

Acc untuk cetak skripsi



Ir. Indriyanto, M.P.

Tanggal 23 Nov. 2023

**UJI EFEKTIVITAS PUPUK KANDANG SAPI DAN ASAM AMINO
UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN KALIANDRA MERAH
(*Calliandra calothyrsus* Meissn.) PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH OLI
BEKAS**

(Skripsi)

Oleh

**Mita Puspita Rini
1914151059**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**UJI EFEKTIVITAS PUPUK KANDANG SAPI DAN ASAM AMINO
UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN KALIANDRA MERAH
(*Calliandra calothyrsus* Meissn.) PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH OLI
BEKAS**

Oleh

Mita Puspita Rini

Skripsi

**sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

UJI EFEKTIVITAS PUPUK KANDANG SAPI DAN ASAM AMINO UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN KALIANDRA MERAH (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH OLI BEKAS

Oleh

Mita Puspita Rini

Limbah oli bekas termasuk dalam B3 (bahan berbahaya dan beracun) yang mengandung unsur Pb. Kandungan unsur Pb tersebut membahayakan mikroorganisme yang ada di dalam tanah dan lingkungan. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi tanah tercemar limbah oli bekas yaitu melalui fitoremediasi. Kaliandra merah (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) sebagai komponen utama, serta pupuk kandang sapi dan asam amino untuk memperbaiki tanah yang telah tercemar limbah oli bekas. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RALF.) 2 faktor. Masing-masing faktor terdiri atas 3 taraf, membentuk 9 kombinasi dengan 5 kali pengulangan sehingga terdapat 45 unit percobaan. Hasil penelitian menunjukkan perlakuan tunggal pupuk kandang sapi memberikan pengaruh terbaik pada pertumbuhan kaliandra merah dengan dosis 200 g, berpengaruh sangat nyata ($P>0,01$) pada parameter tinggi batang semai, diameter batang semai, bobot basah akar, bobot basah pucuk, bobot kering akar, bobot kering pucuk, bobot kering total, dan panjang akar, serta berpengaruh nyata ($P>0,05$) pada parameter jumlah daun semai dan jumlah bintil akar. Di samping itu, perlakuan tunggal asam amino memberikan pengaruh terbaik pada dosis 5 ml, berpengaruh sangat nyata ($P>0,01$) pada parameter bobot basah akar, bobot basah pucuk, bobot kering akar, dan bobot kering total, serta berpengaruh nyata ($P>0,05$) pada parameter bobot kering pucuk, jumlah bintil akar, dan jumlah bintil akar efektif. Selain itu, tidak terjadi interaksi antara perlakuan pupuk kandang sapi dan asam amino pada seluruh parameter pengamatan.

Kata kunci: Tanah tercemar, Pupuk kandang sapi, Asam amino, *Calliandra calothyrsus*

ABSTRACT

EFFECTIVENESS TEST OF COW MANURE AND AMINO ACID FOR INCREASING THE GROWTH OF RED CALIANDRA (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) IN SOIL CONTAMINATED WITH WASTED OIL WASTE

By

Mita Puspita Rini

Waste used oil is included in B3 (hazardous and toxic materials) which contains the element Pb. The Pb content endangers microorganisms in the soil and environment. One way that can be done to overcome the soil polluted by used oil waste is through phytoremediation. Red calliandra (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) as the main component, as well as cow manure and amino acids to improve the soil that has been polluted by used oil waste. This research used a 2-factor Randomized Complete Factorial Design (RCRD.). Each factor consisted of 3 levels, forming 9 combinations with 5 repetitions so that there were 45 experimental units. The results showed that a single treatment of cow manure gave the best effect on the growth of red calliandra with a dose of 200 g, very significant effect ($P>0,01$) on the parameters of seedling stem height, seedling stem diameter, root wet weight, shoot wet weight, root dry weight, shoot dry weight, total dry weight, and root length, and significant effect ($P>0,05$) on the parameters of the number of seedling leaves and the number of root nodules. In this study, the single treatment of amino acid gave the best effect at a dose of 5 ml, very significant effect ($P>0,01$) on the parameters of root wet weight, shoot wet weight, root dry weight, and total dry weight, and significant effect ($P>0,05$) on the parameters of shoot dry weight, number of root nodules, and number of effective root nodules. Additionally, no interaction was observed between cow manure and amino acid treatments on the observation parameters.

Keywords: Polluted soil, Cow manure, Amino acids, *Calliandra calothyrsus*

Judul Skripsi

: UJI EFEKTIVITAS PUPUK KANDANG SAPI
DAN ASAM AMINO UNTUK
MENINGKATKAN PERTUMBUHAN
KALIANDRA MERAH (*Calliandra
chalothyrsus* Meissn.) PADA TANAH
TERCEMAR LIMBAH OLI BEKAS

Nama Mahasiswa

: Mita Puspita Rini

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1914151059

Jurusan

: Kehutanan

Fakultas

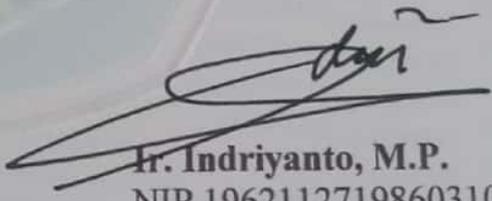
: Pertanian

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

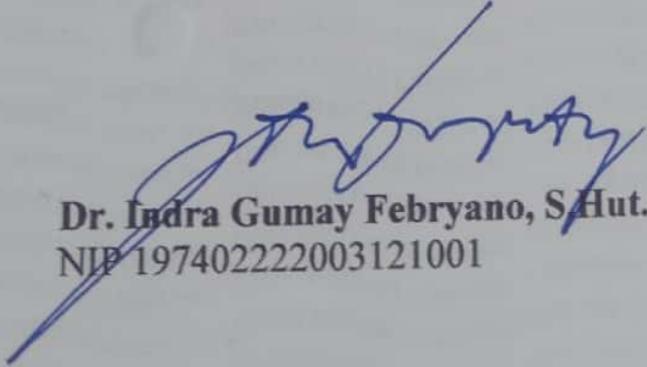


Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.
NIP 198204072010121002



Ir. Indriyanto, M.P.
NIP 196211271986031003

2. Ketua Jurusan Kehutanan

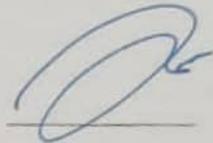


Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si.
NIP 197402222003121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

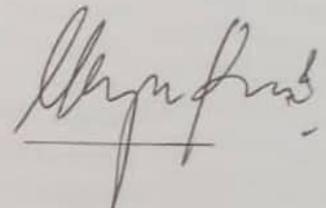
Ketua : Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si.



Sekretaris : Ir. Indriyanto, M.P.



Penguji : Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.



Dekan Fakultas Pertanian



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 November 2023

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mita Puspita Rini
NPM : 1914151059
Jurusan : Kehutanan
Alamat Rumah : Jalan Tirtayasa, Kp. Bukit Laban, Campang Raya,
Sukabumi, Bandar Lampung

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

**UJI EFEKTIVITAS PUPUK KANDANG SAPI DAN ASAM AMINO
UNTUK MENINGKATKAN PERTUMBUHAN KALIANDRA MERAH
(*Calliandra calothyrsus* Meissn.) PADA TANAH TERCEMAR LIMBAH OLI
BEKAS**

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 skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika kemudian hari pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 November 2023
Yang membuat pernyataan,



Mita Puspita Rini
NPM 1914151059

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, pada 09 Juni 2001. Anak terakhir dari pasangan Bapak Muhidin dan Ibu Sunaini. Pendidikan yang ditempuh penulis yaitu di Taman Kanak-Kanak (TK) Gajah Mada pada tahun 2006-2007, Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Kota Baru pada tahun 2007-2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 12 Bandar Lampung pada tahun 2013-2016, Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 10 Bandar Lampung pada tahun 2016-2019.

Tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyulva) Universitas Lampung sebagai anggota. Pada bulan Januari – Februari 2022 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Sukabumi Indah 2, Kecamatan Sukabumi Indah, Kota Bandar Lampung selama 40 hari. Penulis juga melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di Kampus Lapangan Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada tepatnya di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Getas dan Wanagama, Jawa Tengah pada bulan Agustus – September 2022 selama 20 hari.

SANWACANA

Puji syukur saya ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Uji Efektivitas Pupuk Kandang Sapi dan Asam Amino untuk Meningkatkan Pertumbuhan Pada Kaliandra Merah (*Calliandra chalthryrsus* Meissn.) Pada Tanah Tercemar Limbah Oli Bekas” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Di kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan baik secara morel maupun materiel serta bimbingannya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Ucapan terima kasih ini, penulis tujukan 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. Bapak Dr. Ceng Asmarahman, S.Hut., M.Si. selaku dosen pembimbing utama penulis yang sudah banyak meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan saran maupun motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Indriyanto, M.P. selaku pembimbing kedua penulis yang sudah meluangkan banyak waktu untuk membimbing, memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk perbaikan dalam skripsi ini.
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Sugeng P. Harianto, M.S. selaku pembimbing akademik selama masa perkuliahan.

7. Bapak Muhidin dan Ibu Sunaini, selaku orangtua penulis yang tidak pernah lupa untuk mendoakan yang terbaik dan selalu memberikan dorongan secara morel. Serta tidak lupa kakak-kakakku Taufikur Rochman dan Sigit yang selalu berusaha memberikan yang terbaik untuk adiknya agar dapat kuliah, memberikan motivasi dan menyempatkan waktunya untuk membantu dalam proses penelitian skripsi hingga selesai.
8. Kepada teman-temanku (Rohmi Aisah, Widia Arum Setia Budi, Amellita, M. Riski Firdaus Fasya) yang turut memberikan dukungan, motivasi, dan selalu mengutamakan kebersamaan serta menjadi pendengar yang baik.
9. Kepada semua pihak yang tidak disebutkan disini yang telah membantu, memberikan semangat, dan dukungan tanpa henti kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan mereka semua, ilmu yang diperoleh menjadi bermanfaat bagi lingkungan sekitar serta dapat diterapkan dengan baik dan benar. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, tetapi semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 15 November 2023

Mita Puspita Rini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Hipotesis	5
1.6 Kerangka Pikir.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah Oli Bekas	7
2.2 Tanah Tercemar	8
2.3 Fitoremediasi.....	9
2.4 Kaliandra Merah.....	11
2.5 Pupuk Kandang Sapi.....	12
2.6 Asam Amino	13
III. METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Bahan dan Alat.....	15
3.3 Metode.....	15
3.4 Pelaksanaan	17
3.5 Pengamatan	18
3.5.1 Variabel yang Diamati	18
3.5.2 Variabel Penunjang.....	19
3.5.3 Analisis Data.....	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	24
4.2 Pembahasan.....	36
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47

