

## **KARAKTERISTIK PERTUMBUHAN BIBIT BATANG BAWAH KARET YANG DIAPLIKASIKAN CENDAWAN DSE (DARK SEPTATE ENDOPHYTE)**

*Growth Characteristics of Rubber Rootstock Applied of DSE Fungi  
(Dark Septate Endophyte)*

Mochlisin ANDRIYANTO<sup>1\*</sup>, Chairani HANUM<sup>1</sup>, HASANUDDIN<sup>1</sup>, Miftahul Huda  
FENDIYANTO<sup>2</sup>, Cici Indriani DALIMUNT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Pascasarjana Agroteknologi, Universitas Sumatera Utara, Jl. Prof. A.  
Sofyan No.2 Kampus USU Medan, Sumatera Utara

<sup>2</sup> Program Studi Biologi, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Kawasan IPSC Sentul,  
Bogor, Jawa Barat

<sup>3</sup> PT. Riset Perkebunan Nusantara, Jl. Salak No.1A, Bogor, Jawa Barat

\*Email: mochlisin.andriyanto.agh45@gmail.com

Diterima: 26 Mei 2024 / Disetujui: 8 Juli 2024

### **Abstract**

The rubber rootstocks nursery is often hindered by the presence of white root disease (WRD), characterized by short and stunted root morphology. One attempt to address it is done by inoculating with dark septate endophytic (DSE) of fungi. Numerous studies have shown an increased growth response in both annual and seasonal plants after DSE application. The diversity of indigenous DSE fungi in rubber root systems originating from North Sumatra has not been extensively explored, nor is their effectiveness in plant growth well understood. This research was conducted to reveal information that the effect of DSE on growth and physiology of rubber rootstock plants. The experimental design used a non-factorial Completely Randomized Design (CRD) with 4 treatments i.e. DSE fungi isolates KHPSG, KLAJI, KRPT, and control (non isolate). Observed parameters include plant height, stem diameter, length of petiole, number of leaves, IAA content of leaves, total sugar, and total chlorophyll. The results showed that DSE fungi influence growth characteristics such as height, stem diameter, leaf petiole length, number of leaves, leaf IAA content, total sugar, and total chlorophyll. The effect of DSE on plants in polybag rootstock nurseries was

*known to occur during the early stage of growth phase. DSE fungi of isolates KHPSG and KLAJI are the best and can be used as plant bio-stimulant.*

*Keywords: isolate DSE fungi, growth, physiology, rubber plant, rootstocks*

### **Abstrak**

Pembibitan batang bawah karet seringkali terkendala oleh adanya penyakit jamur akar putih (JAP), morfologi akar pendek dan kerdil. Salah satu upaya untuk menekan hal tersebut dilakukan dengan inokulasi cendawan DSE. Banyak penelitian menunjukkan respon pertumbuhan tanaman tahunan dan musiman meningkat setelah diaplikasikan DSE. Keragaman cendawan DSE lokal perakaran karet asal Sumatera Utara belum banyak dieksplorasi dan diketahui efektivitas dalam pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi pengaruh DSE terhadap pertumbuhan dan fisiologi tanaman batang bawah karet. Rancangan percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAK) non faktorial dengan perlakuan aplikasi DSE

isolat KHPSG, KLAJI, KRPPPT dan kontrol (non isolat). Parameter pengamatan yaitu tinggi, diameter, panjang tangkai daun, jumlah daun, kadar IAA daun, gula total, dan total klorofil. Hasil penelitian diketahui bahwa DSE mempengaruhi karakter pertumbuhan tinggi, diameter batang, panjang tangkai daun, jumlah munculnya daun, kadar IAA daun, gula total dan total klorofil. Pengaruh DSE pada tanaman di pembibitan batang bawah polibeg diketahui terjadi saat fase awal pertumbuhan. Isolat KHPSG dan KLAJI merupakan isolat terbaik dan berpotensi dapat dijadikan sebagai stimulan hayati tanaman.

Kata kunci: isolat DSE, pertumbuhan, fisiologi, karet, batang bawah

## PENDAHULUAN

Perbanyak tanaman karet sampai saat ini masih menggunakan teknik okulasi. Okulasi merupakan penyatuan dua bagian tanaman yang umum disebut sebagai batang bawah berasal dari biji dan batang atas asal mata tunas entres. Teknik tersebut mudah dilakukan dalam pembibitan skala luas. Teknis perbanyak tanaman karet secara *in vitro* melalui embriogenesis somatik belum dapat diaplikasikan secara luas dikarenakan berbagai keterbatasan (Bintarti, 2015). Keuntungan tanaman diperbanyak dengan okulasi yaitu tanaman menjadi lebih tahan terhadap cekaman biotik maupun abiotik, peningkatan pertumbuhan, produksi dan kualitas tanaman (Maurya *et al.*, 2019).

Pembibitan tanaman karet umumnya harus dikerjakan satu tahun sebelum tanam. Oleh sebab itu, diperlukan perencanaan yang matang dari setiap tahapan secara teknis budidaya. Salah satu kegiatan dalam pembibitan diawali oleh pemilihan biji sebagai batang bawah. Karakteristik biji setiap klon tanaman memiliki mutu genetik, fisik, fisiologi yang berbeda-beda. Klon-klon karet yang dapat digunakan sebagai batang bawah yaitu PB 260, GT 1, PR 107, PB 217, PB 235, RRIM 2001, RRIC 100, RRISL 201, RRISL 206, RRISL 220, RRISL 221, RRISL 226, IRR 5, IRR 39, IRR 42, IRR 112, IRR 118, IRR 220, IRR 230 (Daud *et al.*, 2012; Nayanakantha *et al.*, 2017; Darajat &

Sayurandi, 2018; Ngon *et al.*, 2022). Salah memilih biji asalan (tidak sesuai rekomendasi) mengakibatkan peluang keberhasilan okulasi menjadi rendah akibat inkompatibilitas. Inkompatibilitas terjadi dalam tanaman karet berasal dari klon-klon berkerabat jauh atau memiliki kesamaan genetik yang rendah seperti PR 225-PB 260, PR 330-PB 260, AVROS 2037-PB 260 dan menjadi indikator dalam kegagalan okulasi (Adimihardja, 1999; Admojo & Prasetyo, 2019).

Kendala yang sering terjadi dalam pembibitan batang bawah yaitu kondisi bibit afkir akibat cekaman biotik maupun abiotik. Umumnya kondisi tersebut akibat penggunaan bibit asalan dan pembibitan karet okulasi selalu diperoleh bibit afkir melebihi 30% akibat adanya penyakit jamur akar putih (JAP), morfologi akar pendek dan kerdil. Bibit karet afkir menandakan aktivitas fisiologi tanaman terganggu utamanya di wilayah perakaran. Serangan penyakit Jamur Akar Putih (JAP) terus menjadi faktor penghambat pembibitan batang bawah. Bibit karet yang di inokulasi JAP selama 2-4 bulan menunjukkan penurunan diameter, bobot akar, asimilasi CO<sub>2</sub> dan konduktansi stomata (Maiden *et al.*, 2022). Adanya penyakit JAP menjadikan pembibitan tanaman batang bawah karet menjadi bibit afkir sehingga mempengaruhi morfologi akar menjadi tidak sesuai standar. Akar tanaman karet yang terserang JAP memiliki permukaan yang kasar (Im Toy *et al.*, 2018).

