

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

2.1 Tinjauan pustaka

2.1.1. Tanaman aren (*Arenga pinnata* Merr.)

1) Klasifikasi

Aren (*Arenga pinnata* Merr.) adalah tanaman palm yang tersebar luas di Indonesia dan memiliki nilai ekonomis tinggi (Suparto dkk, 2025). Aren (*Arenga pinnata*) termasuk suku *Arecaceae* (pinang-pinangan), merupakan tumbuhan berbiji tertutup (*Angiospermae*). Aren merupakan salah satu keluarga palma yang memiliki potensi nilai ekonomi yang tinggi untuk dikembangkan dan dimanfaatkan dan dapat tumbuh subur di wilayah tropis seperti Indonesia. Tumbuhan ini tumbuh tersebar dan sebagian besar populasinya masih merupakan tumbuhan liar yang hidup subur dan tersebar secara alami pada berbagai tipe hutan (Muhaemin, 2012). Di Indonesia tanaman aren banyak tersebar di seluruh wilayah nusantara, khususnya di daerah-daerah perbukitan yang lembab. Penyebaran aren saat ini berada pada provinsi: Papua, Maluku, Maluku Utara, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Jawa Tengah, Banten, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, Sulawesi Tenggara, Bengkulu, Kalimantan Selatan, dan Nagroe Aceh Darussalam (Fitirani, 2010).

Penggolongan jenis aren berdasarkan umur mulai menghasilkan, bisa dikategorikan menjadi 3 (tiga) jenis, yaitu :(1) Aren Genjah, umur mulai menghasilkan antara 4, 5 atau 6 tahun (dibawah 6 tahun). (2) Aren Sadang, umur mulai menghasilkan antara 7, 8 atau 9 tahun. (3) Aren Dalam, umur mulai menghasilkan setelah umur 10 tahun (Kusumanto, 2012).

Menurut Helen (2003), klasifikasi tanaman aren sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Liliopsida
Ordo	: Arecales
Famili	: Arecaceae
Genus	: <i>Arenga</i>

Spesies : *Arengan pinnata*

2) Morfologi tanaman aren

Pohon aren dapat tumbuh mencapai tinggi 15 sampai 20 meter dan diameter batangnya mencapai 65 cm dengan tajuk yang menjulang di atas batang, memiliki daun yang menyerupai daun kelapa yang panjangnya bisa mencapai 5 meter dengan tangkai daun yang mencapai 1,5 meter (Asshaf, 2020). Tanaman aren tergolong dalam keluarga *Arecaceae* atau pinang-pinangan. Tanaman aren dapat tumbuh pada ketinggian 0 sampai 1.400 meter di atas permukaan laut dan mempunyai kemampuan beradaptasi yang sangat baik terhadap kondisi lingkungan tumbuhnya. Pertumbuhan optimal tanaman aren berkisar pada ketinggian 500 hingga 700 meter di atas permukaan laut dengan rata-rata curah hujan lebih dari 1.200 sampai 3.500 mm/tahun (Permentan, 2013).

Seperti tanaman yang lainnya, tanaman aren mempunyai organ-organ tubuh seperti akar, batang, daun, bunga, dan buah. Berikut ciri-ciri morfologi tanaman aren:

a. Akar

Aren merupakan tumbuhan monokotil, berakar serabut. Akar aren menyebar cukup dalam di dalam tanah, sehingga tanaman ini juga cocok sebagai penahan erosi tanah, terutama pada tanah miring

b. Batang

Pohon aren dapat tumbuh mencapai tinggi dengan diameter batang sampai 65 cm dan tinggi 15 m bahkan mencapai 20 m dengan tajuk daun yang menjulang di atas batang (Soeseno, 1992). Batang aren pada bagian pinggir disebut juga dengan ruyung, dengan ketebalan 4 hingga 7 cm, sangat keras dan tahan lapuk, sehingga sering digunakan sebagai lantai dan atap rumah.