5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Tabulasi data RAL Faktorial 3 x 3	20
2. Analisis sidik ragam percobaan faktorial dengan menggunakan RAL	23
3. Rekapitulasi hasil analisis ragam untuk seluruh parameter pengamatan	25
4. Konsentrasi kadar Pb dalam media tanah sebelum dan setelah penelitian	35
5. Suhu dan kelembapan udara rumah kaca sebagai data pendukung pada awal penelitian hingga akhir	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian tentang efektivitas pupuk kandang sapi dan asam amino untuk meningkatkan pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas ..	6
2. Tata letak unit percobaan dalam metode rancangan acak lengkap (RAL) faktorial 3 x3 ..	17
3. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap tinggi semai kaliandra merah ..	26
4. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap diameter semai kaliandra merah ..	26
5. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap jumlah daun semai kaliandra merah ..	27
6. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap bobot basah akar semai kaliandra merah ..	27
7. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap bobot basah pucuk semai kaliandra merah ..	28
8. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap bobot kering akar semai kaliandra merah ..	28
9. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap bobot kering pucuk semai kaliandra merah ..	29
10. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap bobot kering total semai kaliandra merah ..	29
11. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap panjang akar semai kaliandra merah ..	30
12. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi terhadap jumlah bintil akar semai kaliandra merah ..	30
13. Pengaruh dosis asam amino terhadap bobot kering total semai kaliandra merah ..	31
14. Pengaruh dosis asam amino terhadap bobot basah akar semai kaliandra merah.....	31

15. Pengaruh dosis asam amino terhadap bobot basah pucuk semai kaliandra merah	32
16. Pengaruh dosis asam amino terhadap bobot kering akar semai kaliandra merah	32
17. Pengaruh dosis asam amino terhadap bobot kering pucuk semai kaliandra merah	33
18. Pengaruh dosis asam amino terhadap jumlah bintil akar semai kaliandra merah	33
19. Pengaruh dosis asam amino terhadap bintil akar efektif semai kaliandra merah	34

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lingkungan memiliki peran yang penting dalam pertumbuhan dan perkembangan seluruh makhluk hidup. Saat ini, banyak sekali lingkungan hidup yang rusak akibat perbuatan manusia. Hal ini menimbulkan berbagai permasalahan pada lingkungan mulai dari pencemaran air, tanah, udara hingga berbagai macam masalah lainnya (Anjelita *et al.*, 2019). Masalah-masalah tersebut secara langsung maupun tidak langsung menurunkan kualitas lingkungan (Rochmani, 2015). Beberapa penyebab pencemaran lingkungan berasal dari logam berat, herbisida, pestisida, dan lain-lain. Salah satu pencemaran pada lingkungan yang umum atau sering kali terjadi yaitu pencemaran terhadap tanah. Pencemaran tanah merupakan suatu peristiwa meningkatnya bahan asing yang menyebabkan cemaran pada tanah melebihi batas normal sehingga berakibat kepada keselarasan lingkungan (Yuvaraj dan Mahendran, 2020).

Bentuk pencemaran lingkungan yang saat ini masih terus terjadi yaitu diakibatkan oleh limbah oli bekas. Limbah oli bekas digolongkan sebagai limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun), dimana sebagian besar kandungan limbah oli bekas adalah Fe, Zn, dan Cu. Kandungan lainnya berupa ikatan hidrokarbon yang mana jika langsung dibuang tanpa melalui proses pengelolaan dengan baik maka mengakibatkan adanya cemaran pada lingkungan dan berdampak negatif bagi makhluk hidup yang ada disekitarnya (Nindyapuspa dan Alfiah, 2018). Dampak yang ditimbulkannya mulai dari produktivitas biota, biomassa, keanekaragaman komunitas biologis, kematian mikroorganisme, hingga terhalangnya pasokan oksigen terhadap tanah (Adams *et al.*, 2017).

Lingkungan sebenarnya dapat mendegradasi kadar senyawa-senyawa yang ada di lingkungan melalui proses biologi ataupun kimia. Namun, pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah ini tidak sebanding dengan laju penguraiannya

sehingga menyebabkan senyawa-senyawa akhirnya terakumulasi dan sulit terurai (Mas'ud *et al.*, 2011). Oleh sebab itu, diperlukan langkah-langkah yang tepat dalam memulihkan kondisi tanah yang sudah tercemar. Salah satu bentuk perbaikannya dengan meremediasinya menggunakan tanaman sebagai indikator utama. Tanaman yang digunakan haruslah mampu menyerap unsur logam berat di dalam tanah. Metode ini disebut dengan fitoremediasi.

Fitoremediasi merupakan salah satu teknologi yang berkaitan dengan remediasi logam berat pada lingkungan tercemar dengan tanaman sebagai komponen utamanya (Hidayati, 2013). Tanaman tersebut akan mengambil, mengangkut, memindahkan serta mendetoksifikasi logam berat. Selain itu, fitoremediasi ini tidak memerlukan biaya yang mahal, mudah diaplikasikan serta ramah lingkungan. Akan tetapi, keberhasilan dari metode fitoremediasi tidak hanya bergantung pada jenis tanaman yang digunakan melainkan juga dipengaruhi kondisi iklim dan *tailing* (Borolla *et al.*, 2019).

Tanaman yang diperuntukan untuk proses fitoremediasi mempunyai bentuk beragam, baik berupa alang-alang atau bahkan berwujud seperti jalinan rumput (Ratnawati dan Fatmasari, 2018) bisa juga menggunakan tanaman berbunga, tanaman pangan dan pepohonan (Fahrudin, 2010 dalam Setiyono dan Gustaman, 2017). Spesies tanaman yang digunakan harus dipilih secara cermat untuk memastikan bahwa akar memiliki kemampuan memperluas diri pada zona yang terkontaminasi. Tanaman juga harus memiliki fungsi yang dapat membuatnya mampu untuk berkembang dengan kondisi yang tidak baik (Herlambang dan Suryati 2018). Diketahui terdapat jenis tanaman yang mampu tumbuh dengan cepat dan dapat memperbaiki sifat fisik serta kimia tanah, salah satunya yaitu kaliandra merah (*Calliandra calothyrsus* Meissn.) (Chamberlian, 2001 dalam Maulidani *et al.*, 2019).

Tumbuhan kaliandra merah termasuk dalam famili leguminosae (Mardika *et al.*, 2018). Tanaman legum mempunyai kelebihan dapat tumbuh di berbagai iklim. Selain itu juga tanaman legum dapat mengikat N dan termasuk dalam bahan yang terbarukan serta ramah lingkungan (Subagiono *et al.*, 2019). Selain itu, kaliandra merah disebut juga sebagai tanaman pionir sebab kemampuannya yang dapat hidup pada berbagai jenis tanah. Tanaman ini memiliki banyak peran

diantaranya pengontrol erosi, memproduksi seresah, perbaikan tanah dikarenakan kemampuannya dalam mengikat nitrogen. Kaliandra merah sudah dipergunakan untuk reklamasi area bekas tambang (Hatiningrum *et al.*, 2021) dan juga untuk merehabilitasi lahan (Hendrati *et al.*, 2014). Pada penelitian sebelumnya menurut Maulidani *et al.* (2019), mengatakan bahwa tanaman kaliandra memiliki daya hidup yang baik pada tanah limestone, laterit dan *clay* di areal reklamasi bekas pertambangan semen. Hal tersebut ditunjukkan dengan persentase daya hidupnya mencapai 100% di tanah laterit, 94% di tanah limestone, dan 79% di tanah *clay*. Namun kualitas hidupnya secara berturut-turut yaitu di areal tanah limestone sebesar 56%, di tanah laterit 51%, sedangkan pada tanah clay 6% merana dan 21% mati. Oleh karena itu, untuk membantu dalam mengatasi dampak negatif dari limbah oli tersebut selain menggunakan tanaman kaliandra merah, diperlukan pula penambahan bahan organik pada tanah. Bahan organik yang dapat digunakan diantaranya adalah pupuk kandang sapi dan asam amino.

Kotoran sapi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang berguna untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Jagadeesha *et al.*, 2019). Hal ini meliputi perbaikan kerusakan tanah yang disebabkan oleh pencemaran lingkungan, meningkatkan kapasitas penyimpanan air dalam tanah, meningkatkan aerasi tanah (Ferrerias *et al.*, 2019), KTK dan pH tanah, populasi serta aktivitas mikroba tanah juga mineralisasi nitrogen (Dinesh *et al.*, 2010). Selain itu, menurut Marlina *et al.* (2021) penggunaan pupuk kandang sapi pada tanah tercemar limbah oli mampu untuk menurunkan pH sebesar 89,1% dan nilai TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) yang sebelumnya 3,6% menjadi lebih rendah yaitu 0,4%. Hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128/2003 dengan TPH 1 %.

Selain itu, asam aminos sebagai biostimulan dapat memacu pertumbuhan sehingga secara nyata mampu mengurangi kerusakan akibat cekaman abiotik (Kowalczyk dan Zielony, 2008; Hosseinnejadian dan Naderidarbaghshahi, 2018). Penggunaan asam amino dapat meningkatkan asimilasi pupuk, penyerapan unsur hara dan air, serta laju fotosintesis (Kahlel dan Sultan, 2019). Selain itu berdasarkan penelitian Zhang *et al.* (2022) pupuk asam amino mampu menurunkan pH tanah, meningkatkan biomassa, serta meningkatkan efisiensi

fitoremediasi. Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai fitoremediasi menggunakan kaliandra merah terhadap tanah yang tercemar limbah oli bekas dengan pemanfaatan pupuk kandang sapi dan asam amino.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh pemberian pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada media tanah tercemar limbah oli bekas?
2. Bagaimana pengaruh pemberian asam amino terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada media tanah tercemar limbah oli bekas?
3. Bagaimana pengaruh interaksi antara pemberian pupuk kandang sapi dan asam amino terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada media tanah tercemar limbah oli bekas?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh dosis pupuk kandang sapi yang berpengaruh terbaik terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas.
2. Menganalisis pengaruh dosis asam amino yang berpengaruh terbaik terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas.
3. Menganalisis interaksi antara dosis pupuk kandang sapi dan asam amino yang berpengaruh terbaik terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan dan pemahaman kepada peneliti maupun sivitas akademika serta menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya yang akan melakukan penelitian sejenis.
2. Menambah alternatif dalam kegiatan fitoremediasi terhadap perbaikan cemaran limbah oli bekas menggunakan kaliandra merah.

