

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Remediasi

Remediasi adalah proses yang bertujuan untuk menghapus atau membersihkan kontaminan dari lahan atau media yang telah tercemar. Kata "remediasi" sendiri berasal dari istilah "remedial," yang mengacu pada tindakan untuk membersihkan atau memulihkan kondisi tanah dan air yang telah tercemar (Marzuki dkk., 2022). Secara umum, remediasi dapat dilakukan melalui dua metode utama. Pertama, remediasi *in situ*, yaitu pembersihan yang dilakukan langsung di lokasi tercemar tanpa memindahkan material. Kedua, remediasi *ex situ*, di mana media yang terkontaminasi dipindahkan ke lokasi lain yang aman untuk kemudian diproses dan dibersihkan dari kontaminan. Dalam metode *ex situ*, tanah atau air yang tercemar diangkut ke tempat tertentu untuk menjalani proses remediasi lebih lanjut.

Berdasarkan teknik yang digunakan, remediasi terbagi menjadi dua jenis: fitoremediasi dan bioremediasi. Fitoremediasi adalah metode pembersihan lahan dengan memanfaatkan tanaman untuk menyerap atau menetralkan kontaminan. Sementara itu, bioremediasi adalah proses yang melibatkan mikroorganisme untuk menguraikan polutan di lingkungan yang tercemar. Kedua metode ini bertujuan untuk menghilangkan atau menurunkan konsentrasi serta toksisitas polutan, baik dengan memecah kontaminan maupun menghancurkannya, sehingga dampaknya terhadap lingkungan menjadi berkurang atau hilang. (Suharno dkk., 2023).

Ada tiga jenis utama remediasi lingkungan yang dapat dilakukan di lokasi yang tercemar, yaitu remediasi tanah, remediasi air tanah, air permukaan, dan remediasi sedimen.

2.1.1 Remediasi Tanah

Remediasi tanah adalah membersihkan permukaan tanah yang terkontaminasi dapat menimbulkan sejumlah besar resiko dan bahaya terhadap lingkungan dan kehidupan manusia secara langsung, atau masuk ke dalam tanaman pangan dan melalui rantai makanan. Sehingga melakukan remediasi

tanah akan dapat menghilangkan atau mengurangi kontaminan tanah termasuk logam berat, pestisida, dan bahan radioaktif (Arumingtyas dkk., 2024).

2.1.2 Remediasi Air Tanah dan Air Permukaan

Air adalah sumber daya alam yang sangat penting bagi berbagai sistem kehidupan, sehingga kualitasnya perlu dikelola secara hati-hati untuk menjamin keamanan dan kelayakannya bagi beragam kebutuhan. Air tanah adalah air yang terperangkap di bawah lapisan permukaan tanah, umumnya berada dalam akuifer atau terperangkap di lapisan batuan dan tanah. Untuk memanfaatkannya, air tanah ini perlu dipompa agar dapat diakses dan digunakan. Air tanah dapat terkena banyak kontaminan termasuk arsenik, besi, kromium, dan selenium yang dapat masuk ke dalam air sehingga air permukaan yang terkontaminasi, limbah dari pembuangan tanah atau air, tempat pembuangan sampah, pupuk dan pestisida, dan hal-hal yang terbawa udara.

Jika permasalahannya berasal dari permukaan air, hal ini bisa disebabkan oleh tangki septik, tempat pembuangan sampah, penampungan air, sistem pembuangan limbah hasil galian, kebocoran pipa dan tangki penyimpanan, kuburan, kolam penampung air, atau sumur kering. Permasalahan ini di bawah permukaan air dapat disebabkan oleh pembuangan sumur, tambang, sumur terbengkalai, pengembangan air tanah atau penggalian basah.

Air permukaan mengacu pada air dari berbeda-beda terbuka seperti danau, sungai, aliran sungai, dan lahan basah. Jenis air sangat rentan terhadap kontaminan berbagai sumber, beberapa limbah industri, pertanian, dan peternakan merupakan sumber pencemaran yang paling sering ditemui. (Purnawan, 2020).