c. Daun

Daun aren termasuk jenis pinnate, panjang daun aren bisa mencapai 8 m, anak daun divaricate, panjangnya 1 m atau lebih, jumlahnya 100 atau lebih pada masing-masing sisi, dasar daun 2 auriculate, ujung daun lobes, dan kadang-kadang bergerigi, permukaan atas hijau berdaging, bagian bawah putih dan bertepung (Ramadani dkk, 2008). Pohon aren mempunyai tajuk (kumpulan daun) yang

rimbun. Daun aren muda selalu berdiri tegak di pucuk batang, daun muda yang masih tergulung lunak seperti kertas. Pelepah daun melebar di bagian pangkal dan menyempit ke arah pucuk. Susunan anak daun pada pelepah seperti duri-duri sirip ikan, sehingga daun aren disebut bersirip. Oleh karena pada ujungnya tidak berpasangan lagi, daun aren disebut bersirip ganjil. Pada bagian pangkal pelepah daun diselimuti oleh ijuk yang berwarna hitam kelam dan dibagian atasnya berkumpul suatu massa yang mirip kapas yang berwarna coklat, sangat halus dan mudah terbakar. Massa yang menempel pada pangkal pelepah daun aren tersebut dikenal dengan nama kawul (Jawa barat), baruk (Tana Toraja) dan beru (Bugis) (Lempang, 1996).

d. Bunga

Menurut Ramdani dkk, (2008) Bunga aren jantan dan betina berpisah, besar, tangkai perbungaan muncul dari batang, panjangnya 1 sampai 1,5 m masing masing pada rachilla. Bunga aren berbentuk tandan dengan malai bunga yang menggantung. Bunga tersebut tumbuh pada ketiak-ketiak pelepah atau ruas-ruas batang bekas tempat tumbuh pelepah. Proses pembentukan bunga mula-mula muncul dari pucuk, kemudian disusul oleh tunas-tunas berikutnya ke arah bawah pohon. Dalam hal ini bunga aren tumbuh secara basiferal, yaitu bunga yang paling awal terletak di ujung batang, sedangkan bunga yang tumbuh belakangan terletak pada tunas berikutnya ke arah bawah. Tandan bunga yang ada di bagian atas terdiri dari bunga betina. Sedangkan yang di bagian bawah, biasanya terdiri dari bunga jantan.

e. Buah

Buah aren terbentuk dari penyerbukan bunga jantan pada bunga betina. Penyerbukan aren diduga tidak dilakukan oleh angin tetapi oleh serangga. Apabila proses penyerbukan berjalan baik, maka akan dihasilkan buah yang lebat. Buah aren berada tandan yang bercabang dengan panjang sekitar 90 cm. Pohon aren yang pertumbuhannya baik, bisa terdapat 4 hingga 5 tandan buah. Buah aren termasuk buah buni, bentuknya bulat, ujung tertoreh, 4 cm x 5 cm, sesil dan terdapat 3 bractea yang tebal, secara rapat berkumpul sepanjang tangkai perbungaan,

berwarna hijau, buah masak warna kuning, terdapat 3 biji keras (Ramadani dkk, 2008).



Gambar 1. Buah aren
Sumber: Dokumentasi pribadi

3) Pengolahan cangkang buah aren sebagai bahan biochar

Aren adalah salah satu jenis tanaman palma yang hampir tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Seluruh bagian dari tanaman ini dapat dimanfaatkan mulai dari nira yang dapat diolah menjadi gula, dan nata de pinna, batangnya dapat diolah menjadi tepung aren, buah yang belum matang diolah menjadi kolang-kaling, daun diolah menjadi atap dan lidinya dapat dibuat menjadi sapu, serta ijuknya dapat diolah menjadi kerajinan (Ruslan, Baharuddin, dan Taskirawati, 2018).

Tanaman ini dapat tumbuh di berbagai kondisi iklim dan menghasilkan berbagai produk seperti gula aren, kolang-kaling, dan ijuk. Pohon aren dan buah aren muda yang diolah menjadi kolang-kaling memiliki permintaan pasar yang tinggi, namun proses pengolahannya menghasilkan limbah cangkang buah yang cukup besar. Proses pengolahan buah aren menghasilkan sisa limbah berupa cangkang aren yang dapat dimanfaatkan sebagai dasar untuk membuat pupuk kompos dan juga dapat dimanfaatkan untuk briket yang berfungsi sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan. Cangkang buah aren memiliki karakteristik fisik yang kuat dan mengandung lignin tinggi, sehingga proses dekomposisi alaminya berlangsung lambat (Suparto dkk, 2025).