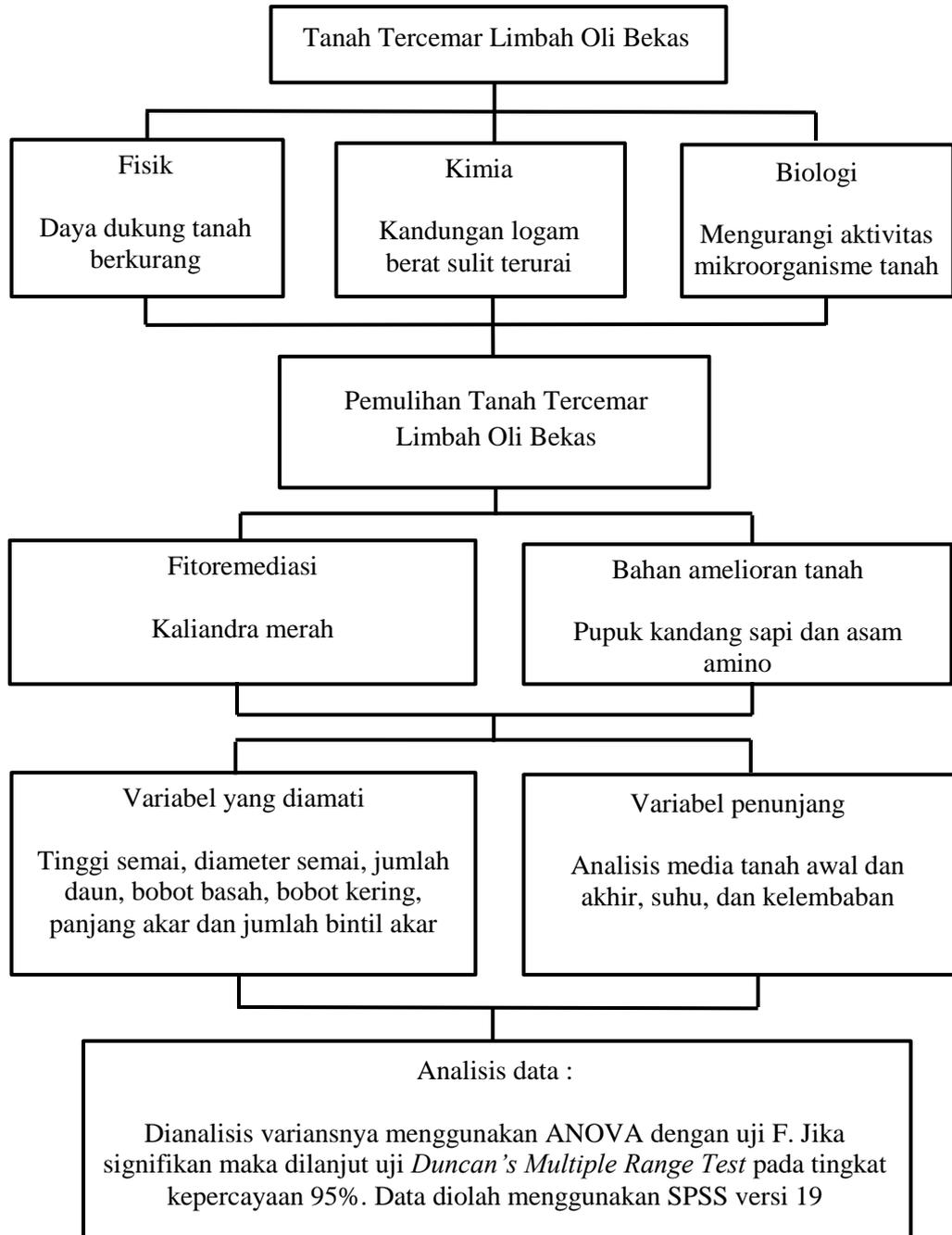
1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dosis pupuk kandang sapi 200 g berpengaruh terbaik terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas.
2. Dosis asam amino 10 ml berpengaruh terbaik terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas.
3. Interaksi antara dosis pupuk kandang sapi dan asam amino berpengaruh terhadap pertumbuhan kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas.

1.6 Kerangka Pikiran

Secara umum kerangka pikiran yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian tentang efektivitas pupuk kandang sapi dan asam amino dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman kaliandra merah pada tanah tercemar limbah oli bekas

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Oli Bekas

Oli merupakan produk turunan yang berasal dari minyak bumi dengan fungsinya sebagai bahan pelumas mesin. Pelumas sendiri dapat mengurangi timbulnya gesekan pada mesin kendaraan bermotor (Amin *et al.*, 2018). Oli yang sudah digunakan untuk merawat mesin kendaraan bermotor menghasilkan limbah berupa oli. Secara umum, limbah oli bekas terdiri dari dua macam yaitu oli hitam (*black oil*) dan limbah bekas hasil industri (*light industrial oil*). Limbah oli hitam (*black oil*) berasal dari pelumas kendaraan bermotor. Sementara itu, limbah bekas hasil industri (*light industrial oil*) relatif bersih dan dapat dibersihkan dengan metode pembuangan sederhana (Raharjo, 2007).

Limbah ini termasuk dalam B3 (bahan berbahaya dan beracun). Oli bekas memiliki kandungan logam yang lebih banyak dibandingkan oli baru. Kandungan dari oli tersebut diantaranya adalah seng (Zn), aluminium (Al), mangan (Mn), besi (Fe), dan tembaga (Cu) (Dahlan, 2014). Bahan (B3) ini dapat mencemari lingkungan karena mengandung komponen dengan konsentrasi, sifat dan jumlah yang dapat membahayakan lingkungan, kesehatan dan kelangsungan hidup makhluk lainnya. Berdasarkan peraturan No. 101 mengenai Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Tahun 2014, limbah B3 didefinisikan sebagai sisa dari segala suatu baik itu dari usaha ataupun kegiatan yang mengandung B3. Dari seluruh penjelasan tersebut maka limbah ini haruslah dikelola dengan sebaik-baiknya (Fajriyah dan Wardhani, 2020).

Bahan B3 bersifat mudah terbakar, meledak, korosif, beracun, reaktif, dan mampu menyebabkan infeksi (Gozalex *et al.*, 2019). Jika limbah oli ini tidak dikelola dengan sebaik mungkin sebelum dibuang ke lingkungan, tidak hanya dapat merusak tanah tetapi juga udara dan air disekitarnya. Satu liter limbah oli

bekas mampu merusak jutaan liter sumber air dan tanah menjadi kehilangan unsur haranya (Herdito *et al.*, 2021). Selain itu, tanah yang terkontaminasi limbah oli bekas dapat berubah warna, berbau menyengat, memengaruhi produktivitas biota dan menyebabkan kematian mikroorganisme tanah. Kerugian yang ditimbulkan oleh limbah oli bekas sangat beragam, baik lingkungan maupun makhluk hidup lainnya. Limbah ini mengandung zat berbahaya yang disebut dengan PAH (*Polycyclic Aromatik Hydrocarbon*). Zat berbahaya ini termasuk juga satu diantara senyawa hidrokarbon yang ada di limbah oli serta memiliki sifat yang sulit terdegradasi (Afni dan Ahda, 2020).

2.2 Tanah Tercemar

Pencemaran tanah adalah kondisi ketika terdapat bahan kimia masuk ke dalam lingkungan dan mengubah kondisi tanah alami. Pencemaran ini sering terjadi lantaran karena bahan kimia industri, kebocoran limbah, pestisida, bahan kimia, ataupun limbah yang dibuang langsung ke tanah (*illegal dumping*). Jika zat berbahaya dan beracun tersebut mengenai tanah, maka bahan tersebut dapat mengendap dan menjadi bahan kimia yang beracun di dalam tanah (Supriatna *et al.*, 2021) menyebabkan ketidakseimbangan kimia, biologi dan fisik di dalam tanah (Meihani *et al.*, 2019). Hal ini tentunya akan berdampak langsung pada manusia sehingga menimbulkan berbagai penyakit, seperti gangguan pada sistem syaraf karena zat tersebut mencemari air tanah dan udara disekitarnya (Sudarmaji, 2006).

Keberadaan zat pencemar di dalam tanah bertahan lebih lama dibandingkan media lain seperti air dan udara. Pada tanah yang telah tercemar akan mengalami penurunan kualitas tanah sehingga menjadi kurang ideal (Aviantara dan Suryati, 2021). Kesehatan tanah dan mutu tanah merupakan suatu konsep pragmatis dan operasional yang mendefinisikannya sebagai sumber daya tak terbarukan dan menopang kehidupan (Laishram *et al.*, 2012). Oleh karena itu, masuknya bahan pencemar dalam jumlah besar ke dalam tanah menyebabkan rusaknya ekosistem tanah seperti produktivitas, kesuburan dan fungsi ekologisnya (Charlena *et al.*, 2009). Jika demikian maka pemberian bahan organik merupakan pilihan yang tepat untuk memperbaiki kualitas tanah tercemar (Irawan *et al.*, 2020). Pemberian

tersebut menjadi faktor yang berperan dalam menentukan tingkat keberhasilan pertumbuhan tanaman (Pratomo *et al.*, 2018).

2.3 Fitoremediasi

Menurut Brook *et al.*, 1998 dalam Rosariastuti *et al.*, 2020, fitoremediasi didefinisikan sebagai suatu pemanfaatan tanaman yang digunakan untuk memindahkan, mendegradasi serta memisahkan zat-zat pencemar dari lingkungannya, baik itu dari air, tanah, atau sedimen lainnya. Tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap senyawa ionik di dalam tanah bahkan pada konsentrasi rendah melalui sistem perakarannya. Tanaman memperluas sistem perakarannya ke dalam matriks tanah dan membentuk ekosistem rizosfer untuk mengakumulasi logam berat dan memodulasi bioavailabilitasnya, dengan demikian dapat memperbaiki kembali tanah yang tercemar dan menstabilkan kesuburan tanah (DalCorso *et al.*, 2019). Hal yang menentukan keberhasilan tersebut salah satunya adalah sifat kimia tanah (Wahyudi *et al.*, 2014). Dari pernyataan tersebut fitoremediasi dapat didefinisikan pula sebagai pendekatan berbasis tanaman, yang melibatkan penggunaan tanaman untuk mengekstrak dan menghilangkan polutan unsur atau menurunkan bioavailabilitasnya di tanah (Berti dan Cunningham, 2000).

Metode fitoremediasi ini dapat diterapkan dengan dua cara yaitu *in-situ* dan *ex-situ* pada daerah yang telah terkontaminasi. Fitoremediasi yang dilakukan dengan metode *in-situ* yaitu dilakukan secara langsung pada lokasi yang sudah terkontaminasi sedangkan *ex-situ* dapat dilakukan jauh dari lokasi yang terkena kontaminasi dan di olah dalam lingkungan yang terkendali (Shukla *et al.*, 2011). Ada keuntungan menggunakan fitoremediasi, yang meliputi.

- a) Layak secara ekonomi fitoremediasi adalah sistem autotrofik yang didukung oleh energi matahari, oleh karena itu, mudah dikelola, dan biaya pemasangan dan pemeliharaannya rendah.
- b) Ramah lingkungan dan ramah lingkungan dapat mengurangi paparan polutan terhadap lingkungan dan ekosistem.
- c) Penerapan dapat diterapkan pada skala besar dan dapat dengan mudah dibuang.
- d) Mencegah erosi dan pencucian logam melalui menstabilkan logam berat, mengurangi resiko dari penyebaran kontaminan.

- e) Meningkatkan kesuburan tanah dengan melepaskan berbagai bahan organik ke dalam tanah (Jacob *et al.*, 2018).

Pada penerapannya fitoremediasi terbagi menjadi lima yaitu fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi dan fitovolatilisasi. Peran dari masing-masing penerapan fitoremediasi tersebut adalah sebagai berikut.

