APLIKASI *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SEMAI SENGON (*Falcataria moluccana*)

(Skripsi)

Oleh

Falah Rizkasumarta
1714151018

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ABSTRAK

APLIKASI *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SEMAI TANAMAN SENGON (*Falcataria moluccana*)

Oleh

Falah Rizkasumarta

Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit menjadi minyak sawit (*Crude Palm Oil*/CPO) berupa limbah cair/*Palm Oil Mill Effluent* (POME) dan limbah padat. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat tertinggi yang dihasilkan, sehingga perlu dimanfaatkan dan diolah lebih lanjut agar tidak menimbulkan masalah. Salah satu solusi pemanfaatannya yaitu diolah menggunakan teknologi pirolisis (pembakaran terbatas tanpa oksigen) menjadi *biochar*. *Biochar* merupakan arang hayati yang mengandung karbon tinggi dan sangat tahan terhadap dekomposisi, serta diketahui juga sebagai pembenah tanah yang mampu memperbaiki kesuburan kimia, fisika, dan biologi tanah. Tingginya kadar abu *biochar* dapat diatasi dengan mencampurkan *biochar* dengan tanah dan air untuk melepaskan hara secara terkendali. *Biochar* banyak digunakan sebagai media tanam pada persemaian hutan tanaman industri untuk memenuhi kebutuhan bibit tanaman yang berkualitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *biochar* TKKS terhadap pertumbuhan bibit sengon (*Falcataria moluccana*). Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan 3 faktor yaitu suhu pirolisis dengan taraf 400°C dan 600°C, dosis *biochar* dengan taraf 0% (kontrol), 5% dan 10%, dan letak *biochar* di media tanam dengan taraf atas, tengah, dan bawah. Analisis data yang digunakan adalah Analisis Ragam (ANARA) dan Beda Nyata Terkecil (BNT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *biochar* TKKS dengan suhu 400°C dosis 10% pada letak bawah memberikan pengaruh yang lebih baik dalam meningkatkan pertumbuhan sengon dibandingkan dengan perlakuan lainnya dan kontrol.

Kata kunci: *biochar*, media, pirolisis, sengon, TKKS.

ABSTRACT

BIOCHAR APPLICATION OF OIL PALM EMPTY FRUITS BUNCHES AS A PLANTING MEDIA TO INCREASE GROWTH OF *Falcataria moluccana*

By

Falah Rizkasumarta

Waste generated from the processing of fresh fruit bunches (FFB) of palm oil into crude palm oil (CPO) usually in the form of liquid waste/Palm Oil Mill Effluent (POME) and solid waste. Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) are the highest solid waste generated, which need to be utilized and processed further to reduce the problems. One of the solutions was to converting OPEFB into biochar using pyrolysis technology (limited burning of oxygen). Biochar is a high-carbon, highly resistant biological agent, and also known as subsoil immersion that improves soil chemical, physical, and biological fertility. The high ash content of biochar should overcome by mixing biochar with soil and water to release nutrients in slowly. Biochar widely used as a planting medium in industrial forest nurseries to meet the need for quality plant seeds. This study aims to determine the effect of OPEFB biochar on the growth of *Falcataria moluccana* seedlings. This study used a completely randomized design method with 3 factors, namely pyrolisis temperature with a level of 400°C and 600°C, biochar dosage with a level of 0% (control), 5% and 10%, and biochar location in planting media with an upper, middle, and lower level. The analysis used is Analysis of Variety (ANOVA) and Least Significant Difference (LSD). The results showed that the addition of OPEFB biochar at a temperature of 400°C at a dose of 10% which laid in the bottom of planting media gave a better effect to increasing the growth of sengon compared to other treatments and controls.

Keywords: biochar, *Falcataria moluccana*, media, OPEFB, pyrolysis

APLIKASI *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SEMAI TANAMAN SENGON (*Falcataria moluccana*)

Oleh

FALAH RIZKASUMARTA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN

pada

Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung

FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

Judul Penelitian	: **APLIKASI *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SEMAI TANAMAN SENGON (*Falcataria moluccana*)**
Nama	: Falah Rizksumarta
NPM	: 1714151018
Jurusan	: Kehutanan
Fakultas	: Pertanian

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.	**Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.**
NIP 197705032002122002	NIP 197911142009121001

MENGETAHUI

2. Ketua Jurusan Kehutanan

Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si.
NIP 197402222003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.** .....

Sekertaris : **Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.** .....

Penguji : **Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **24 Desember 2021**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Falah Rizkasumarta

NPM : 1714151018

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguh-sungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

"APLIKASI BIOCHAR TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI MEDIA TANAM UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN SEMAI TANAMAN SENGON (*Falcataria moluccana*)"

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 19 Mei 2022

Yang menyatakan,

Falah Rizkasumarta

NPM. 1714151018

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bekasi pada tanggal 4 September 1998. Penulis merupakan anak ke dua dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Edis Maryadi. Alm dan Ibu Euis Puspitasari. Penulis menempuh pendidikan formal pertama pada tahun 2006-2011 di SD Negeri 011 Jatimulya, kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 4 Tambun Selatan tahun 2011-2014, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas tahun 2014-2017. Tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Kehutanan Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasylva). Selama berorganisasi di Himasylva penulis menjadi anggota kepengurusan tahun 2019 dan menjadi Kepala Bidang Penelitian dan Pengembangan Organisasi pada tahun 2020.

Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari pada bulan Januari – Februari 2020 di Desa Trikarya Mulya, Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Mesuji. Tahun 2020 penulis mengikuti kegiatan Praktik Umum di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango Provinsi Jawa Barat selama 40 hari pada Bulan Juli hingga Bulan Agustus. Tahun 2021 penulis juga memiliki pengalaman sebagai pemateri di Seminar Nasional Silvikultur VIII yang diselenggarakan di Universitas Lampung dan mempublikasikan artikel dalam bentuk prosiding dengan judul “Aplikasi *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Media Tanam untuk Meningkatkan Pertumbuhan Semai Sengon (*Falcataria moluccana*).

Bismillahirrahmanirrahim

Teruntuk Kedua Orang Tuaku Yang Tercinta
Edis Maryadi Alm. dan Euis Puspitasari

Motto

طَلَبُ الْعِلْمِ فَرِيْضَتٌ عَلَى كُلِّ مُسْلِمٍ
"Menuntut ilmu, wajib bagi setiap muslim"
(HR. Ibnu Majah)

if you do, and you understand

Janganlah kamu sibuk mencari alasan, untuk membenarkan kesalahanmu

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul "Aplikasi *Biochar* Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Media Tanam untuk Meningkatkan Pertumbuhan Semai Tanaman Sengon (*Falcataria moluccana*)" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Universitas Lampung. Penelitian ini merupakan bagian dari proyek kegiatan yang mendapat bantuan dana dari Korean Institute of Energy Research. Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Melya Riniarti, S.P., selaku dosen pembimbing utama dan pembimbing akademik. Terimakasih atas kesediaanya untuk memberikan bimbingan, dukungan, ilmu, gagasan, kritik dan saran, serta banyak motivasi dengan penuh kesabaran selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung hingga proses skripsi ini terselesaikan.
4. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua atas semua dukungan, kritik dan saran, serta nasihat yang telah diberikan kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si., selaku dosen penguji atas semua dukungan, kritik dan saran, serta nasihat yang telah diberikan kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.
6. Korean Institute of Energy Research yang telah mendukung dalam pendanaan penelitian ini sehingga dapat selesai dan berjalan dengan lancar.
7. Bapak dan ibu dosen, serta tenaga kependidikan Jurusan Kehutanan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan membantu penulis selama menuntut ilmu dan menyelesaikan proses administrasi di Universitas Lampung.
8. Teristimewa kedua orangtua tercinta, Ayah Edis Maryadi Alm. dan Mamah Euis Puspitasari. Bersyukur atas segala bentuk do'a, perjuangan, kasih sayang, kesabaran, serta dukungan untuk penulis, sehingga bisa mencapai titik saat ini yaitu menyelesaikan jenjang S1.
9. Kakak dan adik tercinta Yuftah Rizkasumarta, Muhammad Triandita Rahmatulloh, Ahmad Argasantana, dan Humaira Andhista, terima kasih atas segala dukungan semangat, motivasi, serta doa untuk penulis.
10. Terima kasih untuk diri saya sendiri, sudah tetap semangat dan berjuang menyelesaikan tanggung jawab dari orangtua, semoga menjadi pribadi yang lebih dewasa dan mampu berkembang dalam menggapai cita-cita.
11. Keluarga Himasylva bersyukur terima kasih atas dukungan dan kebersamaannya dalam membentuk karakter penulis menjadi lebih dewasa dan meningkatkan *softskill*.
12. Keluarga PPM Baitussodiq bersyukur terima kasih atas dukungan dan kebersamaannya dalam mengembangkan karakter diri dan memperkuat spiritual.
13. Tim bimbingan skripsi MWA (Bangun Adi W., Eva Yunita, Repha Sera Y., dan Novendra M. R.) atas segala motivasi dan kebersamaannya.
14. Tim kawan seperjuangan sipil Bangun Adi W., Ahmad Rizaldi, Zareva Aria B., Luthfi P., dan Irlan Rahmat M. yang mampu memberikan motivasi, *back up*, serta mengarahkan secara personal dan memberikan kesan terbaik dalam pertemanan di masa perkuliahan.
15. Keluarga besar kehutanan angkatan 2017 *Responsible and Powerfull Team of Forester Seventeen* (RAPTORS) dalam kerjasamanya dan kebersamaannya di

waktu perkuliahan serta memberikan motivasi disetiap proses dimasa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi para pembaca.

