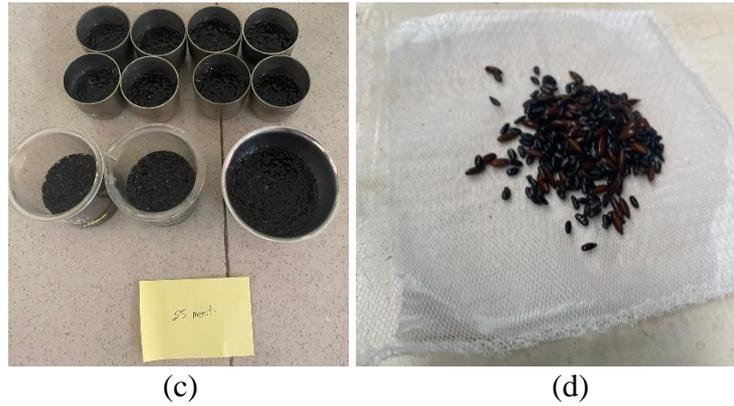


Gambar 6 Benih yang direndam air panas

- b. Skarifikasi rendam menggunakan larutan H₂SO₄ 98% selama 15, 20, dan 25 menit

Skarifikasi dengan larutan H₂SO₄ yang pekat dapat mematahkan dormansi benih *Acacia sp.* (Sudrajat *et al.* 2015). Perlakuan ini dilakukan dengan merendam benih dengan H₂SO₄ konsentrasi 98% yang sudah disiapkan pada media rendam (wadah besi atau gelas beaker). Perendaman dilakukan selama 15, 20, dan 25 menit. Setelah perendaman selesai, benih disaring menggunakan saringan besi dan dibilas menggunakan air yang mengalir untuk menghilangkan residu H₂SO₄ pada benih. Proses perendaman benih krasikarpa dapat dilihat pada Gambar 7.





Gambar 7 Skarifikasi dengan H_2SO_4 selama; (a) 15 menit (b) 20 menit (c) 25 menit. (d) benih setelah proses skarifikasi

3.3.2 Produksi Air Plasma *Fine Bubbles*

Plasma *fine bubbles* dipersiapkan untuk memproduksi air plasma *fine bubbles* dengan kandungan ozon. Langkah awal adalah mengisi air pada wadah sebanyak 10 liter. Selanjutnya menyalakan ozon generator dan oksigen concentrator, memasang selang antara dua alat tersebut, dan meletakkan selang lainnya ke wadah yang sudah diisi air sehingga ozon akan mengalir. Ketika semua sudah siap, aktifkan tombol ozon dan oksigen pada ozon generator. Proses pembuatan ozon dilakukan selama 2 - 5 menit, jika air sudah berubah warna menjadi putih susu maka ozon sudah mengalir. Ozon tersebut akan diukur menggunakan *dissolved ozone detector* seperti pada Gambar 8. Konsentrasi ozon dapat diatur pada flowmeter sesuai dengan kebutuhan. Perendaman ini menggunakan konsentrasi ozon 2 ppm dan 3 ppm dengan masing – masing direndam selama 5 menit dan 10 menit. Prosedur kerja teknologi plasma *fine bubbles* dapat dilihat pada Gambar 9.



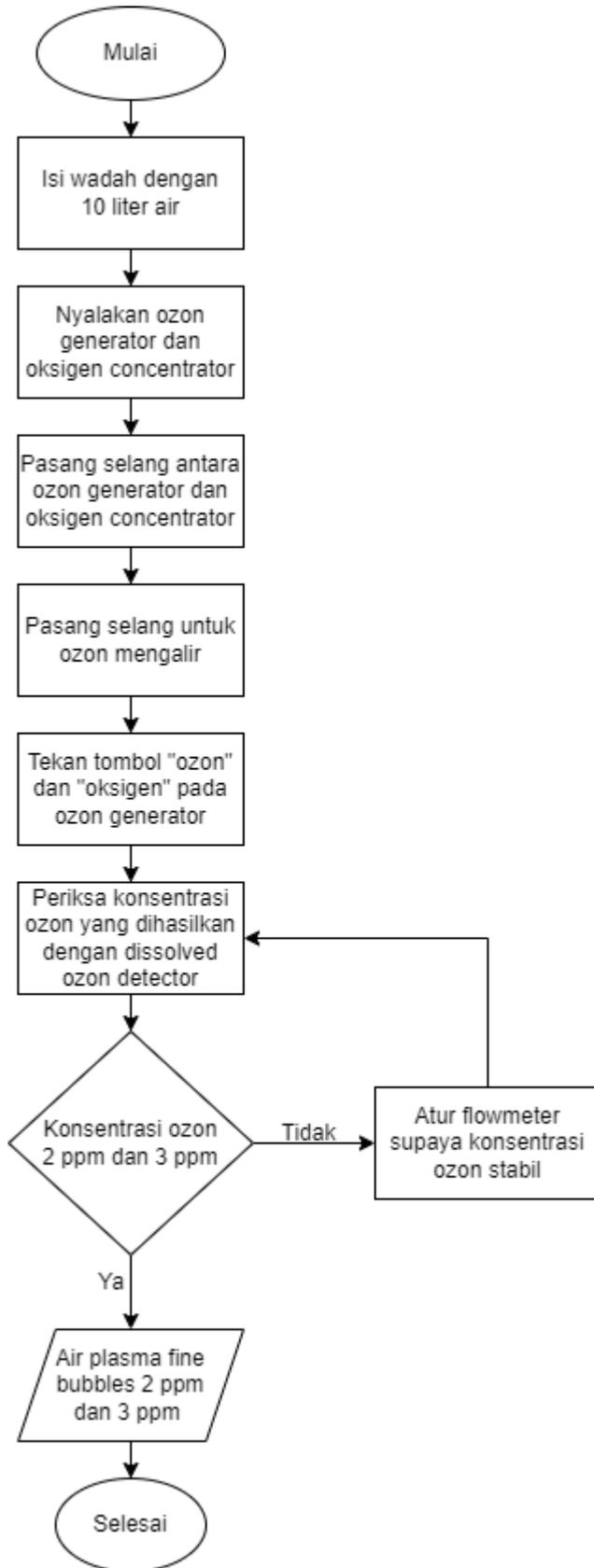
Gambar 8 Pengukuran kandungan ozon

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 9 Prosedur kerja teknologi plasma *fine bubbles*

3.3.3 Perendaman Benih Krasikarpa

Perendaman benih dilakukan dengan air plasma *fine bubbles* dengan konsentrasi ozon terlarut 2 ppm selama 5 dan 10 menit, dan dengan air plasma *fine bubbles* dengan konsentrasi ozon terlarut 3 ppm selama 5 dan 10 menit. Proses perendaman benih pada plasma *fine bubbles* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Perendaman benih krasikarpa pada plasma *fine bubbles*; (a) 2ppm
(b) 3 ppm

3.3.4 Penaburan Benih Krasikarpa

Menurut Sudrajat *et al.* (2015) dalam Rabbani (2022), penggunaan metode uji di atas kertas (UDK) pada germinator dapat meningkatkan rata - rata daya perkecambahan benih hingga 70%. Perkecambahan benih dilakukan dengan metode UDK menggunakan cawan petri dan kertas merang lalu disimpan dalam germinator yang dapat dilihat pada Gambar 11. Sebelumnya cawan petri dan kertas merang sudah melalui proses sterilisasi menggunakan oven pada suhu 103°C selama 2 jam agar tidak ada pertumbuhan jamur. Setiap cawan petri diisi dengan 3 kertas merang yang dibasahi akuades, lalu 100 benih ditabur di atasnya.