Sebagai upaya mengurangi kondisi tersebut, penggunaan mikroba menjadi salah satu alternatif yang dapat diaplikasikan pada tanaman. Infeksi mikroba non-patogen diharapkan berasosiasi positif dalam jaringan tanaman untuk meningkatkan imunitas terhadap cekaman biotik maupun abiotik. Salah satu mikroorganisme endofit yang berpotensi digunakan yaitu cendawan *Dark Septate Endophyte* (DSE). Kelompok cendawan DSE banyak dilaporkan bersifat simbiosis mutualisme dan dapat memacu pertumbuhan tanaman inangnya saat kondisi cekaman biotik maupun abiotik (Malicka *et al.*, 2022). Penelitian kelompok cendawan DSE asal Indonesia masih terbatas terhadap tanaman inangnya yaitu pada pohon meranti, pinus, cabai, padi dan

karet (Handayani, 2016; Manalu *et al.*, 2020; Yuliani *et al.*, 2020; Dalimunthe *et al.*, 2019; Akhir *et al.*, 2022). Hasil penelitian yang sudah dilakukan yaitu biofungisida terhadap ketahanan tanaman bibit karet dengan penggunaan cendawan DSE dengan daya hambat 57,67-83,33% patogen JAP *Rigidoporus micropus* secara *in vitro* dan menekan 7,5-17,5% serangan (Dalimunthe *et al.*, 2023). Kelompok cendawan DSE asal eksplorasi perakaran karet mampu meningkatkan tinggi tanaman padi 24,95% dibandingkan kontrol (Yuliani *et al.*, 2020).

Selain sebagai biofungisida, fungsi cendawan DSE berpotensi dalam memacu pertumbuhan (biostimulan) bibit karet. Hal tersebut diketahui dari volume akar yang terbentuk lebih banyak dibandingkan kontrol sehingga perlu diteliti potensinya secara morfologi dan fisiologi tanaman lebih terperinci. Terbatasnya penelitian isolat DSE asal perakaran karet spesifik lokasi (*indigenous* cendawan endofit) utamanya wilayah Sumatera Utara sehingga diperlukan eksplorasi keragaman hayati dan aplikasinya pada tanaman. Keragaman DSE di wilayah tropis seperti Indonesia masih belum sepenuhnya dilakukan eksplorasi lebih lanjut (Hidayat, 2019). Koleksi isolat DSE non patogen Unit Riset Sungei Putih, hasil eksplorasi perakaran tanaman karet wilayah Sumatera Utara tahun 2023 belum diketahui efektivitasnya terhadap kondisi pertumbuhan bibit batang bawah karet. Oleh sebab itu, potensi isolat DSE tersebut sebagai biostimulan bibit karet perlu diteliti pengaruhnya terhadap perubahan metabolisme tanaman yang dapat diamati secara morfofisiologi sehingga bibit akhir dapat diminimalkan dan kualitas bahan tanam meningkat.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari-Mei 2024 di Kebun Percobaan Unit Riset Sungei Putih, Galang, Deli Serdang, Sumatera Utara. Analisis fisiologi dilakukan di laboratorium proteksi tanaman Unit Riset Sungei Putih dan Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Bogor, Jawa Barat. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu biji klon karet PB 260, polibeg, tanah *top soil*, aquadest, asam sulfat, asam fosfat, asam sulfosilik, toluena, L-proline,

ninhidrin, TCA 2.5%, sukrosa, anthrone, etanol 96%, FeCl<sub>3</sub>, *Potato Dextrose Broth* (PDB), *Potato Dextrose Agar* (PDA), spiritus, nitrogen cair, pVPP. Alat yang digunakan polibeg ukuran 25 x 50 cm, timbangan analitik, mikroskop binokuler, spektrofotometer UV, *laminar air flow*, *shaker*, *water bath*, *centrifuge*, tabung reaksi, *beaker glass*, botol kultur, *reagent bottle*, jarum ose, cawan petri, mikropipet, kertas saring, sarung tangan, masker, tisu, vorteks, jangka sorong digital, meteran besi.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) non faktorial dengan empat perlakuan. Perlakuan yang dimaksud adalah 1) Kontrol, 2) Isolat KHPSG, 3) Isolat KLAJI, 4) Isolat KRPT dan dilakukan pengulangan tiga kali sehingga terdapat 12 plot percobaan. Setiap satu satuan percobaan menggunakan 30 tanaman sehingga total pengamatan sebanyak 360 tanaman polibeg. Aplikasi DSE dilakukan 2 kali yaitu perendaman dan penyiraman.

## Isolasi dan Pemurnian DSE

Sumber isolasi DSE diperoleh dari hasil eksplorasi dari perkebunan karet negara wilayah Labuhan Batu Utara dan Tapanuli Selatan, Sumatera Utara yang menjadi koleksi isolat di Laboratorium Proteksi Tanaman, Unit Riset Sungei Putih. Isolasi dan Pemurnian dilakukan dengan menumbuhkan isolat menggunakan media PDA dalam cawan petri di *laminar air flow*. Biakan isolat DSE murni diinkubasi dalam inkubator selama 7-21 hari. Tumbuhnya isolat ditandai dengan berubahnya warna media menjadi hitam.

## Aplikasi DSE pada Bibit Batang Bawah Karet Polibeg

Biakan murni isolat DSE pada media PDA ditumbuhkan dalam 100 ml media cair PDB dan selama 30 hari di *shaker* dengan kecepatan 100 rpm. Prinsip aplikasi isolat DSE pada tanaman mengikuti metode Wang *et al.* (2022) yang dimodifikasi. Isolat DSE yang sudah tumbuh pada media PDB disentrifugasi kemudian larutan cairan berisi metabolit diaplikasikan pada tanah *top soil* steril dalam polibeg dengan konsentrasi 2,08% (v/m). Aplikasi dilakukan dua kali yaitu aplikasi pertama dengan cara