2.1.3 Remediasi Sedimen

Sedimen merupakan yang terdiri atas tanah liat, oksida terhidrasi, bahan organik atau campuran tanah dan lainnya yang dibawa ke wilayah perairan. Untuk menangani sedimen dengan benar, karakteristik fisik dan kimianya perlu dinilai sebelum menentukan cara terbaik untuk meremediasinya. Teknologi remediasi sedimen dapat menggunakan proses fisik, kimia, dan biologis untuk mengurangi kontaminan atau mengubahnya menjadi kondisi yang tidak terlalu bahaya (Mangk oedihardjo, 2022).

2.2 Kualitas Tanah

Soil Science Society of American, mendefinisikan kualitas tanah sebagai sifat yang melekat pada tanah yang diketahui dari karakteristik tanah atau observasi langsung (seperti kepadatan dan kesuburan). Kualitas tanah secara sederhana disamakan dengan produktivitas tanah. Beberapa sifat fisik, kimia, dan biologi berinteraksi secara kompleks untuk menunjukkan kemampuan potensial tanah pada produksi berkelanjutan.

Kualitas tanah memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan ekosistem dan lingkungan. Beberapa proses penting yang dipengaruhi oleh kualitas tanah meliputi pergerakan air dan nutrisi, penyediaan unsur hara untuk tanaman, pertumbuhan akar, keberlangsungan hidup mikroorganisme tanah, serta respons tanah terhadap pengelolaan. Kualitas tanah yang baik sangat terkait dengan efisiensi penggunaan air, ketersediaan nutrisi, serta kualitas udara dan air. Karena sifatnya yang kompleks, kualitas tanah dapat dievaluasi melalui berbagai indikator fisik, kimia, dan biologi yang mencerminkan perubahan kondisi tanah dan digunakan untuk menilai kesehatannya (Matheus, 2019).

2.3 Pencemaran Tanah

Tanah merupakan komponen penting ekosistem darat dan elemen fundamental lingkungan bagi tempat tinggal manusia dan hewan. Dengan terus berlangsungnya revolusi industri, aktivitas seperti pembuangan atau kebocoran air limbah industri yang tidak terkendali, dan penumpukan buangan yang telah menyebabkan pencemaran tanah yang parah. Tanah dapat secara efektif menahan dampak polutan, namun juga dibatasi oleh kapasitas muatannya. Ada teknik yang dapat digunakan untuk mengurangi konsentrasi polutan di dalam tanah, memperbaiki polutan atau mengubahnya menjadi bahan kimia yang tidak terlalu berbahaya atau tidak beracun, atau membatasi penularannya ke lingkungan. Metode-metode ini secara kolektif disebut teknologi remediasi pencemaran tanah (Qi dkk., 2023).



Gambar 2.1 Pencemaran Tanah

Dalam QS. Al A'raf ayat 58, tanah yang baik digambarkan sebagai tanah yang subur, di mana tanaman dapat tumbuh dengan optimal. Salah satu syarat penting untuk pertumbuhan tanaman adalah ketersediaan media tanam yang berkualitas. Media tanam yang subur menciptakan kondisi ideal bagi tanaman untuk berkembang. Kesuburan tanah ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kandungan mineral, tingkat pH, dan kelembapan. Tanaman yang tumbuh subur di tanah yang berkualitas menjadi sumber rezeki bagi manusia, sebagaimana dijelaskan dalam ayat tersebut (Zuhaida, 2018).

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتَهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا تَكْدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ
لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

Artinya: Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.

2.4 Pestisida

Istilah pestisida berasal dari kata "pest," yang berarti hama, dan "cide," yang berarti membunuh atau racun. Dengan demikian, pestisida dapat diartikan sebagai zat beracun yang digunakan untuk membunuh hama. Pestisida merupakan bahan yang dirancang untuk mengontrol populasi hama yang dapat merugikan manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung (Harahap, 2020). Pestisida adalah senyawa yang bersifat kimia buatan yang digunakan untuk mengendalikan hama tanaman, serangga, rayap, hewan pengerat, dan

jamur di sekitar lingkungan rumah. Pestisida tersedia dalam berbagai bentuk, seperti semprotan, bubuk, kristal, dan cairan. Selain komponen aktif yang menyerang hama, pestisida juga mengandung agen pembawa yang inaktif, yang meskipun tidak beracun bagi hama, dapat berbahaya bagi manusia.