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL iii

DAFTAR GAMBAR iv

DAFTAR LAMPIRAN v

1. PENDAHULUAN 1

1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 4
1.3. Tujuan Penelitian 5
1.4. Manfaat Penelitian 5
1.5. Kerangka Pikir 5
1.6. Hipotesis Penelitian 7

2. TINJAUAN PUSTAKA 8

2.1 *Biochar* 8
2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) 10
2.3 Sengon (*Falcataria moluccana*) 11

3. METODE PENELITIAN 13

3.1. Waktu dan Tempat 13
3.2. Alat dan Bahan 13
3.3. Rancangan Penelitian 13
3.4. Pelaksanaan Penelitian 14
1. Penyiapan *Biochar* 14
2. Penyiapan Semai Sengon 15
3. Penyiapan Media Tanam 16
4. Penyapihan 17
5. Pemeliharaan 17

3.5 Parameter Pengamatan 18
1. Penambahan Tinggi 18
2. Penambahan Diameter 18
3. Panjang Akar Utama 18
4. Warna Daun 18
5. Volume Akar 18
6. Jumlah Bintil Akar 19
7. Bobot Kering Total 19
8. Indeks Mutu Bibit (IMB) 19
3.6 Analisis Data 19

4. HASIL DAN PEMBAHASAN 21

4.1 Hasil 21
1. Pengaruh Perlakuan Terhadap Pertumbuhan Sengon 21
2. Pertumbuhan Tinggi Batang Sengon 22
3. Pertumbuhan Diameter Batang Sengon 23
4. Panjang Akar Utama 23
5. Volume Akar 24
6. Bintil Akar 25
7. Bobot Kering Total 26
8. Indeks Mutu Bibit (IMB) 28
4.2 Pembahasan 29

5. SIMPULAN DAN SARAN 34

5.1 Simpulan 34
5.2 Saran 34

DAFTAR PUSTAKA 35

LAMPIRAN 45

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Rekapitulasi ANARA pengaruh perlakuan terhadap pertumbuhan semai 21
2. Hasil uji lanjut BNT pada perlakuan peletakan *biochar* terhadap parameter tinggi batang..... 22
3. Hasil uji lanjut BNT pada perlakuan peletakan *biochar* terhadap parameter diameter batang 23
4. Hasil uji lanjut BNT interaksi perlakuan letak, dosis, dan suhu pirolisis pada parameter panjang akar utama 24
5. Hasil uji lanjut BNT interaksi perlakuan peletakan *biochar* dan suhu pirolisis pada parameter volume akar..... 25
6. Hasil uji lanjut BNT pada perlakuan peletakan *biochar* terhadap parameter bintil akar 25
7. Hasil uji lanjut BNT nteraksi perlakuan faktor suhu pirolisis dan dosis *biochar* pada parameter bobot kering total 26
8. Hasil uji lanjut BNT Interaksi perlakuan faktor suhu pirolisis dan peletakan *biochar* pada parameter bobot kering total 27
9. Hasil uji lanjut BNT Interaksi perlakuan faktor dosis *biochar* dan peletakan *biochar* pada parameter bobot kering total 28
10. Indeks Mutu Bibit (IMB) rata-rata tiap perlakuan 28

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Bagan alir kerangka pikir 7
2. Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAL Faktorial) 14
3. Penyemaian benih sengon 15
4. Hasil pencampuran *biochar* dengan air dan tanah 16
5. Peletakan *biochar* pada *polybag* 16
6. Bibit sengon (*Falcataria moluccana*) 17
7. Perbandingan tinggi batang tiap perlakuan 22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Tabel analisis ragam pertambahan tinggi batang 46
2. Tabel analisis ragam pertambahan diameter batang 46
3. Tabel analisis ragam warna daun 46
4. Tabel analisis ragam panjang akar utama 47
5. Tabel analisis ragam volume akar 47
6. Tabel analisis ragam bintil akar 47
7. Tabel analisis ragam bantal efektif 48
8. Tabel analisis ragam bobot kering total 48
9. Dokumentasi Penelitian 48

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Luasan perkebunan dan jumlah produksi minyak sawit/*Crude Palm Oil* (CPO) di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Tercatat pada tahun 2018 luasan perkebunan kelapa sawit seluas 14,33 juta hektar dengan total produksi CPO 42,9 juta ton, dan mengalami peningkatan luasan sebesar 1,88% pada tahun 2019 menjadi 14,60 juta hektar dengan total produksi CPO sebesar 48,42 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2019). Peningkatan produksi CPO akan berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan buah sawit menjadi CPO. Limbah hasil pengolahan kelapa sawit dibagi menjadi 2 yaitu limbah cair/*Palm Oil Mill Effluent* (POME) dan limbah padat berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang, sabut, dan solid basah (*wet decanter solid*) (Haryanto *et al*., 2021a; Silalahi dan Supijatno, 2017). Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengolah dan meningkatkan nilai ekonomi limbah kelapa sawit (Mandiri, 2012). Pada umumnya limbah padat kelapa sawit dimanfaatkan dengan mengembalikannya ke lahan sawit sebagai mulsa (Iryani *et al*., 2019), atau dapat dijadikan sebagai pupuk kompos (Hidayat *et al*., 2021). Susanto *et al*. (2019) menjelaskan bahwa setiap 1 ton pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit mampu menghasilkan limbah padat kelapa sawit berupa cangkang kelapa sawit sebesar 4%, lumpur sawit sebesar 6,5%, serabut sebesar 13%, dan tandan kosong kelapa sawit sebesar 23%. Limbah padat berupa TKKS merupakan limbah tertinggi yang dihasilkan, namun saat ini pemanfaatannya masih terbatas, biasanya hanya dibakar dan sebagian dihamparkan pada lahan kosong sebagai mulsa/pupuk di kawasan sekitar pabrik (Kamal, 2014), oleh karena itu perlu dimanfaatkan dan diolah lebih lanjut agar tidak menimbulkan masalah.

Limbah TKKS yang bersifat organik mempunyai kandungan unsur N, P, K dan Mg yang potensinya cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai pembenah (Hidayat *et al*., 2017). Salah satu solusi pemanfaatan limbah TKKS yang berlimpah dengan menggunakan teknologi pirolisis (Nion *et al*., 2014). Pirolisis adalah proses termokimia dengan perombakan yang merubah struktur rantai karbon panjang menjadi rantai karbon pendek (Susanto *et al*., 2019). Pirolisis merupakan proses dekomposisi material berupa biomassa dengan pembakaran terbatas tanpa oksigen yang akan menghasilkan beberapa produk yaitu gas (uap organik), pirolisis *oil* (asap cair), dan bahan padat berupa arang (Febriyanti *et al*., 2014; Rahman, 2020). Proses pirolisis biasanya dilakukan pada rentang suhu sekitar 300°C-600°C (Susanto *et al*., 2019).

Pirolisis merupakan teknik yang tepat untuk pengolahan lanjutan limbah TKKS untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah (Febriyanti *et al*., 2019). Selain itu, produk hasil pirolisis juga mempunyai kandungan energi yang tinggi dan bernilai ekonomis (Himawanto *et al*., 2011). Arang hasil pirolisis sering disebut sebagai *biochar*. *Biochar* merupakan arang hayati yang mengandung karbon tinggi dan sangat tahan terhadap dekomposisi yang bahan bakunya berasal dari limbah tanaman dan limbah kayu (IBI, 2012). Sismiyanti *et al*. (2018) menjelaskan *biochar* diketahui juga dapat memperbaiki kesuburan kimia, fisika, dan biologi tanah. *Biochar* yang dihasilkan oleh suhu rendah memiliki kadar volatil yang tinggi dengan kadar substrat yang mudah terurai, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Robertson *et al*., 2012).

Keunggulan *biochar* antara lain adalah mampu meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan hara dalam tanah (Adiguna, 2020) serta lebih stabil bertahan dalam tanah dibandingkan bahan pembenah tanah lainnya sehingga fungsinya bersifat jangka panjang di dalam tanah (Berek *et al*., 2017; Rahmah, 2019). *Biochar* juga digunakan sebagai bahan pengganti atau campuran pupuk komersial pada lapisan tanah pertanian, karena *biochar* cenderung tidak menghasilkan emisi karbondioksida (Rahman, 2020). Selain itu, hasil penelitian yang dilakukan Jelvina (2019) menunjukan bahwa *biochar* TKKS mengandung N 1,23%, C 13,21%, C/N 10,74, P 1,74%, K 0,57%, pH 10,64 yang mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman, jumlah daun, dan lebar daun pada bibit kelapa sawit.

Biochar TKKS bila diaplikasikan terhadap tanaman akan membantu mempercepat proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa *biochar* dapat berdampak baik bagi kesuburan tanah seperti mampu menurunkan keasaman tanah, dapat menarik dan mempertahankan berbagai nutrisi tanah, sehingga berpotensi mengurangi kebutuhan pupuk (Suharmanto, 2018), meningkatkan ketersediaan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor (Rehman dan Razzaq, 2017), meningkatkan retensi air dan hara (Wijaya *et al*., 2022), meningkatkan produktivitas tanaman (Tarigan dan Nelvia, 2020), menyimpan karbon dalam waktu yang lama dan dalam jumlah yang cukup besar (Nurida, 2014), sebagai penyedia habitat yang baik bagi biota dalam tanah, serta meningkatkan aktivitas mikroba tanah.

Nurkholifah *et al.* (2020) menjelaskan bahwa *biochar* dari TKKS memiliki karakteristik dengan kadar air sebesar 6,25%, kerapatan berat jenis 0,30 g/cm^3, dengan nilai pH 8,5 dan kadar abu yang tinggi berkisar 19,8% sampai 50% (Rahardja *et al*., 2019) yang menyebabkan berat jenis *biochar* TKKS rendah. Hal ini merupakan kendala saat *biochar* TKKS akan diaplikasikan sebagai media tanam pada persemaian. Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan mencampurkan *biochar* dengan tanah dan air. Wijaya *et al*. (2022) menjelaskan bahwa *biochar* yang diaplikasikan dengan cara dicampurkan dengan tanah mampu meningkatkan pertumbuhan dan nutrisi. Pencampuran *biochar* diharapkan akan meningkatkan berat jenis *biochar* sehingga dapat diaplikasikan sebagai media tanam serta dapat berpengaruh tehadap pertumbuhan semai sengon.