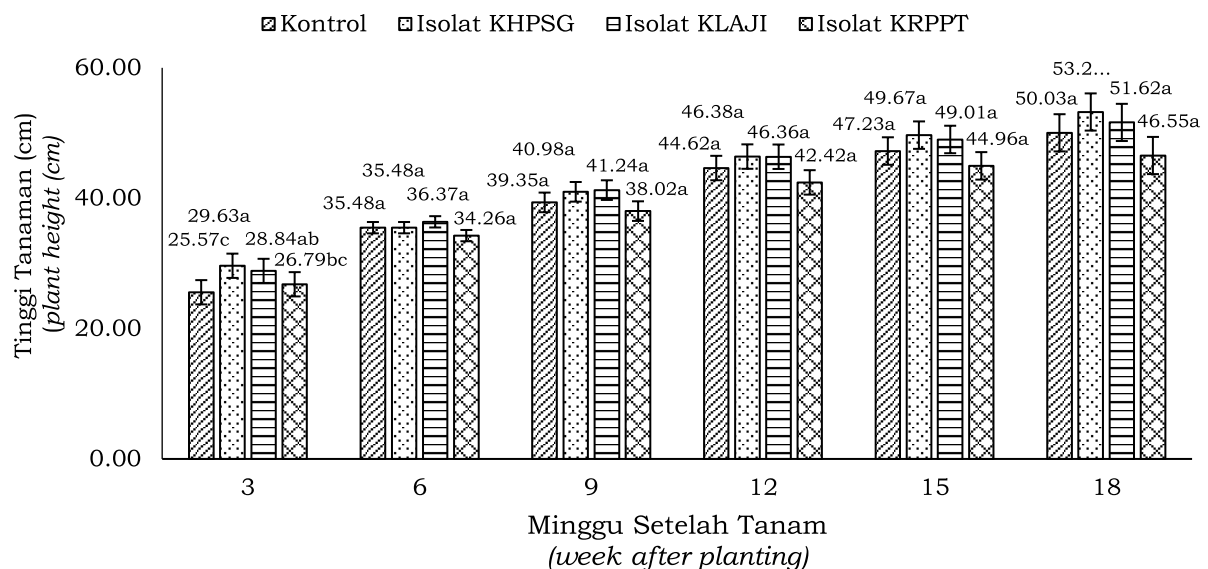
perendaman larutan metabolit isolat DSE pada stadia lanjut kecambah karet (umur 30 hari di persemaian benih) selama 4 jam. Aplikasi perendaman DSE mengikuti metode Azmi *et al.* (2022) yang dimodifikasi. Aplikasi kedua dilakukan dengan cara penyiraman saat tanaman umur 10 Minggu Setelah Tanam (MST). Kerapatan populasi isolat DSE yaitu  $10^6$  spora/ml.

Parameter pengamatan dalam penelitian yaitu tinggi tanaman, diameter, panjang tangkai daun, jumlah munculnya daun, IAA daun, gula total, dan total klorofil. Pengamatan IAA daun sesuai dengan metode Meudt & Gaines (1967). Pengamatan kandungan gula total dan total klorofil mengikuti prosedur Pasaribu & Basyuni (2023). Data pengamatan dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) untuk mengetahui adanya pengaruh yang nyata antara perlakuan. Jika hasil anova berbeda nyata maka dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) berdasarkan Mattjik dan Sumertajaya (2013) pada taraf  $\alpha = 5\%$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh DSE Terhadap Tinggi Tanaman

Hasil pengamatan tinggi tanaman batang bawah selama 18 MST (minggu setelah tanam) di polibeg tertera pada Gambar 1. Secara umum pola pertumbuhan tinggi tanaman 3-18 MST menunjukkan fase pertumbuhan cepat. Pertumbuhan tinggi tanaman nyata dipengaruhi aplikasi isolat DSE pada 3 MST. Pengaruh inokulasi jenis cendawan pada bibit karet juga dilaporkan sama diketahui kolonisasinya dari miselium yang ditemukan di akar setelah 2 minggu aplikasi cendawan mikoriza *Glomus mosseae* (Schwob *et al.*, 2000). Rataan tinggi tanaman saat 3 MST pada perlakuan berkisar 25.57- 29.63 cm dan terjadi peningkatan yaitu masing-masing isolat KHPSG 15.89%, KLAJI 12.79%, KRPT 4.79% dibandingkan kontrol. Peningkatan tinggi tanaman tersebut terlihat signifikan berbeda setelah aplikasi pertama. Hal ini sejalan dengan penelitian bibit batang bawah yang terinfeksi patogen penyakit jamur akar putih setelah 4 minggu inokulasi mengakibatkan peningkatan rata-rata tinggi tanaman pada perlakuan aplikasi DSE sebesar 83.33% dibandingkan kontrol (Dalimunthe *et al.*, 2023).



Gambar 1. Aplikasi isolat DSE terhadap tinggi tanaman, angka pada diagram dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata secara uji DMRT taraf 5%, garis error menunjukkan standar deviasi (n= 30)

Figure 1. The application of DSE Isolates on plant height rootstock, bars topped by the same letter do not differ significantly at  $P \leq 0.05$  by DMRT test, error bars show standard deviation (n = 30)

Cendawan endofit DSE pada tanaman batang bawah mengindikasikan bahwa dapat meningkatkan fase pertumbuhan awal tinggi tanaman dan berpotensi bisa digunakan pada pembibitan batang bawah. Cendawan endofit DSE tergolong dalam kelompok *Ascomycota* yang dapat berperan sebagai pemacu pertumbuhan dan fotosintesis pada tanaman melalui strategi memodifikasi jaringan seluler yang terinfeksi sehingga imunitas tanaman inang meningkat (Waqar *et al.*, 2024). Interaksi simbiosis antara cendawan DSE dan tanaman inang terjadi secara simbiosis mutualisme yaitu mikroba endofit menghasilkan senyawa metabolit untuk proses fisiologi tanaman dan tanaman memberikan nutrisi bagi mikroba (Pandey, 2019, Baron & Rigobelo, 2021).

Pertumbuhan tinggi tanaman tidak berbeda nyata secara statistik antara perlakuan isolat DSE dan kontrol pada 6-18 MST. Hal ini menunjukkan bahwa aplikasi penyiraman dengan konsentrasi 1% saat umur tanaman 10 MST tidak efektif untuk dilakukan. Patut diduga perlu peningkatan konsentrasi aplikasi secara penyiraman. Walaupun demikian, bila diperhatikan lebih lanjut dua isolat DSE yaitu KHPSG dan KLAJI memiliki rataan tinggi tanaman selalu lebih besar dibandingkan dengan kontrol di semua pengamatan. Satu isolat DSE memiliki rataan tinggi tanaman lebih rendah pada 6-18 MST yaitu KRPPPT. Kondisi tersebut disebabkan tanaman yang diaplikasikan isolat KRPPPT terserang penyakit daun lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya sehingga proses fotosintesis terhambat. Kerusakan daun akibat patogen penyakit dapat menurunkan tingkat fotosintesis 37.5% dan meningkatkan 26.2% respirasi gelap (Zhang *et al.*, 2022). Selain itu kondisi lingkungan saat penelitian tergolong mengalami

cekaman akibat rendahnya curah hujan di bulan Januari-Mei 2024 di lokasi penelitian. Rataan data curah hujan dalam lima tahun terakhir yaitu 8.03 hari hujan dan 129.22 mm.