- a) *Phytoaccumulation (phytoextraction)* ialah proses tanaman menyerap kontaminan yang ada dan diakumulasikan pada bagian akar. Proses tersebut dapat dinamakan sebagai *Hyperaccumulation*.
- b) *Rhizofiltration* ialah proses adsorpsi zat kontaminan yang dilakukan oleh bagian akar tanaman dengan maksud agar dapat menempel pada bagian tersebut.
- c) *Phytostabilization* ialah proses ketika zat-zat kontaminan tertentu menempel pada bagian akar dan tidak mampu terserap menuju bagian batang tanaman. Kontaminan tersebut akan menempel dengan lekat yang tidak menyebabkan terbawanya kontaminan oleh aliran air pada media.
- d) *Rhizodegradation* atau dapat juga disebut dengan *oiplanted-assisted bioremediation degradation* dan *enhanced rhizosphere biodegradation* ialah proses penguraian pada zat kontaminan disebabkan oleh adanya aktifitas mikroba pada tanaman khususnya area sekitar akar.
- e) *Phytodegradation (phytotransformation)* ialah proses yang terjadi pada tanaman ketika menguraikan zat kontaminan dengan rantai molekul yang kompleks diubah menjadi rantai sederhana agar tidak menjadi berbahaya dan bisa digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhannya sendiri.
- f) *Phytovolatilization* ialah proses membawa dan mentranspirasi zat kontaminan dalam bentuk yang sudah terurai dan kemudian diuapkan ke atmosfer.

Fitoremediasi adalah suatu sistem yang memungkinkan tanaman berinteraksi dengan mikroorganisme yang ada pada media sehingga dapat meminimalisir kontaminan yang ada dan menjadi tidak berbahaya lagi atau bahkan dapat berguna secara ekonomi. Teknologi ini pun sedang berkembang sehingga terus menjadi perhatian dari para peneliti (Irhamni *et al.*, 2017). Namun secara praktis, pendekatan tunggal tidak mungkin dan tidak cukup untuk pembersihan yang efektif dari tanah yang tercemar logam berat. Kombinasi

pendekatan yang berbeda, termasuk rekayasa genetika, pendekatan dengan bantuan mikroba dan bantuan kelat, sangat penting untuk fitoremediasi yang sangat efektif dan menyeluruh di masa depan (Yan *et al.*, 2020).

2.4 Kaliandra Merah

Kaliandra merah (*Calliandra calothyrsus*) merupakan jenis tanaman leguminosa yang berasal dari Amerika Tengah dan mulai masuk ke Indonesia pada tahun 1936. Tanaman ini tumbuh dengan baik di Indonesia sehingga pada tahun 1970-an luas lahan yang ditanami kaliandra mencapai 30.000 ha. Jenis kaliandra yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah kaliandra merah. Tanaman ini mempunyai bentuk berupa pohon kecil atau perdu sehingga digolongkan sebagai tanaman leguminosa (Hendrati, 2014). Kaliandra merah dapat tumbuh hingga 4 – 6 m. Selain itu, kaliandra mampu tumbuh pada berbagai jenis tanah tandus di area tropis dan subtropis sehingga disebut sebagai tanaman pionir. Keunggulan lain dari tanaman kaliandra adalah akarnya mampu menahan air, sehingga sangat cocok digunakan sebagai tanaman reboisasi (Hatiningrum *et al.*, 2021). Selain itu, tanaman ini dapat dijadikan sebagai penutup tanah dalam menahan erosi (Septiawan *et al.*, 2017).

Alasan mengapa kaliandra merah banyak dibudidayakan di Indonesia pada tahun 70-an yaitu karena memiliki banyak manfaat antara lain menjadi obat tradisional, suplemen pakan ternak, biopestisida, pupuk hayati, kayu bakar, memproduksi lebah madu, serta konservasi lahan marginal (Mardika *et al.*, 2018). Selain itu, kaliandra merah dimanfaatkan untuk konservasi di lahan marginal di daerah seperti hutan, tepi sungai, jalan, dan lahan kritis yang ditumbuhi alang-alang (Herdiawan *et al.*, 2005; ICRAF/Winrock, 2000 dalam Narendra, 2012). Tanaman ini dapat tumbuh dengan cepat serta mampu memperbaiki kondisi kimia dan fisika tanah melalui kemampuannya dalam menyediakan pupuk hijau (Chamberlain, 2001).

Menurut Suryanto dan Prasetyawati (2014), dari semua kelebihan dan manfaat yang ada pada tanaman kaliandra merah, tanaman ini sangat cocok digunakan dalam rehabilitasi lahan sebab kemampuannya tumbuh di segala jenis tanah, memiliki perakaran yang dalam, tahan pangkasan serta mampu membentuk bintil akar. Tanaman tersebut dapat tumbuh dengan baik pada tekstur tanah

ringan, masam dan kurang subur dikarenakan terdapat simbiosis yang terjadi antara rhizobium dan jamur mikoriza. Di samping itu, kaliandra merah juga termasuk spesies tumbuhan penopang yang memiliki kerapatan besar (Simamora, *et al.*, 2015). Namun kaliandra merah juga termasuk jenis tanaman invasif dan sudah mendominasi pada beberapa wilayah (Sayfullloh *et al.*, 2020).

2.5 Pupuk Kandang Sapi

Menurut Lubis *et al.* (2021), pupuk kandang adalah pupuk yang berasal dari sisa atau kotoran hewan baik itu berbentuk padat, sisa-sisa makanan, air seni bahkan alas kandang. Pupuk kandang termasuk salah satu jenis pupuk organik yang sering diaplikasikan pada tanaman dalam upaya memperbaiki keadaan tanah (Nahak *et al.*, 2018). Tidak hanya itu, pengaplikasian pupuk kandang pada tanah mampu meningkatkan daya serap air, aktivitas biologis dan menambah kandungan unsur hara di dalamnya. Organisme juga berperan penting dalam mengubah bahan organik menjadi senyawa-senyawa yang bermanfaat bagi kesuburan tanah (Arifah, 2013). Atas dasar tersebut, maka tanah yang rusak dapat diperbaiki hingga ke agregat tanah, ruang pori, plastisitas dan bobot volumenya. Oleh karena itu, tidak jarang pula pupuk organik mampu untuk mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh pupuk anorganik (Wenno dan Sinay, 2019). Artinya penambahan bahan organik pada tanah juga berpengaruh positif terhadap laju infiltrasi tanah (Irawan dan Yuwono, 2016).

Pemanfaatan pupuk kandang untuk meningkatkan kesehatan tanah merupakan salah satu cara yang tepat. Unsur-unsur dalam pupuk kandang antara lain nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K) dapat meningkatkan pH begitu pula dengan C organik (Saepuloh *et al.*, 2020). Kondisi tanah yang terkena dampak limbah domestik atau industri berbahaya apabila meresap dan terakumulasi di dalam tanah sehingga menimbulkan kerusakan pada ekosistem disekitarnya, termasuk kondisi tanah itu sendiri. Untuk mengatasinya dapat menggunakan pupuk organik yang mampu mengurangi dampak logam berat tersebut. Pemberian pupuk kandang memiliki pengaruh terhadap unsur cemaran yang terakumulasi pada organ tanaman terutama di bagian akar. Pengaplikasian tersebut dapat menciptakan keseimbangan hara pada tanah, perbaikan struktur fisik, kimia bahkan meningkatkan kandungan pH. Oleh karena itu tanaman pun

dapat melakukan proses metabolisme dengan lebih optimal (Aisah *et al.*, 2018; Kurniawan *et al.*, 2014).

Jenis pupuk kandang yang sering digunakan untuk diaplikasikan pada media tanah merupakan pupuk kandang yang berasal dari kotoran sapi. Pupuk kandang sapi adalah pupuk yang berbahan dasar dari kotoran ternak sapi ataupun limbah yang terdapat di alam (Yandianto, 2013). Hal yang perlu diketahui juga yaitu pupuk kandang yang berasal dari kotoran sapi mempunyai kadar serat yang tinggi akan selulosa. Pernyataan tersebut dibuktikan dengan hasil dari pengukuran parameter C/N rasio yang menunjukkan nilai cukup tinggi >40. Di samping itu, pupuk ini juga mengandung unsur hara makro seperti 0,5 N, 0,25 P₂O₅, 0,5% K₂O dengan kadar air, air 0,5% serta unsur hara mikro esensial lainnya (Parnata, 2010). Oleh karena itu pemupukan memberikan efek menguntungkan tidak hanya pada kandungan unsur hara tetapi juga memperbaiki sifat-sifat tanah lainnya (Prananda *et al.*, 2014). Hal ini membawa pengaruh yang lebih baik pada tanah dibandingkan harus menggunakan pupuk kimia (Ruchyansyah *et al.*, 2018).

2.6 Asam Amino

Asam amino merupakan komponen terpenting dalam pembentukan protein. Protein sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu asam amino esensial dan non esensial (Ningsih, 2009). Menurut Jones *et al.* (2005), asam amino yang umum terdapat dalam tanah adalah asam glutamat (Glu), alanin (Ala), glisin (Gly), treonin (Thr), leusin (Leu) dan fenilalanin (Phe). Gly telah diaplikasikan untuk mengekstraksi Cu, Pb dan Zn dari tanah dan telah terbukti mampu bersaing dengan bahan pengkhelet sintetis. Struktur asam amino biasanya terdiri dari atom C yang terikat pada empat gugus, yaitu gugus amino (NH₂), gugus karboksil (COOH), atom hidrogen (H) dan gugus residu (R) atau rantai samping residu atau kelompok. (Winarno, 1997). Menurut Dudev dan Lim (2009), struktur merupakan faktor penting yang menentukan stabilitas kompleks logam asam amino. Asam amino ini dianggap sebagai mekanisme penting tanaman melawan stres logam berat. Asam amino alami dengan gugus fungsi secara signifikan mempengaruhi mobilitas dan bioavailabilitas logam berat dengan membentuk kompleks yang stabil dengan logam berat.

Asam amino dapat memainkan peran berbeda pada tanaman, seperti pereda stres, sumber nitrogen, dan prekursor hormon (Zhao, 2010; Maeda dan Dudareva, 2012). Asam amino mempunyai sifat amfoter, yaitu apabila berada dalam larutan basa sebagian besar akan menjadi asam dan sebaliknya menjadi basa jika berada dalam larutan asam (Nurhikmah *et al.*, 2017). Fakta penting lainnya adalah peran asam amino sebagai faktor pemberi sinyal berbagai proses fisiologis pada tanaman (Taixeira *et al.*, 2018). Asam amino sangat penting bagi mikroorganisme untuk memenuhi kebutuhan nitrogennya. Kebutuhan nitrogen sangat tinggi selama fase pertumbuhan eksponensial sehingga pengurangan asam amino dapat terjadi secara signifikan pada tahap ini (Gianto *et al.*, 2017).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2023. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Lapangan Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung, analisis rasio C/N pupuk kandang sapi dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lampung, analisis kandungan Pb dilakukan di UPT. Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung serta penimbangan bobot tanaman dan pengovenan dilakukan di Laboratorium Silvikultur dan Perlindungan Hutan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bibit kaliandra merah (*Calliandra calothyrsus*), media tanam berupa tanah, oli bekas, pupuk kandang dari peternakan sapi (tidak berbau tajam, berwarna coklat tua, tampak kering, tidak terasa panas bila dipegang dan gembur bila diremas) dan ambition (asam amino 46,9%, asam fulvat 2%, unsur mikro 5,315%, dan bahan pembawa 45,785%). Sedangkan alat yang digunakan adalah cangkul, penggaris ketelitian 1 mm, label, jarum suntik ketelitian 1 mL, spidol permanen, skop, *polybag* ukuran 10 x 20 cm, sarung tangan, *spray*, ember, *potrey*, *tallysheet*, neraca analitik, *thermohyrometer*, oven, kamera, dan gunting.

