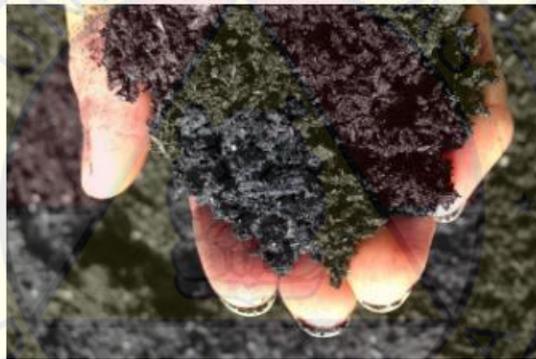


## BAB 2

# TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Biochar

Biochar adalah karbon yang dihasilkan dari bahan organik (biomassa ligno selulosa, limbah pertanian, sampah organik) melalui proses pirolisis suhu tinggi tanpa oksigen. Biochar memiliki banyak manfaat, antara lain meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan membantu pengelolaan limbah. Pirolisis (proses pirolisis) adalah pemecahan senyawa kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui pemanasan, yang terjadi pada atmosfer inert antara 400° , [3], [4]. [5].



Gambar 2.1 Biochar

Biochar dapat digunakan sebagai teknologi penyerapan karbon dan juga dapat digunakan sebagai kondisioner tanah untuk menghilangkan karbon dari tanah, meningkatkan kualitasnya, dan meningkatkan produktivitasnya. Pemanfaatan biochar pada tanah diharapkan membawa banyak manfaat bagi sektor pertanian, peternakan, industri, rehabilitasi, dan pengelolaan limbah, [6].

### 2.2 Karakteristik Biochar

Biochar yang dihasilkan dari tempurung kelapa cocok untuk berbagai keperluan, termasuk biomassa, adsorben, dan remediasi tanah, dengan sifat yang diinginkan seperti nilai kalori tinggi dan banyak gugus fungsi yang dapat berinteraksi dengan unsur hara. [7].

---

Karakteristik biochar

1. **Kandungan Karbon Tinggi:**

Kandungan karbon tempurung kelapa sangat tinggi, lebih dari 70-80.

Hal ini membuat penyimpanan karbon tanah menjadi sangat efisien dan meningkatkan kandungan karbon dan volume pori biochar kayu dibandingkan dengan suhu pirolisis yang rendah ( $\leq 500$  °C). [8].

2. **pH Alkalin**

Dengan pH yang tinggi, atau alkali, biochar dari tempurung kelapa dapat membantu menetralkan tanah yang asam dan meningkatkan ketersediaan nutrisi untuk tanaman. [9].

3. **Stabilitas Tinggi:**

Biochar biasanya kurang dari 20% terurai secara biologis setelah lima hingga sepuluh tahun. Karena stabilitas kimia dan fisiknya yang tinggi, biochar dapat bertahan dalam tanah selama berabad-abad hingga ribuan tahun tanpa hancur. [10].

4. **Kandungan Abu Rendah:**

Analisis proksimat adalah teknik analisis kimia yang digunakan untuk menggambarkan komposisi dasar dari bahan bakar padat seperti batubara dan biomassa; itu juga digunakan untuk mengukur kadar air, abu, bahan mudah menguap, dan karbon terfiksasi [11]. Biochar yang dihasilkan dari tempurung kelapa memiliki kandungan abu yang relatif rendah, tetapi kadar abu sabut kelapa adalah yang tertinggi (15,2%), yang menurunkan kemungkinan penumpukan unsur-unsur dalam bahan bakar [12].

**2.3 Potensi Biochar**

Kulit sagu dan tempurung kelapa adalah bahan baku yang sangat baik untuk pembuatan biochar karena sifat fisik dan kimia mereka yang memungkinkan mereka diubah menjadi biochar yang berguna untuk berbagai tujuan, seperti meningkatkan kualitas tanah, mengelola limbah, dan menyerap polutan, [1]. Karena sifatnya yang stabil dan kaya karbon, biochar memiliki kemampuan yang luar biasa untuk menangani kontaminan dalam air dan air limbah. Karena sifatnya yang unik,

biochar dapat digunakan dengan sangat baik dalam proses pengolahan air dan air limbah untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan. [13].

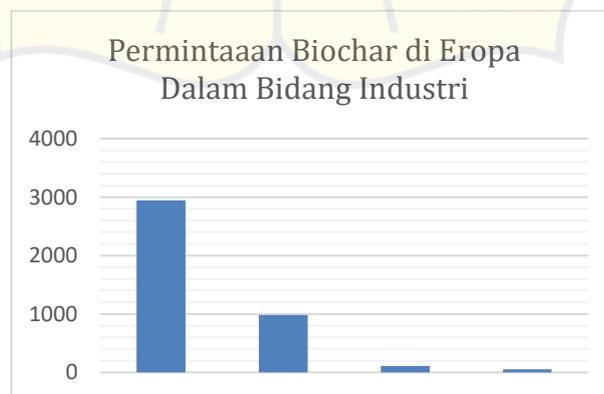
### 2.3.1 Potensi Pasar Untuk Biochar

Dengan permintaan tahunan sebesar 980,9 juta ton biochar di Uni Eropa, menunjukkan bahwa pasar biochar memiliki potensi yang besar dan menjanjikan untuk diolah menjadi biochar yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Karena tingginya permintaan, tidak akan ada cukup lahan untuk memproduksi biomassa untuk menghasilkan jumlah biochar yang dibutuhkan, [14].

Tabel 2.1 Perhitungan kebutuhan isi ulang biochar tahunan [14].

Apa	Calculation	Campuran 3% (kasus dasar)	Campuran 1% (kasus rendah)
Pengisian ulang (setiap 3 tahun)	=0,005 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> 10000 m <sup>2</sup> /ha *98 juta ha * 0,2 ton / m <sup>3</sup>	=980 juta ton	=326,7 juta ton/tahun
Rata-rata tahunan isi ulang	=980 juta ton/3 tahun	=326,7 juta ton/tahun	=108,9 juta ton/tahun

Tabel di atas menunjukkan bahwa, jika dihitung secara konservatif dengan asumsi rasio campuran 1% dan pengisian ulang tahunan sebesar 109 juta ton, permintaan biochar di Uni Eropa dapat mencapai 980,9 juta ton per tahun. Namun, permintaan untuk isi ulang pertanian dua kali lipat dari permintaan industri metalurgi pada tahun 2021



Grafik 1 Permintaan Eropa untuk biochar/biokarbon diurutkan berdasarkan industri, angka dalam juta ton

Aplikasi biochar di banyak industri pertanian adalah titik awal yang bagus bagi perusahaan baru untuk memperoleh pangsa pasar karena permintaan pasar lebih besar daripada produksi, [14].