### Pengaruh DSE Terhadap Diameter Batang Tanaman

Hasil pengamatan diameter tanaman batang bawah karet yang diberi isolat DSE tertera pada Tabel 1. Diameter tanaman yang diaplikasikan isolat DSE berpengaruh nyata dibandingkan perlakuan kontrol pada 3 MST. Artinya aplikasi pertama melalui perendaman kecambah mempengaruhi diameter tanaman setelah satu bulan amatan, sedangkan aplikasi kedua melalui perendaman tidak memiliki pengaruh yang nyata. Isolat KLAJI memiliki diameter lebih tinggi dibandingkan isolat KRPPPT. Hal tersebut disebabkan oleh kemampuan kolonisasi isolat KRPPPT di wilayah perakaran lebih rendah dibandingkan isolat KHPSG dan KLAJI. Kemampuan kolonisasi strain DSE dalam ekosistem dipengaruhi oleh spesies tanaman inang dan perubahan lingkungan (Zuo *et al.*, 2022). Kemampuan cendawan endofit dalam mengkolonisasi pada tanaman inang tergantung karakteristik spesifik inang dan kemampuannya menghasilkan enzim pendegradasi dinding sel maupun spora untuk menyerap substrat tanaman inang sehingga terjadi interaksi kompleks keduanya (Santos & Olivares, 2021). Pengaruh aplikasi DSE pada tanaman karet memiliki pola yang sama nyata berbeda pada 3 MST antara tinggi dan diameter tanaman. Hal ini sejalan dengan penelitian Karyudi *et al.*, (2004) yang menyatakan bahwa terdapat korelasi signifikan nyata antara parameter amatan diameter batang dan tinggi tanaman sebesar  $r=0.69$  pada perlakuan pemberian air 80% dari kapasitas lapang.

Tabel 1. Pengaruh aplikasi DSE terhadap diameter tanaman (mm)  
Table 1. Effect of DSE treatment on stem diameter (mm)

Perlakuan Treatment	Minggu Setelah Tanam Week After Planting					
	3	6	9	12	15	18
Kontrol	2.73 ± 0.10ab	3.43 ± 0.07a	3.93 ± 0.10a	4.21 ± 0.07a	4.45 ± 0.19a	4.69 ± 0.15a
KHPSG	2.74 ± 0.16ab	3.51 ± 0.04a	4.13 ± 0.09a	4.35 ± 0.07a	4.50 ± 0.05a	4.96 ± 0.08a
KLAJI	2.85 ± 0.18a	3.48 ± 0.28a	4.05 ± 0.36a	4.30 ± 0.45a	4.45 ± 0.53a	4.74 ± 0.67a
KRPPPT	2.67 ± 0.23b	3.35 ± 0.05a	3.90 ± 0.17a	4.07 ± 0.22a	4.19 ± 0.28a	4.39 ± 0.16a

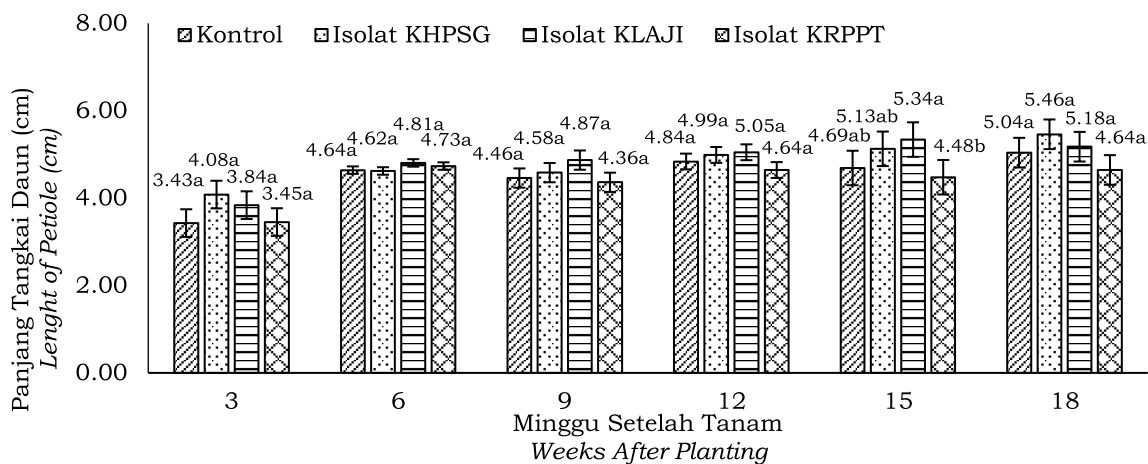
Ket. : Angka-angka dengan huruf yang sama tidak berbeda sesuai uji DMRT taraf 5%

Note: Figures followed by the same letters are not significantly different at  $P < 0.05$  by DMRT test

Semua perlakuan secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada 6-18 MST. Kondisi tersebut menandakan kemampuan DSE dalam mempengaruhi pertumbuhan diameter tanaman tergolong rendah. Rataan diameter tanaman berkisar 4.39-4.96 mm. Secara statistik tidak terdapat perbedaan ukuran, isolat KHPSG dan KLAJI menunjukkan kecenderungan angka lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hal itu menandakan bahwa kedua isolat berpotensi untuk digunakan sebab mempengaruhi ukuran diameter batang bawah tanaman. Pertumbuhan diameter tanaman *Pinus sylvestris* var. *mongolica* yang dinokulasi DSE (*Phialocephala bamuru* A024) meningkat 21.49% dibandingkan kontrol (Deng *et al.*, 2020). Diameter tanaman merupakan indikator kesiapan tanaman sebagai batang bawah untuk proses okulasi. Standar okulasi dilakukan jika batang bawah memiliki diameter  $\geq 6.00$  mm (Pasaribu, 2021). Okulasi dalam tanaman karet dibedakan berdasarkan umur batang bawah yaitu okulasi coklat dengan umur 7-12 bulan, okulasi hijau umur 4-6 bulan dan okulasi dini umur 2-3 bulan (Siagian dan Suhendry, 2006). Diameter dalam penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman dapat dilakukan okulasi hijau sebagai bahan tanam bibit batang bawah polibeg. Okulasi hijau klon PB 260 sebagai batang bawah dapat dilakukan dengan klon IRR 118 sebagai batang atas dengan jenis mata sisik hijau persentase keberhasilan 90.5% (Junaidi *et al.*, 2014).