Menurut Utari (2018) kulit buah aren dapat digunakan sebagai bahan pupuk kompos, yaitu pupuk organik yang diterapkan dalam pertanian untuk menurunkan ketergantungan pada pupuk anorganik. Penggunaan pupuk organik ini berfungsi juga untuk meningkatkan karakteristik fisik serta mikrobiologi tanah. Kandungan

unsur P dan K dalam limbah padat aren berupa ampas yang tetap tergolong tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk pemupukan. Pemanfaatan limbah cangkang buah aren sebagai bahan dasar kompos ini dilakukan dengan menambahkan starter alami, yang dapat mempercepat proses pengomposan dan juga membantu mengolah limbah padat aren yang terbang.

Penggunaan cangkang buah aren yang lebih efektif yaitu dimanfaatkan sebagai karbon aktif yang bisa digunakan untuk menyerap limbah zat pewarna tekstil yang masih belum dilakukan. Kulit aren memiliki kandungan selulosa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber karbon dalam proses pembuatan karbon aktif yang akan digunakan sebagai adsorben, sehingga bisa dimanfaatkan untuk pembuatan arang aktif untuk mengadsorpsi limbah cair. Hasil analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared*) menunjukkan adanya gugus fungsi yang penting dalam kulit aren seperti karboksil, amidam, dan hidroksil (Hidayat B, 2015). Limbah ini berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biochar karena kandungan karbon organik yang tinggi (Damanik dkk, 2023).

2.1.2. Biochar

1) Definisi

Biochar didefinisikan sebagai bahan padat kaya karbon yang dihasilkan dari dekomposisi termokimia biomassa melalui proses yang disebut pirolisis. Biochar adalah material padat yang memiliki banyak karbon dan sebagai hasil mengolah limbah atau sampah organik (biomassa pertanian) melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan pembakaran yang tidak sempurna atau pembakaran yang dilakukan dengan sedikit oksigen (Neneng L, Achmad, dan Sutono, 2015).

Dalam pembakaran, biomassa terbakar dengan oksigen melimpah, menghasilkan CO₂ dan air (H₂O). Sebaliknya, pirolisis mengurai biomassa secara tidak sempurna, mengubahnya menjadi biochar (kaya karbon), gas, dan bio-minyak. Proses pirolisis ini berhasil menstabilkan karbon yang terkandung dalam biomassa, mencegahnya dilepaskan kembali ke atmosfer, dan memungkinkannya bertahan di dalam tanah selama berabad-abad. Pirolisis dapat dilakukan pada kisaran suhu yang bervariasi, umumnya antara 200 sampai 600°C (Sridhar, 2007).

Menurut Glaser, Lehman, dan Zech (2002) biochar merupakan bahan pembenah tanah yang telah lama dikenal dalam bidang pertanian yang berguna untuk meningkatkan produktifitas tanah. Bahan utama untuk pembuatan biochar adalah limbah-limbah pertanian dan perkebunan seperti sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kakao, serta kayu-kayu yang berasal dari tanaman hutan industri.

2) Karakterisasi biochar cangkang buah aren

a. Komposisi biomassa cangkang buah aren

Menurut Gaskin dkk (2008) fungsi biochar khususnya dalam bidang pertanian sangat tergantung pada karakteristik biochar tersebut. Karakteristik biochar tersebut meliputi pH, kemampuan meretensi air, kandungan C-total, kapasitas tukar kation, dan kandungan unsur hara. Kualitas serapan dan luas permukaan biochar banyak dipengaruhi oleh temperatur pembuatannya, sedangkan kandungan nutrisi tanaman pada biochar bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan.

Cangkang buah aren (*Arenga pinnata*) merupakan limbah biomassa lignoselulosa yang memiliki komposisi kimia yang serupa dengan batok kelapa dan kulit kakao. Batok kelapa, yang memiliki karakteristik sebanding, diketahui memiliki kandungan lignin yang tinggi, mencapai 45.20%, dan selulosa 45.30%. Kandungan lignin dan selulosa yang tinggi ini merupakan parameter penting dalam pembuatan biochar, karena mereka berkontribusi pada kadar karbon yang tinggi dan ketahanan fisik biochar terhadap dekomposisi di dalam tanah. Menurut Oguntunde dkk (2004) bahan baku dan kondisi pirolisis (suhu, waktu, dan lain lain) dapat mempengaruhi stabilitas dan kandungan unsur hara. Peningkatan fosfor total yang tinggi (151%) menunjukkan bahwa fosfor tidak menguap pada suhu tinggi yang dihasilkan selama produksi arang. Bahan baku dengan kandungan lignin tinggi seperti cangkang buah aren menghasilkan biochar dengan stabilitas yang lebih baik (Indrawati dan Suryadi, 2023). Kandungan selulosa dan hemiselulosa juga mempengaruhi struktur pori biochar.