Aplikasi *biochar* sebagai media tanam banyak digunakan dalam persemaian hutan tanaman industri (Sujana dan Pura, 2015). Hal ini disebabkan adanya kebutuhan bibit tanaman yang berkualitas tinggi. Sengon (*Falcataria molucanna*) merupakan salah satu jenis tanaman yang paling banyak digunakan dalam pengembangan hutan tanaman industri (HTI) (Butar *et al*., 2019). Sengon dipilih karena memiliki beberapa keunggulan seperti termasuk tanaman cepat tumbuh (*fast growing*) (Ramadhani dan Wulandari, 2018), kayunya multi guna (Butar *et al*., 2019; Krisdayani *et al*., 2020; Riana *et al*., 2016), tidak membutuhkan persyaratan tumbuh yang rumit (Nugroho, 2011), serta dapat menghasilkan kegunaan dan keuntungan yang tinggi (Istikorini dan Sari, 2020),

dan mudah tumbuh di daerah tropis (Marthen *et al*., 2013). Secara ekologis pohon sengon dapat meningkatkan kualitas lingkungan seperti meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki tata air dan menciptakan iklim mikro, karena sengon memiliki daya hidup tinggi dengan daya jangkau akar relatif luas dan mampu menembus ke dalam tanah dengan baik (Mulyana dan Asmarahman, 2012).

Penelitian yang dilakukan Lefebvre *et al*. (2019) menggunakan *biochar* yang diaplikasikan pada dua spesies pohon tropis yaitu pohon nargusta (*Terminalia amazonia*) dan jati belanda (*Guazuma crinita*). *Biochar* memberikan pengaruh terhadap kedua spesies pohon secara signifikan dengan meningkatkan pertambahan tinggi, diameter, banyaknya jumlah daun, dan biomassa. Pohon jati belanda menunjukkan respon yang lebih baik pada pemberian *biochar* dibandingkan dengan pohon nargusta (Lefebvre *et al*., 2019). Tarigan *et al*. (2021) juga melakukan penelitian menggunakan *biochar* berbahan dasar meranti yang diaplikasikan pada bibit sengon laut (*Paraserianthes falcataria*) yang menunjukkan hasil bahwa pengaplikasian *biochar* mampu meningkatkan interaksi antara *rhizobium* dengan akar sengon laut yang ditandai dengan meningkatnya jumlah bintil akar dan persentase bintil efektif (Tarigan *et al*., 2021).

Pengaruh penggunaan *biochar* sebagai media tanam mampu meningkatkan pertumbuhan beberapa tanaman. Penggunaan *biochar* TKKS untuk diaplikasikan terhadap tanaman belum banyak dilakukan, masih diperlukan penelitian untuk mendukung hal ini. Salah satunya adalah efektivitas peletakan *biochar*. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai penggunaan *biochar* TKKS untuk meningkatkan pertumbuhan semai sengon.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah pengaplikasian *biochar* TKKS dapat berpengaruh pada pertumbuhan semai sengon.
2. Apakah suhu pirolisis, dosis *biochar*, dan peletakan *biochar* berpengaruh pada pertumbuhan semai sengon.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penggunaan *biochar* TKKS untuk meningkatkan pertumbuhan semai sengon.
2. Menganalisis interaksi suhu pirolisis *biochar*, dosis *biochar*, dan peletakan *biochar* pada pertumbuhan semai sengon.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian yaitu dapat dijadikan sebagai bahan referensi tentang pengaruh pengaplikasian *biochar* TKKS pada semai sengon dan bahan acuan yang tepat untuk komposisi terbaik pada suhu pirolisis, dosis, dan peletakan *biochar* dalam memperbaiki pertumbuhan semai sengon.

1.5 Kerangka Pikir

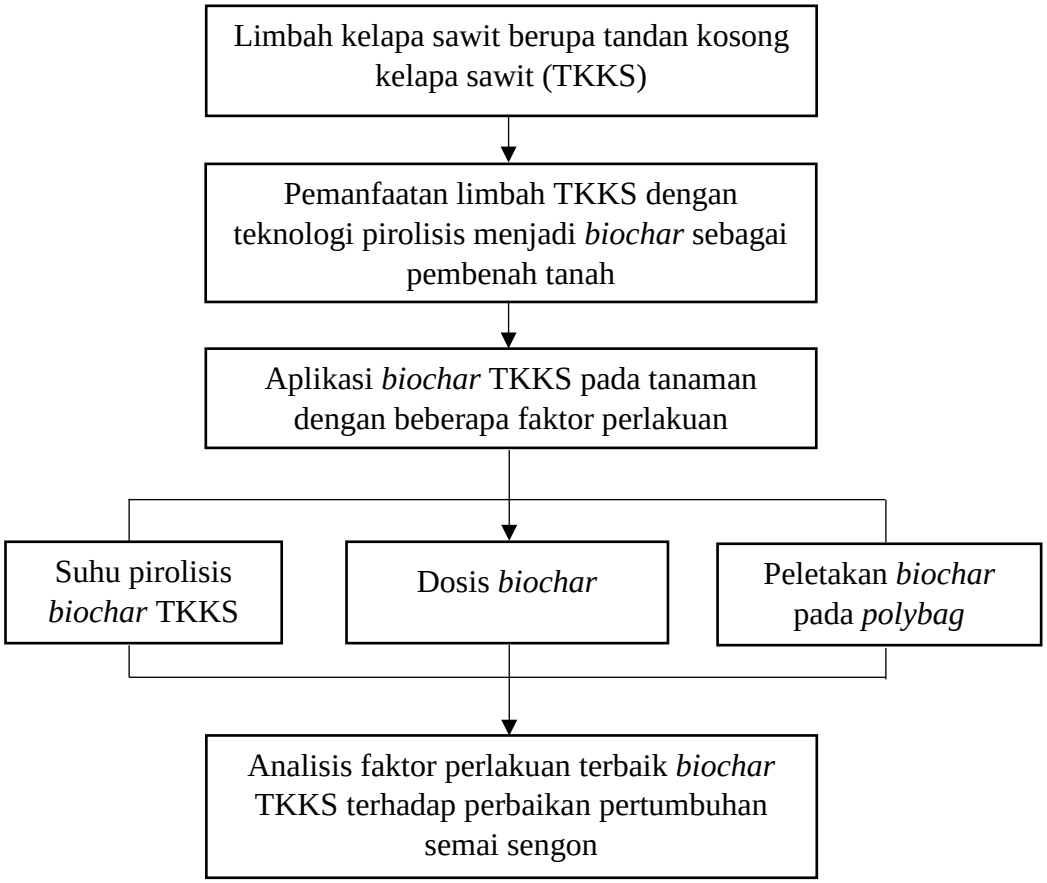
Biochar TKKS dapat menjawab masalah yang timbul dari limbah kelapa sawit dengan teknologi pirolisis menggunakan perlakuan panas/termal dengan pembakaran terbatas yang akan menghasilkan produk salah satunya yaitu bahan padat berupa arang (Sukiran *et al*., 2014). Proses pirolisis biasanya dilakukan pada rentang suhu 300°C-600°C (Susanto *et al*., 2019).

Penelitian sebelumnya oleh Heryani *et al*. (2018) menggunakan 4 jenis *biochar* yaitu TKKS, jerami padi, sekam padi dan kayu dengan suhu pirolisis sebesar 600°C. Hasilnya menunjukkan bahwa *biochar* TKKS memiliki hasil paling baik dibandingkan yang lainnya dalam meningkatkan pH tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dalam tanah, dan meretensi unsur hara nitrogen. *Biochar* TKKS memiliki pH sebesar 9,75 yang menunjukkan tingkat alkalinitas dalam *biochar* mampu meningkatkan pH H_2O tanah paling tinggi yaitu mencapai 6,04. KTK tanah meningkat dari 17,87 me/100g (kontrol) menjadi 29,04 me/100g karena *biochar* sangat berpori dan memiliki luas permukaan yang besar. Hal ini sejalan dengan Kanthle (2016) yang menjelaskan bahwa peningkatan KTK terjadi pada suhu <600°C yang akan meningkatkan muatan gugus fungsional. Temperatur selama proses produksi *biochar* juga sangat menentukan kandungan C, pH, KTK *biochar* yang dihasilkan.

Selain suhu pirolisis, perlakuan dosis *biochar* juga berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Lelu *et al*. (2017) menggunakan dosis *biochar* 0%, 5%, 10%, dan 15% dan melaporkan bahwa respon pertumbuhan jagung terbaik pada dosis 10% yang ditandai oleh tingginya pertumbuhan tinggi dan jumlah daun jagung. Hal ini membuktikan bahwa *biochar* mampu meningkatkan ketersediaan N bagi tanaman, di mana nitrogen berfungsi untuk pertumbuhan vegetatif (tinggi, anakan dan hijau daun) dan sebagai pembentuk klorofil dan daun (Angelita *et al*., 2020). Ichwal *et al*. (2019) juga menjelaskan tentang dosis terbaik *biochar* terhadap tanaman okra (*Albelmoschus esculentus* L.) yaitu pada dosis *biochar* 10% yang menunjukkan bahwa *biochar* memiliki kapasitas menahan air yang tinggi dan dapat menjaga unsur hara N agar tidak mudah tercuci dan menjadikannya lebih tersedia untuk tanaman.

Namun pengaplikasian *biochar* TKKS secara langsung pada semai diduga kurang efektif karena tingginya kadar abu yang dimiliki *biochar* TKKS sebesar 45% (Sukmawati, 2020). Salah satu cara yang dapat dilakukan yaitu dengan mencampurkan *biochar* dengan tanah dan air. Pencampuran *biochar* diharapkan akan meningkatkan berat jenis *biochar* sehingga dapat diaplikasikan sebagai media tanam serta diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan sengon. Sukmawati (2020) menjelaskan efek *biochar* dalam memperbaiki sifat tanah akan berdampak langsung pada pertumbuhan tanaman karena ketersediaan air dan udara di zona perakaran.

Pengaplikasian *biochar* TKKS dilakukan dengan menggunakan tanaman sengon. Sengon merupakan tanaman *fast growing* (Knaofmone, 2016), kayunya multi guna, dan mudah tumbuh di daerah tropis (Marthen *et al*., 2013), sehingga tanaman sengon cocok digunakan sebagai tanaman uji coba pengaplikasian *biochar* terhadap tanaman. Kerangka pikir penelitian dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir kerangka pikir.