### Pertumbuhan Panjang Tangkai Daun

Hasil pengamatan pengaruh aplikasi isolat DSE terhadap parameter panjang tangkai daun terlihat pada Gambar 2. Perbedaan ukuran panjang tangkai daun tanaman terjadi pada umur 15 MST secara statistik. Pengaruh yang nyata antar perlakuan diketahui setelah aplikasi kedua saat 10 MST melalui penyiraman. Panjang tangkai daun saat umur 15 MST memiliki kisaran rata-rata 4.48-5.34 cm. Metode aplikasi isolat cendawan endofit *Beauveria bassiana* secara penyiraman mampu meningkatkan jumlah daun tanaman cabai 21.91% dibandingkan kontrol (Saragih *et al.*, 2019). Perlakuan isolat KRPPT menunjukkan pola lebih rendah 4.48% terhadap kontrol, 16,10% dibandingkan isolat KLAJI, dan 12,67% dibandingkan isolat KHPSG. Penyebab demikian dikarenakan kemampuan isolat tersebut diduga rendah dalam mengkolonisasi pada bibit batang bawah tanaman karet. Komposisi spesies dan kolonisasi DSE dipengaruhi oleh jenis tanaman inang, kedalaman tanah dan ketersediaan hara tanah pada ekosistem gurun (Hou *et al.*, 2019). Hasil pengamatan di lapangan juga diketahui tanaman yang diaplikasikan perlakuan isolat KRPPT tidak tahan terhadap kondisi serangan patogen penyakit daun sehingga kemampuan fisiologisnya terhambat.



Gambar 2. Pengaruh pemberian isolat DSE terhadap panjang tangkai daun, angka pada diagram dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata secara uji DMRT taraf 5%, garis error menunjukkan standar deviasi (n= 25)

Figure 2. The effect of isolate DSE on petiole length, bars topped by the same letter do not differ significantly at  $P \leq 0.05$  by DMRT test, error bars show standard deviation (n = 30)

Panjang tangkai daun merupakan salah satu karakter morfologi tanaman karet yang diamati oleh pemuliaan tanaman karet konvensional dalam menyeleksi genotipe. Semakin panjang ukuran tangkai daun menandakan kemampuan tanaman dalam proses fotosintesis semakin optimal, mengingat karakteristik perdaunan karet berbentuk payung dalam satu batang tanaman. Rataan panjang tangkai daun pada penelitian yaitu perlakuan isolat KHPSG (8.33%) dan KLAJI (2.78%) memiliki ukuran lebih besar dibandingkan dengan kontrol di 18 MST. Artinya pemberian isolat DSE cenderung meningkatkan ukuran panjang tangkai daun. Tangkai daun digunakan oleh tanaman untuk proses alokasi pembentukan biomassa daun dalam hal perluasan wilayah fotosintesis (Guo *et al.*, 2023).

Karakteristik panjang tangkai daun setiap klon berbeda-beda. Rincian pengamatan pada karakter amatan tangkai daun meliputi panjang, posisi, sudut antara, arah tangkai anak daun, dan bentuk memanjang. Perbedaan karakter klon IRR 220 dan IRR 429 yaitu warna daun, bentuk potongan memanjang dan melintang, nektar tangkai daun, jarak antar karangan dan bentuk karangan daun (Pasaribu *et al.*, 2023). Tangkai daun merupakan salah satu organ tanaman yang menunjukkan tanaman mengalami cekaman. Menurut Carr (2012) jaringan xylem pada tanaman karet yang mengalami cekaman kekeringan

rentan terhadap kondisi kavitasinya utamanya pada tangkai daun. Berdasarkan hal tersebut terindikasi bahwa tanaman dengan perlakuan isolat KRPPPT mengalami gangguan aktivitas fisiologis dalam proses translokasi hasil fotosintat ke seluruh jaringan tanaman.

### **Karakteristik Jumlah Munculnya Daun Tanaman**

Pengaruh aplikasi DSE terhadap jumlah munculnya daun pada tanaman karet selama penelitian tertera pada Tabel 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada perbedaan yang nyata jumlah munculnya daun terhadap perlakuan secara statistik pada 3 MST. Isolat KHPSG memiliki jumlah munculnya daun lebih banyak 22.54% dibandingkan kontrol. Hasil penelitian serupa pada komoditas lain oleh Zhang *et al.* (2012) yaitu tanaman obat goji berry yang diaplikasikan DSE isolat LBF-2 (*Paraphoma chrysanthemicola*) mampu meningkatkan jumlah akar dan daun tanaman 21,5% dibandingkan kontrol. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa pemberian isolat DSE pada tanaman karet meningkatkan jumlah munculnya daun pada tanaman karet. Daun merupakan salah satu organ tanaman yang paling adaptif terhadap respon perubahan lingkungan ekosistem, sebab sebagai tempat terjadinya pertukaran air dan udara melalui proses fotosintesis maupun respirasi (Li & Wang, 2021).

Tabel 2. Pengaruh inokulasi DSE terhadap jumlah munculnya daun  
*Table 2. The Effect of inoculation DSE on numbers of leaves*

Perlakuan <i>Treatment</i>	Minggu Setelah Tanam <i>Weeks After Planting</i>					
	3	6	9	12	15	18
Kontrol	2.84 ± 0.18b	5.05 ± 0.18a	4.61 ± 0.32a	5.49 ± 0.20a	5.37 ± 0.34a	5.29 ± 0.71a
KHPSG	3.48 ± 0.04a	5.00 ± 0.11a	4.91 ± 0.76a	5.73 ± 0.49a	5.58 ± 0.51a	6.30 ± 0.93a
KLAJI	3.07 ± 0.09b	4.97 ± 0.30a	4.54 ± 0.40a	5.34 ± 0.79a	4.92 ± 0.97a	5.18 ± 1.94a
KRPPT	3.03 ± 0.26b	4.68 ± 0.07a	4.31 ± 0.23a	4.80 ± 0.20a	4.51 ± 0.51a	3.84 ± 0.69a

Ket. : Angka-angka dengan huruf yang sama tidak berbeda sesuai uji DMRT taraf 5%  
*Note: Figures followed by the same letters are not significantly different at DMRT P < 0.05*

Pengaruh perlakuan isolat DSE pada 6-18 MST tidak signifikan berbeda nyata terhadap kontrol (Tabel 2). Pola yang sama dengan parameter pertumbuhan lainnya diketahui isolat KRPPPT mengalami gangguan fisiologis. Hal tersebut ditandai

dengan jumlah munculnya daun 6-18 MST berkurang dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Jumlah daun yang sedikit artinya kemampuan tanaman dalam proses fotosintesis tidak optimal dan gangguan pertumbuhan. Berkurangnya jumlah

munculnya daun pada tanaman saat penelitian disebabkan serangan patogen penyakit daun dan kondisi curah hujan yang rendah. Walaupun secara statistik perlakuan DSE tidak berbeda nyata, jumlah daun isolat KHPSG lebih tinggi 19.09% terhadap kontrol pada 18 MST. Inokulasi DSE pada tanaman batang bawah karet berpotensi dapat dijadikan alternatif untuk memacu pertumbuhan daun.