b. Proses pirolisis biomassa

Suhu pirolisis merupakan salah satu variabel paling krusial yang menentukan karakteristik biochar yang dihasilkan. Penelitian menunjukkan bahwa tidak ada satu suhu tunggal yang "optimal" secara universal, melainkan terdapat kompromi antara tujuan aplikasi dan sifat biochar yang diinginkan. Sebagai contoh, sebuah studi menunjukkan hasil terbaik pada suhu pirolisis 350°C selama 45 menit, menghasilkan biochar dengan kadar karbon tinggi (92.380%). Di sisi lain, biochar yang diproduksi pada suhu yang lebih tinggi, seperti 450°C hingga 600°C, cenderung memiliki struktur mineral dan porositas yang lebih stabil. Pirolisis pada suhu tinggi mendorong pembentukan senyawa aromatik dan cincin karbon yang meningkatkan stabilitas biochar dan memungkinkannya bertahan di dalam tanah dalam jangka waktu yang sangat lama, ideal untuk tujuan sekuestrasi karbon. Pada penelitian Debdoubi, El amarti, dan Colacio (2005) menyimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi akan meningkatkan nilai kalor arang yang dihasilkan. Suhu yang lebih tinggi menghasilkan biochar dengan kandungan karbon terikat yang lebih tinggi namun rendemen yang lebih rendah.

Sebaliknya, pirolisis pada suhu yang lebih rendah cenderung mempertahankan gugus fungsional di permukaan biochar. Gugus-gugus ini memiliki peran vital dalam meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) dan ketersediaan hara bagi tanaman (Indrawati dan Suryadi, 2023). Dengan demikian, pilihan suhu pirolisis harus disesuaikan dengan tujuan utama: apakah untuk stabilitas karbon jangka panjang atau untuk perbaikan kesuburan tanah secara cepat dan langsung. Penentuan titik keseimbangan ini menjadi hal penting dalam pengembangan biochar dari biomassa cangkang buah aren.

Produksi biochar dapat dilakukan melalui berbagai metode pirolisis, antara lain pirolisis lambat atau disebut juga dengan slow pirolisis merupakan salah satu proses pirolisis yang mempunyai ciri laju pemanasan yang lambat, temperatur yang kecil dan waktu yang digunakan untuk pemanasan lama. Pada pirolisis lambat laju pemanasan yang digunakan adalah kurang dari 0,1 sampai 2°C/detik (Bridgwater, 2011). Pirolisis lambat dilakukan pada suhu 300 hingga 500°C dengan waktu proses

1 sampai 24 jam (Bardono S, 2021). Metode ini menghasilkan rendemen biochar yang tinggi dan cocok untuk skala kecil hingga menengah.

Metode Kon-Tiki adalah teknik pembakaran sederhana yang dapat dilakukan oleh petani dengan menggunakan lubang atau drum (Widiastuti dan Lantang, 2017). Proses pembakaran tanpa asap menjaga produksi bahan-bahan pencemar pada proses pembuatan biochar dengan Kon-Tiki selalu rendah (Jubaedah, 2014). Metode ini menghasilkan biochar dengan kualitas yang baik dan mudah diaplikasikan.

Metode retort kiln menggunakan reaktor tertutup dengan kontrol suhu yang lebih baik (Widiastuti dan Lantang, 2017). Metode pembuatan biochar yang lebih ramah lingkungan lingkungan untuk meminimalisir asap yang dihasilkan dapat dilakukan di dalam ruangan yang terbuat dari dinding bata, beton, dan juga besi dengan retort ataupun kiln (tungku drum) (Syahrudin dkk, 2018). Metode ini menghasilkan biochar dengan kualitas konsisten dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca.

c. Analisis sifat fisik dan kimia biochar dari biomassa cangkang buah aren

Berdasarkan data dari penelitian yang menggunakan bahan baku serupa, biochar cangkang buah aren diproyeksikan memiliki sifat fisik dan kimia yang unggul sebagai pembenah tanah. Secara fisik, biochar dari batok kelapa, yang mirip dengan cangkang aren, memiliki struktur pori yang kokoh, teratur, dan tidak mudah hancur. Struktur ini sangat efektif dalam meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air.