Gambar 11 Benih krasikarpa yang telah disimpan di germinator

3.3.5 Perkecambahan Benih Krasikarpa

Perkecambahan benih berlangsung 15 hari dengan setiap 2 hari dilakukan pengamatan dan penyiraman menggunakan akuades untuk menjaga kelembaban benih. Selama perkecambahan benih, pengambilan data dilakukan untuk menghitung daya berkecambah, kecepatan berkecambah, rata – rata waktu berkecambah, nilai perkecambahan, panjang hipokotil dan radikula, dan indeks vigor.

a. Daya Berkecambah

Daya berkecambah merupakan parameter dari kemampuan benih yang diproduksi normal akan tumbuh normal pada kondisi lingkungan yang optimum (Zanzibar 2016). Daya berkecambah dapat dihitung dengan rumus (Rohandi dan Widyani 2007):

$$DB (\%) = \frac{\text{jumlah kecambah normal}}{\text{total benih yang ditabur}} \times 100\%$$

b. Kecepatan Berkecambah

$$KcT (\%/hari) = \frac{N1}{H1} + \frac{N2}{H2} + \dots + \frac{Nn}{Hn}$$

c. Rata – rata Waktu Berkecambah

$$RW = \frac{(N1T1) + (N2T2) + \dots + (NnTn)}{\text{jumlah benih yang berkecambah}}$$

Keterangan:

N : Jumlah benih yang berkecambah pada satuan waktu tertentu
T : Jumlah waktu antara awal pengujian sampai akhir interval

d. Nilai Perkecambahan

$$NP = PV \times FGD$$

$$PV = \frac{\% \text{ perkecambahan tertinggi}}{\text{jumlah hari untuk mencapainya}}$$

$$FGD = \frac{\% \text{ perkecambahan pada akhir pengamatan}}{\text{jumlah hari seluruhnya}}$$

e. Panjang Hipokotil dan Radikula

f. Indeks Vigor

$$IV (\%) = (\text{Panjang hipokotil} + \text{Panjang radikula}) \times DB$$

Keterangan:

IV : Indeks vigor (%)

DB : Daya berkecambah (%)

3.4 Analisis Data

Data yang telah diperoleh akan diolah menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial. Setiap perlakuan akan dianalisis untuk dilihat pengaruhnya menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan software IBM SPSS Statistic 24. Analisis data selanjutnya dilakukan dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) jika dalam analisis mendapatkan pengaruh nyata terhadap daya berkecambah, rata – rata hari berkecambah, panjang hipokotil dan radikula, dan indeks vigor dengan nilai P-value < a (0,05).

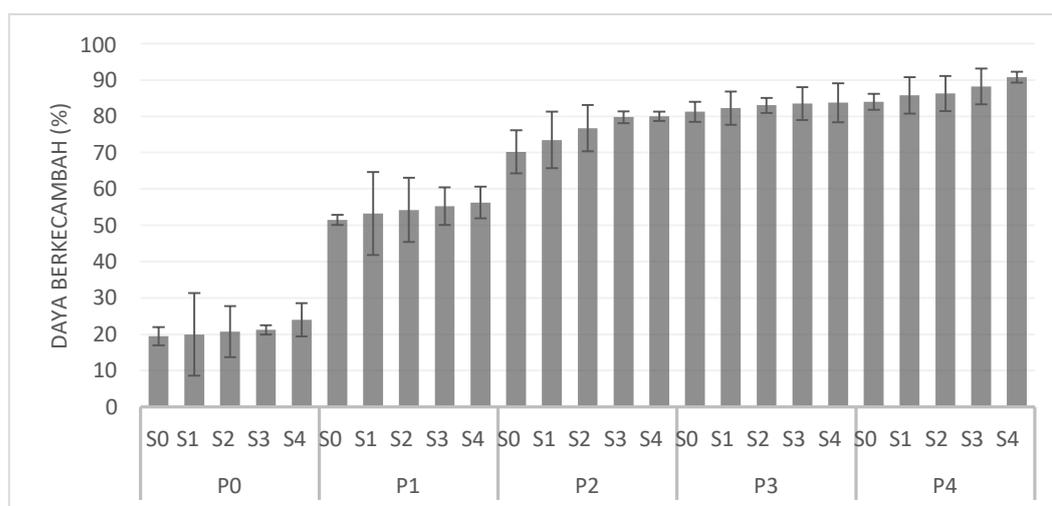
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Daya Berkecambah

Daya berkecambah pada benih krasikarpa selama 15 hari setelah penaburan dapat dilihat pada Gambar 12. Nilai daya berkecambah tertinggi diantara perlakuan tanpa plasma *fine bubbles* terdapat pada perlakuan skarifikasi dengan larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan nilai sebesar 84,00%. Nilai daya berkecambah tertinggi diantara perlakuan tanpa skarifikasi terdapat pada perlakuan plasma *fine bubbles* 3 ppm selama 10 menit dengan nilai sebesar 24,00%. Daya berkecambah tertinggi di antara seluruh perlakuan terdapat pada perlakuan dengan skarifikasi larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit sebesar 90,75%. Daya berkecambah paling rendah terdapat pada krasikarpa tanpa perlakuan apapun (kontrol) sebesar 19,50%, jika dibandingkan perlakuan dengan rata – rata daya berkecambah tertinggi memiliki peningkatan sebesar 71,25%. Setiap perlakuan hanya skarifikasi, hanya plasma *fine bubbles*, dan kombinasi perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles* mengalami peningkatan daya berkecambah dibandingkan dengan kontrol.



Gambar 12 Daya berkecambah benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H₂SO₄ 98% selama 15 menit, S3 = H₂SO₄ 98% selama 20 menit, S4 = H₂SO₄ 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada daya berkecambah perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 1,

perlakuan skarifikasi memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) dan perlakuan plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) terhadap daya berkecambah. Kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* tidak memberikan pengaruh nyata ($0,997 > 0,05$) terhadap daya berkecambah. Interaksi perlakuan hanya plasma *fine bubbles* dan perlakuan hanya skarifikasi terhadap daya berkecambah dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Daya berkecambah pada beberapa perlakuan plasma *fine bubbles*

Perlakuan	Daya Berkecambah
P0	61,30 ^a
P1	62,95 ^{ab}
P2	64,20 ^{abc}
P3	65,60 ^{bc}
P4	66,95 ^c

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

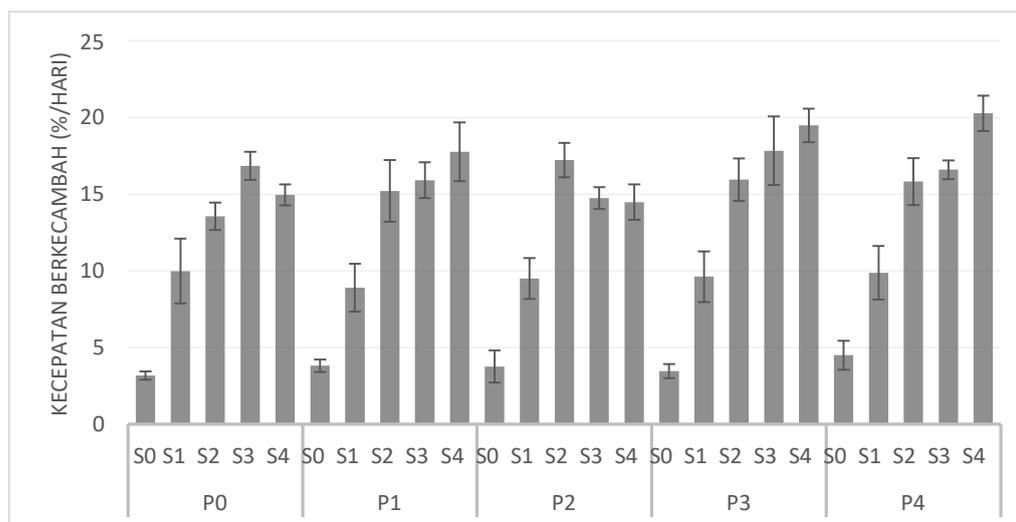
Tabel 2 Daya berkecambah pada beberapa perlakuan skarifikasi

Perlakuan	Daya Berkecambah
S0	21,10 ^a
S1	54,10 ^b
S2	76,05 ^c
S3	82,75 ^d
S4	87,00 ^e

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

4.1.2 Kecepatan Berkecambah

Hasil dari kecepatan berkecambah pada benih krasikarpa selama 15 hari setelah penaburan dapat dilihat pada Gambar 13. Setiap perlakuan tanpa plasma *fine bubbles*, perlakuan dengan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 20 menit memiliki nilai kecepatan berkecambah tertinggi sebesar 16,85%/hari. Setiap perlakuan tanpa skarifikasi, perlakuan dengan plasma *fine bubbles* 3 ppm selama 10 menit memiliki nilai kecepatan berkecambah tertinggi sebesar 4,49%/hari. Nilai kecepatan berkecambah tertinggi diantara seluruh kombinasi perlakuan terdapat pada perlakuan dengan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit dan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit sebesar 20,28%/hari. Dibandingkan dengan nilai kecepatan berkecambah terendah (3,17%/hari), kecepatan berkecambah memiliki peningkatan sebesar 17,11%/hari atau 6,4 kali lebih cepat berkecambah.