1.6 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah:

1. Pengaplikasian *biochar* TKKS terhadap tanaman mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sengon dan memperbaiki kualitas tanah.
2. Terdapat interaksi antara suhu pirolisis dan dosis *biochar*. Suhu 600°C dan dosis 10% memberikan hasil terbaik bagi pertumbuhan semai tanaman sengon.
3. Adanya interaksi antara suhu pirolisis, dosis, dan peletakan *biochar*. Interaksi paling baik pengaplikasian *biochar* TKKS ditunjukkan pada suhu pirolisis 600°C dengan dosis 10% pada peletakan di tengah *polybag*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Biochar*

Biochar adalah bahan kaya karbon yang dapat dibuat dari berbagai bahan baku limbah organik, seperti limbah pertanian dan lumpur limbah kota. *Biochar* memiliki kandungan karbon dan kapasitas pertukaran kation yang tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, dan struktur yang stabil (Wang dan Wang, 2019). Kandungan karbon yang tinggi pada *biochar* akan memaksimalkan penyimpanan jumlah karbon yang dipakai sebagai sumber energi atau sebagai adsorpsi polutan pada tanah (Puspita *et al*., 2021). *Biochar* juga sebagai zat penyerap (adsorben) untuk menghilangkan logam beracun, polutan organik, dan nutrisi dari air limbah (Haura *et al*., 2017). Struktur *biochar* dengan luas permukaan yang tinggi memberikan perlindungan bagi bakteri, dan mempengaruhi pengikatan kation dan anion nutrisi yang penting (Rawat *et al*., 2019).

Biochar dapat diproduksi dari biomassa seperti kayu maupun sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan dalam wadah dengan sedikit atau tanpa udara yang disebut dengan proses pirolisis (Harsono *et al*., 2013). Pirolisis adalah proses termokimia yang mengubah struktur rantai karbon panjang menjadi rantai karbon pendek (Susanto *et al*., 2019). Pirolisis dalam hal ini melakukan teknologi modifikasi biomassa menggunakan perlakuan termal (panas) dengan proses pembakaran tidak sempurna (oksigen yang dibatasi) (Amanda *et al*., 2019; Haryanto *et al.*, 2021b; Hidayat *et al.*, 2017; Sukiran *et al*., 2014). Pirolisis biomassa dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain komposisi komponen lignoselulosa, ukuran bahan baku, waktu proses, laju pemanasan dan sebagainya (Febriyanti *et al*., 2019). Ridjayanti *et al*. (2021) menjelaskan proses pirolisis menggunakan reaktor bertutup, yang membuat bahan tidak berkontak langsung dengan oksigen.

Rahman (2020) menjelaskan bahwa untuk menghasilkan bahan bakar dalam proses pirolisis terjadi pada temperatur sekitar 150°C-700°C di dalam reaktor. Bazenet *et al*. (2021) juga menjelaskan bahwa pirolisis juga dapat berlangsung pada suhu 300°C-1000°C. Suhu yang digunakan dalam proses pirolisis akan mempengaruhi komponen utama (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dalam pembuatan *biochar*. Abnisa *et al*. (2013) menjabarkan bahwa suhu 200°C-260°C dibutuhkan untuk mendegradasi hemiselulosa, terjadi degradasi selulosa pada suhu 300°C-400°C, dan membutuhkan kondisi suhu tinggi untuk mengurai lignin sekitar 280°C-500°C.

Pirolisis dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu pirolisis lambat (*slow pyrolisis*) dan pirolisis cepat (*fast pyrolisis*), kategori tersebut bergantung pada suhu dan waktu selama proses pirolisis. Pirolisis lambat terjadi pada suhu 300°C-550°C dengan laju pemanasan < 50°C/min, sedangkan pirolisis cepat terjadi pada suhu 300°C -1000°C dengan laju pemanasan berkisar 10-1000°C/s (Bridgwater, 2012; Hornung, 2014). Pirolisis cepat menghasilkan *biochar* yang lebih sedikit dibandingkan pirolisis lambat dikarenakan kadar abu yang dihasilkan lebih tinggi (Puspita *et al*., 2021). Ketika temperatur pada zona pirolisis rendah, maka akan dihasilkan banyak arang dan sedikit cairan (air, hidrokarbon, dan tar), sebaliknya apabila temperatur pirolisis tinggi maka arang yang dihasilkan sedikit tetapi banyak mengandung cairan (Mesa-Pérez *et al*., 2013). Puspita *et al*., (2021) menjelaskan bahwa meningkatnya nilai pH erat kaitannya dengan temperatur pembakaran, semakin tinggi temperatur pembakaran maka semakin tinggi pH *biochar* yang didapatkan. Tingginya temperatur akan berpengaruh juga pada kadar volatil yang dihasilkan, semakin tinggi suhu maka semakin rendah zat menguap/*volatile matter* pada *biochar* (Taufik dan Umi, 2017). Berhubungan dengan pendapat Sukmawati (2020) yaitu pirolisis suhu rendah, dicirikan oleh kadar volatil yang tinggi dengan kandungan substrat yang mudah terurai, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman, sedangkan pirolisis menggunakan suhu tinggi menghasilkan *biochar* dengan luas permukaan dan kandungan aromatik karbon yang tinggi. Hal ini meningkatkan kemampuan serapan dan bersifat rekalsitran yang sesuai untuk bioremediasi dan penyerapan karbon.

2.2 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

TKKS merupakan salah satu limbah padat dari hasil proses pengolahan buah sawit menjadi minyak sawit/*Crude Palm Oil* (CPO). Sebesar 22-23% atau sebanyak 220-230 kg limbah TKKS dihasilkan dari setiap pengolahan 1 ton tandan buah segar (TBS) kelapa sawit (Adiguna, 2020). Setiap 1 hektar kebun kelapa sawit akan menghasilkan sekitar 1,5 ton TKKS (Febriyanti *et al*., 2019).

TKKS merupakan sumber bahan organik yang kaya unsur hara N, P, K dan Mg. Jumlah TKKS diperkirakan sebanyak 23% dari jumlah tandan buah segar yang diolah. Dalam setiap ton TKKS mengandung hara N 1,5%, P 0,5%, K 7,3% dan Mg 0,9% yang dapat digunakan sebagai substitusi pupuk pada tanaman kelapa sawit (Sarwono, 2008). Pemanfaatan limbah TKKS umumnya hanya dibakar dan dihamparkan pada lahan kosong di area sekitar perkebunan. Memanfaatkan limbah biomassa secara langsung dinilai kurang effisien sehingga perlu diubah menjadi *biochar* terlebih dahulu. Mengubah TKKS menjadi *biochar* dapat nilai ekonomis dan mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah.

TKKS berpeluang untuk dijadikan *biochar* menggunakan metode karbonisasi dengan suhu 400°F atau setara dengan 204,44°C (Lukas *et al*., 2018). Proses karbonisasi TKKS dilakukan pada insinerator dengan gasifikasi yang menghasilkan nano *biochar* sebesar 22-25% dari jumlah TKKS yang diolah, dalam waktu 1 (satu) jam berpeluang menghasilkan *biochar* sebesar 5,06 ton bagi pabrik dengan kapasitas pengolahan 100 ton/jam (Lukas *et al*., 2018).

Kandungan TKKS mengandung selulosa sebesar 57,8%, hemiselulosa sebesar 21,2% dan mengandung lignin sebesar 22,8 % (Nurhayati dan Sulaiman, 2013). Sismiyanti *et al*. (2018) menjelaskan bahan tanaman yang lama terdekomposisi sebagai sumber bahan organik memiliki kandungan lignin >15%, dalam hal ini *biochar* TKKS masuk dalam kategori kandungan lignin yang tinggi. Kandungan lignin yang tinggi menjadikan *biochar* TKKS mampu bertahan dalam jangka waktu yang lama di dalam tanah. Selain itu Jelvina (2019) menunjukkan bahwa *biochar* TKKS mengandung N 1,23%, C 13,21%, C/N 10,74, P 1,74%, K 0,57%, pH 10,64. Kandungan pada *biochar* TKKS bila diaplikasikan terhadap tanaman akan membantu mempercepat proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

2.3 Sengon (*Falcataria moluccana*)

Sengon adalah salah satu jenis tanaman serbaguna yang sangat penting di Indonesia dan berperan ganda sebagai tanaman konservasi dan reboisasi, juga sebagai tanaman produksi (Handayani, 2019). Hardianto (2021) menjelaskan klasifikasi morfologi sengon sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divis : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Fabales
Famili : *Fabaceae*
Genus : *Falcataria*
Spesies : *Falcataria moluccana*

Wiryadiputra (2007) menjelaskan bahwa sengon masuk ke dalam golong jenis tanaman pohon yang pertumbuhannya paling cepat di dunia, dalam *Guinness Book of Records*, sehingga disebut pula sebagai "pohon ajaib" atau "*miracle tree*". Pohon sengon dikenal dengan nama umum dalam bahasa Inggris : *albizia*, *batai*, *Indonesian albizia*, *moluca*, *paraserianthes*, *peacock plume*, dan *white albizia*. Sedangkan dalam bahasa Indonesia dan Jawa dikenal dengan nama jeungjing, sengon laut, dan sikat (Wiryadiputra, 2007). Nama sengon sempat berganti-ganti dalam kurun waktu sekitar dua puluh tahun, mengikuti kajian para taksonom, yaitu *Albizia falcataria*, berganti menjadi *Paraserianthes falcataria*, dan terakhir *Falcataria moluccana*. Sengon merupakan salah satu jenis pohon *multipurpose tree species* (MPTS) yang sangat penting di Indonesia. Budidaya Sengon (*Falcataria moluccana)* di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya (Utama *et al*., 2019). Sengon merupakan tanaman pohon serbaguna, memiliki beragam manfaat dari semua bagian pohonnya, mulai dari daun hingga perakarannya. Umumnya sengon digunakan sebagai bahan baku pada industri penggergajian, kayu lapis, serta bubur kertas (Ridjayanti *et al*., 2021).

Sengon menjadi salah satu pohon alternatif yang dapat diusahakan secara ekstensif untuk tujuan rehabilitasi lahan-lahan marginal. Upaya pemerintah dalam merehabilitasi kritis meliputi lahan pertanian dan lahan hutan akan dapat diatasi dengan penanaman sengon secara tanaman rakyat atau dalam skala besar seperti tanaman industri (Butar *et al* 2019; Hardiatmi, 2010). Jenis ini berpotensial

dikembangkan dalam pembangunan hutan maupun tujuan lainnya (Utama *et al.*, 2019) penghijauan, reklamasi lahan tambang, sebagai peneduh (Ramadhan *et al*., 2018), dan juga dijadikan sebagai tanaman pelindung atau penaung pada pola tanam agroforestri (Nadeak *et al*., 2013).