Secara kimia, biochar cangkang kulit kakao, yang dapat digunakan sebagai pembanding, memiliki pH yang sangat basa (9.7), kadar C-organik 35.14%, dan KTK sebesar 21.25 meq 100 g. Karakteristik pH basa ini penting untuk menetralkan tanah-tanah masam, yang umum dijumpai di Indonesia. Peningkatan KTK dan kandungan C-organik juga berkorelasi langsung dengan peningkatan kesuburan tanah (Aminah dkk, 2025).

3) Fungsi biochar sebagai pembenah tanah

Penting untuk dipahami bahwa biochar bukan merupakan pupuk, melainkan pembenah tanah (*soil amendment*). Perannya adalah untuk memperbaiki kualitas

tanah baik secara fisik, kimia, maupun biologi, yang pada akhirnya akan meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman dan mendorong produktivitas yang meliputi:

- a. Perbaikan sifat fisik tanah: Biochar memiliki struktur yang sangat berpori atau berongga, yang mirip dengan spons. Struktur ini memungkinkan biochar untuk memperbaiki struktur tanah, menurunkan berat isi (kepadatan), dan meningkatkan porositas. Peningkatan porositas ini menciptakan keseimbangan antara pori makro dan mikro, yang secara signifikan meningkatkan kapasitas retensi air tanah. Pori mikro berisi air, sementara pori makro memfasilitasi aerasi dan drainase. Selain itu, luas permukaan spesifik biochar yang besar juga meningkatkan gaya kohesi (antar molekul air) dan adhesi (antara molekul air dan partikel biochar), semakin meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air (Indrawati dan Suryadi, 2023).
- b. Perbaikan sifat kimia tanah: Aplikasi biochar dapat menetralkan pH tanah asam, karena sifatnya yang cenderung basa. Selain itu, biochar secara efektif meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah. Peningkatan KTK ini disebabkan oleh gugus fungsional (seperti anion karboksilat dan fenolik) yang terbentuk di permukaan biochar selama pirolisis (Indrawati dan Suryadi, 2023). Gugus-gugus ini menciptakan muatan negatif yang mampu mengikat kation hara, mencegah pencucian oleh air hujan, dan melepaskannya secara perlahan ke dalam larutan tanah. Hal ini tidak hanya meningkatkan ketersediaan unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk.
- c. Perbaikan sifat biologi tanah: Struktur biochar yang berpori menyediakan habitat yang ideal dan menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pertumbuhan mikroorganisme tanah yang bermanfaat. Kehadiran mikroorganisme ini penting untuk siklus hara dan kesehatan tanah secara keseluruhan.

4) Aplikasi biochar dari biomassa cangkang buah aren pada tanaman sayuran

a. Mekanisme perbaikan media tumbuh

Saat diaplikasikan ke tanah, biochar cangkang buah aren akan bekerja sebagai agen perbaikan yang komprehensif. Partikel biochar yang ringan dan berpori akan mengisi pori-pori tanah yang lebih besar, sehingga menurunkan berat isi dan meningkatkan total ruang pori tanah (Indrawati dan Suryadi, 2023). Hal ini secara langsung memperbaiki aerasi dan drainase tanah. Bersamaan dengan itu, struktur pori mikro yang terbentuk akan meningkatkan kapasitas retensi air, yang sangat krusial pada tanah bertekstur kasar.

Secara kimia, biochar cangkang buah aren dapat menaikkan pH tanah masam dan meningkatkan KTK. Peningkatan KTK ini merupakan faktor kunci dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara. Gugus fungsional pada permukaan biochar mengikat kation hara seperti K dan Ca, mencegahnya hilang akibat pencucian dan melepaskannya secara bertahap kepada tanaman (Indrawati dan Suryadi, 2023). Dengan demikian, biochar tidak hanya menyediakan hara tetapi juga bertindak sebagai "bank hara" yang efisien, mengurangi kehilangan nutrisi dari pupuk (Aminah dkk, 2025).

b. Efek pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman sayuran

Penerapan biochar telah terbukti memberikan dampak positif pada pertumbuhan dan hasil tanaman sayuran. Studi menunjukkan bahwa aplikasi biochar meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas sawi dan pakcoy. Peningkatan ini terlihat dari parameter seperti jumlah daun, luas daun, berat kering, dan bobot segar tanaman. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa dosis biochar 20 t/ha secara signifikan meningkatkan berat kering dan berat segar tanaman sawi pakcoy dibandingkan dengan perlakuan tanpa biochar. Peningkatan ini terjadi karena perbaikan karakteristik tanah yang memungkinkan penyerapan hara dan air yang lebih optimal, serta menciptakan lingkungan perakaran yang lebih sehat bagi tanaman (Aminah dkk, 2025).