3.3 Metode

Metode yang digunakan yaitu memakai Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan 2 faktor. Faktor pertama yaitu menggunakan pupuk kandang sapi yang terdiri atas 3 taraf meliputi P_0 , P_1 , dan P_2 dan faktor ke dua yaitu menggunakan asam amino yang terdiri atas 3 taraf meliputi A_0 , A_1 , dan A_2 .

Seluruh faktor tersebut membentuk 9 kombinasi perlakuan dengan 5 kali pengulangan dalam percobaan. Jumlah bibit yang digunakan untuk setiap satuan (unit) percobaan yaitu 1 bibit tanaman. Maka, terdapat 45 perlakuan sehingga satuan percobaan yang dibutuhkan 45 bibit tanaman. Faktor pemberian pupuk kandang sapi (P) menurut Marlina *et al.*, (2021) yaitu sebagai berikut.

P_0 = 1.000 gram tanah tercemar oli dan tidak diberi pupuk kandang.

P_1 = 1.000 gram tanah tercemar oli dan 100 gram pupuk kandang.

P_2 = 1.000 gram tanah tercemar oli dan 200 gram pupuk kandang.

Faktor kedua adalah pemberian asam amino (A) menurut Murtilaksono *et al.*, (2020) yaitu sebagai berikut.

A_0 = 1.000 gram tanah tercemar oli dan tidak diberi asam amino.

A_1 = 1.000 gram tanah tercemar oli dan 0,001 ppm asam amino.

A_2 = 1.000 gram tanah tercemar oli dan 0,002 ppm asam amino.

Rumus Linier Rancangan Acak Lengkap Faktorial (RAL Faktorial)

Menurut Budiyo (2009), bentuk umumnya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}; i = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots; r = 1, 2, \dots$$

Keterangan :

Y_{ijk} : Pengamatan pada ulangan ke- k yang mendapatkan perlakuan faktor P taraf ke- i dan faktor A taraf ke- j

μ : Rerata dari seluruh data

α_i : Pengaruh faktor P taraf ke- i

β_j : Pengaruh faktor A taraf ke- j

$(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh interaksi faktor P taraf ke- i dan faktor A taraf ke- j

ε_{ijk} : Pengaruh galat faktor P taraf ke- i , faktor A taraf ke- j dan ulangan ke- k

P _{1.1} A _{1.1}	P _{1.2} A _{2.2}	P _{0.5} A _{1.5}	P _{0.1} A _{2.1}	P _{1.5} A _{2.5}
P _{0.3} A _{2.3}	P _{2.5} A _{0.5}	P _{0.4} A _{1.4}	P _{1.4} A _{1.4}	P _{2.2} A _{2.2}
P _{1.5} A _{0.5}	P _{2.3} A _{0.3}	P _{2.4} A _{2.4}	P _{2.1} A _{1.1}	P _{0.1} A _{0.1}
P _{1.4} A _{2.4}	P _{2.2} A _{1.2}	P _{0.5} A _{0.5}	P _{1.5} A _{1.5}	P _{2.1} A _{0.1}
P _{2.1} A _{2.1}	P _{0.3} A _{0.3}	P _{2.3} A _{2.3}	P _{2.5} A _{2.5}	P _{1.2} A _{1.2}
P _{0.5} A _{2.5}	P _{1.1} A _{0.1}	P _{0.1} A _{1.1}	P _{2.3} A _{1.3}	P _{2.4} A _{1.4}
P _{2.5} A _{1.5}	P _{0.4} A _{2.4}	P _{2.2} A _{0.2}	P _{0.2} A _{2.2}	P _{0.4} A _{0.4}
P _{1.1} A _{2.1}	P _{1.3} A _{2.3}	P _{2.4} A _{0.4}	P _{1.4} A _{0.4}	P _{0.2} A _{0.2}
P _{0.3} A _{1.3}	P _{0.2} A _{1.2}	P _{1.3} A _{0.3}	P _{1.3} A _{1.3}	P _{1.2} A _{0.2}

Gambar 2. Tata letak unit percobaan dalam metode rancangan acak lengkap (RAL) faktorial 3 x 3

3.4 Pelaksanaan

Pelaksanaan terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut.

a. Penyiapan media tanam

Pengambilan media tanam dari Lab. Terpadu Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Untuk media tanah menggunakan *top soil* dengan kisaran kedalaman 0–20 cm. Kemudian tanah tersebut dibersihkan dari kotoran dan disaring untuk mendapatkan teksturnya yang halus. Tanah tersebut didiamkan dalam rumah kaca hingga menjadi kering udara. Sesudah itu, tanah sebanyak 45.000 g dicampurkan dengan limbah oli bekas sebesar 2.700 ml. Selanjutnya, media tersebut ditempatkan dalam suatu wadah untuk kemudian diaduk hingga merata dan kemudian ditutup. Pengadukan media dilakukan setiap hari selama 1 minggu supaya media benar-benar homogen. Setelah seminggu penghomogenan media dilakukan, barulah media tersebut dapat digunakan.

b. Perkecambahan dan penyemaian benih

Tahap penyiapan bibit dilakukan dengan pengecambahan dan penyemaian kaliandra merah. Langkah pertama yaitu melakukan seleksi benih dan dilanjutkan dengan membersihkannya dari segala kotoran yang menempel. Setelah itu, barulah dilakukan skarifikasi pada benih kaliandra merah. Proses perkecambahan benih kaliandra merah dilakukan dengan merendam benih menggunakan air biasa kemudian didiamkan selama semalam sebelum ditaburkan. Media tabur yang digunakan adalah pasir yang sudah diayak dan disterilkan menggunakan air panas. Benih tersebut akan berkecambah 2 minggu sampai 1 bulan setelah masa penaburan. Selanjutnya, disiapkan pula *pot tray* yang akan digunakan untuk penyemaian benih. Setelah benih tersebut

telah menjadi semai maka dapat dilakukan penyapihan. Segera setelah semai memiliki tinggi 7 – 10 cm tanaman dapat dipindahkan ke *polybag* dengan ukuran 10 cm x 20 cm.

c. Penyapihan semai

Semai kaliandra merah diletakkan pada ukuran *polybag* 10 cm x 20 cm. *Polybag-polybag* tersebut sudah diisi dengan media tanam yang telah disesuaikan dengan perlakuan masing-masing. Setelah itu, semai kaliandra merah siap untuk ditanam pada 45 *polybag* yang ada. Proses penyapihan dilakukan pada pagi hari.

d. Pengaplikasian perlakuan

Media yang telah siap kemudian dicampurkan perlakuan yang ada. Tanah yang sudah tercemar limbah oli bekas dicampurkan dengan pupuk kandang sapi sesuai dengan komposisi yang ada dengan dosis 100 g dan 200 g, kemudian diaklimatisasi selama 1 minggu. Untuk asam amino, cairan dengan dosis 5 ml dan 10 ml tersebut sebelum diaplikasikan ke tanaman dilarutkan dengan air 5.000 ml. Kemudian asam amino yang sudah larutkan tersebut ditakar menggunakan suntikan dengan pemberian 5 ml dan 10 ml sesuai perlakuan. Dosis tersebut akan diaplikasikan di daerah sekitar akar tanaman kaliandra merah yang setara dengan 0,001 ppm dan 0,002 ppm sesuai perlakuan. Pengaplikasian perlakuan ini dilakukan setelah penyapihan samai pada media tanam.

e. Pemeliharaan tanaman

Pemeliharaan kaliandra penyiraman bibit dilakukan pada pagi dan sore hari bergantung kondisi media tumbuh. Selain itu, dilakukan penyiangan dan pengendalian hama dan gulma bila diperlukan.

3.5 Pengamatan

3.5.1 Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati pada saat pengamatan kaliandra merah adalah tinggi semai, diameter semai, dan jumlah daun diamati setiap 1 minggu sekali sedangkan bobot basah, bobot kering, serta jumlah bintil akar aktif dan tidak aktif diamati setelah 12 minggu pengamatan, diantaranya sebagai berikut.

a. Tinggi semai

Data tinggi semai diukur dengan penggaris yang dihitung dari pangkal batang sampai titik tumbuh pucuk apikal.

b. Diameter batang semai

Diameter semai diukur dengan *digital calliper* di pangkal batang yang ditandai.

c. Jumlah daun

Data diperoleh dengan menghitung jumlah daun penuh dan pertumbuhannya normal.

d. Jumlah bintil akar dan bintil akar efektif

Tanaman setelah berumur 3 bulan dikeluarkan dari *polybag*. Akar dibersihkan terlebih dahulu kemudian bagian tanaman dipisahkan antara akar dan tajuk dengan cara dipotong. Setelah itu, bintil akar dipisahkan dari bagian akar dan dihitung jumlahnya. Bintil akar kemudian dibelah untuk mengetahui keaktifannya dalam memfiksasi nitrogen dilihat berdasarkan warnanya. Bintil akar merah muda termasuk kedalam bintil akar yang efektif. Hasil ini digunakan untuk mengetahui bintil akar efektif dan tidak (Sari dan Prayudyarningsih, 2018; Asmarahman dan Febryano, 2012).

e. Bobot basah semai

Pengukuran bobot basah terbagi menjadi dua yaitu bobot basah akar dan bobot basah pucuk. Penimbangan dilakukan dengan cara menimbang seluruh bagian tanaman meliputi akar untuk bobot basah akar dan batang serta daun untuk bobot basah pucuk. Pengukuran bobot basah ini dilakukan setelah panen (Ponggele dan Jayanti, 2015).

f. Bobot kering semai

Bobot kering semai terbagi menjadi lagi menjadi bobot kering akar, bobot kering pucuk dan bobot kering total. Bobot kering akar dan pucuk dipisahkan ketika pengovenan. Biomassa tanaman ditimbang setelah dioven pada suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 48 jam.

3.5.2 Variabel Penunjang

Variabel penunjang pada pengamatan ini adalah analisis kimia tanah awal dan tanah akhir, suhu, kelembaban, dan pH tanah, diantaranya sebagai berikut.

a. Analisis kimia tanah awal dan tanah akhir

Pada awal dan akhir pengamatan dilakukan analisis kimia tanah.

Pengamatan pertama menggunakan tanah kontrol yang telah tercampur dengan limbah oli bekas. Sedangkan pada akhir pengamatan, tanah yang digunakan merupakan tanah dengan respon rendah, sedang dan tinggi terhadap pertumbuhan kaliandra merah. Analisis sifat kimia tanah dilakukan untuk melihat kandungan unsur Pb yang ada pada media tanah awal dan akhir penelitian.

b. Temperatur udara

Suhu lingkungan diukur dengan *thermohygrometer* yang dilakukan seminggu sekali selama 12 minggu pengamatan.

c. Kelembapan udara

Kelembapan udara diukur dengan *thermohygrometer* yang dilakukan seminggu sekali selama 12 minggu pengamatan.