Gambar 13 Kecepatan berkecambah benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H₂SO₄ 98% selama 15 menit, S3 = H₂SO₄ 98% selama 20 menit, S4 = H₂SO₄ 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada kecepatan berkecambah perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 2, perlakuan skarifikasi memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) dan perlakuan plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) terhadap kecepatan berkecambah. Kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* juga memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) terhadap kecepatan berkecambah. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap daya berkecambah dapat dilihat pada Tabel 3.

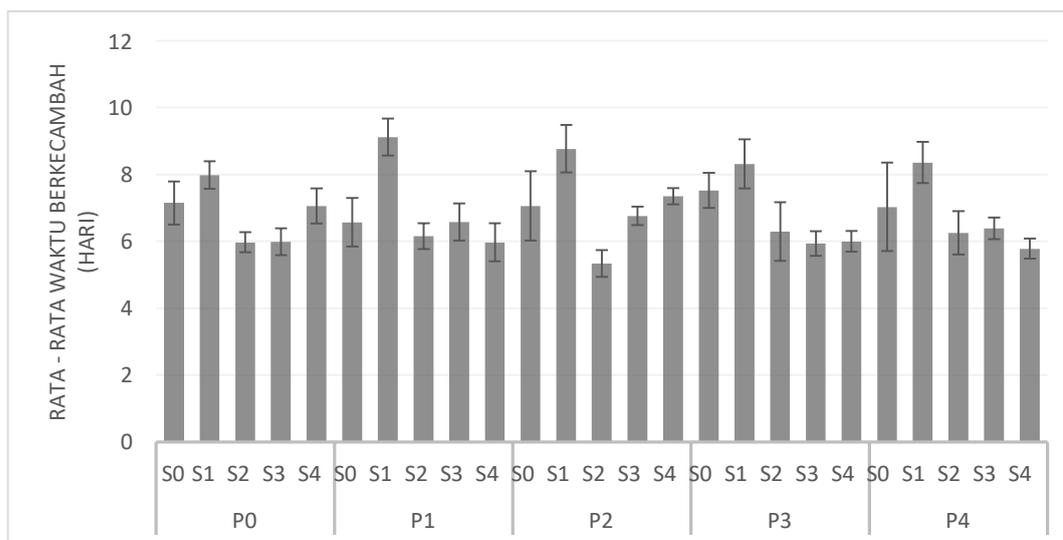
Tabel 3 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap kecepatan berkecambah

Skarifikasi	Plasma <i>fine bubbles</i>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	3,17 ^a	3,81 ^a	3,76 ^a	3,47 ^a	4,49 ^a
S1	9,99 ^b	8,89 ^b	9,50 ^b	9,61 ^b	9,88 ^b
S2	13,56 ^c	15,21 ^c	17,23 ^{fg}	15,96 ^{defg}	15,82 ^{defg}
S3	16,85 ^{efg}	15,91 ^{defg}	14,75 ^{cde}	17,83 ^{gh}	16,59 ^{defg}
S4	14,95 ^{cde}	17,77 ^{gh}	14,48 ^{cd}	19,48 ^{hi}	20,28 ⁱ

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

4.1.3 Rata – rata Waktu Berkecambah

Hasil dari rata – rata waktu berkecambah pada benih krasikarpa selama 15 hari setelah penaburan dapat dilihat pada Gambar 14. Nilai rata – rata waktu berkecambah terbaik merupakan nilai yang paling rendah diantara semua percobaan yang menandakan benih semakin cepat berkecambah. Berdasarkan grafik tersebut, nilai rata – rata waktu berkecambah tertinggi terdapat pada perlakuan skarifikasi dengan larutan H_2SO_4 selama 15 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* 2 ppm selama 10 menit dengan nilai 5,34 hari dan terendah terdapat pada perlakuan skarifikasi pada air panas ($80^\circ C$) dan dinginkan selama 24 jam dengan kombinasi plasma *fine bubbles* 2 ppm selama 5 menit dengan nilai 9,11 hari.



Gambar 14 Rata – rata waktu berkecambah benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu $80^\circ C$ dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H_2SO_4 98% selama 15 menit, S3 = H_2SO_4 98% selama 20 menit, S4 = H_2SO_4 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada rata – rata waktu berkecambah perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 3, perlakuan skarifikasi memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) dan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) terhadap rata – rata waktu berkecambah. Perlakuan hanya plasma *fine bubbles* tidak memberikan pengaruh nyata ($0,601 > 0,05$) terhadap rata – rata waktu berkecambah. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap daya berkecambah dapat dilihat pada Tabel 4.

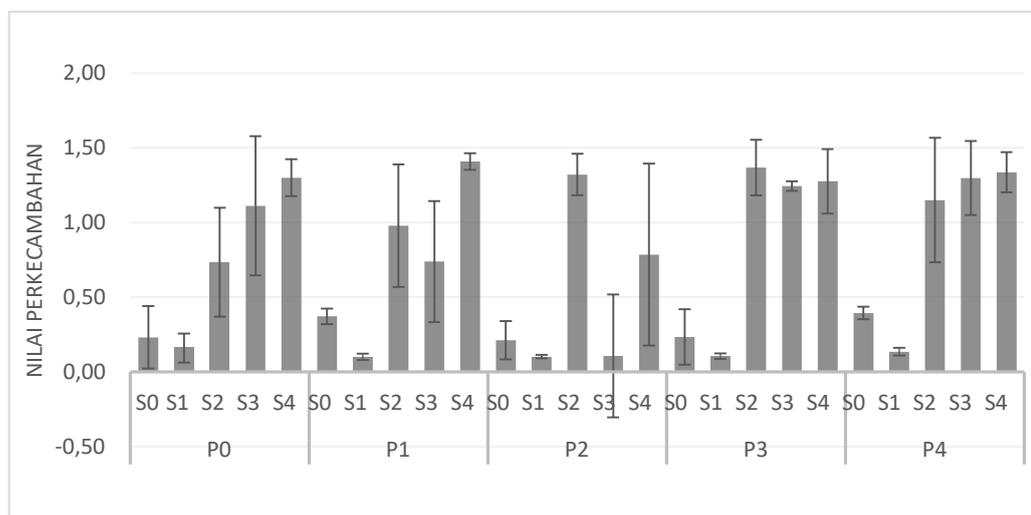
Tabel 4 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap rata – rata waktu berkecambah

Skarifikasi	Plasma <i>fine bubbles</i>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	7,14 ^{cdef}	6,56 ^{bcd}	7,06 ^{cdef}	7,52 ^{efg}	7,03 ^{cdef}
S1	7,98 ^{fgh}	9,11 ⁱ	8,77 ^{hi}	8,31 ^{ghi}	8,35 ^{ghi}
S2	5,97 ^{ab}	6,15 ^{abc}	5,34 ^a	6,31 ^{abc}	6,25 ^{abc}
S3	5,99 ^{ab}	6,58 ^{bcd}	6,76 ^{bcd}	5,94 ^{ab}	6,39 ^{bcd}
S4	7,05 ^{bcd}	5,97 ^{ab}	7,35 ^{def}	6,00 ^{ab}	5,78 ^{ab}

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

4.1.4 Nilai Perkecambahan

Nilai perkecambahan pada krasikarpa selama 15 hari setelah penaburan dapat dilihat pada Gambar 15. Nilai perkecambahan tertinggi terdapat pada perlakuan dengan pada perlakuan skarifikasi dengan larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* 2 ppm selama 5 menit sebesar 1,41 dan terendah terdapat pada perlakuan skarifikasi dengan air panas 80°C dan dinginkan selama 24 jam dengan kombinasi plasma *fine bubbles* 2 ppm selama 5 menit sebesar 0,10. Semua perlakuan skarifikasi dengan dengan air panas 80°C dan dinginkan selama 24 jam mengalami penurunan nilai perkecambahan dibandingkan tanpa perlakuan (kontrol).