Aplikasi biochar pada tanaman sayuran telah terbukti efektif meningkatkan pertumbuhan dan hasil (Suharyatun dkk, 2021). Dosis biochar yang optimal

bervariasi tergantung jenis tanaman dan kondisi tanah. Sejalan dengan penelitian Nguyen, dkk (2017) menyatakan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan kelembaban dan pH tanah, sehingga merangsang proses mineralisasi N dan nitrifikasi yang menyebabkan serapan tanaman meningkat. Biochar meningkatkan N anorganik yang dibutuhkan untuk asimilasi tanaman dengan meningkatkan retensi dan mengurangi dampak dari pencucian.

Menurut Lingga P. (2005) menjelaskan bahwa unsur N berfungsi untuk memacu pertumbuhan pada fase vegetatif terutama batang dan daun. Hal ini sejalan dengan penelitian Warnock, dkk (2007) menyimpulkan bahwa biochar mampu menyerap unsur hara dan air sehingga unsur hara dapat tersedia bagi tanaman. Selain itu biochar mampu memperbaiki dan mengoptimalkan pertumbuhan serta produksi tanaman dan mengurangi jumlah nutrisi yang akan diserap tanaman yang hilang akibat tercuci. Tanaman yang cukup mendapat suplai nitrogen (N) akan membentuk daun yang memiliki helaian lebih luas dengan kandungan klorofil yang lebih tinggi, sehingga tanaman mampu menghasilkan asimilat dalam jumlah yang tinggi untuk mendukung pertumbuhan vegetatif (Wijaya, 2010). Biochar juga sebagai amelioran yang merupakan bahan organik yang diberikan kedalam tanah untuk menciptakan lingkungan tanah yang menguntungkan bagi akar tanaman (Hartatik, Wibowo, dan Gomez, 2015).

Biochar yang dipeletkan atau digranulasi telah diteliti terutama untuk aplikasi penanaman dalam kultur pembibitan sebagai pengganti gambut, perlit, atau vermikulit, atau sebagai amandemen substrat atap hijau. Penambahan biochar granular ke tanah bertekstur halus mungkin diharapkan berbeda dari efek biochar konvensional terutama karena ukuran partikel, butiran biochar berukuran lebih besar dapat secara khusus meningkatkan respons pertumbuhan dengan mengurangi kepadatan massa tanah dan meningkatkan kelembaban dan aerasi tanah. Data yang ada mengenai efek ukuran partikel biochar terhadap pertumbuhan tanaman terbatas, namun ada bukti adanya perbedaan besar dalam respons spesies. Ketika ditambahkan ke substrat pasir yang sama, pertumbuhan rumput beludru ditingkatkan oleh biochar dengan partikel kecil (0,0635 sampai 0,5 mm), sementara rumput gandum tahunan menunjukkan respons pertumbuhan positif oleh biochar

yang sama dengan partikel yang lebih besar (2 hingga 4 mm). Biochar yang digunakan untuk amandemen tanah cenderung berkisar antara <0,10 dan 4 mm, tetapi biochar dengan partikel berukuran pada kisaran menengah 0,5 hingga 1 mm telah disarankan sebagai optimal berdasarkan meta-analisis terbaru dari respons tanaman.

c. Penentuan dosis aplikasi optimal

Penelitian mengenai aplikasi biochar menunjukkan bahwa dosis optimal sangat bervariasi dan tidak bersifat universal. Dosis yang efektif sangat bergantung pada interaksi kompleks antara beberapa faktor, yaitu jenis tanah, jenis tanaman, dan karakteristik spesifik dari bahan baku biochar itu sendiri. Sebuah studi pada tanaman jagung di tanah Ultisol masam menunjukkan bahwa dosis biochar kulit kakao 15 t/ha memberikan hasil terbaik (Suryani, Sutikarni, dan Suyanto, 2022), sementara penelitian lain pada padi menunjukkan dosis 10 t/ha efektif (Lestari, Aryunis, dan Akmal, 2022). Untuk tanaman sawi pakcoy, dosis biochar 20 t/ha terbukti memberikan respon pertumbuhan dan hasil terbaik (Aminah dkk, 2025), namun biochar sekam padi untuk tanaman yang sama membutuhkan dosis yang lebih tinggi, yaitu 35 t/ha (Ramadona, Amir, dan Sumbari, 2024).