### 2.3.2 Potensi Biomassa di Indonesia untuk Penyediaan Bahan Baku Biochar

Nanokristal selulosa yang dibuat dari limbah pertanian banyak digunakan di berbagai industri karena sifatnya yang terbarukan, biokompatibel, luas permukaan spesifik, dan kekuatan tarik yang tinggi. Nanokristal selulosa dibuat dari limbah biomassa, yang mengandung banyak selulosa. Limbah biomassa menghasilkan selulosa melalui proses mekanis seperti hidrolisis asam, hidrolisis enzimatik, dan hidrolisis oksidasi. Oleh karena itu, berbagai sumber limbah pertanian dapat dianggap sebagai limbah. Gambar 2.2 menunjukkan sejumlah sumber limbah pertanian.



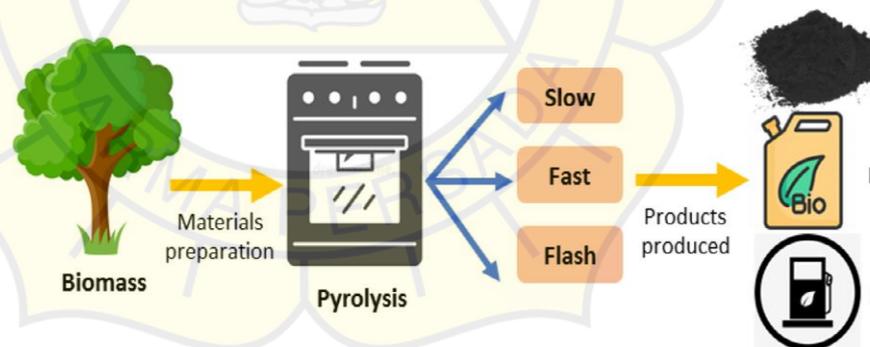
Gambar 2.2 Beberapa sumber limbah biomassa dari pertanian

Limbah biomassa berupa tanah, hutan, dan limbah industri merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensial di Indonesia karena ketersediaan sumber daya alam yang melimpah. Kemungkinan pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku biochar sangat besar sehingga mempunyai nilai tambah yang tinggi dan dapat dimanfaatkan dalam bidang pertanian sebagai bahan pembenah tanah, pencemar dan bahan dalam bidang

pertanian sebagai pembenah tanah, penyerap polutan dan bahan bakar. [15]. Sifat fisikokimia, kinetika degradasi termal, dan komposisi kimia produk yang dihasilkan menunjukkan bahwa limbah biomassa tempurung kelapa, selain diolah menjadi biochar, juga dapat digunakan untuk menghasilkan biofuel melalui pirolisis. [16]. Untuk menghasilkan biochar, limbah tempurung kelapa yang banyak dihasilkan oleh petani dan produsen lokal memengaruhi ekonomi dan lingkungan. Seiring dengan peningkatan pemasukan dan penahanan udara, porositas biochar dan kandungan karbon terus meningkat. Karena itu, biochar dapat digunakan untuk membenah tanah. [17].

## 2.4 Proses Pembuatan Biochar

Pemanasan bahan organik pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen dikenal sebagai proses pirolisis. Proses ini menghasilkan bahan padat bernama biochar dan produk sampingan seperti bio-oil cair dan syngas, yang membantu dalam produksi bioenergi. Menurut suhu dan waktu pemanasan, metode pirolisis terdiri dari pirolisis cepat, pirolisis lambat, dan pirolisis flash. Untuk menghasilkan biochar berkualitas tinggi dari kulit sagu dan tempurung kelapa, parameter proses seperti suhu pirolisis, laju pemanasan, dan waktu tahan harus dioptimalkan, [4].



Gambar 2.3 Konsep umum proses pirolisis, [18].

Ada tiga metode pirolisis yang digunakan dalam pembuatan biochar yaitu [18]:

1. Pirolisis lambat meningkatkan hasil biochar dengan meningkatkan reaksi sekunder, yang dilakukan dengan memperpanjang waktu tinggal uap. Ini memiliki panas rendah (300–550 °C), laju pemanasan lambat (0,1–0,8 °C/s), dan waktu kontak yang lama (5–30 menit atau bahkan 25–35 jam).
2. Proses pirolisis menengah: reaksi ini lebih cepat daripada pirolisis lambat tetapi lebih lambat daripada pirolisis cepat. Ini terjadi antara 450 dan 550

derajat Celcius, lebih cepat daripada pirolisis lambat, membutuhkan waktu sepuluh hingga tiga puluh detik, dan menghasilkan lebih sedikit arang.

3. Tujuan pirolisis kilat adalah untuk memaksimalkan hasil minyak nabati. Pirolisis kilat, yang terjadi antara 800 dan 1000 °C, menghasilkan produk yang mirip dengan pirolisis cepat; tanda-tandanya adalah suhu tinggi, pemanasan cepat (lebih dari 1000 °C/s), dan waktu kontak singkat (kurang dari 0,5 detik).

Tiga jalur dapat digunakan untuk mengkarakterisasi konversi langsung biomassa selama proses pirolisis: produksi arang, depolimerisasi, dan fragmentasi, [18].

Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. **Penyiapan Reaktor Pirolisis:** Siapkan alat atau reaktor pirolisis. Reaktor bisa berupa drum logam atau alat khusus yang dirancang untuk pirolisis.
  - b. **Memasukkan Tempurung Kelapa:** Masukkan potongan tempurung kelapa ke dalam reaktor. Jangan terlalu penuh untuk memastikan aliran panas yang merata.
  - c. **Pemanasan:** Panaskan reaktor hingga mencapai suhu sekitar 300-500°C. Proses pemanasan ini bisa menggunakan kayu bakar, gas, atau sumber panas lainnya.
  - d. **Kontrol Suhu dan Waktu:** Pertahankan suhu dan pastikan proses berlangsung dalam kondisi minim oksigen. Waktu pirolisis bervariasi tergantung pada jumlah dan jenis bahan baku, biasanya berlangsung antara 2-6 jam.
  - e. **Pendinginan:** Setelah proses pirolisis selesai, biarkan reaktor mendingin sebelum membuka. Proses pendinginan bisa berlangsung selama beberapa jam hingga semalam.
4. **Proses pengeluaran dan Penyimpanan**
    - a. **Pengeluaran Biochar:** Setelah dingin, keluarkan biochar dari reaktor. Gunakan alat pelindung seperti sarung tangan dan masker untuk menghindari paparan debu karbon.

- b. Pengayakan: Ayak biochar untuk memisahkan partikel besar dan halus. Partikel besar bisa dihancurkan lagi jika diperlukan.
- c. Penyimpanan: Simpan biochar dalam wadah tertutup untuk menjaga kualitasnya dan menghindari kontaminasi.