Gambar 15 Nilai perkecambahan benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H₂SO₄ 98% selama 15 menit, S3 = H₂SO₄ 98% selama 20 menit, S4 = H₂SO₄ 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada nilai perkecambahan perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 4, perlakuan skarifikasi memberikan pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) dan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata ($0,01 < 0,05$) terhadap nilai perkecambahan. Sedangkan perlakuan plasma *fine bubbles* tidak memberikan pengaruh nyata ($0,08 > 0,05$) terhadap nilai perkecambahan. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap daya berkecambah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap nilai perkecambahan

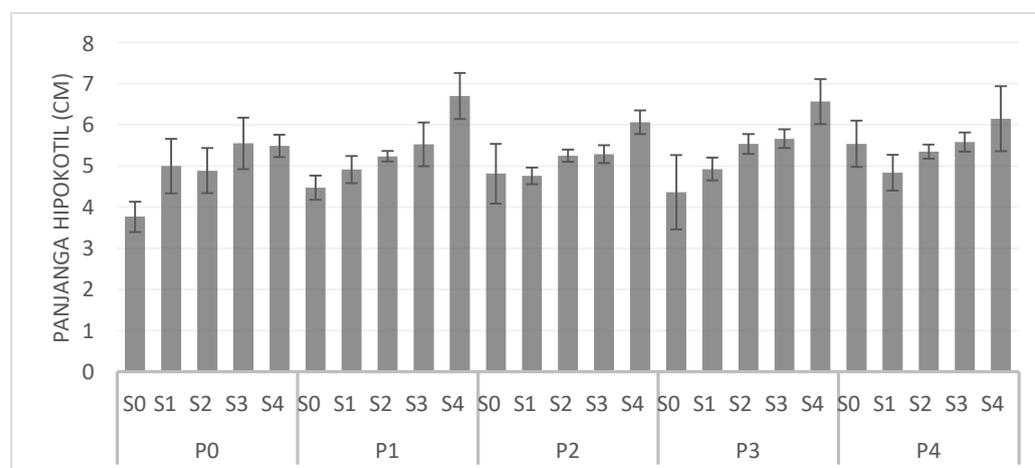
Skarifikasi	Plasma <i>fine bubbles</i>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	0,23 ^a	0,37 ^{ab}	0,21 ^a	0,23 ^a	0,39 ^{abc}
S1	0,16 ^a	0,10 ^a	0,10 ^a	0,11 ^a	0,13 ^a
S2	0,73 ^{bcd}	0,98 ^{def}	1,32 ^{ef}	1,37 ^{ef}	1,15 ^{def}
S3	1,11 ^{def}	0,74 ^{bcd}	0,95 ^{de}	1,24 ^{ef}	1,30 ^{ef}
S4	1,30 ^{ef}	1,41 ^f	0,78 ^{cd}	1,28 ^{ef}	1,34 ^{ef}

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

4.1.5 Panjang Kecambah

a. Panjang Hipokotil

Pengamatan pada panjang hipokotil dilakukan pada hari ke – 15 setelah penaburan. Pengukuran rata – rata panjang hipokotil dilakukan pada 10 kecambah krasikarpa terbaik dari setiap perlakuan. Gambar 16 menunjukkan panjang hipokotil krasikarpa dari berbagai perlakuan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles*. Berdasarkan grafik tersebut, panjang hipokotil tertinggi terdapat pada krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* konsentrasi 2 ppm selama 5 menit sebesar 6,70 cm dan terendah terdapat pada krasikarpa tanpa perlakuan (kontrol) sebesar 3,76 cm.



Gambar 16 Panjang hipokotil krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H₂SO₄ 98% selama 15 menit, S3 = H₂SO₄ 98% selama 20 menit, S4 = H₂SO₄ 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada panjang hipokotil perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 5, perlakuan skarifikasi memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$), perlakuan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$), dan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$) terhadap panjang hipokotil. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap panjang hipokotil dapat dilihat pada Tabel 6.

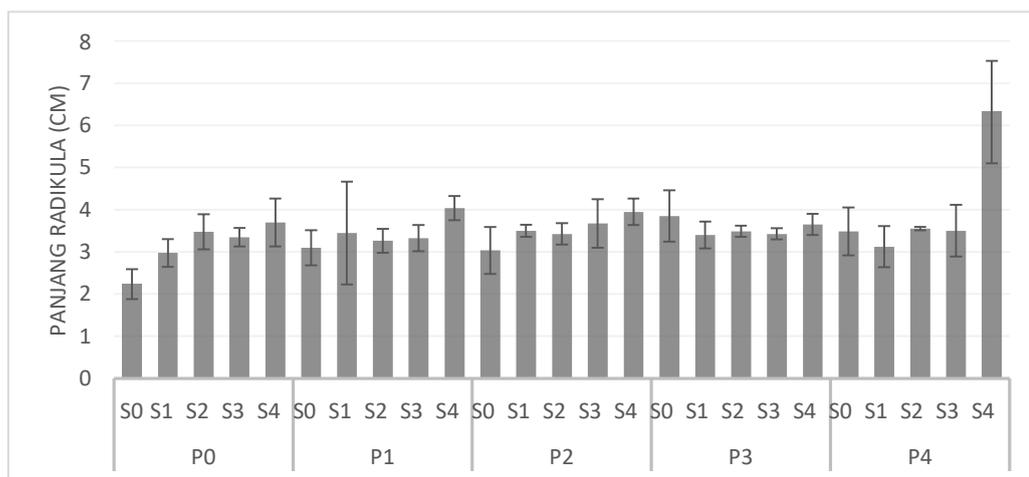
Tabel 6 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap panjang hipokotil (cm)

Skarifikasi	Plasma <i>fine bubbles</i>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	3,76 ^a	4,47 ^{bc}	4,81 ^{bcde}	4,36 ^{ab}	5,53 ^{defgh}
S1	5,00 ^{bcdef}	4,91 ^{bcdef}	4,76 ^{bcd}	4,92 ^{bcdef}	4,83 ^{bcde}
S2	4,88 ^{bcdef}	5,23 ^{cdef}	5,25 ^{def}	5,53 ^{defgh}	5,35 ^{defg}
S3	5,55 ^{defgh}	5,52 ^{defgh}	5,28 ^{def}	5,66 ^{fgh}	5,58 ^{efgh}
S4	5,48 ^{defgh}	6,70 ⁱ	6,06 ^{ghi}	6,56 ⁱ	6,15 ^{hi}

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

b. Panjang Radikula

Pengamatan pada panjang radikula dilakukan pada hari ke – 15 setelah penaburan. Pengukuran rata – rata panjang radikula dilakukan pada 10 kecambah krasikarpa terbaik dari setiap perlakuan. Gambar 17 menunjukkan panjang radikula krasikarpa dari berbagai perlakuan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles*. Berdasarkan grafik tersebut, menunjukkan bahwa perbedaan yang signifikan antara panjang radikula tanpa perlakuan dan dengan perlakuan hanya skarifikasi, hanya plasma *fine bubbles*, dan kombinasi keduanya. Krasikarpa tanpa perlakuan (kontrol) memiliki panjang sebesar 2,24 cm. Panjang radikula tertinggi terdapat pada krasikarpa dengan perlakuan perendaman larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit sebesar 6,31 cm atau 2,81 kali lebih panjang dibandingkan kontrol.