Sengon mampu beradaptasi dengan berbagai jenis tanah (Haerumi *et al*., 2019), karakteristik silvikultur yang bagus dan rehabilitasi lahan marginal (Ruchyansyah *et al*., 2018). Sengon memiliki kelebihan seperti berdaur pendek (*fast growing*), kayunya multiguna, dan tidak membutuhkan persyaratan tumbuh yang rumit (Nugroho, 2011), serta dapat menghasilkan kegunaan dan keuntungan yang tinggi (Istikorini dan Sari, 2020). Kayu cepat tumbuh memliki karakteristik kerapatan yang rendah sehingga memiliki berat yang ringan (Wibowo *et al*., 2020). Secara ekologis, sengon dapat meningkatkan kualitas lingkungan seperti meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki tata air dan menciptakan iklim mikro (Suharti, 2008).

Jenis kayu ini dinilai mampu mensubstitusi bahan baku kayu yang selama ini dibudidayakan dalam waktu relatif cepat. Dalam jangka waktu 5-6 tahun sengon sudah dapat dipanen dengan diameter batang mencapai 30-40 cm tanaman sengon dapat tumbuh baik pada lahan-lahan dengan tingkat kesuburan rendah sehingga relatif memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi (Knaofmone, 2016). Sengon umumnya berukuran cukup besar dengan tinggi pohon total mencapai 40 m dan tinggi bebas cabang mencapai 20 m. Diameter pohon dewasa dapat mencapai 100 cm atau lebih, dengan tajuk lebar mendatar. Sengon cenderung memiliki kanopi yang berbentuk seperti kubah atau payung. Pohon sengon pada umumnya tidak berbanir. Permukaan kulit batang berwarna putih, abu-abu atau kehijauan, halus, kadang-kadang sedikit beralur dengan garis-garis lentisel memanjang. Daun sengon tersusun majemuk menyirip ganda dengan panjang sekitar 23-30 cm. Anak daunnya kecil-kecil, permukaan daun bagian atas berwarna hijau pupus dan tidak berbulu sedangkan permukaan daun bagian bawah lebih pucat dengan rambut-rambut halus (Krisnawati *et al.*, 2011).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 4 bulan pada bulan April 2021 sampai Agustus 2021 yang bertempat di Rumah Kaca Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian, dan Laboratorium Silvikultur dan Perlindungan Hutan Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bak kecambah, semprotan (*hand sprayer*), gelas ukur, skop mini, *polybag* ukuran volume 220 cm^3, timbangan analitik, plastik, kaliper, penggaris, pinset, oven listrik, bagan warna daun (BWD) atau *leaf color chart* (LCC), *lup* (kaca pembesar), *thermo hygrometer*, *lux* meter, *tallysheet*, laptop, kamera dan alat tulis. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *biochar* TKKS yang diproduksi dengan suhu pirolisis 400°C dan 600°C, benih sengon (*Falcataria moluccana*), pasir, air, dan tanah.

3.3 Rancangan Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap yang disusun secara faktorial (RAL-Faktorial) dengan 3 faktor perlakuan. Faktor pertama yaitu suhu pirolisis *biochar* dengan 2 taraf suhu 400°C dan 600°C, faktor kedua yaitu dosis *biochar* dengan 2 taraf dosis 5% dan 10%, dan faktor ketiga yaitu peletakan *biochar* pada *polybag* dengan 3 taraf letak atas, tengah, dan bawah. Serta ditambah adanya perlakuan kontrol (tanpa pengaruh faktor) sebagai pembanding terhadap pengaruh faktor. Total perlakuan sebanyak 13 perlakuan

berbeda dengan pengulangan sebanyak 10 kali. Perlakuan yang digunakan sebagai berikut.

1. Faktor suhu pirolisis pembuatan *biochar*
   a. Suhu 400°C = S1
   b. Suhu 600°C = S2
2. Faktor dosis *biochar*
   a. Dosis 5% = D1
   b. Dosis 10% = D2
3. Faktor letak penempatan *biochar*
   a. Letak atas = L1
   b. Letak tengah = L2
   c. Letak bawah = L3

Sehingga unit percobaan yang digunakan sebanyak 130 unit percobaan. Pengacakan menggunakan fungsi *random* pada *MS. Excel* dengan 10 kali pengulangan seperti pada Gambar 2.

S1D2L3	S2D2L3	S0D0L0	S2D2L1	S1D2L3	S2D1L1	S1D1L1	S2D1L3	S0D0L0	S2D2L1
S1D2L1	S2D1L3	S1D1L3	S0D0L0	S2D1L2	S1D1L2	S2D2L1	S2D2L2	S1D2L3	S1D1L1
S1D2L3	S1D1L3	S1D1L3	S1D1L3	S1D2L3	S2D1L2	S2D2L2	S1D1L1	S2D2L3	S1D1L2
S2D1L3	S2D2L1	S2D1L2	S1D2L3	S2D2L2	S2D2L3	S2D1L1	S1D1L1	S1D1L3	S1D1L3
S2D1L3	S2D1L2	S1D1L2	S1D2L1	S2D1L2	S2D2L3	S2D2L1	S1D2L1	S1D2L3	S2D2L2
S2D1L2	S2D2L1	S2D2L3	S1D2L1	S1D1L1	S1D1L2	S0D0L0	S1D2L1	S2D1L2	S2D2L3
S2D2L2	S2D1L3	S1D1L2	S1D2L3	S2D1L2	S1D1L1	S1D1L3	S0D0L0	S2D2L1	S1D1L2
S1D2L1	S0D0L0	S1D1L1	S2D1L3	S1D2L3	S2D1L1	S0D0L0	S1D1L2	S1D1L3	S1D2L3
S2D2L1	S2D2L2	S1D2L3	S1D2L3	S2D1L2	S2D2L2	S2D2L2	S2D1L1	S2D1L1	S2D1L1
S0D0L0	S2D1L1	S2D2L3	S1D1L2	S2D2L2	S1D1L1	S2D1L3	S2D2L1	S2D2L3	S2D2L3
S2D2L2	S1D2L3	S1D1L1	S1D2L3	S1D2L3	S1D1L1	S0D0L0	S2D1L2	S0D0L0	S2D1L1
S2D2L3	S1D2L3	S2D1L3	S1D1L3	S2D1L3	S1D2L1	S1D2L1	S1D2L3	S1D1L2	S2D1L3
S1D2L3	S1D1L2	S2D2L1	S1D2L1	S1D2L3	S2D1L1	S1D2L1	S1D1L3	S1D2L3	S2D1L1

Gambar 2. Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAL Faktorial)

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian antara lain

1. Penyiapan *Biochar*

Biochar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT. Kendi Arindo yang bergerak dalam bidang usaha produksi komoditas arang kayu. *Biochar* dibuat dari limbah TKKS menggunakan teknologi pirolisis (pembakaran

terbatas tanpa oksigen) pada suhu 400°C dan 600°C menggunakan tungku kubah (Hidayat *et al*, 2021). *Biochar* yang dihasilkan, kemudian dihancurkan dan disaring dengan ukuran sekitar 20 *mesh* atau berukuran sekitar 0,5 mm (Jaya *et al*., 2018) sesuai untuk dicampurkan dengan tanah dan air. Perbandingan pengunaan dosis yang digunakan yaitu 5% dan 10% *biochar* TKKS.

2. Penyiapan Semai Sengon (*Falcataria moluccana*)

Benih tanaman yang digunakan pada penelitian ini adalah benih sengon (*Falcataria moluccana*). Benih diskarifikasi menggunakan air hangat dengan suhu 60°C, lalu dipindahkan dan direndam dengan air dingin selama 12 jam (Marthen *et al*., 2013) untuk menghasilkan persentase perkecambahan 100%. Setelah diskarifikasi, benih disortir secara fisiologis untuk disemai pada bak kecambah menggunakan media pasir yang sebelumnya telah disterilisasi. Pasir digunakan sebagai media penyemaian dikarenakan memiliki kapasitas kelembaban rendah dan memiliki ruang pori-pori yang cukup besar sehingga mudah terisi air dan cepat kering oleh proses penguapan (Sukarman *et al*., 2012). Bak kecambah yang berisi semai diletakkan di dalam rumah kaca dan disiram setiap hari untuk memenuhi kebutuhan air dan mempertahankan kelembaban pada fase semai. Proses penyiapan semai sengon ditunjukkan pada Gambar 3.

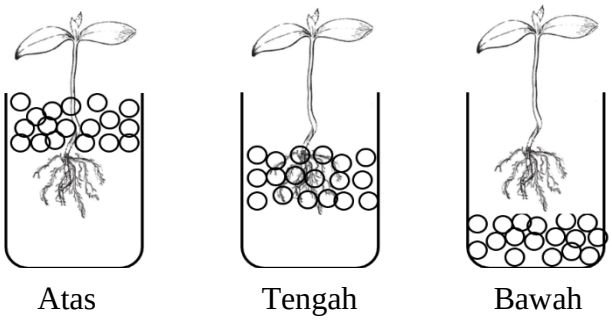
Gambar 3. Penyemaian benih sengon.

3. Persiapan Media Tanam

Media tanam menggunakan tanah lapisan atas (*top soil)* yang diambil dari Laboratorium Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Media tanam berupa tanah dengan ditambahkan hasil campuran *biochar (biochar*, tanah, dan air) sebanyak 22 g, lalu dimasukkan ke dalam *polybag* bervolume 220 cm^3. Dosis *biochar* yang digunakan sebagai campuran yaitu 5% dan 10% yang masing-masing dosis ditambahkan dengan 200 g tanah, dan air secukupnya. Tanah yang akan dicampurkan dengan *biochar* disaring terlebih dahulu agar steril dan memiliki ukuran yang homogen. Semua bahan dicampur hingga kalis dan dibentuk menjadi bulatan kecil dengan ukuran yang seragam, lalu dijemur 2 x 24 jam dengan suhu ruangan agar kering sempurna. Media tanam yang akan digunakan dapat di lihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Hasil pencampuran *biochar* dengan tanah dan air.

Hasil campuran *biochar* diletakkan sesuai dengan rancangan perlakukan yang dibagi menjadi 3 posisi peletakan yaitu atas, tengah dan bawah. Desain peletakan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Peletakan *biochar* pada *polybag*.