5. Penggunaan dan Aplikasi

- a. Aktivasi Biochar (Opsional): Untuk beberapa aplikasi, biochar bisa diaktifkan dengan cara mencampurnya dengan bahan lain seperti pupuk atau kompos.
- b. Aplikasi di Pertanian: Biochar bisa digunakan sebagai amendemen tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah, retensi air, dan struktur tanah.
- c. Penggunaan Lainnya: Selain untuk pertanian, biochar juga bisa digunakan untuk penyaringan air, bahan bakar alternatif, atau sebagai bahan baku industri.



Gambar 2.4 Produksi biochar yang direkayasa (bio) (sebuah pendekatan remediasi terpadu), [19].

Rekayasa atau modifikasi biochar (yang berasal dari bahan baku biologis) dengan menggunakan prinsip-prinsip biologi dan alat rekayasa dapat disebut sebagai hasil rekayasa biochar. Biochar yang diproduksi secara besar-besaran juga disebut sebagai biochar rekayasa. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah menggabungkan berbagai pendekatan untuk mengatasi kekurangan dari pendekatan tertentu sambil meningkatkan kinerja remediasi, [19].

#### 2.4.1 Bahan Pembuatan Biochar

Kelapa adalah tanaman pohon yang sangat disukai yang menghasilkan berbagai macam produk untuk kebutuhan rumah tangga dan bisnis. Di antara 93 negara terbesar yang membudidayakan kelapa di dunia, Indonesia mengalahkan India dan Filipina, [20]. Industri tempurung kelapa dan kulit sagu menghasilkan biomassa dalam jumlah besar, yang dapat digunakan untuk membuat biochar. Kedua jenis limbah ini banyak diproduksi di wilayah tropis dan subtropis, terutama di Asia Tenggara. [1] Sangat penting untuk memanfaatkan dengan baik tempurung kelapa, yang banyak diproduksi di negara-negara tropis. Banyak kali, limbah biomassa tempurung kelapa diubah menjadi arang melalui proses termokimia, [21].



Gambar 2.5 Limbah kelapa dihasilkan setelah pemanenan dan pemanfaatan buah kelapa [22].

Hanya sekitar 40% dari biomassa tempurung kelapa yang digunakan di Indonesia, limbah kelapa masih sangat berharga jika belum diubah menjadi biochar atau bentuk lain yang bernilai ekonomi. Biomassa kelapa mengandung struktur polimer yang kaku seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin, dan menghasilkan emisi karbon yang rendah. [22].

Tanaman sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) adalah tanaman yang sangat penting secara sosial dan ekonomi di Asia Tenggara dan di Malaysia; lebih dari 90% sagu ditanam di negara bagian Sarawak, yang merupakan salah satu eksportir sagu terbesar di dunia. Tanaman ini tumbuh dengan baik di dataran rendah tropis yang lembab hingga ketinggian 700 m dan memberikan banyak potensi untuk meningkatkan ketahanan pangan di tempat tanaman mereka. [23].



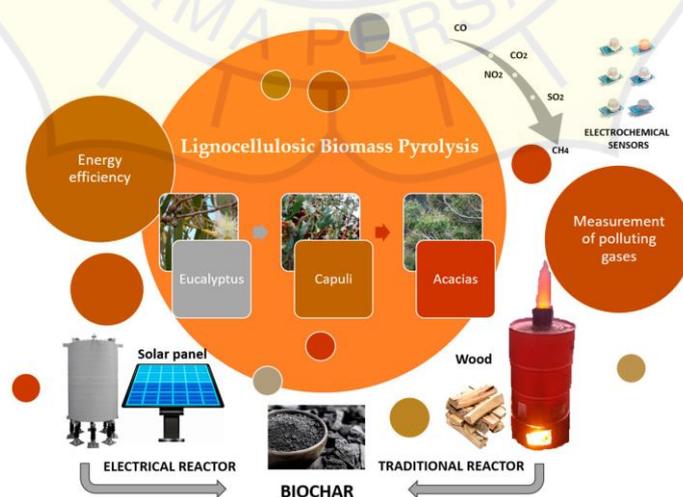
(a) Pohon sagu dari penelitian lapangan (b) Proses tradisional selama waktu panen (c) Pencucian tradisional dan memurnikan (d) Pati kering

Gambar 2.6 (a) Pohon sagu di lapangan. (b) Pengupasan dan pengupasan kulit kayu secara tradisional. (c) Mencuci, memurnikan, dan mengayak untuk mendapatkan pati. (d) Tepung sagu kering siap digunakan [24].

Dengan mengubah limbah kulit sagu menjadi biochar, biomasa ini dapat digunakan untuk membuat produk yang memiliki nilai tambahan. Karena masih sedikit penelitian yang dilakukan tentang masalah ini, mengubah ampas sagu menjadi biochar menjadi subjek penelitian yang menarik, [25].

#### 2.4.2 Ketersediaan Teknologi untuk Pembuatan Biochar

Berbagai teknologi yang digunakan dalam pembuatan biochar telah berkembang pesat dan tersedia dalam berbagai skala, mulai dari industri kecil hingga skala besar. Gambar 2.7 adalah beberapa teknologi yang paling umum digunakan dalam pembuatan biochar:



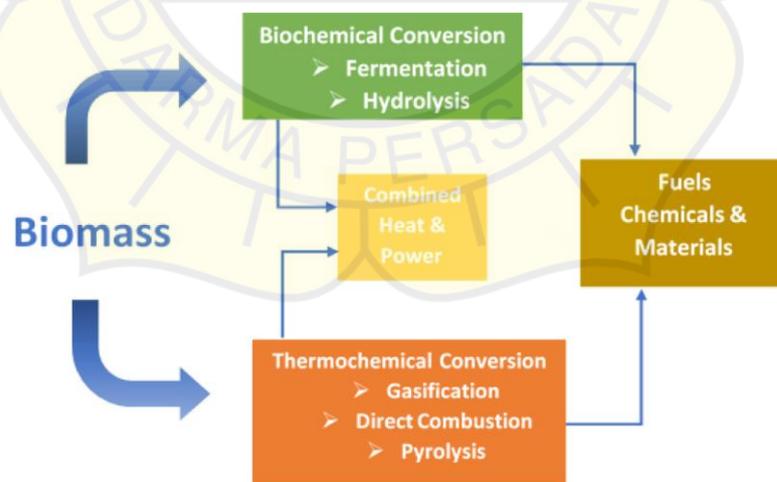
Gambar 2.7 Pembuatan biochar melalui pirolisis [26].

Jenis reaktor yang digunakan (listrik dan reaktor tradisional), jenis biomassa yang digunakan (eucalyptus *Eucalyptus globulus*, capuli (*Prunus serotina*), dan akasia (*Acacia sp.*), dan gas pencemar yang diukur (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>) [26].