**Analisis Fisiologi Tanaman Karet**

Pengaruh aplikasi isolat DSE terhadap kadar IAA daun, gula total dan total klorofil tanaman batang bawah karet tertera pada Tabel 3. Analisis parameter fisiologi tanaman dilakukan pada 18 MST. Rataan kadar IAA daun tanaman dalam perlakuan yaitu 8.62-15.54 ppm. Kadar IAA daun pada perlakuan isolat KHPSG nyata berbeda terhadap kontrol, isolat KLAJI dan KRPPT. Kadar IAA daun perlakuan isolat

KHPSG nyata lebih kecil 34.55% dibandingkan kontrol, 44.53% dibandingkan isolat KLAJI, dan 43.10% terhadap isolat KRPPT. Kadar IAA tanaman yang rendah saat inokulasi DSE juga terdapat dalam penelitian Li *et al.* (2023) yaitu IAA akar tanaman obat *Isatis indigotica* mengalami penurunan saat diaplikasikan perlakuan cendawan DSE (*Acrocalymma aquatica*) dan residu bahan organik pada kondisi kapasitas lapang 30%. Rendahnya kandungan IAA daun pada tanaman inokulasi isolat KLAJI diduga bahwa kehadiran mikroba mengubah biosintesis produksi maupun distribusi hormon auksin sebagai respon tanaman terhadap infeksi. Adanya mikroba endofit penghasil IAA yang diinokulasi ke tanaman dapat merubah sensitivitas fisiologi tanaman dalam biosintesis auksin utamanya dalam pembentukan senyawa aktif triftopan (Herlina *et al.*, 2016).

Tabel 3. Pengaruh inokulasi DSE terhadap kandungan IAA daun, gula total, dan total klorofil  
 Table 3. The influences of inoculation DSE treatments on IAA of leaves, total sugar, and chlorophyll

Perlakuan <i>Treatment</i>	IAA Daun (ppm) <i>IAA Leaf</i>	Gula Total (µM) <i>Total Sugar</i>	Klorofil Total (g/mg) <i>Total Chlorophyll</i>
Kontrol	13.17 ± 0.02 <sup>a</sup>	54.83 ± 10.56 <sup>a</sup>	8.25 ± 4.29 <sup>b</sup>
KHPSG	8.62 ± 1.56 <sup>b</sup>	98.83 ± 31.25 <sup>b</sup>	26.90 ± 14.84 <sup>ab</sup>
KLAJI	15.54 ± 0.99 <sup>a</sup>	64.50 ± 25.10 <sup>a</sup>	26.49 ± 10.25 <sup>ab</sup>
KRPPT	15.15 ± 1.69 <sup>a</sup>	43.69 ± 7.67 <sup>a</sup>	32.39 ± 7.38 <sup>a</sup>
KK	9.59	2.80	16.52

Ket. : Huruf sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata sesuai uji DMRT pada α = 5%  
 Note: The number followed the same letter in the same column showed no significant difference at the level of 5% by DMRT

Respon tanaman terhadap aplikasi isolat KLAJI dan KRPPT secara statistik kadar IAA daun tidak berbeda nyata dibandingkan kontrol. Namun bila diperhatikan lebih lanjut, rata-rata angka kadar IAA daun kedua isolat tersebut lebih tinggi 16,51% terhadap kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya inokulasi DSE berpotensi meningkatkan kadar IAA daun tanaman karet. Peranan IAA yang dihasilkan cendawan dalam sistem interaksinya dengan tanaman berperan sebagai strategi patogenitas atau symbiosis, mengarah pada peningkatan pertumbuhan tanaman, dan modifikasi mekanisme dasar pertahanan tanaman (Fu *et al.*, 2015).

Hasil analisa kadar gula total tanaman menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap perlakuan (Tabel 3). Isolat KHPSG nyata memiliki kadar gula total tertinggi (98,83 µM) dibandingkan perlakuan lainnya. Tingginya akumulasi gula total tanaman menandakan bahwa aktivitas proses fotosintesis optimal sehingga tersedia bahan fotosintat untuk kelangsungan proses metabolisme tanaman. Secara statistik kadar gula total isolat KLAJI dan KRPPT tidak nyata berbeda dengan kontrol. Namun rata-rata nilai tersebut untuk kedua isolat cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Hasil dalam pengamatan ini sejalan dengan penelitian Isolat DSE (*Alternaria*



*alternata* (Fr.) Keissl. dan *Paraphoma radicina* (McAlpine) Morgan-Jones & J.F. White) mampu meningkatkan kelarutan gula tanaman gandum pada kondisi kecukupan air, cekaman kekeringan ringan dan berat (Li *et al.*, 2022). Kadar gula total yang tinggi seringkali dikaitkan dengan respon tanaman terhadap kondisi cekaman. Klon karet IRR 425 dan IRR 434 memiliki kandungan gula total dan prolin yang tinggi saat terjadi cekaman kekeringan (Pasaribu *et al.*, 2023).

Klorofil total tanaman yang diaplikasikan DSE diketahui berpengaruh nyata terhadap perlakuan. Secara statistik klorofil total perlakuan isolat KRPPT nyata berbeda dibandingkan perlakuan kontrol, isolat KHPSG, dan isolat KLAJI. Rataan klorofil total isolat KRPPT (292,61%), KHPSG (226,07%), KLAJI (221,10%) terhadap perlakuan kontrol (Tabel 3). Klorofil total isolat KHPSG dan KLAJI tidak berbeda nyata dengan kontrol. Namun, rataan nilai tersebut cenderung lebih tinggi terhadap kontrol. Hasil yang serupa dinyatakan dalam penelitian Li *et al.* (2022) yaitu kadar klorofil perlakuan DSE lebih tinggi 125, 34% dibandingkan dengan kontrol pada tanaman gandum. Kadar klorofil total yang tinggi pada tanaman menunjukkan terjadi peningkatan efisiensi fotosintesis maupun kesehatan tanaman optimal, dan indikator nutrisi tanaman tergolong tercukupi (Liu *et al.*, 2023; Qin *et al.*, 2023). DSE mempengaruhi kondisi fisiologi tanaman melalui pengaturan metabolisme glutathion (GSH), dan kadar thiol tanaman inangnya (Hidayat, 2019). Kadar GSH yang baik pada sel tanaman, dapat dipastikan kandungan klorofil tetap utuh dan fungsional sebagai pendukung efisiensi fotosintesis dalam mekanisme adaptasi pertumbuhan tanaman terhadap kondisi lingkungan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perlakuan cendawan isolat DSE mempengaruhi karakter pertumbuhan tinggi, diameter, panjang tangkai daun, jumlah daun, kadar IAA daun, gula total dan total klorofil tanaman batang bawah karet klon PB 260. Secara umum, respon pertumbuhan dan fisiologi tanaman karet selama 18 MST isolat asal Sumatera Utara mampu memacu pertumbuhan. Cendawan DSE Isolat KHPSG dan KLAJI merupakan isolat terbaik yang berpotensi dapat dijadikan biostimulan pertumbuhan dalam pembibitan batang bawah karet. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk indentifikasi molekuler isolat tersebut dan pengujian efektivitas konsorsium mikroba baik secara *in vitro* maupun *in vivo*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis disampaikan kepada Pusat Penelitian Karet-PT RPN yang telah membantu pembiayaan penelitian ini melalui program penelitian *In house* Tahun Anggaran 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adimihardja, S.A. (1999). Identifikasi inkompatibilitas batang atas dan batang bawah pada sistem okulasi karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg). *Tesis, Program Pascasarjana*, IPB.
- Admojo, L., dan Prasetyo, N. E. (2019). Pengaruh okulasi bertingkat terhadap pertumbuhan bibit karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) asal stek. *Jurnal Penelitian Karet*, 37 ( 1 ) , 31 - 42 . DOI : <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v37i1.623>