Tabel 1. Tabulasi data RAL Faktorial 3 x 3

Faktor P	Faktor A	Ulangan					Total
		1	2	3	4	5	
P ₀	A ₀	Y ₀₀₁	Y ₀₀₂	Y ₀₀₃	Y ₀₀₄	Y ₀₀₅	Y _{00.}
P ₀	A ₁	Y ₀₁₁	Y ₀₁₂	Y ₀₁₃	Y ₀₁₄	Y ₀₁₅	Y _{01.}
P ₀	A ₂	Y ₀₂₁	Y ₀₂₂	Y ₀₂₃	Y ₀₂₄	Y ₀₂₅	Y _{02.}
P ₁	A ₀	Y ₁₀₁	Y ₁₀₂	Y ₁₀₃	Y ₁₀₄	Y ₁₀₅	Y _{10.}
P ₁	A ₁	Y ₁₁₁	Y ₁₁₂	Y ₁₁₃	Y ₁₁₄	Y ₁₁₅	Y _{11.}
P ₁	A ₂	Y ₁₂₁	Y ₁₂₂	Y ₁₂₃	Y ₁₂₄	Y ₁₂₅	Y _{12.}
P ₂	A ₀	Y ₂₀₁	Y ₂₀₂	Y ₂₀₃	Y ₂₀₄	Y ₂₀₅	Y _{20.}
P ₂	A ₁	Y ₂₁₁	Y ₂₁₂	Y ₂₁₃	Y ₂₁₄	Y ₂₁₅	Y _{21.}
P ₂	A ₂	Y ₂₂₁	Y ₂₂₂	Y ₂₂₃	Y ₂₂₄	Y ₂₂₅	Y _{22.}
Total (Y _{..k})		Y _{..1}	Y _{..2}	Y _{..3}	Y _{..4}	Y _{..5}	Y _{...}

3.5.3 Analisis Data

Menurut Steel dan Torrie (1991), data yang telah didapatkan kemudian dianalisis variansnya menggunakan uji F untuk mengetahui ada atau tidak adanya pengaruh dari perlakuan yang diberikan. Apabila hasil

menunjukkan pengaruh yang signifikan maka akan dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) untuk mengetahui perlakuan yang memiliki pengaruh sama atau berbeda serta pengaruh terkecil hingga pengaruh terbesar antara perlakuan satu dengan perlakuan lainnya (Simanjuntak, 2008). Uji DMRT digunakan pada tingkat kepercayaan 95% menggunakan *software SPSS (Statistical Package for the Sosial Sciences)* versi 19.

Homogenitas ragam diuji menggunakan Uji Levene. Rumus untuk homogenitas ragam adalah sebagai berikut (Brown dan Forsythe, 1974). Hipotesis yang akan diuji adalah H_0 yaitu $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$ (varians yang sama/ homogen, H_1 yaitu paling sedikit terdapat satu $\sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$ (varians berbeda/ tidak homogen). Kriteria pengujian yaitu jika $W > F$, maka H_0 ditolak.

Statistik uji Levene sebagai berikut.

$$W = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z}_{..})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2}$$

Keterangan:

- W = Statistik uji untuk Uji Levene
- F = Menilai kesetaraan varians di antara kelompok
- N = Jumlah pengamatan
- k = Banyak kelompok
- Z_{ij} = $|Y_{ij} - \bar{Y}_i|$
- \bar{Y}_i = Rata-rata dari kelompok ke $-i$
- \bar{Z}_i = Rata-rata kelompok dari Z_i
- $\bar{Z}_{..}$ = Rata-rata menyeluruh dari Z_{ij}

Analisis keragaman (Anova) dilakukan dengan uji F. Rumus-rumus untuk analisis keragaman adalah sebagai berikut (Bustami *et al.*, 2014). H_0 yaitu $X_1 = X_2 \neq X_2 = X_3$ (terdapat perbedaan signifikan efektivitas penggunaan pupuk kandang sapi dan asam amino terhadap pertumbuhan kaliandra merah), H_1 yaitu $X_1 = X_2 = X_2 = X_3$ (tidak ada perbedaan signifikan efektivitas penggunaan pupuk kandang sapi dan asam amino terhadap pertumbuhan kaliandra merah).

a. Jumlah kuadrat total (JK_T)

$$(JK_T)JK_T = \sum X_T^2 - \frac{(\sum X_T)^2}{N}$$

b. Jumlah kuadrat perlakuan P (JK_P)

$$JK_P = \left(\sum \frac{(\sum X_P)^2}{n_P} \right) - \frac{(\sum X_T)^2}{N}$$

c. Jumlah kuadrat perlakuan A (JK_A)

$$(JK_A)JK_A = \left(\sum \frac{(\sum X_A)^2}{n_A} \right) - \frac{(\sum X_T)^2}{N}$$

d. Jumlah kuadrat interaksi perlakuan P dan A (JK_{PA})

$$JK_{PA} = \left(\sum \frac{(\sum X_{PA})^2}{n_{PA}} \right) - \frac{(\sum X_T)^2}{N} - JK_P - JK_A$$

e. Jumlah kuadrat galat (JK_G)

$$JK_G = JK_T - JK_P - JK_A - JK_{PA}$$

f. Derajat bebas ($db_P, db_A, db_{PA}, db_G, db_t$)

1. db_P (derajat bebas perlakuan P) = $b - 1$
2. db_A (derajat bebas perlakuan A) = $k - 1$
3. db_{PA} (derajat bebas interaksi perlakuan P dan A) = $db_P \times db_A$
4. db_G (derajat bebas galat) = $N - (b \cdot k)$
5. db_t (derajat bebas total) = $N - 1$

g. Kuadrat tengah ($KT_P, KT_A, KT_{PA}, KT_G$)

1. $KT_P = \frac{JK_P}{db_P}$
2. $KT_A = \frac{JK_A}{db_A}$
3. $KT_{PA} = \frac{JK_{PA}}{db_{PA}}$
4. $KT_G = \frac{JK_G}{db_G}$

h. F_{hitung} (F_P, F_A, F_{PA})

1. $F_P = \frac{KT_P}{KT_G}$
2. $F_A = \frac{KT_A}{KT_G}$
3. $F_{PA} = \frac{KT_{PA}}{KT_G}$

i. $F_{tabel}(F_P, F_A, F_{PA})$

$$1. F_{P(tabel)} = F_{P(\alpha)(db_P, db_G)} = F_{(0,05)(2;44)} F_{(0,01)(2;44)}$$

$$2. F_{A(tabel)} = F_{A(\alpha)(db_A, db_G)} = F_{(0,05)(2;44)} F_{(0,01)(2;44)}$$

$$3. F_{PA(tabel)} = F_{PA(\alpha)(db_{PA}, db_G)} = F_{(0,05)(4;44)} F_{(0,01)(4;44)}$$

j. Kriteria pengujian

Jika $(F_{hitung} \geq F_{tabel})$ maka H_0 ditolak.

Tabel 2. Analisis sidik ragam percobaan faktorial dengan menggunakan RAL

Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F-hitung	F_{tabel}	
					$\alpha = 5\%$	$\alpha = 1\%$
P	db_P	JK_P	KT_P	$\frac{KT_P}{KT_G}$		
A	db_A	JK_A	KT_A	$\frac{KT_A}{KT_G}$		
PA	db_{PA}	JK_{PA}	KT_{PA}	$\frac{KT_{PA}}{KT_G}$		
Galat	db_G	JK_G	KT_G			
Total	db_{total}	JK_{total}				

Perbandingan nilai rata-rata perlakuan dilakukan dengan uji uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*). Rumus untuk perbandingan nilai rata-rata perlakuan adalah sebagai berikut.

$$DMRT_{\theta} = R_{(p,v,\theta)} \sqrt{\frac{KT_G}{r}}$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pupuk kandang sapi memberikan respon terbaik pada dosis 200 g yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kaliandra merah di tanah tercemar limbah oli bekas pada parameter tinggi batang semai, diameter batang semai, bobot basah akar, bobot basah pucuk, bobot kering akar, bobot kering pucuk, bobot kering total, panjang akar, jumlah daun semai dan jumlah bintil akar.
2. Asam amino memberikan respon terbaik pada dosis 5 ml yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kaliandra di tanah tercemar limbah oli bekas pada parameter bobot basah akar, bobot basah pucuk, bobot kering akar, bobot kering total, bobot kering pucuk, jumlah bintil akar, dan bintil akar efektif.
3. Tidak terjadi interaksi antara perlakuan pupuk kandang sapi dan asam amino terhadap pertumbuhan tanaman kaliandra merah (*Calliandra chalothyrsus* Meissn.)

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pemberian dosis pupuk kandang sapi dan asam amino pada media tercemar limbah oli bekas dengan menggunakan berbagai jenis tanaman kehutanan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, S. H., Sohail, M., Saleem, M., Mahmood, T., Aziz, I., Qamar, M., Majeed, A., and Arif, M. 2013. Effect of L-tryptophan on plant weight and pot weight in chickpea under rainfed condition. *Sci. Tech. Dev.* 32(4): 277-280.
- Adams, F. V., Niyomugabo, A., and Sylvester, O. P. 2017. Bioremediation of crude oil contaminated soil using agricultural wastes. *Procedia Manufacturing.* 7: 459-464.
- Aken, B. V., Correa, P. A., and Schnoor, J. L. 2010. Phytoremediation of polychlorinated biphenyls: new trends and promises. *Environmental science & technology.* 44(8): 2767-2776.
- Ali, H., Khan, E., and Sajad, M. A. 2013. Phytoremediation of heavy metals— concepts and applications. *Chemosphere.* 91(7): 869-881.
- Amin, D. S., Gaoz, Y. S., dan Harahap, S. 2018. Optimasi dan rancang bangun destilasi untuk pemanfaatan limbah oli bekas kendaraan. *Jurnal Ilmiah Teknobiz.* 8(2):76-81.
- Anugrahtama, P. C., Supriyanta, dan Taryono. 2020. Pembentukan bintil akar dan ketahanan beberapa aksesi kacang hijau (*Vigna radiata* L.) pada kondisi salin. *Journal of Agriculture Innovation.* 3(1): 1-5.
- Anjani, B. P. T., Santoso, B. B., dan Sumarjan. 2022. Pertumbuhan dan hasil sawi Pakcoy (*Brassica rapa* L.) sistem tanam wadah pada berbagai dosis pupuk kandang. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Agrokomplek.*1(1): 1-9.
- Anjelita, M., Windarto, A. P., dan Hartama, D. 2019. Pemanfaatan datamining pada pengelompokan provinsi terhadap pencemaran lingkungan hidup. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer).* 3(1): 659-666.
- Asmarahman, C., dan Febryano, I. G. 2012. Pemanfaatan rhizobium untuk meningkatkan pertumbuhan semai sengon (*Paraserianthes falcataria*) pada media tanah bekas tambang semen. *Jurnal Tengawang.* 2(1): 38-46.

- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., and Stryer, L. 2002. *Biochemistry Fifth Edition*. WH Freeman. New York.
- Berti, W. R., and Cunningham, S. D. 2000. Phytostabilization of Metals, in *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean-up the Environment*, eds I. Raskin and B. D. Ensley (New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.). (pp. 71–88).
- Borolla, S. M., Mariwy, A., dan Manuhuttu, J. 2019. Fitoremediasi tanah tercemar logam berat merkuri (Hg) menggunakan tumbuhan kersen (*Muntingia calabua* L.) dengan sistem reaktor. *Molluca Journal of Chemistry Education*. 9(2):78-89.
- Budiyono. 2009. *Statistika untuk Penelitian*. Sebelas Maret University Press. Surakarta. (pp. 229).
- Bustami, Abdullah, D., dan Fadlisyah. 2014. *Statistika Terapannya Pada Bidang Informatika*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- BPPP. 1988. *Padi 1*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Brown, M. B. and Forsythe, A. B. 1974. Robust Test for the Equality of Variances. *Journal of the American Statistical Association*. 69: 364 – 367.
- Chamberlain, J. R.(Eds). 2001. *Calliandra calothyrsus: an Agroforestry Tree for the Humid Tropics* (No. 40). Oxford Forestry Institute, University of Oxford. UK. (pp. 100).
- Charlena, A. Haris, dan Karwati. 2009. Degradasi hidrokarbon pada tanah tercemar minyak bumi dengan isolat A10 dan D8. *Prosiding Seminar Nasional Sains II*. Bogor. (pp. 124-136).
- DalCorso, G., Fasani, E., Manara, A., Visioli, G., and Furini, A. 2019. Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(14): 3412.doi: 10.3390/ijms20143412.
- Dahlan, M. H., Setiawan, A., dan Rosyada, A. 2014. Pemisahan oli bekas dengan menggunakan kolom filtrasi dan membran keramik berbahan baku zeolit dan lempung. *Jurnal Teknik Kimia*. 20(1): 103-108.
- Dudev, T., and Lim, C. 2009. Metal-binding affinity and selectivity of nonstandard natural amino acid residues from DFT/CDM calculations. *The Journal of Physical Chemistry B*. 113(34): 11754-11764.

- El-Zohiri, S. S. M., and Asfour, Y. M. 2009. Effect of some organic compounds on growth and productivity of some potato cultivars. *Annals of Agric. Sci. Moshtohor*. 47(3): 403-415.
- Fahrudin, F. 2010. *Bioteknologi Lingkungan*. Alfabeta. Bandung.
- Fajriyah, S. A., dan Wardhani, E. 2020. Evaluasi pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di PT.X. *Serambi Engineering*. 5(1):711-719.
- Ferreras, L., Gomez, E., Toresani, S., Firpo, I., and Rotondo, R. 2006. Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*. 97(4):635-640.
- Firda, Y. 2009. Respon tanaman kedelai (*Glycine max* L.) Merrill) terhadap cekaman kekurangan air dan pemupukan kalium. [Skripsi]. Pekanbaru. Universitas Riau.
- Gianto, Suhandana, M., dan Putri, R. M. S. 2017. Komposisi kandungan asam amino pada teripang emas (*Stichopus horens*) di perairan pulau Bintan, Kepulauan Riau. *Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*. 6(2):186-192.
- Gozaalex, S., Pakpahan, K., Pradana, S., dan Christian A. T. 2019. Pertanggung jawaban pidana terhadap pelaku tanpa izin mengumpulkan limbah oli tanpa melakukan pengelolaan. *Jurnal Selat*. 6(2):145-153.
- Haghighia, M., Saadata, S., and Abbey, L. 2020. Effect of exogenous amino acids application on growth and nutritional value of cabbage under drought stress. *Scientia Horticulturae*. 272: 1-7.
- Hanafy, A. A. H., Nesiem, M. R., Hewedy, A. M., and Sallam, H. EI-S. 2010. Effect of some simulative compounds on growth, yield and chemical composition of snap bean plants grown under calcareous soil condition. *Journal of American Science*. 6(10): 552-569.
- Hatiningrum, W. R., Syahputra, R., Hilman, H. N., dan Yuniawati, I. 2021. Penelitian pendahuluan pengaruh diameter batang kaliandra terhadap prosentase perolehan bioethanol melalui proses separate hydrolysis and fermentation (SFH) secara kimia. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*. 1(2):452-458.
- Hendrati, R. L., Suwandi, dan Margiyanti. 2014. *Budidaya Kaliandra (Calliandra calothyrsus) untuk Bahan Baku Sumber Energi*. IPB Press. Jakarta. (pp. 16).
- Herdito, T., Risna, dan Lutfi, M. 2021. Pemanfaatan limbah oli bekas menjadi bahan bakar *high speed diesel* (HSD). *Jurnal Sains Terapan*. 7(2):57-63.

- Herlambang, A. dan Suryati, T. 2018. Teknologi fitoremediasi untuk pemulihan lahan tercemar minyak. *Prosiding Seminar Nasional dan Konsultasi Teknologi Lingkungan*. (pp. 115-124).
- Hidayati, N. 2013. Mekanisme fisiologis tumbuhan hiperakumulator logam berat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 14(2): 72-82.
- Hildebrandt, T. M., Nunnes-Nesi, A., Araujo, W. L., and Braun, H. P. 2015. Amino acid catabolism in plants. *Molecular Plant*. 8: 1563-1579.
- Hosseinnejadian, J., and Naderidarbaghshahi, M. 2018. Effects of biological growth stimulants on physiological traits and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) in minituber production system. *Research on Crops*. 19(1):58-61.
- Howieson, J. G., dan Dilworth, M. J. 2016. *Working with Rhizobia*. Australia Center of International Agricultural Research. Canberra.
- Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur Rehman, M. Z., Hameed, A., Hafeez, F., Alamri, S. A., Alyemeni, M. N., and Wijaya, L. 2018. Role of zinc-lysine on growth and chromium uptake in rice plants under Cr.stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 37(4): 1413-1422.
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. 2017. Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*. 1(2):75-84.
- Irawan, E., Mansur, I., dan Hilwan, I. 2020. Pendugaan biomassa atas permukaan *Acacia mangium* Willd. pada Area Revegetasi Pertambangan Batu Bara. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1):20-31.
- Irawan, T., dan Yuwono, S. B. 2016. Infiltrasi pada berbagai tegakan hutan di Aboretum Universitas Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 4(3): 21-34.
- Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., Kadirvelu, K., and Pugazhendhi, A. 2018. Biological approaches to tackle heavy metal pollution: a survey of literature. *Journal of environmental management*. 217:56-70.
- Jagadeesha N., Srinivasulu, G. B., Shet, R. M., Umesh, M. R., Kustagi, G., Ravikumar, B., Madhu, L., and Reddy, V. C. 2019. Effect of organic manures on physical, chemical and biological properties of soil and crop yield in fingermillet-redgram intercropping system. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8(5):1378-1386.
- Jones, D. L., Shannon, D., Junvee-Fortune, T., and Farrar, J. F. 2005. Plant capture of free amino acids is maximized under high soil amino acid concentrations. *Soil Biology and Biochemistry*. 37(1): 179-181.

- Kahlel, A. M. S., and Sultan, F. I. 2019. Response of four potato cultivars to soil application with organic and amino acid compounds. *Research On Crops*. 20(1): 101-108.
- Khan, S., Yu, H., Qiangli, Gao, Y., Sallam, B. N., Wang, H., Liu, P., and Jiang, J. 2019. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*. 9(5): 1-17.
- Kowalczyk, K., Zielony, T., and Gajewski, M. 2008. Effect of aminoplant and asahi on yield and quality of lettuce grown on rockwool. In. *Conf. of biostimulators in modern agriculture*. 7-8 February, Warsaw, Poland. (pp. 7-8).
- Kurniawan, S., Bintoro, A., dan Riniarti, M. 2014. Pengaruh beberapa dosis pupuk dan beberapa media tumbuh terhadap pertumbuhan bibit jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 2(1): 31-40.
- Laishram, J., Saxena, K. G., Maikhuri, R. K., and Rao, K. S. 2012. Soil quality and soil health: a review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 38(1):19-37.
- Lehninger, A. J. 1982. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jilid 1. Erlangga. Jakarta.
- Lieferdi, L. 2010. Efek pemberian fosfor terhadap pertumbuhan dan status hara pada bibit manggis. *Jurnal Hortikultura*. 20(1): 18-26.
- Lubis, J. A., Fikrinda, dan Hifnalisa. 2021. Pengaruh fungi mikoriza arbuskula dan pupuk kandang terhadap serapan hara kacang hijau (*Phaseolus radiatus* L.) pada ultisol. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 6(2):118-124.
- Maeda, H., and Dudareva, N. 2012. The shikimate pathway and aromatic amino acid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Biology*. 63: 73-105.
- Mangansige, C., Ai, N. S., dan Siahaan, P. 2018. Panjang dan volume akar tanaman padi lokal Sulawesi Utara saat kekeringan yang diinduksi dengan polietilen Glikol 8000. *Jurnal Mipa Unsrat Online*. 7(2): 12-15.
- Mardika, K., Setyawati, I., dan Darmadi, A. A. K. 2018. Panjang siklus estrus dan struktur histologi ovarium tikus putih setelah pemberian ekstrak etanol daun kaliandra merah. *Jurnal Veteriner*. 19(3):342-350.
- Marlina, T., Yahya, H. dan Hamdan, A. M. 2021. Uji efektivitas kotoran sapi dalam remediasi tanah *top soil* yang tercemar oli. *Journal of Environmental Engineering*. 2(1):53-62.

- Mas' ud, Z. A., Yani, M., Sjahriza, A., and Tarigan, J. G. 2011. Biodegradasi limbah minyak berat menggunakan isolattunggal dan campuran dengan penambahan alkilbenzena sulfonat linear. *Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia 2011 "Potensi Riset Kimia Terapan dalam Mendukung Pembangunan Iptek Berbasis Inovasi"*. (pp. 182-189).
- Maulidani, A., Hatta, G. M., dan Arifin, Y. F. 2019. Studi daya dan kualitas hidup kaliandra merah (*Calliandra calothyrsus*) pada tiga jenis tanah di areal reklamasi bekas penambangan semen. *Jurnal Sylva Scientiae*. 2(3):540-547.
- Meihani, P., Munawar, A. A., dan Devianti. 2019. Aplikasi near infrared spectroscopy (NIRS) untuk mendeteksi pencemaran tanah. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 4(2):397-406.
- Murtalaksono, A., Rika, dan Hendrawan. 2020. Pengaruh pupuk organik cair babadotan (*Ageratum conyzoides*) terhadap pertumbuhan vegetatif akar hanjeli (*Coix lacrima Jobi*). *Agriprima: Journal of Applied Agricultural Sciences*. 4(2): 164-170.
- Nahak, A., Suarta, M., dan Mudra, N. L. K. S. 2018. Pengaruh pemberian pupuk SP-36 dan pupuk kandang kelinci terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kailan (*Brassica oleraceae var achepala*). *Gema Agro*. 23(2):146-150.
- Narenda, B. H. 2012. Pengaruh perbaikan kondisi tanah terhadap pertumbuhan kaliandra (*Calliandra calothyrsus*) dan Buni (*Antidesma bunius*) di kawasan konservasi gunung batur, Bali. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 9(2):101-111.
- Ni'am, A. M., dan Bintari, S. H. 2017. Pengaruh pemberian inokulan legin dan mulsa terhadap bakteri bintil akar dan pertumbuhan tanaman kedelai varietas grobogan. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*. 40(2): 80-86.
- Nindyapuspa, A., dan Alfiah, T. 2018. Penurunan kadar Cu dalam proses solidifikasi limbah oli bekas 15% menggunakan semen portland dan bentonit. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. (pp. 303-308).
- Ningsih P. 2009. Karakteristik Protein dan Asam Amino Kijing Lokal (*Pilsbryconcha exilis*) dari Situ Gede, Bogor Akibat Proses Pengukusan. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Noroozlo, Y. A., Souri, M. K., and Delshad, M. 2019. Stimulation effects of foliar applied glycine and glutamine amino acids on lettuce growth. *Open Agriculture*. 4: 164-172.