Pertama, oven dipanaskan selama sepuluh menit sampai suhunya mencapai 330 derajat Celcius. Peralatan penganalisis kualitas daya terhubung ke umpan reaktor untuk mengumpulkan informasi tentang konsumsi daya. Proses pirolisis berlangsung selama empat jam pada suhu 330 derajat Celcius. (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7)

### 2.4.3 Teknologi Konversi ke Biomassa ke Biochar

Konversi biokimia, pembakaran, gasifikasi, dan pirolisis adalah beberapa cara biologis dan termokimia untuk memanfaatkan biomassa. Proses transformasi biokimia melibatkan hidrolisis enzim dan pencernaan mikroba untuk mengubah gula dari biomassa lignoselulosa menjadi etanol. Proses pretreatment yang kompleks membutuhkan waktu lebih lama dan menghasilkan rendemen etanol yang rendah. Proses gasifikasi dan pirolisis mengubah biomassa padat menjadi berbagai produk kimia, sedangkan pembakaran mengubah biomassa menjadi energi panas untuk tujuan lain, [22].



Gambar 2.8 Metode konversi biomassa menjadi energi dan bahan kimia, [22]

Konversi biomassa memiliki beberapa manfaat, seperti nol emisi CO<sub>2</sub>, rendahnya emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> dibandingkan bahan bakar fosil. Namun

pembakaran mempunyai dampak negatif yang tinggi terhadap lingkungan dibandingkan dengan gasifikasi dan pirolisis.

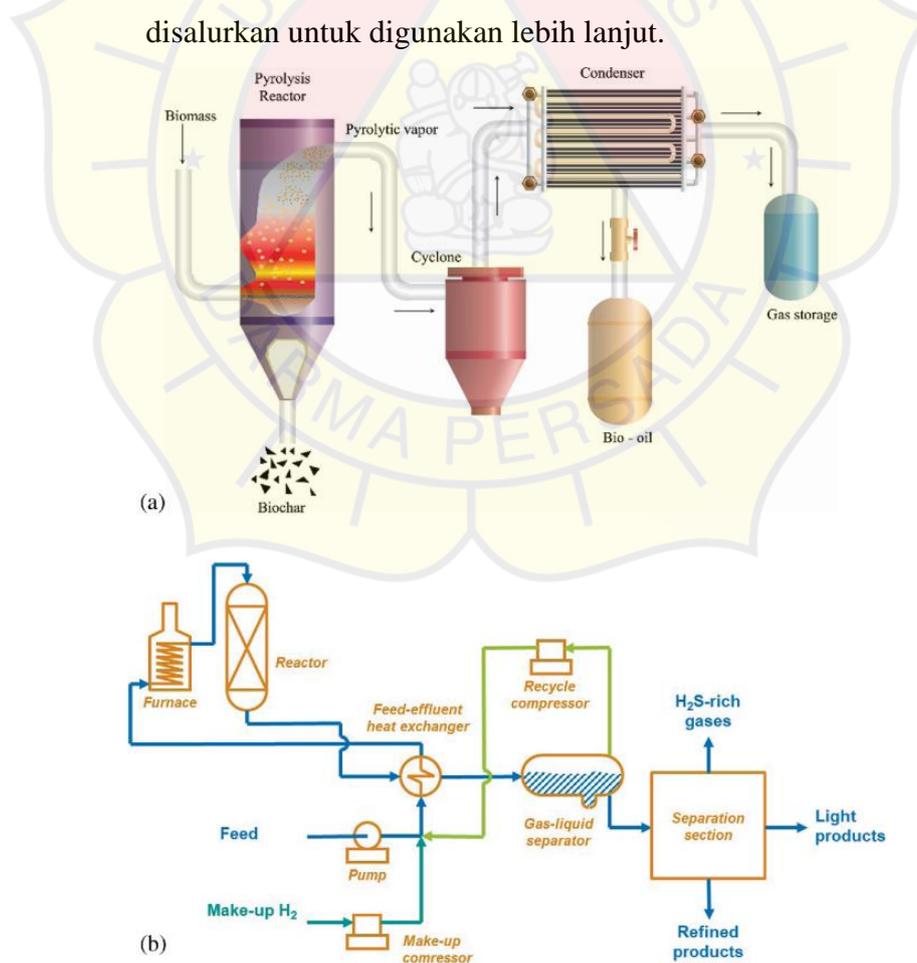
### **Metode Termal Konvensional untuk Konversi Bahan Baku menjadi Bahan Berkarbon [13].**

- a) Pirolisis adalah proses termokimia di mana bahan organik terurai dalam kondisi hampir tanpa oksigen pada suhu tinggi (biasanya 400–800 °C). Tiga jenis produk utama dihasilkan dari proses ini: gas, cairan (bio-oil), dan padatan (char atau biochar). Bio-oil, juga dikenal sebagai minyak atau cairan pirolisis, adalah cairan berwarna coklat tua yang mengandung berbagai jenis elemen beroksigen dan digunakan sebagai bahan bakar atau kimia, [5].

Pada gambar 2.8 menunjukkan diagram skema pirolisis biomassa menjadi biochar dan bio-oil:

- 1) Bahan Baku Biomassa: Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku bisa berupa kayu, limbah pertanian, atau material organik lainnya.
- 2) Pengeringan: Biomassa biasanya harus dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar airnya, sehingga proses pirolisis bisa berlangsung lebih efisien.
- 3) Reaktor Pirolisis: Biomassa yang sudah kering dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Reaktor ini dipanaskan hingga suhu yang diperlukan (biasanya antara 400-600 °C). Pemanasan ini dilakukan tanpa adanya oksigen untuk menghindari pembakaran biomassa.
- 4) Pemecahan Termal: Dalam reaktor, biomassa mengalami pemecahan termal. Struktur kimianya dipecah menjadi komponen yang lebih kecil. Proses ini menghasilkan tiga produk utama:
  - ❖ Biochar: Padatan karbon yang tertinggal setelah pirolisis. Biochar ini bisa digunakan sebagai amandemen tanah untuk meningkatkan kesuburan atau sebagai penyerap polutan.
  - ❖ Bio-oil: Cairan kompleks yang mengandung berbagai senyawa kimia organik. Bio-oil dapat diproses lebih lanjut untuk menghasilkan bahan bakar atau bahan kimia berharga.

- ❖ Gas Pirolisis: Gas yang terbentuk selama proses pirolisis. Gas ini biasanya terdiri dari karbon monoksida, hidrogen, metana, dan berbagai senyawa volatil lainnya. Gas ini bisa digunakan sebagai sumber energi untuk pemanasan reaktor pirolisis atau untuk keperluan lain.
- 5) Kondensasi: Gas pirolisis yang keluar dari reaktor biasanya didinginkan untuk memisahkan bio-oil dari fase gas. Proses ini dilakukan dalam kondensor.
- 6) Pemurnian: Bio-oil dan gas yang dihasilkan mungkin memerlukan pemurnian lebih lanjut untuk menghilangkan kotoran atau senyawa yang tidak diinginkan.
- 7) Pengumpulan Produk: Setelah proses pemurnian, biochar dikumpulkan sebagai produk padat, sementara bio-oil disimpan dalam tangki penyimpanan, dan gas pirolisis yang tidak terkondensasi dapat disalurkan untuk digunakan lebih lanjut.