Gambar 17 Panjang radikula krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H₂SO₄ 98% selama 15 menit, S3 = H₂SO₄ 98% selama 20 menit, S4 = H₂SO₄ 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada panjang radikula perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 6, perlakuan skarifikasi memberi pengaruh nyata (0,00<0,05), perlakuan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata (0,00<0,05), dan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata (0,00<0,05) terhadap panjang radikula. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap panjang radikula dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap panjang radikula (cm)

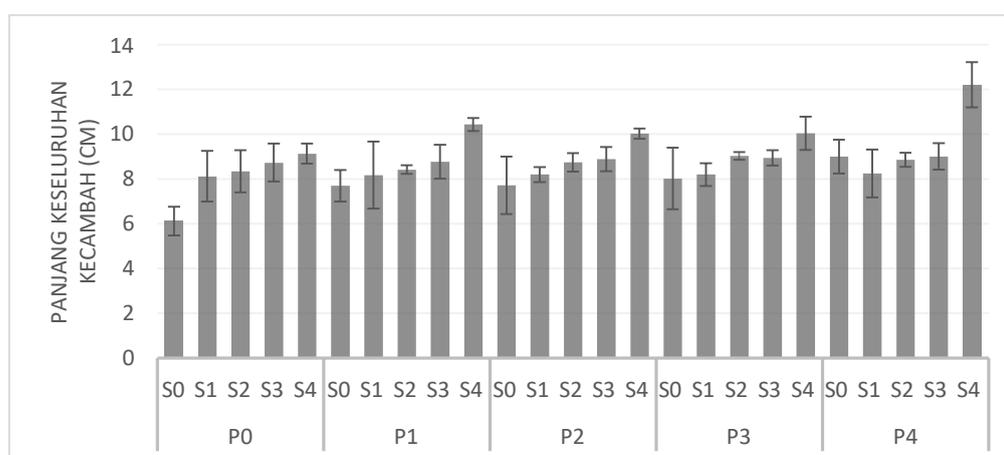
Skarifikasi	Plasma <i>fine bubbles</i>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	2,23 ^a	3,10 ^{bc}	3,03 ^b	3,85 ^{bcd}	3,48 ^{bcd}
S1	2,97 ^b	3,45 ^{bcd}	3,50 ^{bcd}	3,40 ^{bcd}	3,12 ^{bc}
S2	3,47 ^{bcd}	3,26 ^{bcd}	3,42 ^{bcd}	3,48 ^{bcd}	3,55 ^{bcd}
S3	3,35 ^{bcd}	3,32 ^{bcd}	3,67 ^{bcd}	3,42 ^{bcd}	3,50 ^{bcd}
S4	3,70 ^{bcd}	4,03 ^d	3,95 ^{cd}	3,65 ^{bcd}	6,31 ^e

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

c. Panjang Keseluruhan Kecambah

Pengamatan pada panjang keseluruhan kecambah juga dilakukan pada hari ke – 15 setelah penaburan. Pengukuran rata – rata panjang keseluruhan kecambah

dilakukan pada 10 kecambah krasikarpa terbaik dari setiap perlakuan. Berdasarkan grafik pada Gambar 18, panjang kecambah paling tinggi terdapat pada kecambah dengan perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit sebesar 12,20 cm dan terendah terdapat pada tanpa perlakuan apapun (kontrol). Dibandingkan dengan kontrol, panjang kecambah meningkat pada perlakuan hanya skarifikasi, hanya plasma *fine bubbles*, dan kombinasi diantaranya. Rata – rata panjang kecambah terbaik diantara perlakuan hanya skarifikasi terdapat pada perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit sebesar 9,13 cm. Rata – rata panjang kecambah terbaik diantara perlakuan hanya plasma *fine bubbles* terdapat pada perlakuan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit sebesar 8,99 cm. Secara visual dapat dilihat pada Gambar 19. Hasil kecambah pada hari terakhir pengamatan terlampir pada Lampiran 9.



Gambar 18 Panjang keseluruhan kecambah krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H_2SO_4 98% selama 15 menit, S3 = H_2SO_4 98% selama 20 menit, S4 = H_2SO_4 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit



Gambar 19 Panjang kecambah kontrol dan terbaik dari setiap perlakuan

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada panjang keseluruhan kecambah perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 7, perlakuan skarifikasi memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$), perlakuan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$), dan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata ($0,02 < 0,05$) terhadap panjang keseluruhan kecambah. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap panjang keseluruhan kecambah dapat dilihat pada Tabel 8.

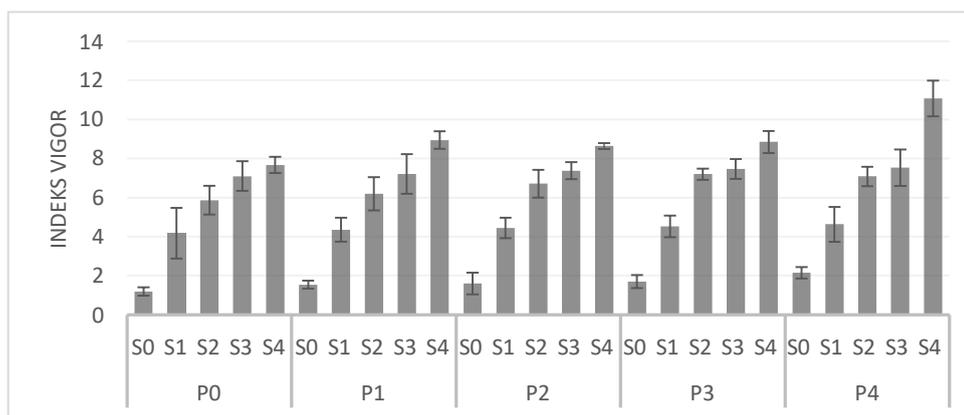
Tabel 8 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap panjang keseluruhan kecambah (cm)

Skarifikasi	Plasma <i>Fine bubbles</i>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	6,11 ^a	7,69 ^b	7,71 ^b	8,01 ^{bc}	8,99 ^{bcd}
S1	8,11 ^{bc}	8,16 ^{bc}	8,19 ^{bc}	8,19 ^{bc}	8,24 ^{bc}
S2	8,34 ^{bc}	8,41 ^{bc}	8,74 ^{bcd}	9,025 ^{bcd}	8,85 ^{bcd}
S3	8,73 ^{bcd}	8,76 ^{bcd}	8,88 ^{bcd}	8,94 ^{bcd}	9,00 ^{bcd}
S4	9,13 ^{cd}	10,43 ^e	10,01 ^{de}	10,03 ^{de}	12,20 ^f

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

4.1.6 Indeks Vigor

Indeks vigor dari semua perlakuan selama 15 hari penaburan dapat dilihat pada Gambar 20. Nilai indeks vigor tertinggi ada pada kombinasi antara skarifikasi larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan kombinasi plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit sebesar 11,05 dengan selisih sebesar 9,86 dibanding kontrol. Berdasarkan grafik tersebut, perlakuan hanya skarifikasi, hanya plasma *fine bubbles*, dan kombinasi diantaranya dapat meningkatkan indeks vigor krasikarpa.