4. Penyapihan

Penyapihan dilakukan pada bibit setelah berumur 2 minggu dari penyemaian. Sudah memiliki 3 helai daun, kondisi sehat (bebas dari hama dan penyakit), memiliki pertumbuhan yang normal dan tinggi seragam. Kemudian, bibit dipindahkan ke *polybag* yang berisi media tanam sesuai perlakuan. Penyapihan dilakukan pada sore hari dengan tujuan untuk mengurangi proses penguapan pada tumbuhan. Gambar 6. menunjukkan bibit yang sudah siap di berikan perlakuan setelah dilakukan penyapihan.

Gambar 6. Bibit sengon (*Falcataria moluccana*).

5. Pemeliharaan

Pemeliharaan dilakukan untuk memberikan kondisi yang baik bagi bibit sengon dalam proses pertumbuhannya. Pemeliharaan dilakukan dengan cara penyiraman, pengendalian gulma, dan pemberantasan hama. Penyiraman dilakukan setiap pagi dan sore hari untuk menjaga kelembaban dan ketersediaan air pada bibit. Pengendalian hama dilakukan setiap seminggu sekali untuk membersihkan media tanam dari gulma. Pemberantasan hama dilakukan setiap ditemui pada saat penyiraman dengan cara menghilangkan hama pada media tanam.

3.5 Parameter Pengamatan

1. Penambahan Tinggi

Pengukuran tinggi dilakukan dengan cara mengukur tinggi (cm) dari kolet sampai buku-buku batang (*nodus*) teratas menggunakan penggaris. Tinggi tanaman diukur setiap satu bulan sekali antar pengukuran.

2. Penambahan Diameter

Penambahan diameter dilakukan dengan cara mengukur diameter (mm) pada batang (3 cm dari kolet) menggunakan kaliper, lalu diberi tanda sebagai tempat pengukuran selanjutnya. Pengukuran diameter dilakukan setiap satu bulan sekali antar pengukuran.

3. Panjang Akar Utama

Panjang akar utama (cm) diukur dari kolet hingga akar terpanjang dengan menggunakan benang yang mengikuti bentuk akar, kemudian benang diukur menggunakan penggaris. Pengukuran panjang akar diukur pada awal pengamatan yaitu sebelum dipindahkan ke *polybag* dan diukur pada akhir pengamatan.

4. Warna daun

Warna Daun diukur pada akhir pengamatan. Pengukuran warna daun dilakukan dengan menggunakan bagan warna daun (BWD) dengan cara mencocokkan warna daun pada bagan menggunakan beberapa helai karena sengon berdaun majemuk.

5. Volume Akar

Sebelum dilakukan pengukuran volume, akar harus dibersihkan terlebih dahulu untuk memisahkan dengan media tanam yang masih menempel. Pengukuran volume akar dilakukan di akhir pengamatan.

Volume akar (ml) = Volume2 (ml) – Volume1 (ml)

Volume1 = volume gelas ukur sebelum akar dimasukkan (ml)

Volume2 = volume gelas ukur setelah akar dimasukkan (ml)

6. Jumlah Bintil Akar

Bintil akar dihitung dari bintil yang berada pada akar sekitar kolet sampai dengan bintil yang berada pada ujung akar primer. Perhitungan bintil akar dilakukan secara manual di akhir pengamatan.

7. Bobot Kering Total

Pengukuran bobot kering bibit dilakukan di akhir pengamatan. Bagian akar dan pucuk bibit dipotong dan dibersihkan, lalu ditimbang sebagai data bobot basah kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 80°C selama 2 x 24 jam. Bobot kering didapatkan dari berat yang sudah konstan, lalu ditimbang. Rumus perhitungannya adalah:

Bobot Kering Total (g) = Bobot Kering Tajuk (g) + Bobot Kering Akar (g)

8. Indeks Mutu Bibit (IMB)

Perhitungan IMB dilakukan di akhir penelitian. Angka indeks mutu dihitung menggunakan rumus Dickson (Sofyan *et al*., 2014).

$$\text{Indeks Mutu Bibit} = \frac{\text{Bobot Kering Pucuk (g)} + \text{Bobot Kering Akar (g)}}{\frac{\text{Tinggi (cm)}}{\text{Diameter (mm)}} + \frac{\text{Bobot Kering Pucuk (g)}}{\text{Bobot Kering Akar (g)}}}$$

3.6 Analisis Data

Sebelum dilaksanakan ANARA (Analisis Ragam), maka dilaksanakan uji normalitas, uji homogenitas, dan uji aditivitas sebagai syarat melaksanakan ANARA. ANARA dilakukan dengan taraf selang kepercayaan sebesar 95% dan 99%. ANARA akan menggunakan model linear berikut.

$$\begin{aligned} \mathbf{Y_{ij}} &= \mu_i + \varepsilon_{ij} \\ &= \mu + (\mu_i - \mu) + \varepsilon_{ij} \\ &= \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \end{aligned}$$

i = 1, 2, ..., t ; j = 1 ,2,…, r_i ; μ_i = *mean* perlakuan ke-i

Keterangan:

μ = rata-rata umum (*mean* populasi)

τ_i = $(\mu_i - \mu)$ = Pengaruh aditif dari perlakuan ke-i

ε_{ij} = galat percobaan/pengaruh acak dari perlakuan ke-i ulangan ke-i dengan $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian adalah:

1. Pemberian *biochar* mampu meningkatkan pertumbuhan semai sengon pada parameter tinggi batang, diameter batang, panjang akar utama, volume akar, bintil akar, dan bobot kering total.

2. Interaksi terbaik terjadi pada perlakuan suhu pirolisis 400°C dosis 10% dengan peletakan biochar di bawah untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman sengon (*Falcataria moluccana*) yang optimal.

5.2 Saran

Penambahan dosis *biochar* dapat dijadikan penelitian lanjutan untuk mengetahui dosis *biochar* yang paling efisien sebagai agen pembenah tanah, serta dapat dilakukan pergantian jenis tanaman kehutanan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Abnisa, F., Araminiya, A., Daud, W.M.A.W., Sahu, J.N. 2013. Characterization of bio-oil dan biochar from pyrolysis of palm oil wastes. *Bioenergy Research*. 6(2): 830-840.

Adiguna, G.S., Aryantha, I.N.P. 2020. Aplikasi fungi rizosfer sebagai pupuk hayati pada bibit kelapa sawit dengan memanfaatkan limbah sebagai media pertumbuhan. *Manfish Journal.* 1(1): 32-42.

Amanda, I.R., Kandi, P., Novi, A., Dirgarini, J.N.S., Ari, S.S. 2019. Aktivasi biochar dari kayu *Macaranga gigantae* menggunakan $ZnCl_2$. *Jurnal Kimia Mulawarman.* 17(1) : 6-10.

Andayani, S., Hayat, E.S. 2019. Pengayaan kompos tandan kosong kelapa sawit dengan lumpur laut dan biochar sekam padi pada tanaman padi di tanah sulfat masam. *Agritech.* 21(1): 44.

Angelita, T.K., Rasyid, B., Neswati, R. 2020. Perbaikan kualitas tanah purna tambang nikel dengan penggunaan mikoriza dan biochar tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Ecosolum.* 9(1) : 28-45.

Anton., Usman., Yawahar, J., Podesta, F., Fitriani, D. 2021. Pengaruh media tanam dan pupuk kotoran kambing terhadap hasil tanaman tomat (*Lycopersich mesculentum* mill). *Jurnal Agriculture.* 16(1): 59-69.

Badan Pusat Statistik. 2019. Statistik Kelapa Sawit Indonesia.

Bazenet, R.A., Hidayat,W., Ridjayanti, S.M., Riniarti, M., Banuwa, I.S., Haryanto, A., Hasanudin, U. 2021. Pengaruh kadar perekat terhadap karakteristik briket arang limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis* muell. arg.). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung.* 10(3): 283-295.

Berek, A.K., Tabati, P.O., Keraf, U.U., Bere, E., Taekab, R dan Wora, A. 2017. Perbaikan pertumbuhan dan hasil kacang tanah di entisol semi arid melalui aplikasi biochar. *Savana Cendana.* 2(3): 56-58.

Bridgwater, A.V. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy.* (38): 68-94.

Butar, V.B., Duryat., Hilmanto, R. 2019. Strategi pengembangan hutan rakyat di Desa Bandar Dalam Kecamatan Sidomulyo Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Sylva Lestari*. *7*(1): 110-117.

Chen, M., Li, Z., Huang, P., Li, X., Qu, J., Yuan, W., Zhang, Q. 2018. Mechanochemical transformation of apatite to phosphoric slow-release fertilizer and soluble phosphate. *Process Safety and Environmental Protection.* 144: 91-96.

Darma, H.A., Bintoro, A., Duryat. 2019. Faktor-faktor penetuperubahan kondisi keanekaragaman flora dan fauna di sub-sub DAS Khilau, sub DAS Bulog, DAS Sekampung. *Jurnal Sylva Lestari.* 7(2): 204-213.

Ding, Y., Feng, R., Wang, R., Guo, J., Zheng, X. 2014. A dual effect of Se on Cd toxicity: Evidence from plant growth, root morphology and responses of the antioxidative systems of paddy rice. *Plant Soil.* 357: 289-301.

Febriani, W., Riniarti, M., Surnayanti, S. 2017. Penggunaan berbagai media tanam dan inokulasi spora untuk meningkatkan kolonisasi ektomikoriza dan pertumbuhan *Shorea javanica*. *Jurnal Sylva Lestari*. 5(3): 87-94.

Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A.S., Bindar, Y., Irawan, A. 2019. Pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi *bio-char, bio-oil* dan gas dengan metode pirolisis. *Jurnal Chemurgy.* 3(2): 12-17.

Gonzalez, M.E., Cea, M., Medina, J., Gonzalez, A., Diez, M.C., Cartes, P., Monreal, C. Navia, R. 2015. Evaluation of biodegradable polymers as encapsulating agents for the development of a urea controlled-release fertilizer using biochar as support material. *Science of the Total Environment*. 505: 446-453.