Gambar 2.9 Gambaran visual dari diagram skema pirolisis biomassa:

- Biomassa mengalami pengeringan sebelum masuk ke reaktor pirolisis.
  - Di reaktor pirolisis, biomassa dipanaskan hingga menghasilkan biochar, bio-oil, dan gas pirolisis.
  - Biochar dikumpulkan langsung dari reaktor.
  - Gas pirolisis didinginkan di kondensor untuk memisahkan bio-oil dari gas.
  - Bio-oil disimpan dalam tangki, sedangkan gas pirolisis dapat digunakan sebagai sumber energi.
- b) **Karbonisasi hidrotermal (Hydrothermal Carbonization, HTC)** adalah proses termokimia yang mengubah biomassa basah menjadi hydrochar, bahan padat yang kaya karbon. Ini terjadi dalam air panas di bawah tekanan tinggi, biasanya pada suhu 180 hingga 250 derajat Celcius dan tekanan autogenus antara 10 dan 40 bar, tanpa memerlukan pengeringan awal biomassa.
- c) **Gasifikasi** adalah proses pembakaran parsial di mana biomassa dibakar sebagian pada suhu yang lebih tinggi (antara 600 dan 1200 derajat Celcius) dengan waktu retensi 10–20 detik, [1].
- d) **Torefaksi** adalah proses termokimia di mana biomassa dipanaskan dalam kondisi atmosfer yang hampir tanpa oksigen pada suhu antara 200 dan 300 derajat Celcius.

## 2.5 Kelompok Kajian Biochar dalam tiga perspektif

Tiga perspektif tentang Kelompok Kajian Biochar: Teknik, Pertanian, dan Material. Mereka berfokus pada penelitian dan pengembangan biochar, bahan arang yang dihasilkan dari pirolisis biomassa.

### 1. Biochar dalam perspektif keteknikan

Biochar dibuat melalui proses pirolisis, yang merupakan pemanasan biomassa dalam kondisi tanpa oksigen. Proses ini membutuhkan pengetahuan teknik yang mendalam mengenai:

- **Desain dan Optimasi Reaktor Pirolisis:** Menentukan parameter proses yang optimal seperti suhu, waktu tinggal, dan kecepatan pemanasan.
- **Pengendalian Emisi:** Teknologi untuk mengendalikan emisi gas yang dihasilkan selama proses pirolisis.
- **Skalabilitas Produksi:** Mengembangkan teknologi yang bisa diaplikasikan dari skala laboratorium hingga skala industri.

Kajian Biochar dalam perspektif keteknikan mencakup beberapa proses yang saling berkaitan.

#### 1. Perspektif Pembuatan (Manufacturing Perspective):

- **Proses Produksi:** Dalam konteks keteknikan, biochar diproduksi melalui pirolisis, suatu proses termal di mana material organik seperti biomassa atau limbah pertanian dipanaskan dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan oksigen yang sangat terbatas.
- **Pemilihan Bahan Baku:** Perspektif ini mempertimbangkan jenis biomassa yang digunakan untuk menghasilkan biochar, serta parameter pirolisis seperti suhu, tekanan, dan waktu retensi. Pemilihan bahan baku dan kontrol proses produksi sangat penting untuk mencapai biochar dengan karakteristik yang diinginkan.

#### 2. Perspektif Aplikasi Tanah (Soil Application Perspective):

- **Manfaat Agronomis:** Dari sudut pandang keteknikan, biochar dapat diterapkan pada tanah untuk meningkatkan struktur tanah, retensi air, dan kapasitas tukar kation.
- **Pengaruh pH Tanah:** Biochar juga dapat mempengaruhi pH tanah. Sebagai contoh, biochar yang dihasilkan dari biomassa dengan kandungan mineral tinggi dapat memberikan efek pengasaman pada tanah.

#### 3. Perspektif Lingkungan dan Keberlanjutan (Environmental and Sustainability Perspective):

- **Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca:** Biochar dapat memainkan peran dalam mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca melalui proses pirolisis

yang dapat mengubah biomassa menjadi bentuk yang lebih stabil secara karbon (seperti biochar) daripada jika dibakar secara langsung.

- **Manajemen Limbah Organik:** Penerapan biochar juga dapat membantu dalam manajemen limbah organik.

## **2. Biochar dalam perspektif pertanian**

Kelompok Kajian Biochar dalam tiga perspektif, khususnya Biochar dalam perspektif pertanian:

### **1. Peningkatan Fertilitas Tanah:**

- **Penyuburan Tanah:** Biochar dapat digunakan sebagai amelioran tanah yang meningkatkan kesuburan dan struktur tanah. Biochar memiliki kapasitas tukar kation yang baik, yang memungkinkan peningkatan retensi unsur hara dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.
- **Meningkatkan Penyediaan Air:** Biochar juga dapat meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan air.

### **2. Pengelolaan Karbon Tanah:**

- **Penyimpanan Karbon:** Biochar berfungsi sebagai penyimpanan karbon jangka panjang karena sifatnya yang stabil dan resisten terhadap dekomposisi mikroba.
- **Pemulihan Tanah Tercemar:** Biochar juga dapat digunakan untuk mengurangi risiko pencemaran tanah oleh logam berat dan senyawa kimia beracun.

### **3. Pertanian Berkelanjutan dan Adaptasi Perubahan Iklim:**

**Ketahanan Tanaman:** Penerapan biochar dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, seperti suhu ekstrem, kekeringan, atau banjir. Biochar dapat membantu menciptakan kondisi tanah yang lebih stabil dan mendukung sistem pertanian yang lebih tangguh terhadap perubahan iklim.

### 3. Biochar dalam perspektif ilmu materia (material science)

Kelompok Kajian Biochar dalam tiga perspektif, khususnya Biochar dalam perspektif ilmu material (material science):

#### 1. Karakterisasi Material Biochar:

- ✓ Struktur Mikro dan Meso: Ilmu material memperhatikan struktur internal biochar pada tingkat mikro dan meso. Ini mencakup analisis morfologi biochar, seperti luas permukaan, porositas, dan ukuran pori.
- ✓ Komposisi Kimia: Analisis komposisi kimia biochar melibatkan identifikasi dan kuantifikasi unsur-unsur yang terkandung di dalamnya.