2.2 Kerangka berpikir

Penelitian tentang biochar dari berbagai bahan baku telah banyak dilakukan, penelitian biochar sekam padi menunjukkan bahwa aplikasi dengan dosis 25 t/ha dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman sawi (Jehada dkk, 2022). Kombinasi biochar dengan pupuk organik memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan aplikasi tunggal (Suharyatun dkk, 2021).

Aren merupakan salah satu keluarga palma yang memiliki potensi nilai ekonomi yang tinggi untuk dikembangkan dan dimanfaatkan dan dapat tumbuh subur di wilayah tropis seperti Indonesia. Tumbuhan ini tumbuh tersebar dan sebagian besar populasinya masih merupakan tumbuhan liar yang hidup subur dan tersebar secara alami pada berbagai tipe hutan (Muhaemin, 2012). Tumbuhan Aren merupakan tumbuhan yang dapat di dimanfaatkan di semua bagiannya. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Ferita, Tarawati, dan Syarif, 2015) yang menyatakan bahwa

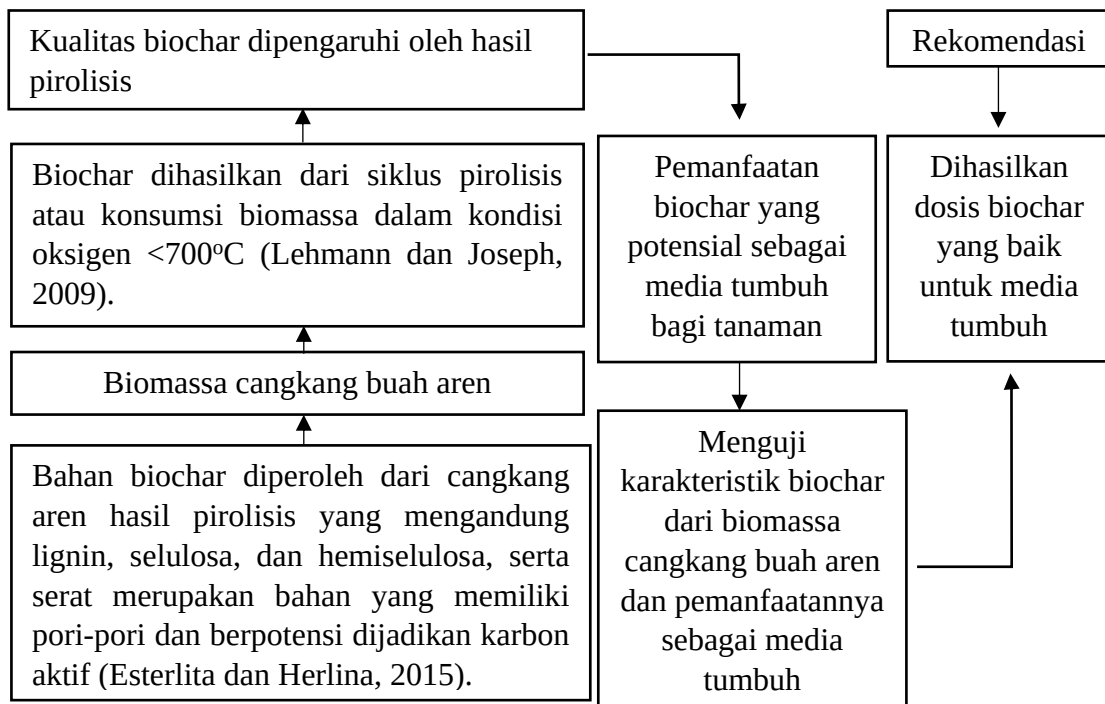
Aren dapat dimanfaatkan sebagai tumbuhan penghasil nira, sumber energi terbarukan, sumber karbohidrat, bahan campuran makanan dan minuman (kolangkaling), bahan bangunan (batang) dan sebagai tumbuhan konservasi untuk lahan kritis. Pemanfaatan Aren dilakukan oleh masyarakat setempat yang disebut sebagai petani aren, pemanfaatan Aren salah satunya dilakukan dengan menyadap tumbuhan Aren tersebut, sedangkan untuk pemanfaatan lainnya seperti pembuatan kolangkaling, sapu ijuk dan sapu lidi.