- Akhir, J, Budi, S W, Herliyana, E N, Surono. (2022). Lignocellulolytic enzyme potential of dark septate endophyte (DSE) from *Pinus merkusii* roots in Dramaga Bogor Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 959:01203. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/959/1/012031>
- Azmi, C., Rahayu, A, Saadah, I.R., Wulandari, A.W., Sahat, J.P., Jayanti, H., Susilowati, D.N., and Surono. (2022). Use of dark septate endophyte (DSE) for true shallot seed (TSS) germination. *Seminar Nasional Bioteknologi Vii Universitas Gadjah Mada*, 196-222. [https://www.researchgate.net/publication/362703904\\_Use\\_of\\_dark\\_septate\\_endophyte\\_DSE\\_for\\_true\\_shallot\\_seed\\_TSS\\_germination](https://www.researchgate.net/publication/362703904_Use_of_dark_septate_endophyte_DSE_for_true_shallot_seed_TSS_germination)
- Baron, N. C., Rigobelo, E. C. (2021). Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. *Mycology*. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1080/21501203.2021.1945699>
- Bintarti, A.F. (2015). Perkembangan kultur *in vitro* pada tanaman karet (*Hevea brasiliensis*, Müell. Arg.) melalui embriogenesis somatik di Cirad Perancis. *Warta Perkaratan*, 34 (1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v34i1.58>
- Carr, M.K.V. (2012). The water relations of rubber (*Hevea brasiliensis*): A review. *Experimental Agriculture*, 48(02), 176-193. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0014479711000901>
- Dalimunthe, C.I., Soekarno, B.P.W, Munif, A, Surono. (2019). Selection and potential test of dark septate endophytes fungus as biological agent of white root rot disease (*Rigidoporus microporus*) on the rubber plant Indonesian. *J. Nat. Rubb. Res*, 37(1), 11 - 20. DOI: <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v37i1.624>.
- Dalimunthe. C.I., Surono, Soekarno, B.P.W., Al-Ani, L.K.T., Munif, A., Sriherwanto, C., and Nurdebyandaru, N. (2023). First report of inhibitory abilities of dark septate endophytic fungi against white root rot disease on *Hevea brasiliensis* seedlings in nursery conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33:81. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00725-9>
- Darojat, M.R., dan Sayurandi. (2018). Status klon-klon karet seri IRR hasil kegiatan pemuliaan indonesia dan adopsinya di perkebunan karet Indonesia. *Perspektif*, 17(2), 101- 116. DOI: DOI: <http://dx.doi.org/10.21082/psp.v17n2.2018>
- Daud, N.W., Mokhatar, S.J., and Ishak, C. F. (2012). Assessment of selected *Hevea brasiliensis* (RRIM 2000 Series) seeds for rootstocks production. *African Journal of Agricultural Research*, 7(12), 3209-3216. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR12.272>
- Deng, X., Song, X., Halifu, S., Yu, W., and Song, R. (2020). Effects of dark septate endophytes strain A024 on damping-off biocontrol, plant growth and the rhizosphere soil environment of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Annual Seedlings. *Plants*, 9(7), 913. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9070913>

- Fu, S. F., Wei, J. Y., Chen, H. W., Liu, Y. Y., Lu, H. Y., & Chou, J. Y. (2015). Indole-3-acetic acid: A widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. *Plant Signaling & Behavior*, 10(8). DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1048052>
- Guo, X., Schrader, J., Shi, P., Jiao, Y., Miao, Q., Xue, J., and Niklas, K.J. (2023). Leaf-age and petiole biomass play significant roles in leaf scaling theory. *Front. Plant Sci.* 14, 1322245. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1322245>
- Handayani, D. (2016). Keberadaan cendawan dark septate endophyte (DSE) pada sistem perakaran benih *Shorea selanica*. *Eksakta*, 1, 38-44. <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/eksakta/article/view/6100>.
- Herlina, L., Pukan, K.K, dan Mustikaningtyas, D. (2016). Kajian bakteri endofit penghasil IAA (*Indole Acetic Acid*) untuk pertumbuhan tanaman. *Saintekno*, 4(1), 51-58. DOI: <https://doi.org/10.15294/saintekno.v14i1.7616>
- Hidayat, I. (2019). Dark septate endophytes and their role in enhancing plant resistance to abiotic and biotic stresses. In R. Z. Sayyed et al. (eds.), *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Stress Management, Microorganisms for Sustainability*, 12, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6536-2_3)
- Im Toy, B. A., Langkuin, J. F., Karwur, F. F., Setyawan, B., Berlian, I., Rondonuwu, F. S., Martosupono, M., & da Costa, J. F. (2018). Komparasi morfologi beberapa koloni jamur akar putih (*Rigidoporus microporus*) dari perkebunan karet di Jawa Tengah dan Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Karet*, 36(2), 137-146. DOI: <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v36i2.562>
- Junaidi, Atminingsih, dan Siagian. (2014). Pengaruh jenis mata entres dan klon terhadap keberhasilan okulasi dan pertumbuhan tunas pada okulasi hijau di polibeg. *Jurnal Penelitian Karet*, 32(1), 21-30. DOI: <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v32i1.146>
- Karyudi, Siagian, N., dan Hanafiah, A. (2004). Osmoregulasi tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai respon terhadap cekaman air. II Hubungan antara kapasitas osmoregulasi dan pertumbuhan tanaman dan status hara daun. *Jurnal Penelitian Karet*, 22(1), 69-80. <https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v36i2.562>
- Li, W., Yao, J., He, C., Ren, Y., Zhao, L., and He, X. (2023). The synergy of dark septate endophytes and organic residue on *Isatis indigotica* growth and active ingredients accumulation under drought stress. *Industrial Crops & Products* 203, 117147. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117147>
- Li, X., Liu, Y., Ye, Q., Xu, M., and He, X. (2022). Application of desert DSEs to nonhost plants: potential to promote growth and alleviate drought stress of wheat seedlings. *Agriculture*, 12, 1539. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12101539>