#### 2. Pengembangan Material Biochar yang Terkendali:

- ✓ Pemrosesan dan Modifikasi: Dalam ilmu material, fokus diberikan pada pengembangan teknik pemrosesan biochar yang terkendali untuk mencapai sifat-sifat tertentu.
- ✓ Integrasi dengan Material Lain: Biochar dapat diintegrasikan dengan material lain, seperti polimer atau nanomaterial, untuk menciptakan material komposit dengan sifat-sifat unik.

#### 3. Pemahaman Mekanisme Interaksi dengan Lingkungan:

- ✓ Pemrosesan dan Modifikasi: Dalam ilmu material, fokus diberikan pada pengembangan teknik pemrosesan biochar yang terkendali untuk mencapai sifat-sifat tertentu.
- ✓ Integrasi dengan Material Lain: Biochar dapat diintegrasikan dengan material lain, seperti polimer atau nanomaterial, untuk menciptakan material komposit dengan sifat-sifat unik.

#### 2.5.1 Biochar dalam perspektif keteknikan

Kajian Biochar dari tiga perspektif utama, yaitu Biochar dalam perspektif keteknikan. Berikut adalah penjelasan singkat untuk masing-masing perspektif:

1. **Perspektif Pembuatan (Manufacturing Perspective):**

- **Proses Produksi:** Dalam konteks keteknikan, biochar diproduksi melalui pirolisis, suatu proses termal di mana material organik seperti biomassa atau limbah pertanian dipanaskan dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan oksigen yang sangat terbatas.
- **Pemilihan Bahan Baku:** Perspektif ini mempertimbangkan jenis biomassa yang digunakan untuk menghasilkan biochar, serta parameter pirolisis seperti suhu, tekanan, dan waktu retensi. Pemilihan bahan baku dan kontrol proses produksi sangat penting untuk mencapai biochar dengan karakteristik yang diinginkan.

3. **Perspektif Aplikasi Tanah (Soil Application Perspective):**

- **Manfaat Agronomis:** Dari sudut pandang keteknikan, biochar dapat diterapkan pada tanah untuk meningkatkan struktur tanah, retensi air, dan kapasitas tukar kation.
- **Pengaruh pH Tanah:** Biochar juga dapat mempengaruhi pH tanah. Sebagai contoh, biochar yang dihasilkan dari biomassa dengan kandungan mineral tinggi dapat memberikan efek pengasaman pada tanah.

4. **Perspektif Lingkungan dan Keberlanjutan (Environmental and Sustainability Perspective):**

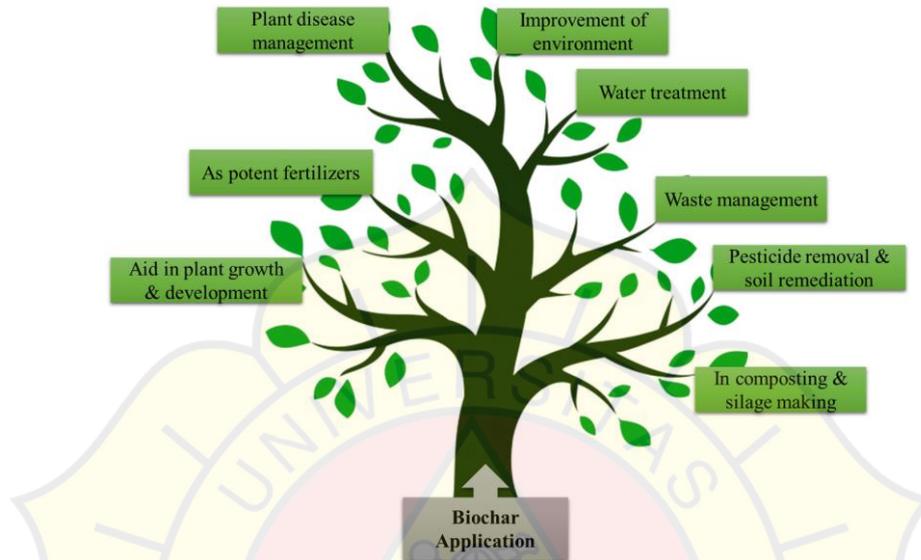
- **Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca:** Biochar dapat memainkan peran dalam mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca melalui proses pirolisis yang dapat mengubah biomassa menjadi bentuk yang lebih stabil secara karbon (seperti biochar) daripada jika dibakar secara langsung.

Manajemen Limbah Organik: Penerapan biochar juga dapat membantu dalam manajemen limbah organik.

**2.5.2 Biochar dalam perspektif pertanian**

Biochar adalah material yang memiliki kandungan karbon yang tinggi yang dihasilkan dari pirolisis biomassa seperti kulit sagu dan tempurung kelapa dalam

kondisi oksigen rendah, yang dapat digunakan dalam pertanian untuk meningkatkan kesuburan tanah dan retensi air. Salah satu manfaat utama biochar adalah kemampuan untuk menekan mikroorganisme atau zat biologi yang dapat menyebabkan penyakit tanaman dan memperkuat mekanisme pertahanan tanam. [26].



Gambar 2.10 Berbagai macam penerapan biochar di bidang Pertanian [26].

Karena sifat-sifatnya yang membantu tanah, konsorsium mikroba, dan tanaman, biochar banyak digunakan di bidang pertanian.

### 1. Biochar dan Penekanan Patogen Tanaman

Selain itu, biochar membantu tanaman mengatasi stres yang disebabkan oleh panas, kekeringan, penyakit, dan polusi. Biochar menawarkan habitat bagi mikroba di tanah dan memiliki kemampuan untuk secara langsung membunuh patogen tanaman melalui berbagai cara, [3].

### 2. Peningkatan Kesuburan Tanah dan Kesehatan Mikrobioma:

Biochar memperbaiki struktur tanah dan menyediakan habitat yang lebih baik untuk mikroorganisme bermanfaat seperti bakteri dan jamur. Mikroorganisme ini dapat bersaing dengan patogen untuk sumber daya dan ruang hidup, mengurangi infeksi patogen pada tanaman.

### 3. Peningkatan Ketersediaan Nutrisi:

Biochar meningkatkan ketersediaan nutrisi esensial bagi tanaman, sehingga tanaman menjadi lebih sehat dan memiliki kemampuan lebih baik untuk melawan infeksi patogen.