Gambar 20 Indeks vigor benih krasikarpa dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*

Keterangan: S0 = tanpa skarifikasi, S1 = air suhu 80°C dan dinginkan selama 24 jam, S2 = H₂SO₄ 98% selama 15 menit, S3 = H₂SO₄ 98% selama 20 menit, S4 = H₂SO₄ 98% selama 25 menit, P0 = tanpa plasma *fine bubbles*, P1 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 5 menit, P2 = PFB konsentrasi 2 ppm selama 10 menit, P3 =

PFB konsentrasi 3 ppm selama 5 menit, P4 = PFB konsentrasi 3 ppm selama 10 menit

Pengaruh interaksi kombinasi skarifikasi dan plasma *fine bubbles* pada indeks vigor perlu dibuktikan dengan pengujian statistik dengan uji ANOVA dan uji lanjut Duncan. Menurut hasil uji ANOVA yang terdapat pada Lampiran 8, perlakuan skarifikasi memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$), perlakuan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata ($0,00 < 0,05$), dan kombinasi antara skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberi pengaruh nyata ($0,01 < 0,05$) terhadap indeks vigor. Interaksi antara kedua perlakuan terhadap indeks vigor dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Interaksi antara kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* terhadap indeks vigor

Skarifikasi –	<u>Plasma <i>fine bubbles</i></u>				
	P0	P1	P2	P3	P4
S0	1,19 ^a	1,54 ^a	1,60 ^a	1,69 ^a	2,16 ^a
S1	4,22 ^b	4,31 ^b	4,42 ^b	4,53 ^b	4,65 ^b
S2	5,83 ^c	6,19 ^{cd}	6,71 ^{cde}	7,20 ^{de}	7,05 ^{de}
S3	7,09 ^{de}	7,23 ^{de}	7,36 ^e	7,46 ^e	7,55 ^e
S4	7,65 ^e	8,93 ^f	8,63 ^f	8,83 ^f	11,07 ^g

Keterangan: Angka pada kelompok diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan 5%

4.2 Pembahasan

Daya berkecambah diuji untuk mengetahui jumlah kecambah normal dari benih murni yang tumbuh di lingkungan dan jangka waktu tertentu (Lubis *et al.* 2014). Semakin tinggi nilai daya berkecambah, maka semakin baik viabilitas benih. Hasil data penelitian menunjukkan bahwa perlakuan hanya plasma *fine bubbles* dan perlakuan hanya skarifikasi memberikan pengaruh nyata terhadap daya berkecambah, sedangkan kombinasi diantara kedua perlakuan tersebut tidak memberikan pengaruh nyata terhadap daya berkecambah. Namun, peningkatan nilai daya berkecambah terjadi pada perlakuan hanya plasma *fine bubbles*, perlakuan hanya skarifikasi, dan kombinasi keduanya. Perlakuan skarifikasi larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit memiliki nilai tertinggi pada daya berkecambah (90,75%), sehingga dapat meningkatkan viabilitas benih. Hal ini didukung oleh pernyataan Kharismayani (2010) bahwa benih yang memiliki daya berkecambah >80% dapat berkecambah dengan baik dan tidak dorman. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Rabbani (2022), daya berkecambah pada krasikarpa mengalami peningkatan dengan menggunakan kombinasi perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles* dibandingkan dengan kombinasi perlakuan skarifikasi dan *ultrafine bubbles* sebesar 83,0% menjadi 90,75%. Selain daya berkecambah, indeks vigor juga menjadi indikator dari viabilitas benih. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan pada indeks vigor dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles* dengan indeks vigor tertinggi sebesar 11,07 sehingga dapat meningkatkan viabilitas benih. Tingginya indeks vigor juga menjadi tanda bahwa benih dapat tahan dari serangan penyakit dan hama, memiliki daya simpan yang lama, dapat tumbuh dan berkecambah dengan cepat dan merata, dan tanaman yang dihasilkan dapat tumbuh pada lingkungan suboptimal (Arsambu 2021).

Kecepatan berkecambah menjadi indikator vigor kekuatan tumbuh benih, benih dengan kemampuan berkecambah dengan cepat dapat lebih tahan terhadap lingkungan yang suboptimal (Lesilolo *et al.* 2013). Hasil data penelitian menunjukkan nilai kecepatan berkecambah mengalami peningkatan dengan perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles*. Semakin tinggi nilai kecepatan berkecambah, maka semakin baik kualitas vigor benih. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit dengan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit (20,28%/hari) dapat meningkatkan vigor benih secara efektif. Perlakuan skarifikasi dapat melunakan kulit benih yang tebal sehingga membuka jalan untuk air dan oksigen masuk dengan mudah ke benih untuk proses imbibisi dan perkecambahan (Dharma *et al.* 2015).

Perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles* juga memberikan pengaruh nyata terhadap panjang radikula, panjang hipokotil dan panjang keseluruhan kecambah. Hasil terbaik panjang kecambah pada perlakuan hanya plasma *fine bubbles* terdapat pada perlakuan dengan 3 ppm selama 10 menit (8,98 cm), perlakuan hanya skarifikasi terdapat pada perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit (9,13 cm), dan hasil terbaik dari seluruh perlakuan terdapat pada perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit dengan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit (12,2 cm). Perlakuan skarifikasi menggunakan larutan H_2SO_4 dapat mempercepat penyerapan air pada benih sehingga benih dapat berkecambah lebih cepat (Ismuhajarah 2014). Plasma *fine bubbles* yang mengandung *reactive oxygen species* (ROS) dapat berfungsi sebagai molekul pemberi sinyal sekunder untuk meningkatkan pertumbuhan benih (Priatama *et al.* 2022).

Perlakuan hanya plasma *fine bubbles* tidak memberikan pengaruh nyata terhadap rata-rata waktu berkecambah dan nilai perkecambahan, sedangkan kombinasi perlakuan skarifikasi dengan plasma *fine bubbles* tidak memberikan pengaruh nyata terhadap daya berkecambah. Hal tersebut disebabkan pada perlakuan skarifikasi yang lebih dominan dibandingkan dengan perendaman plasma *fine bubbles*. Faktor eksternal lain karena keterbatasan *dissolved ozon detector* untuk mengukur ozon terlarut pada air plasma *fine bubbles* yang diproduksi sehingga nilai konsentrasi yang diukur oleh alat tersebut tidak konstan. Penyebaran ozon pada wadah air plasma *fine bubbles* yang belum merata juga menjadi salah satu faktor sehingga *dissolved ozon detector* sulit untuk mendeteksi nilai ozon terlarut pada air plasma *fine bubbles*. Kerapatan atau jarak antar benih yang terlalu dekat pada saat perendaman dengan air plasma *fine bubbles* membuat benih yang terletak paling dalam tidak terkontaminasi secara maksimal oleh air plasma *fine bubbles*. Faktor eksternal tersebut yang menyebabkan variasi pada nilai parameter yang dihasilkan oleh perlakuan plasma *fine bubbles*.

Kombinasi perlakuan skarifikasi larutan H_2SO_4 selama 25 menit dengan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit memiliki nilai tertinggi pada daya berkecambah (90,75%), kecepatan berkecambah (20,28%/hari), panjang radikula (6,31 cm), panjang keseluruhan kecambah (12,20 cm), dan indeks vigor (11,07). Hal ini disebabkan karena perlakuan skarifikasi dengan larutan H_2SO_4 memberikan pengaruh agar meningkatnya imbibisi benih. Skarifikasi dilakukan agar air dapat lebih mudah masuk ke benih saat proses imbibisi. Larutan H_2SO_4 mampu memecah dinding sel pada benih sehingga sifat permeabilitas meningkat dan air dapat menyerap dengan baik (Suyatmi *et al.* 2011). Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Lestari *et al.* (2016), larutan H_2SO_4 memberikan pengaruh nyata pada daya berkecambah biji kopi arabika (*C. arabica* L.) yang memiliki sifat permeabilitas yang rendah. Dalam pelaksanaan perlakuan H_2SO_4 harus dilakukan secara hati-hati, karena H_2SO_4 merupakan bahan yang berbahaya dan lama perendamannya perlu ditentukan lebih optimal (Willan 1985; Sudrajat *et al.*

2011). Penelitian sebelumnya oleh Suyatmi *et al.* (2011), perendaman benih jati (*Tectona grandis* Linn.f) menggunakan larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 90% dengan waktu perendaman 30 menit dan 40 menit menghasilkan persentase perkecambahan yang rendah karena konsentrasi yang terlalu pekat dengan perendaman waktu yang lebih lama akan mengganggu proses metabolisme pada kotiledon dan embrio benih. Perendaman benih yang terlalu lama dalam larutan H_2SO_4 akan mengakibatkan kerusakan bagian-bagian penting embrio benih.