Seiring berjalannya waktu peminat kolangkaling semakin banyak. Permentan (2014) menjelaskan untuk membuat kolangkaling pengusaha kolangkaling biasanya membakar buah aren sampai hangus, kemudian diambil bijinya untuk direbus selama beberapa jam. Pengambilan kolangkaling dianjurkan pada pohon yang tidak produktif, karena pengambilan kolangkaling pada pohon yang produktif mengganggu kondisi pohon Aren, yaitu mengurangi kadar gula nira. Hal ini dapat menyebabkan limbah cangkang buah aren yang meningkat karena belum adanya pemanfaatan atau pengelolaan cangkang buah aren. Menurut Simbolon, Siregar, dan Siregar (2002) Banyaknya kolangkaling yang dihasilkan sejalan dengan banyaknya kulit yang terbuang. Perhatian masyarakat terhadap limbah kulit kolangkaling sangat rendah. Kulit kolangkaling selama ini terbuang begitu saja. Terbuang dan mengalami pembusukan disekitar pengolahan kolangkaling. Kulitnya menumpuk dan menggunung sebagai sampah. Sebagian masyarakat membuangnya ke parit, sungai dan pembuangan sampah. Masyarakat kurang menyadari adanya limbah cangkang kolangkaling ini menyebabkan pencemaran lingkungan. Masyarakat belum tahu manfaat kulit kolangkaling. Seharusnya kulit kolangkaling ini juga harus dimanfaatkan. Kulit buah aren memiliki sifat yang agak kuat dan tersusun atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa (Esterlita dan Herlina, 2015). Selain itu, kulit buah aren mengandung serat dan merupakan bahan yang memiliki pori-pori dan berpotensi dijadikan karbon aktif (Esterlita dan Herlina, 2015).

Salah satu bahan organik pembenah tanah yaitu dengan pengaplikasian biochar. Biochar merupakan hasil pirolisis biomassa yang kaya akan karbon dan dapat dimanfaatkan pembenah tanah. Biochar dihasilkan dari siklus pirolisis atau

konsumsi biomassa dalam kondisi oksigen $<700^{\circ}\text{C}$ (Lehmann dan Joseph, 2009). Pemilihan bahan baku biochar ini didasarkan pada produksi sisa tanaman yang melimpah dan belum dimanfaatkan (Demirbas, 2004).

Menurut Lehmann dan Rondon (2006) dalam Sujana, (2015), walaupun biochar dapat digunakan sebagai arang kayu untuk bahan bakar, namun manfaat lingkungannya jauh lebih besar bila ditanamkan ke dalam tanah, dan dengan seiring berjalannya waktu kesuburan tanah akan meningkat. Sejalan dengan penelitian Chen, Gao, dan Wu (2023) bahwa aplikasi bahan organik seperti biochar dapat meningkatkan pH tanah, sehingga mengurangi fiksasi P oleh ion Al dan Fe serta meningkatkan ketersediaan P bagi tanaman. Pemberian biochar pada tanah mampu meningkatkan pertumbuhan serta serapan hara pada tanaman (Angelita, Rasyid, Neswati, 2020) baik secara fisik, kimia dan biologi sehingga dapat meningkatkan produksi tanaman (Gani, 2009). Penelitian tentang limbah cangkang buah aren sebagai bahan baku biochar masih terbatas. Penelitian sebelumnya lebih fokus pada pemanfaatan kulit aren sebagai adsorben dan pupuk kompos. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pemanfaatan biomassa cangkang buah aren sebagai biochar.



Gambar 2. Diagram alir kerangka berpikir

2.3 Hipotesis

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat ditarik hipotesis sebagai berikut:

- 1) Biochar dari biomassa cangkang buah aren memiliki karakteristik yang sesuai untuk aplikasi sebagai pembenah tanah.
- 2) Pemberian biochar dari biomassa cangkang buah aren dengan dosis yang tepat dapat memperbaiki sifat fisik tanah.
- 3) Diketahui dosis optimum biochar dari biomassa cangkang buah aren yang memberikan pertumbuhan dan hasil terbaik pada tanaman sayuran sawi hijau.