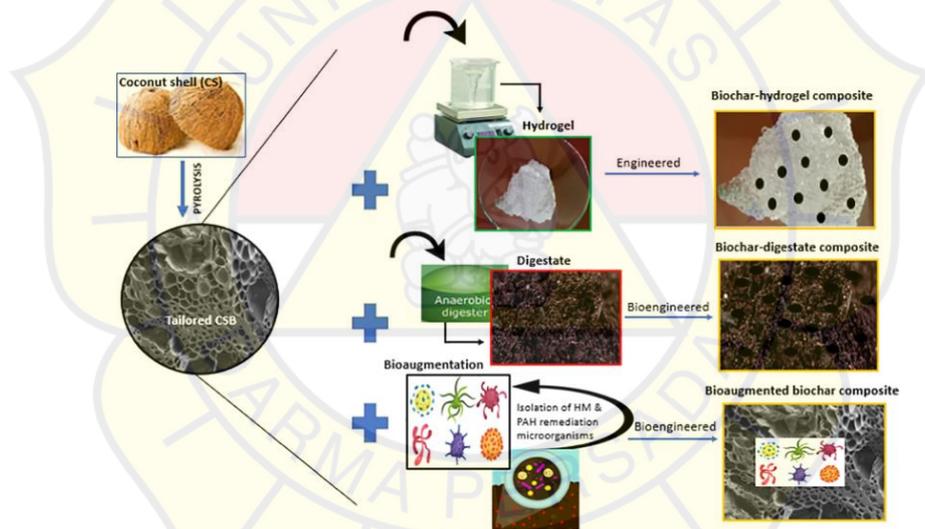
4. **Induksi Resistensi Sistemik:**

Biochar memiliki kemampuan untuk memicu mekanisme pertahanan tanaman yang dikenal sebagai resistensi sistemik terinduksi (ISR). ISR meningkatkan produksi senyawa pertahanan alami tanaman, seperti fitoaleksin dan enzim pengurai dinding sel patogen.

5. **Adsorpsi Senyawa Beracun:**

Biochar mengurangi kerusakan pada tanaman karena dapat menyerap senyawa beracun yang dihasilkan oleh patogen.

Keuntungan utama biochar sebagai bioadsorben adalah aplikasi remediasi yang lebih baik. Biochar juga digunakan sebagai kondisioner tanah, meningkatkan kualitas tanah, kesuburan, dan aktivitas mikroba. Karena biochar dapat menyerap gas rumah kaca seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O, produksi biochar dapat membantu mengurangi perubahan iklim. Ini ditunjukkan pada gambar di bawah, [19].



Gambar 2.11 Produksi biochar yang direkayasa (bio) (pendekatan remediasi terpadu), [19].

Biochar merupakan sumber daya yang menjanjikan untuk teknologi lingkungan yang digunakan untuk pengolahan kontaminan air, karena biochar memiliki yang mendalam di untuk diaplikasikan pada bidang pertanian karena sifat-sifatnya yang memiliki efek positif langsung pada tanah, konsorsium mikroba dan juga tanaman, [26] . Sifat biochar yang memiliki porositas dan kemampuan untuk mengalami oksidasi alami yang mengarah pada pembentukan senyawa organik fungsional membuatnya menjadi pilihan yang sempurna untuk pengolahan air, pengelolaan pestisida, pupuk pelepasan terkendali, pengelolaan limbah, dll. Selain

itu, biochar juga mempunyai kapasitas retensi hara dan nutrisi membuatnya menjadi pupuk yang sempurna.

### **2.5.3 Biochar dalam perspektif ilmu materia (material science)**

Biochar adalah bentuk arang yang dihasilkan melalui pirolisis bahan organik dalam kondisi sedikit atau tanpa oksigen. Dari perspektif ilmu material (material science), biochar memiliki sejumlah sifat fisik dan kimia yang menjadikannya bahan yang menarik untuk berbagai aplikasi, termasuk peningkatan kualitas tanah, penyerapan polutan, dan penyimpanan karbon.

## **2.6 Pemanfaatan biochar**

Pemanfaatan biochar sebagai perubahan pengelolaan lingkungan telah menjadi katalisator antusiasme global untuk memajukan teknologi produksi biochar dan pengelolaannya. Meskipun penelitian dan pengembangan biochar untuk pengelolaan lingkungan hidup dalam skala global merupakan perkembangan yang baru [27].

Pemanfaatan biochar:

1. **Peningkatan Kualitas Tanah:** Biochar dapat meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan kapasitas tukar kation (CEC), retensi air, dan aerasi tanah. Ini membantu dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia.
2. **Pengelolaan Limbah:** Proses produksi biochar memungkinkan pemanfaatan limbah organik seperti sisa-sisa tanaman, kotoran ternak, dan residu pertanian lainnya. Ini membantu mengurangi volume limbah yang harus dikelola dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari dekomposisi limbah tersebut.
3. **Pengurangan Emisi Karbon:** Biochar dapat berperan dalam mitigasi perubahan iklim dengan menyimpan karbon dalam bentuk yang stabil di dalam tanah untuk jangka waktu yang lama. Ini membantu mengurangi jumlah karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer.
4. **Pembersihan Lingkungan:** Biochar memiliki kemampuan untuk menyerap polutan seperti logam berat dan senyawa organik berbahaya

dari tanah dan air. Hal ini membuat biochar berguna dalam aplikasi remediasi tanah yang terkontaminasi.

5. **Energi Terbarukan:** Produksi biochar melalui pirolisis juga menghasilkan produk sampingan berupa gas dan minyak pirolisis yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan.
6. **Teknologi Material:** Biochar juga dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam komposit polimer, meningkatkan sifat mekanis dan termal dari bahan tersebut. Selain itu, biochar dapat digunakan dalam produksi karbon aktif untuk aplikasi filtrasi dan adsorpsi.

Pemanfaatan biochar memiliki potensi besar dalam berbagai aplikasi teknis, dari pertanian hingga pengelolaan lingkungan dan energi terbarukan, membuatnya menjadi solusi multifungsional yang mendukung keberlanjutan.

### 2.6.1 Pemanfaatan biochar dalam bidang keteknikan

Biochar adalah arang yang dibuat dari bahan organik seperti limbah pertanian dan kehutanan melalui proses pirolisis, yaitu pemanasan bahan organik dalam kondisi minim oksigen. Dalam proses ini, biochar digunakan untuk berbagai tujuan keteknikan, seperti:

1. Berdasarkan kandungannya, biochar mempunyai potensi yang tinggi sebagai bahan aditif pada semen. Dengan mengubah biomassa menjadi biochar akan membantu penyerapan dan penurunan karbon kemungkinan emisi gas rumah kaca, [28]. Transformasi biomassa menjadi biochar akan membantu penyerapan dan penurunan karbon .
2. Pengelolaan Limbah dan Remediasi Lingkungan, [29].
  - ✓ Adsorpsi Polutan: Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi dan porositas yang baik, sehingga efektif dalam mengadsorpsi polutan seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik.
  - ✓ Remediasi Tanah Terkontaminasi: Biochar dapat digunakan untuk memperbaiki tanah yang terkontaminasi oleh bahan kimia berbahaya dengan mengikat dan menstabilkan polutan.
3. Energi Terbarukan

- ✓ Produksi Bioenergi: Pirolisis biomassa menghasilkan biochar, bio-oil, dan syngas. Bio-oil dan syngas dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan.
- ✓ Penyimpanan Energi: Penelitian menunjukkan bahwa biochar bisa digunakan dalam superkapasitor dan baterai sebagai bahan elektroda karena konduktivitas listriknya yang baik dan stabilitas kimianya.