Teknologi plasma *fine bubbles* mengandung *reactive oxygen species* (ROS). Pembentukan ROS pada plasma *fine bubbles* menggunakan listrik tegangan tinggi sehingga suhu air plasma *fine bubbles* akan lebih tinggi. ROS merupakan hasil dari metabolisme yang berasal dari reduksi yang tidak lengkap atau sebagian dari oksigen yang akan membentuk superoksida (O_2), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan radikal hidroksil (HO) (Liu *et al.* 2016). Komponen tersebut diyakini dapat mendorong benih untuk berkecambah pada proses paparan plasma secara langsung (Priatama *et al.* 2022). Peran ROS sangat penting untuk pertumbuhan dengan memberikan keperluan dinding sel untuk memperpanjang sel (Passardi *et al.* 2004). Komponen yang terdapat pada ROS menjadi faktor utama yang mendorong perkecambahan dan pertumbuhan pada benih. Plasma yang menghasilkan air menyebabkan perubahan fisiokimia dan air plasma memberikan sinyal dan mendorong perkecambahan benih, pertumbuhan akar dan vegetatif, dan reproduksi tanaman (Priatama *et al.* 2022).

Perendaman benih menggunakan air plasma *fine bubbles* dengan konsentrasi ozon rendah yaitu 2 ppm dan 3 ppm dapat memecahkan dormansi pada benih sehingga benih lebih cepat untuk berkecambah. Ozon pada air plasma *fine bubbles* dapat menurunkan kadar asam absisat pada benih (Rifna *et al.* 2019). Asam absisat merupakan hormon yang menghambat pertumbuhan dan perkecambah (Nuraini *et al.* 2019). Penurunan asam absisat pada benih krasikarpa yang terpapar ozon dapat mendorong pertumbuhan dan perkecambahan benih. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sudhakar *et al.* (2008), perlakuan ozon pada benih tomat dapat meningkatkan nilai perkecambahan hingga 95% dibandingkan dengan kontrol karena berkurangnya kadar asam absisat pada benih tomat.

Selain dapat mendorong perkecambah benih, peran ROS yang dihasilkan oleh plasma *fine bubbles* juga dapat memberikan waktu yang lebih singkat untuk benih berkecambah dan benih dapat terhindar dari serangan patogen. *Reactive oxygen species* (ROS) dapat meningkatkan kadar giberelin pada benih (Sudrajat *et al.* 2022). Giberelin merupakan hormon yang terdapat pada tanaman untuk merangsang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Giberelin merangsang perkecambahan benih, vegetatif ke pembungaan dan perkembangan benih dengan interaksi dari faktor lingkungan (Gupta dan Chakrabarty 2013). Akumulasi hidrogen peroksida (H_2O_2) yang terdapat pada ROS dapat mempengaruhi keseimbangan hormon dengan meningkatkan giberelin (Kumar *et al.* 2015). ROS berperan sangat penting untuk meningkatkan kadar giberelin yang dibutuhkan untuk mematahkan dormansi benih yang mengarah pada perkecambahan suatu benih. ROS juga berfungsi untuk memberikan proteksi untuk benih dari serangan patogen. Hidrogen peroksida (H_2O_2) yang dihasilkan ROS akan menghambat masuknya patogen dan melawan infeksi sel pada benih (Kumar *et al.* 2015). Sehingga kesehatan benih menjadi lebih terjaga dengan penggunaan plasma *fine bubbles*.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Perlakuan hanya plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata terhadap daya berkecambah, kecepatan berkecambah, panjang hipokotil, panjang radikula, panjang keseluruhan kecambah, dan indeks vigor. Perlakuan hanya skarifikasi memberikan pengaruh nyata terhadap seluruh parameter. Kombinasi perlakuan skarifikasi dan plasma *fine bubbles* memberikan pengaruh nyata pada kecepatan berkecambah, rata – rata waktu berkecambah, nilai perkecambahan, panjang hipokotil, panjang radikula, panjang keseluruhan kecambah, dan indeks vigor. Penyebab dari hal tersebut karena perlakuan skarifikasi lebih dominan dibandingkan perlakuan plasma *fine bubbles*. Perlakuan yang paling efektif untuk meningkatkan viabilitas dan vigor terdapat pada kombinasi perlakuan skarifikasi larutan H₂SO₄ selama 25 menit dengan plasma *fine bubbles* konsentrasi 3 ppm selama 10 menit dengan nilai daya berkecambah (90,75%), kecepatan berkecambah (20,28%/hari), panjang radikula (6,31 cm), panjang keseluruhan kecambah (12,20 cm), dan indeks vigor (11,07).

5.2 Saran

Teknologi plasma *fine bubbles* tidak memberikan pengaruh nyata terhadap daya berkecambah dan nilai perkecambahan. Sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai teknologi plasma *fine bubbles* untuk peningkatan viabilitas dan vigor benih dengan konsentrasi ozon yang lebih bervariasi dan waktu perendaman pada plasma *fine bubbles* yang lebih lama. Diharapkan dengan menggunakan plasma *fine bubbles* yang bervariasi dapat menghasilkan viabilitas dan vigor benih yang lebih baik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar OT, Aprianis Y, Ruspandi. 2019. Perbandingan karakteristik bahan baku dan pulp krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn) umur 1 sampai 4 tahun. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 37(2): 93 – 104.
- Arsambu F. 2021. Aplikasi air ultrafine bubbles pada pematangan dormansi benih padi IPB 3S [SKRIPSI]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2021. [internet]. Produksi Kayu Bulat Perusahaan Hak Pengusahaan Hutan (HPH) Menurut Jenis Kayu (M3) [Diakses pada tanggal 16 Mei 2022]. www.bps.go.id.
- Bhanu S. Supriya S, Rajeshkannan C. 2009. Biochemical estimation and antimicrobial activities of the extracts of *Caesalpinia sappan* Linn. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*. 46(4): 429 – 436.
- Dewi TK. 2015. Pengaruh kombinasi kadar air benih dan lama penyimpanan terhadap viabilitas dan sifat fisik benih padi sawah kultivar Ciherang. *Jurnal Agrotekstan*. 2(1): 53 – 61.
- Dharma IPES, Samudin S, Adrianton. 2015. Perkecambahan benih pala (*Myristica fragrans* Houtt.) dengan metode skarifikasi dan perendaman ZPT alami. *E-Journal Agrotekbis*. 3(2): 158 – 167.
- Djamhuri E, Yuniarti N, Purwani HD. 2012. Viabilitas benih dan pertumbuhan awal bibit akasia krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. *Ex Benth.*) dari lima sumber benih di Indonesia. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 3(3): 187 – 195.
- Doran JC, Turnbull JW. 1997. *Australian Trees and Shrubs: Species for Land Rehabilitation and Farm Planting*. Canberra(AUS): Australia Center for International Agricultural Research (ACIAR).
- Fahmi ZI. 2012. Studi Perlakuan Pematangan Dormansi Benih Dengan Skarifikasi Mekanik dan Kimiawi. *Jurnal Balai Besar Perbenihan dan Proteksi Tanaman Perkebunan Surabaya*. 3(1): 159 – 160.
- Fisher JB, Posluszy U, Lee DW. 2002. Shade promotes thorn development in a tropical liana *Artabotrys hexapetalus* (Annonaceae). *Intl J Plant Sci*. 163(2): 295 – 300.
- Gupta R, Chakrabarry SK. 2013. Gibberellic acid in plant: Still a mystery unresolved. *Plant Signaling and Behavior*. 8(9): e25504.
- Harvin BA. 2021. Aplikasi teknologi ozon fine bubble pada proses pencucian cabai (*Capsicum annum* L.) untuk mengurangi residu pestisida dan memperpanjang masa simpan [SKRIPSI]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ismuhajarah BN. 2014. Pemecahan dormansi dan perkecambahan asam kuranji (*Dialium indum* L.) secara mekanis dan kimiawi. *Jurnal Hutan Tropis*. 2(2): 82 – 87.

Iswara V, Setiawan A, Palupi ER, Purwanto YA. 2018. Efektivitas perlakuan ultrafine bubble water dalam mematahkan dormansi benih padi. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 2(3): 137 – 143.

Jazuli A. 2014. Kebakaran hutan dan lahan di Riau menurut perspektif hukum lingkungan. *Jurnal Rechts Vinding: Media Pembinaan Hukum Nasional*. 4(2): 181 – 197.