- Nurhikma, N. T., dan Purwaningsih, S. 2017. Kandungan asam amino, asam lemak, dan mineral cacing laut dari sulawesi tenggara. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(1): 36-44.
- Nusantara, E. V., Arsiansah, I., dan Bafdal, N. 2021. Desain sistem otomatisasi pengendalian suhu rumah kaca berbasis web pada budidaya tanaman tomat. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 9:1: 34-42.
- Opik, H. and Rolfie, S. 2005. *The Physiology of Flowering Plants*. Univ. Pres 5. Plant Growth Hormones. Cambridge. pp. 177-194.
- Parnata, A. 2010. *Meningkatkan Hasil Panen dengan Pupuk Organik*. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Ponggele, E. S. dan Jayanti, K. D. 2015. Pertumbuhan dan hasil tanaman bayam (*Amaranthus spinosus* L.) pada berbagai jenis media tanam. *Jurnal Agropet*. 12(2):17-11.
- 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.
- Pratelli, R., and Pilot, G. 2014. Regulation of amino acid metabolic enzymes and transporters in plants. *Journal of Experimental Botany*. 65(19): 5535-5556.
- Pratomo, J. A., Banuwa, I. S., dan Yuwono, S. B. 2018. Evaluasi keberhasilan tanaman reboisasi pada lahan kompensasi pertambahan emas PT. Natarang Mining. *Jurnal Sylva Lestari*. 6(2):41-50.
- Raharjo, W. P. 2004. Pemanfaatan oli bekas sebagai salah satu alternatif solusi untuk mengurangi kebutuhan minyak bakar. *Jurnal Mekanika*. 3(1): 23 - 25.
- Rahmawati, I. D., Purwani, K. I., dan Muhibuddin, A. 2018. Pengaruh konsentrasi pupuk P terhadap tinggi dan panjang akar *Tagetes erecta* L. (marigold) terinfeksi mikoriza yang ditanam secara hidroponik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7(2): 2337-3520.
- Rao, N. S. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pembentukan Tanaman*. UI Press. Jakarta.
- Ratnawati, R., dan Fatmasari, R. D. 2018. Fitoremediasi tanah tercemar logam timbal (Pb) menggunakan tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*) Dan Jengger Ayam (*Celosia plumosa*). *Al-Ard*. 3(2): 62-69.
- Rochmani, R. 2015. Perlindungan hak atas lingkungan hidup yang baik dan sehat di era globalisasi. *Masalah-Masalah Hukum*. 44(1): 18-25.

- Rosariastuti, R., Supriyadi, Widiastuti, W. 2020. Teknologi fitoremediasi untuk penanganan pencemaran logam berat di lahan pertanian di Kecamatan Kebakkramat Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Litbang Provinsi Jawa Tengah*. 18(1):25-36.
- Ruchyansyah, Y., Wulandari, C., dan Riniati, M. 2018. Pengaruh pola budidaya pada hutan kemasyarakatan di areal kelola KPH VIII Batutegei terhadap pendapatan petani dan kesuburan tanah. *Jurnal Sylva Lestari*. 6(1):100-106.
- Rugayah, Anggalia, I., dan Ginting, Y. C. 2012. Pengaruh konsentrasi dan cara aplikasi IBA (*Indole Butiric Acid*) terhadap pertumbuhan bibit nanas (*Ananas comosus* [L.] Merr.) asal tunas mahkota. *Jurnal Agrotropika*. 17(1):35-38.
- Russel, S. 1997. Plant Root System. *Their Funtion and Interaction with the Soil*. McGraw Hill Book Campany (UK) Limited. London.
- Saeed, M. R., Kheir, A. M., and Al-Sayed, A. A. 2005. Supperssive effect of some amino acids against *Meloidogyne incognita* on soybeans. *Journal of Plant Protaction and Pathology*. 30(2): 1097-1103.
- Saepuloh, Isnaeni, S., dan Firmansyah, E. 2020. Pengaruh kombinasi dosis pupuk kandang ayam dan pupuk kandang kambing terhadap pertumbuhan dan hasil pagoda (*Brassica narinosa* L.). *Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2(1):34-48.
- Sari, R. dan Prayudyaningsih, R. 2018. Perkembangan bintil akar pada semai sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (l) nielsen). *Buletin Eboni*. 15 (2):105-119.
- Sayfulloh A., Riniarti, M., dan Santoso, T. 2020. Jenis-jenis tumbuhan asing invasif di Resort Sukaraja Atas, Tanaman Nasional Bukit Barisan Selatan. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1):109-120.
- Senatama, N., Niswati, A., Yusnaini, S., dan Utomo, M. 2019. Jumlah bintil akar, serapan N, dan produksi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) akibat residu pemupukan N dan sistem olahan tanah jangka panjang tahun ke-31. *Journal of Tropical Upland Resources*. 1(1): 35-42.
- Septiawan W., Indriyanto, dan Duryat. 2017. Jenis tanaman, kerapatan, dan stratifikasi tajuk pada Hutan Kemasyarakatan Tani Rukun Makmur 1 di Register 30 Gunung Tanggamus, Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 5(2):88-101.
- Setiono dan Azwarta. 2020. Pengaruh pemberian pupuk kandang sapi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays* L.). *Jurnal Sains Agro*. 5(2): 1-8.

- Setiyono, A. dan Gustaman, R. A. 2017. Pengendalian kromium (Cr) yang terdapat di limbah batik dengan metode fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*. 6(3):1-6.
- Shukla, O. P., Juwarkar, A. A., Singh, S. K., Khan, S., dan Rai, U. N. 2011. Growth responses and metal accumulation capabilities of woody plants during the phytoremediation of tannery sludge. *Waste management*. 31(1): 115-123.
- Simamora, T. T. H., Indriyanto, Bintoro, A. 2015. Identifikasi jenis liana dan tumbuhan penopangnya di Blok Perlindungan Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman. *Jurnal Sylva Lestari*. 3(2):31-42.
- Simanjuntak, M. R. 2008. Ekstraksi dan fraksinasi komponen ekstrak daun tumbuhan senduduk (*Melastoma malabathricum* L.) serta pengujian efek sendiaan krim terhadap penyembuhan luka bakar. [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Simarmata, T. 2005. Aplikasi pupuk biologis dan pupuk organik untuk meningkatkan kesehatan tanah dan hasil tanaman tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pada inceptisols di Jatinangor. *Jurnal Agroland*. 12(3): 261-266.
- Steel., R. G. D. and Torrie, J. H. 1991. *Principles and procedures of statistics*. McGraw Hill Co. Inc. New York.
- Subagiono, Syarif, A., Syarif, Z., dan Satria, B. 2019. Tumpangsari berbasis legum: a review. *Jurnal Sains Agro*. 4(2):1-11.
- Sudarmaji, Mukono, J., dan Prasasti, C. I. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 2(2):129 - 142.
- Sugito. 2009. Kajian pertumbuhan dan produksi pada tanaman jagung 8 Merrill di lahan sawah tadah hujan. *Jurnal-Jurnal Ilmu Pertanian*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Souri, M. K., and Hatamian, M. 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 42(1): 67-78.
- Supriatna, Siahaan, S., dan Restiaty, I. 2021. Pencemaran tanah oleh pestisida di perkebunan sayur Kelurahan Eka Jaya Kecamatan Jambi Selatan Kota Jambi (studi keberadaan jamur mikoriza dan cacing tanah). *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*. 21(1):460-466.
- Suryanto, H. dan Prasetyawati, C. A. 2014. Model agroforestri untuk rehabilitasi lahan di spoilbank dan bili-bili Kabupaten Gowa. *Info Teknis Eboni*. 11(1):15-26.

- Sutedjo, R. 2002. *Pertanian Organik Menuju Pertanian Alternatif dan Berkelanjutan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Tjonger, M. 2006. *Pentingnya Menjaga Keseimbangan Unsur Hara Makro dan Mikro Untuk Tanaman*. Erlangga. Jakarta.
- Wahyudi, A., Indriyanto., dan Riniarti, M. 2014. Upaya perbaikan pertumbuhan tanaman jabon (*Anthocephalus cadamba*) dengan pemberian pupuk kompos kotoran sapi pada beberapa ketinggian tempat. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(2):17-24.
- Wasis, B., dan Naiborhu, R. H. 2021. Optimalisasi pemberian pupuk kandang sapi dan arang kayu terhadap pertumbuhan salam (*Syzygium polyanthum* (Wight) Walp.) pada tanah tercemar oli bekas. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 12(1): 67-77.
- Wasis, B., dan Sa'idah, H. 2019. Pertumbuhan semai sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) pada media tanah bekas tambang kapur dengan pertumbuhan pupuk kompos dan NPK. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 9(1): 51-57.
- Wenno, S. J. dan Sinay, H. 2019. Kadar klorofil daun pakcoy (*Brassica chinensis* L.) setelah perlakuan pupuk kandang dan ampas tahu sebagai bahan ajar mata kuliah fisiologi tumbuhan. *Jurnal Biologi, Pendidikan dan Terapan*. 5(2):130-139.
- Widodo, K. H. dan Zaenal, K. 2018. Pengaruh kompos terhadap sifat fisik tanah dan pertumbuhan tanaman jagung di inceptisol. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 5(2): 959-967.
- Winarno, F. G. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Cetakan Kesembilan. Gramedia. Jakarta.
- Wuana, R. A., and Okieimen, F. E. 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*. 2011:402647. doi: 10.5402/2011/402647
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Yusof, M. L. M., Ghosh, S., and Chen, Z. 2020. Phytoremediation: a promising approach revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in Plant Science*. 11:359. doi:10.3389/fpls.2020.00359.
- Yandianto. Drs. 2003. *Keterampilan Bercocok Tanam Hortikultura*. Penebar M2s. Bandung.

- Yuda, A. I., Purnamasari, R. T., dan Pratiwi, S. H. 2018. Efek pemangkasan pucuk bibit dan dosis nitrogen terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman cabai kriting (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Agroteknologi Merdeka Pasuruan*. 2(2): 16-22.
- Yuliana, Rahmadani, E., dan Permanasari, I. 2015. Aplikasi pupuk kandang sapi dan ayam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jahe (*Zingiber officinale* Rosc.) di media gambut. *Jurnal Agroteknologi*. 5(2): 37-42.
- Yuvaraj, M., and Mahendran, P. P. 2020. Soil pollution causes and mitigation measures. *Biotica Research Today*. 2(7): 550-552.
- Zhang, R., Liu, Q., Xu, X., Liao, M. A., Lin, L., Hu, R., and Wang, X. 2022. An amino acid fertilizer improves the emergent accumulator plant *Nasturtium officinale* R. Br. phytoremediation capability for cadmium-contaminated paddy soils. *Frontiers in Plant Science*. 13:1-12.
- Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. *Annual Review of Plant Biology*. 61: 49–64. doi: 10.1146/annurev-arplant-042809-112308.