#### 4. Penggunaan dalam Material Bangunan

**Bahan Komposit:** Biochar dapat digunakan sebagai filler dalam bahan komposit polimer, yang meningkatkan kekuatan mekanik dan stabilitas termal bahan tersebut.

**Bahan Konstruksi:** Penambahan biochar ke dalam beton atau bahan konstruksi lainnya dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap retak.

### **2.6.2 Pemanfaatan biochar dalam bidang pertanian**

Dalam bidang pertanian, biochar dari tempurung kelapa dapat digunakan untuk meningkatkan produksi kakao [30]. Menggabungkan biochar dengan biofilter meningkatkan kemampuan adsorpsinya dan meningkatkan kemampuan untuk remediasi lingkungan, [31]. Biofilter adalah sistem pemurnian yang menggunakan mikroorganisme untuk menghilangkan kontaminan dari udara atau air. Biofilter memanfaatkan proses biologis alami untuk mengurai polutan organik dan anorganik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan kurang berbahaya. Biofilter banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk pengolahan air limbah, pengolahan gas buang, dan pengolahan udara dalam ruangan, [32].

### **2.6.3 Pemanfaatan biochar dalam bidang ilmu materia**

Salah satu penyebab utama emisi CO<sub>2</sub> adalah peningkatan produksi semen di industri konstruksi dan peningkatan volume limbah yang dihasilkan oleh industri. Selama beberapa dekade, para pemerhati lingkungan hidup berusaha meyakinkan para pembangun dan peneliti untuk menemukan solusi berkelanjutan untuk masalah yang disebutkan sebelumnya. Untuk memenuhi kebutuhan bahan konstruksi, fokus

utama adalah menemukan limbah. Karena penyerapan karbon, konduktivitas termal yang rendah, stabilitas kimia, dan sifat mudah terbakar yang rendah, biochar telah mendapat perhatian baru-baru ini karena berbagai keuntungan lingkungan dan teknologinya. Biochar dikenal sebagai pengganti yang baik untuk semen atau agregat ringan di bahan bangunan. Penambahan biochar dapat mempercepat hidrasi semen dan mengurangi retak susut pada mortar [33].

Pemanfaatan biochar dari perspektif aplikasi tanah adalah salah satu area penting dalam penelitian dan praktik agronomi. Berikut adalah beberapa aspek utama dari pemanfaatan biochar dalam perspektif aplikasi tanah:

1. Peningkatan Struktur Tanah:

Biochar sebagai Amelioran Tanah: Biochar digunakan untuk meningkatkan struktur tanah, terutama pada tanah yang memiliki tekstur berat atau tanah liat.

2. Penyediaan Nutrisi untuk Tanaman:

Kapasitas Tukar Kation (CTK): Biochar memiliki kapasitas tukar kation yang baik, yang berarti dapat menahan dan melepaskan nutrisi ke tanaman

3. Retensi Air dan Pengurangan Kebutuhan Irigasi:

Kemampuan Retensi Air: Biochar memiliki sifat yang meningkatkan retensi air tanah. Ini membantu menjaga kelembaban tanah dan mengurangi kebutuhan irigasi

4. Penyesuaian pH Tanah:

Pengaruh terhadap pH Tanah: Biochar dapat mempengaruhi pH tanah tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan.

5. Pengendalian Pencemaran Tanah:

Adsorpsi Logam Berat dan Zat Kimia: Biochar memiliki kemampuan untuk mengikat logam berat dan zat kimia tertentu, membantu mengurangi risiko pencemaran tanah.

6. Peningkatan Kandungan Karbon Organik Tanah:

Penyimpanan Karbon: Biochar membantu dalam penyimpanan karbon organik tanah.

7. Peningkatan Ketahanan Tanaman Terhadap Stres Lingkungan:

Efek Pada Ketahanan Tanaman: Pemanfaatan biochar dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, seperti suhu ekstrem, kekeringan, atau kelebihan air.

## **2.7 Lembaga Riset atau perguruan tinggi yang terlibat dalam penelitian Biochar**

Beberapa lembaga riset dan perguruan tinggi yang terkenal dan aktif dalam penelitian biochar termasuk:

### **1. International Biochar Initiative (IBI):**

Deskripsi: IBI adalah organisasi global yang fokus pada penelitian, pengembangan, dan penerapan biochar untuk keberlanjutan pertanian dan lingkungan.

### **2. Cornell University - Cornell Biochar Initiative:**

Deskripsi: Cornell University memiliki inisiatif khusus yang berfokus pada penelitian dan pengembangan biochar untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan keberlanjutan pertanian.

Cornell University, sebagai pusat penelitian pertanian utama, menghasilkan berbagai macam bahan baku organik mulai dari biomassa kayu hingga kotoran cair dan limbah hidrolisat alkali dari Cornell College of Veterinary Medicine, [34].

### **3. University of California, Davis - Biochar Research Opportunities:**

Universitas California, Davis, memiliki program penelitian yang berfokus pada penggunaan biochar dalam meningkatkan kesehatan tanah dan keberlanjutan pertanian.

### **4. University of Sydney - Biochar Research Group:**

Grup penelitian biochar di University of Sydney aktif dalam penelitian mengenai dampak biochar pada pertanian dan lingkungan, serta pengembangan teknologi biochar.

### **5. European Biochar Research Network (EUBREN):**

EUBREN adalah jaringan penelitian di Eropa yang membahas aspek-aspek penelitian biochar, memfasilitasi kolaborasi internasional, dan berkontribusi pada pemahaman mendalam mengenai biochar.

**6. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF):**

ICRAF berfokus pada penelitian agroforestri dan keberlanjutan pertanian. Mereka juga terlibat dalam penelitian mengenai peran biochar dalam meningkatkan produktivitas tanah dan mitigasi perubahan iklim.

**7. Australian Biochar Institute:**

Australian Biochar Institute berdedikasi untuk mempromosikan penelitian dan penerapan biochar di Australia. Mereka menyelenggarakan konferensi dan seminar untuk mendukung pertukaran pengetahuan di bidang ini.

**8. Asian Biochar Research Centre (ABRC):**

ABRC berada di bawah naungan Korea Biochar Research Center dan bertujuan untuk memajukan penelitian dan pengembangan biochar di Asia.

Lembaga riset dan perguruan tinggi ini, bersama dengan banyak lainnya di seluruh dunia, berperan penting dalam memajukan pengetahuan tentang biochar dan mendorong penerapannya dalam berbagai bidang. Kolaborasi antar lembaga dan lintas disiplin menjadi kunci dalam memahami potensi penuh biochar untuk keberlanjutan pertanian, lingkungan, dan pengelolaan sumber daya alam.