Gonzalez, M.E., Gonzaalez, A., Toro, C., Cea, M., Diez, M.C., Sangaletti, N. 2013. Biochar derived from agricultural and forestry residual biomass: characterization and potential application for enzymes immobilization. *J. Biobased Mater Bioenergy.* 7: 1-9.

Harsono, S.S., Grundman, P., Lau, L.H., Hansen, A., Saleh, M.A.M., Aurich, A.M., Idris, A., Gazi, T.I.M. 2013. Energy balances, greenhouse gas emissions and economics of biochar production from palm oi empty fruit bunches. *Resources, Conservation and Recycling*. 77: 108-115.

Haura, U., Razi, F., Milina, H. 2017. Karakterisasi adsorben dari kulit manggis dan kinerjanya pada adsorpsi logam Pb (II) dan Cr (VI). *Biopropal.* 8(1): 47-54.

Hardianto, A.H. 2021. *Pengaruh Durasi Oil Heat Treatment (OHT) Terhadap Perubahan Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Sengon (Falcataria moluccana) dan Kelapa (Cocos nucifera).* Skripsi. 38*p*.

Hardiatmi, J. S. 2010. Investasi tanaman kayu sengon dalam wanatani cukup menjanjikan. *INNOFARM: Jurnal Inovasi Pertanian*. 9(2): 17-21.

Haryanto, H., Iryani, D. A., Hasanudin, U., Telaumbanua, M., Triyono, S. dan Hidayat, W. 2021a. Biomass fuel from oil palm empty fruit bunch pellet: potential and challenges. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management.* 8(1): 33-42.

Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D.A., Kim, S., Lee, S., Yoo, J. 2021b. Valorization of Indonesian wood wastes through pyrolysis: a review. *Energies.* 14(5): 1407.

Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H., Chae, H.M., Kondo, T., Kim, N.H. 2017. Carbonization characteristics of juvenile woods from some tropical trees planted in Indonesia. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University.* 62(1): 145-152.

Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, N., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021 . Characteristics of biochar produced from the harvesting wastes of meranti (*Shorea* sp.) and oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 749(1): 012040, 1-7.

Himawanto, D.A., Indarto, H., Saptoadi, T. A. Rohmat. 2011. Karakteristik dan pendekatan kinetika global pada pirolisis lambat sampah kota terseleksi. *Jurnal Reaktor*. 13(3): 140-147.

Himmah, N.I. F., Djajakirana, G., Darmawan, D. 2018. Nutrient release performance of starch coated npk fertilizers and their effects on corn growth. *Sains Tanah-Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 15(2): 104-114.

Hornung, A. 2014. *Transformation of Biomass: Theory to Practice*. Wiley. New Jersey.

IBI. 2012. What is Biochar? International Biochar Initiative, diakses pada 3 Desember 2021 pada situs www.biocharinternational.org.

Ichwal, R., Zaitun., Elly, K. 2019. Pengaruh dosis biochar dan pupuk kandang terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman okra (*Albelmoschus esculentus* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 4(1): 43-54.

Iryani, D.A., Haryanto, A., Hidayat, W., Amrul., Telaumbanua, M., Hasanudin, U., Lee, S.H. 2019. Torrefaction upgrading of palm oil empty fruit bunches biomass pellets for gasification feedstock by using CFMB (Counter Flow Multi Baffle) reactor. *Proceedings of the International Coference on Trends in Agricultural Engineering 2019*. 212-217.

Istikorini, Y., Sari, O.Y. 2020. Survey dan identifikasi penyebab penyakit damping-off pada sengon (*Paraserianthes falcataria*) di persemaian permanen IPB. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 32-41.

Jaya, W.S., Baharudin, A.B., Mulyati. 2018. Pengaruh pemberian berbagai macam biochar dan dosis nitrogen terhadap pertumbuhan dan produksi kedelai (*Glycine max L. Merill*). *Crop Agro 2018*. 11(1): 60-70.

Jaynudin, J., Rochmadi, R., Renaldi, M.K., Pangihutan, P. 2017. Pengaruh bahan penyalut terhadap efisiensi enkapsulasi oleoresin jahe merah. *Jurnal Penelitian Kimia*. 13(2): 275-287.

Jelvina, Y. 2019. *Pengaruh Pemberian Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq.) Pada Main Nursery*. Diploma Tesis. Universitas Andalas. Padang.

Kamal, N. 2014. Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit. *ITENAS*. Bandung. 8*p*.

Kanthle, A.K., Lenka, N.K., Lenka, S., Tedia, K. 2015. Biochar impact on nitrate leaching as influenced by native soil organic carbon in an inceptisol of Central india. *Elsevier*. 157: 65-72.

Knaofmone, A. 2016. Pengaruh konsentrasi dan dosis pupuk organik cair terhadap pertumbuhan bibit sengon laut (*Paraserianthes falcataria,* L.). *Savana Cendana*. 1(2): 90-92.

Krisdayani, P.M., Proborini, M.W., Kriswiyanti, E. 2020. Pengaruh kombinasi pupuk hayati endomikoriza, trichoderma spp., dan pupuk kompos terhadap pertumbuhan bibit sengon (*Paraserianthes falcataria* (l.) nielsen). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(3): 400-410.

Krisnawati, H., Varis, E., Kalliodan, M. dan Kanninen, M. 2011. *Paraserienthes falcataria* (L.) Nielsen*: Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*. Buku. CIFOR. Bogor. 24*p*.

Kurniawan, A., Haryono, B., Baskara, M., Tyasmoro, S.Y. 2016. Pengaruh penggunaan biochar pada media tanam terhadap pertumbuhan bibit tanaman tebu (*Saccharum officinarum* l.). *Jurnal Produksi Tanaman*. 4(2): 153-160.

Lelu, P.K., Situmeang, P., Suarta, M. 2018. Aplikasi biochar dan kompos terhadap peningkatan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Gema Agro*. 23(1): 24-32.

Lefebvre, D., Román-Dañobeytia, F., Soete, J., Cabanillas, F., Corvera, R., Ascorra, C., Fernandez, L.E., Silman, M. 2019. Biochar effects on two tropical tree species dan its potential as a tool for reforestation. *Forests*. 10(8): 1–14.

Lukas, A., Ngudiwaluyo, S., Mulyono, H., Rosyadi, I., Noor, I.M., Teng, P.N.L. 2018. Aspek teknis dan finansial insinerasi limbah tandan kosong kelapa sawit menjadi biokar sebagai pupuk karbon. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan.* 13(1): 37-42.

Lestari, R.S.D., Jayanudin., Irawanto, D., Rozak., Wardana, R.L.A., Muhammad, F. 2020. Preparasi dan karakterisasi kitosan tertaut silang *glutar aldehida* sebagai matrik pupuk urea. *Jurnal Integrasi Proses*. 9(2): 27-33.

Mandiri. 2012. *Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan*. Buku. PT Cipta Tani Lestari. Jakarta. 61*p*.

Marthen., Kaya, E., Rehatta, H. 2013. Pengaruh perlakuan pencelupan dan perendaman terhadap perkecambahan benih sengon (*Paraserianthes falcataria* l.). *Agrologia.* 2(1): 10-16.

Mesa-Pérez, J.M., Rocha, J.D., Barbosa-Cortez, L.A., Penedo-Medina, M., Luengo, C.A., Cascarosa, E. 2013. Fast oxidative pyrolysis of sugar cane straw in a fluidized bed reactor. *Applied Thermal Engineering.* 56(1–2): 167–175.

Mulyana, D., Asmarahman, C. 2012. *Untung Besar dari Bertanam Sengon*. Buku. PT AgroMedia Pustaka. Jakarta. 137*p*.

Nadeak, N., Qurniati, R., dan Hidayat, W. 2013. Analisis finansial pola tanam agroforestri di desa pesawaran indah kecamatan padang cermin kabupaten pesawaran provinsi lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 1(1): 65-74.

Nainggolan, G.D. Suwardi., Darmawan. 2009. Pola pelepasan nitrogen dari pupuk tersedia lambat (slow release fertilizer) urea-zeolit-asam humat. *Journal of Indonesia Zeolites.* 8(2): 89-96.

Nurhayati, A. dan Sulaiman, F. 2013. The properties of the washed empty fruit bunches of oil palm. *Journal of Physical Science*. 24(2): 117–137.

Nurkholifah, V., Riniarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niswati, A., Hidayat, W. 2020. Karakteristik Arang dari Limbah Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*). *Prosiding Seminar Nasional Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan.* 235-240.

Nion, Y.A., Ichriani, G.I., Chotimah, H.E.N.C., Jemi, R., Rambang, R. 2014. Pengaruh suhu, lama, dan ukuran mesh dalam pembuatan biochar plus tandan kosong kelapa sawit terhadap retensi tanah gambut dan podsolik merah kuning. *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Agronomi Indonesia.* 1-11.

Nugroho, B. 2011. Analisis perbandingan beberapa skema pinjaman untuk pembangunan hutan tanaman berbasis masyarakat di Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 17(2): 79-88.

Nurida, N. L. 2014. Potensi pemanfaatan biochar untuk rehabilitasi lahan kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus.* 57-68.

Prananda, R., Indriyanto dan Riniarti, M. 2014. Respon pertumbuhan bibit jabon (*Anthocephalus cadamba*) dengan pemberian kompos kotoran sapi pada media penyapihan. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 29-38.

Prayoga, D., Riniarti, M., Duryat. 2018. Aplikasi rhizobium dan urea pada pertumbuhan semai sengon laut. *Jurnal Sylva Lestari*. 6(1): 1-8.

Puspita, V., Syakur., Darusman. 2021. Karakteristik biochar sekam padi pada dua temperatur pirolisis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian.* 6(4): 732-739.

Putri, V. I. 2017. *Pemberian Beberapa Jenis Biochar dalam Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol dan Pertumbuhan Tanaman Jagung*. Skripsi. Universitas Sumatra Utara. Medan. 55*p*.

Rahardja, I.B., Sukarman., Ramadhan, A. 2019. Analisis kalori biodiesel crude palm oil (CPO) dengan katalis abu tandan kosong kelapa sawit (TKKS). *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 1-12.

Rahmah, I.M., Nirtha, R.I., Razie, F. 2019. Pengaruh kombinasi sekam padi dan biochar tandan kosong kelapa sawit terhadap ketersediaan fosfor pada bahan tanah perkebunan kelapa sawit. *JTAM Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat.* 2(1): 23-31.