Kharismayani I. 2010. Kajian *after ripening* pada beberapa varietas benih padi gogo [SKRIPSI]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.

Kumar SPJ, Prasad SR, Banerjee R, Thammineni C. 2015. Seed birth to death: dual functions of reactive oxygen species in seed physiology. *Annals of Botany*. 116: 663 – 668.

Lesilolo MK, Riry J, Matatula, E. 2013. Pengujian viabilitas dan vigor benih beberapa jenis tanaman yang beredar di pasaran kota Ambon. *Jurnal Agrologia*. 2(1): 1 – 9.

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(1): 8 – 13.

Lisnawati Y, Suprijo H, Poedjirahajoe E, Musyafa. 2015. Dampak pembangunan hutan tanaman industri *Acacia crassicarpa* di lahan gambut terhadap tingkat kematangan dan laju penurunan permukaan tanah. *J. Manusia dan Lingkungan*. 22(2):179-186.

Liu S, Oshita S, Kawabata S, Makino Y, Yoshimoto T. 2016. Identification of ROS produced by nanobubbles and their positive and negative effects on vegetable seed germination. *Langmuir*. 32(43): 11295 – 11302.

Lubis YA, Riniarti M, Bintoro A. 2014. Pengaruh lama waktu perendaman dengan air terhadap daya berkecambah trembesi (*Samanea saman*). *Jurnal Sylva Lestari*. 2(2): 25 – 32.

Martinez-Maldonado FE, Miranda-Lasprilla D, Magnitskiy S. 2013. Sugar apple (*Annona squamosa* L., Annonaceae) seed germination: morphological and anatomical changes. *Agronomía Colombiana*. 31(2): 176 – 183.

Miller FA, Silva CL, Brandão TRS. 2013. A review on ozone-based treatments for fruit and vegetables preservation. *Food Engineering Reviews*. 5(2): 77 – 106.

Nambiar EKS, Harwood CE. 2014. Productivity of acacia and eucalypt plantations in South-East Asia. 1. Biophysical determinants of production: opportunities and challenges. *International Forestry Review*. 16(2): 225 – 248.

Nurazizah. 2004. Pengaruh provenan terhadap mutu fisik dan fisiologis benih serta pertumbuhan semai *Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth dan *Acacia aulacocarpa* A. Cunn. Ex Benth [SKRIPSI]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.

- Olmez ZF, Gokturk TA, Yahyaoglu Z. 2007. Effect of sulphuric acid and cold stratification pretreatments on germination of pomegranate (*Punica granatum* L). *Asian Journal of Plant Science*. 6(2): 427 – 430.
- Passardi F, Longet D, Penel C, Dunand C. 2004. The class III peroxidase multigenic family in rice and its evolution in land plants. *Phytochemistry*. 65: 1879 – 1893.
- Priatama RA, Pervitasari AN, Park S, Park SJ, Lee YK. 2022. Current advancements in the molecular mechanism of plasma treatment for seed germination and plant growth. *International Journal of Molecular Sciences*. 23(9): 1- 28.
- Purnomosidhi P, Roshetko JM, Prahmono A, Suryadi A. 2013. Perlakuan benih sebelum disemai untuk beberapa jenis tanaman prioritas kehutanan, multiguna, buah – buahan, dan perkebunan. *Lembar Informasi AGFOR*. Bogor(ID): World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.
- Purwanto YA, Maulana NN, Sobir, Sulassih, Naibaho N. 2019. *Effect of ultrafine bubbles water*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. Atlanta (US): IOP Publish.
- Rabbani MG. 2022. Efektivitas perlakuan skarifikasi dan ultrafine bubbles untuk perbaikan viabilitas dan vigor benih krasikarpa (*Acacia crassicarpa* A. Cunn. Ex Benth.) [SKRIPSI]. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ratna ATN, Hamidy R, Thamrin. 2008. Pendugaan Kandungan Karbon pada *Acacia crassicarpa* di Hutan Rawa Gambut (Studi Kasus di IUPHHK-HT PT. RAPP, Kabupaten Pelalawan). *Ilmu Lingkungan Journal of Environmental Science*. 1(2):26-32.
- Rifna EJ, Ramanan KR, Mahendran R. 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science and Technology*. 86: 95 – 108.
- Rohandi A, Widayani N. 2007. Pengaruh tingkat devigorasi dan kerapatan benih krasikarpa terhadap pertumbuhan semainya. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 4(1): 13 – 24.
- Sandi ALI, Indriyanto, Duryat. 2014. Ukuran benih dan skarifikasi dengan air panas terhadap perkecambahan benih pohok kuku (*Pericopsis mooniana*). *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 83 – 92.
- Sari W, Faisal MF. 2017. Pengaruh media penyimpanan benih terhadap viabilitas dan vigor benih padi pandanwangi. *Agroscience*. 7(2): 300 – 310.
- Sudhakar N, Prasad DN, Mohan N, Murugesan K. 2008. A preliminary study on the effects of ozone exposure on growth of the tomato seedlings. *Australian Journal of Crop Science*. 2: 33 – 39.
- Sudhakar N, Prasad DN, Mohan N, Hill B, Gunasekaran M, Murugesan K. 2011. Assessing influence of ozone in tomato seed dormancy alleviation. *American Journal of Plant Sciences*. 2: 443 – 448.

- Sudrajat DJ. 2010. Dormansi benih tanaman hutan (tinjauan mekanisme, pengendali, dan teknik pematahannya untuk mendukung pengembangan hutan rakyat). *Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian*.
- Sudrajat DJ, Siregar IZ, Purwanto YA. 2022. *Teknologi Ultrafine bubbles (UFB) untuk Meningkatkan Viabilitas dan Vigor Benih Tanaman Hutan*. Bogor(ID): IPB Press.
- Sudrajat DJ, Megawati. 2010. Keragaman morfologi dan respon perlakuan pra perkecambahan benih dari lima populasi sawo kecik (*Manilkara kauki* (L.) Dubard). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 7(2): 67 – 76.
- Sudrajat DJ, Nurhasybi, Syamsuwida D. 2011. Teknologi untuk memperbaiki perkecambahan benih kepuh (*Sterculia foetida* Linn.). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 8(5):301-314.
- Sudrajat DJ, Nurhasybi, Bramasto Y. 2015. *Standar Pengujian dan Mutu Benih Tanaman Hutan*. Bogor(ID): FORDA Press.
- Sutopo L. 2004. *Teknologi Benih*. Jakarta(ID): PT Raja Grafindo Persada.
- Sutopo L. 2010. *Teknologi Benih. Ed Revisi*. Jakarta(ID): PT. Raja Grafindo Persada.
- Suyatmi ED, Hastuti, Darmanti S. 2011. Pengaruh lama perendaman dan konsentrasi asam sulfat (H₂SO₄) terhadap perkecambahan benih jati (*Tectona gaudis* Linn.). *Anatomi Fisiologi*. 19(1): 28 – 36.
- Widhityarini D, Suyadi MW, Purwantoro A. 2013. Pematahan dormansi benih tanjung (*Mimusops elengi* L.) dengan skarifikasi dan perendaman kalium nitrat. *Jurnal Vegetalika*.
- Widyati E. 2007. Formulasi inokulum mikroba: MA, BPF dan rhizobium asal lahan bekas tambang batubara untuk bibir *Acacia Crassicarpa* Cunn. Ex-Benth. *BIODIVERSITAS*. 8(3): 238 – 241.
- Willan, R.L. 1985. *A Guide to Forest Seed Handling*. FAO. United Nation. Rome, Italy.
- Yuniarti N, Megawati, Leksono B. 2013. Teknik perlakuan pendahuluan dan metode perkecambahan untuk mempertahankan viabilitas benih *Acacia crassicarpa* hasil pemuliaan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*. 2(1): 1 – 11.
- Zanzibar M. 2016. *Pendugaan Viabilitas Benih Tanaman Hutan Secara Cepat: Prinsip, Metode dan Aplikasinya*. Jakarta(ID): Penebar Swadaya.