- Li, Y., and Wang, Z. (2021). Leaf morphological traits: Ecological function, geographic distribution and drivers. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 45(6). DOI: <https://doi.org/10.17521/cjpe.2020.0405>
- Liu, S., Xiong, Z., Zhang, Z., Wei, Y., Xiong, D., Wang, F., and Huang, J. (2023). Exploration of chlorophyll fluorescence characteristics gene regulatory in rice (*Oryza sativa* L.): a genome-wide association study. *Front. Plant Sci.* 14,1234866. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1234866>
- Maiden, N.A, Ali, N.S., Ahmad, K., Atan, S., and Wong, M.Y. (2022). Growth and physiological responses of *Hevea brasiliensis* to *Rigidoporus microporus* infection. *Journal of Rubber Research*, 25, 213–221. DOI:<https://doi.org/10.1007/s42464-022-00156-5>.
- Manalu, J.N., Soekarno, B.P.W., Tondok, E.T., Surono. (2020). Isolation and capability of dark septate endophyte against mancozeb fungicide. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 2020; 25(2): 193 - 198. DOI: <https://doi.org/10.18343/jipi.25.2.193>
- Mattjik, A. A., dan Sumertajaya, I. M.. (2013). *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. IPB Press.
- Maurya, D., Pandey, A.K., Kumar, V., Dubey, S., and Prakash, V. (2019). Grafting techniques in vegetable crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2), 1664-1672. [https://www.researchgate.net/publication/333186096\\_Grafting\\_techniques\\_in\\_vegetable\\_crops\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/333186096_Grafting_techniques_in_vegetable_crops_A_review)
- Meudt, W.J, and Gaines, T.P. (1967). Studies on the okxidation of indone-3-acetid acid by peroxidase enzymes. I. colorimetric determination od indone-3-acetid acic oxidation products. *Plant Physion*, 42, 1395-1399. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1086736/pdf/plntphys00502-0081.pdf>
- Nayanakantha, N.M.C., Panditharatha, B.M.S.S., Senevitane, P., and Dissanayaka, E.U.M.D.Z. (2017). Assessment of growth and bud-grafting performance of selected clonal seedling rootstocks of rubber (*Hevea brasiliensis*). *Conference: First International Symposium on Agriculture , Eastern University of Sri LankaAt: Eastern University, Chenkalady, 94 - 103*. [https://www.researchgate.net/publication/349760647\\_Assessment\\_of\\_growth\\_and\\_bud-grafting\\_performance\\_of\\_selected\\_clonal\\_seedling\\_rootstocks\\_of\\_rubber\\_Hevea\\_brasiliensis](https://www.researchgate.net/publication/349760647_Assessment_of_growth_and_bud-grafting_performance_of_selected_clonal_seedling_rootstocks_of_rubber_Hevea_brasiliensis)
- Ngon, R.M.A, Ehabe, E.E., and Njukeng, J.N. (2022). Clonal variations in seed characters and germination in *Hevea brasiliensis*. *Journal of Plantation Crops*, 50(3), 125-128. DOI: <https://doi.org/10.25081/jpc.2022.v50.i3.7881>
- Pandey, A. (2019). Are dark septate endophytes bioindicators of climate in mountain ecosystems?. *Rhizosphere*, 9, 110–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.01.001>
- Pasaribu, S.A. (2021). Studi fenologi dan molekuler klon karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) IRR seri 400 sebagai batang atas terhadap cekaman kekeringan. *Disertasi. Program Doktor Ilmu Pertanian, Pascasarjana Universitas Sumatera Utara*.

- Pasaribu, S.A., and Basyuni, M. (2023). Procedure of total sugar content, proline, chlorophyll a, b, total, SOD, POD, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and APX. *Protocols.io*. DOI: <https://dx.doi.org/10.17504/protocols.io.5jyl8je1dg2w/v1>
- Pasaribu, S.A., Basyuni, M., Purba, E., and Hasanah, Y. (2023). Physiological characteristics of IRR 400 series rubber clones (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) under drought stress. *F1000Research*, 12, 106 DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.129421.4>
- Pasaribu, S.A., Prasetyo, N. E., dan Oktavia, F. (2023). Keunikan dan keseragaman klon karet IRR 220 dan IRR 429. *Jurnal Penelitian Karet*, 41(2), 81-92. DOI:<https://doi.org/10.22302/ppk.jpk.v41i2.866>
- Qian, X., Liu, L., Chen, X., Zhang, X., Chen, S., and Sun, Q. (2023). Global leaf chlorophyll content dataset (GLCC) from 2003–2012 to 2018–2020 derived from MERIS and OLCI satellite data: algorithm and validation. *Remote Sens.*, 15, 700. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15030700>
- Santos, L. F., & Olivares, F. L. (2021). Plant microbiome structure and benefits for sustainable agriculture. *Current Plant Biology*, 26, 100198. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100198>
- Saragih, M, Trizelia, Nurbailis, Yusniwati. (2019). Endophytic colonization and plant growth promoting effect by entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* to red chili (*Capsicum annum* L.) with different inoculation methods. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 305, 012070 . DOI:<https://doi.org/10.1088/1755-1315/305/1/012070>
- Schwob, I., Ducher, M., and Coudret, A. (2000). An arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*) induces a defence-like response in rubber tree (*Hevea brasiliensis*) roots. *J. Plant Physiol.*, 156, 284-287. <http://www.urbanfischer.de/journals/jpp>
- Siagian, N. dan I. Suhendry. 2006. Teknologi terkini pengadaan bahan tanam karet unggul. *Balai Penelitian Sungei Putih, Medan*.
- Wang, S., Bi, Y., Quan, W., and Christie, P. (2022). Growth and metabolism of dark septate endophytes and their stimulatory effects on plant growth. *Fungal Biology*, 126, 674-686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.08.006>
- Yuliani, D., Soekarno, B.P.W, Munif, A., Suroho. (2020). Antagonism potency of dark septate endophytes against *Pyricularia oryzae* for improving health of rice plants. *Jurnal Agro*. 7(2), 134-147. DOI: <https://doi.org/10.15575/9589>

- Zhang, B., Zhou, L., Bai, Y., Zhan, M., Chen, J., and Xu, C. (2022). Differential responses of leaf photosynthesis to insect and pathogen outbreaks: A global synthesis. *Science of The Total Environment*, 832, 155052. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155052>
- Zhang, H., Tang, M., Chen, H., and Wang. Y. (2012). Effects of a dark-septate endophytic isolate LBF-2 on the medicinal plant *Lycium barbarum* L. *The Journal of Microbiology*, 50(1), 91-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12275-012-1159-9>
- Zuo, Y., Hu, Q., Liu, J., and He. X. (2022). Relationship of root dark septate endophytes and soil factors to plant species and seasonal variation in extremely arid desert in Northwest China. *Applied Soil Ecology*, 175, 104454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104454>