Rahman, M.R. 2020. *Produksi biochar sebagai pupuk ramah lingkungan dengan metode slow pyrolysis dan analisis life cycle assessment.* Skripsi. Universitas Pertamina. 93*p*.

Ramadhan, D., Riniarti, M., Santoso, T. 2018. Pemanfaatan cocopeat sebagai media tumbuh sengon laut (*Paraserianthes falcataria*) dan merbau darat (*Intsia palembanica*). *Jurnal Sylva Lestari*. 6(2): 22-31.

Ramadhani, R.S., Wulandari, R.S. 2018. Pengaruh proporsi campuran media sapih pada pertumbuhan bibit mahoni (*Swietenia mahagoni*) di persemaian. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(4): 1009-1019.

Rawat, J., Saxena, J., Sanwal, P. 2019. *Biochar: a sustainable approach for improving plant growth and soil properties.* In Biochar-An Imperative Amendment for Soil and the Environment. Intech Open. 17*p*.

Riana, A., Khabibi, J., Ridho, M.R. 2021. Utilization of Wood Vinegar as a Natural Preservative for Sengon Wood (*Falcataria moluccana* Miq.) against Fungal Attack (*Schizophyllum commune* Fries). *Jurnal Sylva Lestari*. 9(2): 302-313.

Ridjayanti, S.M., Hidayat, W., Bazenet, R.A., Banuwa, I.S., Riniarti, M. 2021. Pengaruh variasi kadar perekat tapioka terhadap karakteristik briket arang limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*). *Perennial.* 17(1): 5-11.

Rilianawati, R., Subintoro, S., Rofaani, E. 2018. Pengaruh prototipe enkapsulasi berbasis alginat terhadap viabilitas dan stabilitas sel punca mesenkim. *Jurnal Biotek Medisiana Indonesia*. 7(1): 27-38.

Riniarti, M., Hidayat, W., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021a. Using Two Dosages of Biochar from *Shorea* to Improve the Growth of *Paraserianthes falcataria* Seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012049.

Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Loka, A.A., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hidayat, W. 2021b. Effects of Meranti Biochar Addition on the Root Growth of *Falcataria moluccana* Seedlings. *Advances in Engineering Research.* 202: 181-184.

Rehman, H.A and Rozzaq. R. 2017. Benefits of biochar on the agriculture and environment. *J. Environ Anal Chem.* 4(3) : 207.

Robertson, S. J., Michael Rutherford, P., López-Gutiérrez, J. C., dan Massicotte, H. B. 2012. Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*. 92(2): 329-340.

Ruchyansyah, Y., Wulandari, C., Riniarti, M. 2018. Pengaruh pola budidaya pada hutan kemasyarakatan di areal kelola KPH VIII Batutegi terhadap pendapatan petani dan kesuburan tanah. *Jurnal Sylva Lestari*. 6(1): 100-106.

Sarauer, J.L., Page-Dumroese, D.S., Coleman, M.D. 2019. Soil greenhouse gas, carbon content, and tree growth response to biochar amandement in western united states forests. *GCB Bioenergy.* 11(5): 660-71.

Sarwono, E. 2008. Pemanfaatan janjang kosong sebagai substitusi pupuk tanaman kelapa sawit. *Jurnal APLIKA*. 8(1): 19-23.

Silalahi, B.M. dan Supijatno. 2017. Pengelolaan Limbah Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Angsana Estate Kalimantan Selatan. Bul Agrohorti 5(3) : 373-383.

Simangunsong, E.M., Riniarti, M., Duryat. 2016. Upaya perbaikan pertumbuhan bibit merbau darat (*Intsia palembanica*) dengan naungan dan pemupukan. *Jurnal Sylva Lestari*. 4(1): 81-88.

Sismiyanti., Hermansah dan Yulnafatmawita. 2018. Klasifikasi beberapa sumber bahan organik dan optimalisasi pemanfaatannya sebagai biochar. *J. Solum.* 15(1): 8-16.

Soepandi, D., 2013. *Fisiologi Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika*. IPB Press. Bogor.

Sofyan, S.E., Riniarti, R., Duryat. 2014. Pemanfaatan limbah teh, sekam padi, dan arang sekam sebagai media tumbuh bibit trembesi (*Samanea saman*). *Jurnal Sylva Lestari.* 2(2): 61-70.

Solaiman, Z. M., H. M. Anawar. 2015. Aplication of Biochars for Soil Constraints: Challenges and Solution. *Pedosphere*. 25(5): 631-638.

Subagio, A.A., Mansur, I dan Sari, R.K. 2018. Pemanfaatan kompos tandan kosong kelapa sawit untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) di lahan pasca tambang batu bara. *Jurnal silvikultur Tropika.* 9(3): 160-166.

Suharmanto, A. 2018. Pengaruh ukuran *pellet*, suhu dan waktu pirolisis terhadap produksi biochar dari pirolisis *pellet* tandan kosong kelapa sawit (TKKS). *Skripsi.* Universitas Sumatera Utara. 109*p*.

Suharti. 2008. Aplikasi inokulum EM-4 dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan bibit sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen). *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 5(1): 55-65.

Sujana, I.P ., Pura, I.N.L.S. 2015. Pengelolaan tanah ultisol dengan pemberian pembenah organik biochar menuju pertanian berkelanjutan. *Jurnal Agrimeta*. *5*(09): 1-69.

Sukarman., Kainde, R., Rombang, J. Thomas, A. 2012. Pertumbuhan bibit sengon (*Paraserianthes falcataria*) pada berbagai media tumbuh. *Eugenia.* 18(3): 215-220.

Sukiran, M.A., Kheang, L.S., Bakar, N.A., May, C.Y. 2014. Production and characterization of bio-char from the pyrolysis of empty fruit bunches. *American Journal of Applied Sciences*. 8 (10): 984-988.

Sukmawati, S. 2020. Karakterisasi sifat kimia biochar dari tongkol jagung, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit bahan organic menjanjikan dari limbah pertanian. *Agroplantae: Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan* 9(2): 25-37.

Suprastiyo, A., Lakitan, B., Susilawati, S. 2018. Pengaruh dosis aplikasi biochar terhadap pertumbuhan tanaman genjer (*Limnocharis flava* l.*)*. Tesis. Universitas Sriwijaya. 20*p*.

Susanto., Iskandar, T., Anggaraini, S.P.A. 2019. Pra rancang bangun pabrik pupuk *biochar* dari tandan kosong kelapa sawit dengan kapasitas 11.000 ton/tahun menggunakan alat utama rotary kiln. *J. Penelitian Mahasiswa Teknik Sipil dan Teknik Kimia.* 3(2): 245-250.

Syah, P.R. 2016. Pengaruh pupuk kompos dan biochar terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis varietas bonanaza f1 (Zea mays saccharata). *Skripsi*. UTD Unsyah Universitas Syiah Kuala. Aceh. 73*p*.

Taufik, I., Umi, R., 2017. Karakteristik biochar berdasarkan jenis biomassa dan parameter proses pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia* 12(1): 28-35.

Tarigan, A.A.L.B., Riniarti, M., Prasetia, H., Hidayat, W., Niswati, A., Banuwa, I.S., Hasanudin, U. 2021. Pengaruh biochar pada simbiosis rhizobium dan akar sengon laut (*Paraserianthes falcataria*) dalam media tanam. *Jopfe Journal.* 1(1): 11-20.

Tarigan, A.D., Nelvia. 2020. Pengaruh pemberian biochar tandan kosong kelapa sawit dan mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays sacharrata* l.) di tanah ultisol. *J. Agroekotek.* 12(1): 23-37.

Utama, R.C., Febryano, I.G., Herwanti, S., Hidayat, W. 2019. Saluran pemasaran kayu gergajian sengon (*Falcataria moluccana*) pada industri penggergajian kayu rakyat di Desa Sukamarga, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(2): 195-203.

Wang, J., Wang, S. 2019. Preparation, modification and environmental application of biochar. *Journal Of Cleaner Production.* 227: 1002-1022.

Wijaya, B.A., Riniarti, M., Hendra, P., Hidayat, W., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I.S. 2021. Interaksi perlakuan dosis dan suhu pirolisis pembuatan biochar kayu meranti (*Shorea* spp.) mempengaruhi kecepatan tumbuh sengon (*Paraserianthes moluccana*). *J. Hut Trop.* 5(2): 86-97.

Wijaya, B.A., Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Kim, S., Lee, S., Yoo, J. 2022 . Meranti (*Shorea* sp.) Biochar Application Method on the Growth of Sengon (*Falcataria moluccana*) as a Solution of Phosphorus Crisis. *Energies.* 15: 2110.

Wiryadiputra, S. 2007. Epidemi penyakit tumor pada sengon (*Paraserianthes falcataria*) dijawa timur indonesia. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 1(1) : 31-39.

Wibowo, T. I. R., Riniarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niswati, A. dan Hidayat, W. 2020. Karakterisasi arang hayati dari limbah kayu sengon

(*Falcataria moluccana*) dan meranti (*Shorea* sp.). *Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan.* 560-563.

Xiang, Y., Deng, Q., Duan, H., Guo, Y. 2017. Effects of biochar application on root traits: a meta analysis. *GCB Bioenergy*. 9(10): 63-72.

Yunita, E., Riniarti, M., Hidayat, W., Niswati, A., Prasetia, H. Banuwa, I.S., Hasanudin, U., Yunita, R.S., Rizkasumarta, F. 2021. Pengaruh Penambahan Enkapsul Biochar Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Perkembangan Akar Sengon (*Falcataria moluccana*). *Prosiding Seminar Nasional Silvikultur VIII*. 8*p*.

Yunita, R.S., Riniarti, M., Hidayat, W., Niswati, A., Prasetia, H. Banuwa, I.S., Hasanudin, U., Yunita, E., Rizkasumarta, F. 2022. Aplikasi beberapa dosis biochar tandan kosong kelapa sawit untuk pertumbuhan sengon (Falcataria moluccana). *Skripsi*. Universitas Lampung. 53*p*.

Yanti, M., Indriyanto., Duryat. 2016. Pengaruh zat alelopati dari alang-alang terhadap pertumbuhan semai tiga spesies akasia. *Jurnal Sylva Lestari.* 4(2) : 27-38.