Gambar 2.2 Berbagai Jenis Pestisida

Dampak langsung pestisida terhadap kesehatan mencakup berbagai masalah, seperti iritasi yang terjadi pada mata, hidung, tenggorokan, dan kulit. Selain itu, paparan pestisida juga dapat meningkatkan risiko kanker, menyebabkan kerusakan pada sistem saraf, hati, dan ginjal, serta dalam kasus yang parah, dapat berujung pada kematian. (Richard, 2010).

Tabel 2.1 Pestisida yang Dapat Mengganggu Sistem Hormon dan Reproduksi

Pestisida	Merusak metabolisme steroid	Merusak fungsi tiroid	Berpengaruh terhadap spermatogenesis	Berpengaruh terhadap reproduksi
Atrazin	✓			
Karbofuran	✓			
Linden	✓			
Amitrol		✓		
Beberapa ditiokarbamat (maneb, zineb, mancozeb)		✓	✓	✓
Iosinil		✓		
Metribuzin		✓		
Piretroid		✓	✓	
Trifluralin		✓		
Fungisida			✓	
Glifosat			✓	
Beberapa organofosfat			✓	✓
2,4-D				✓

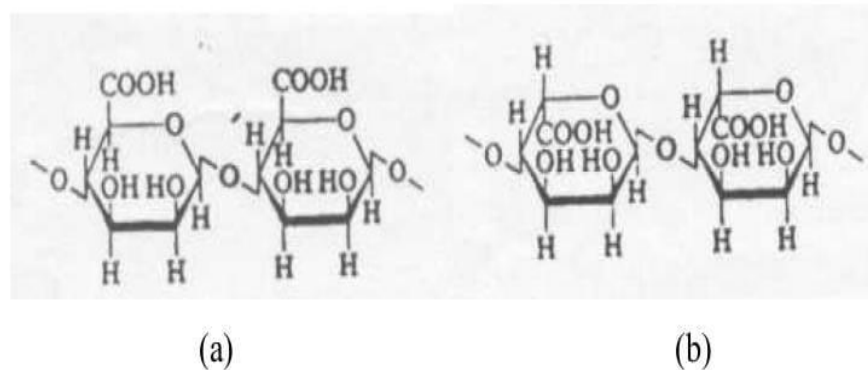
(Sumber: Ardiwinata, 2020)

Salah satu herbisida yang paling umum digunakan adalah glifosat, yang dikenal sebagai herbisida non-selektif yang dapat membunuh hampir semua jenis gulma. Meskipun glifosat efektif dalam mengendalikan gulma, penggunaannya juga menimbulkan dampak buruk yang signifikan. Dampak tersebut mencakup resistensi gulma, di mana beberapa spesies gulma telah beradaptasi dan menjadi kebal terhadap glifosat akibat penggunaan yang berlebihan. Hal ini memaksa petani untuk meningkatkan dosis atau mencari alternatif lain yang mungkin lebih berbahaya. Selain itu, glifosat dapat mencemari tanah dan air, yang berpotensi mengganggu ekosistem dan mengancam kesehatan manusia. Penelitian mengindikasikan adanya keterkaitan paparan glifosat dan peningkatan risiko kanker, terutama limfoma non-Hodgkin, serta potensi gangguan hormonal. Dampak negatif ini menggarisbawahi bahwa meskipun glifosat merupakan alat yang penting dalam pertanian modern, penggunaannya menghadapi tantangan signifikan. Hal ini menekankan perlunya pendekatan yang lebih berkelanjutan dalam pengelolaan hama untuk mengurangi risiko kesehatan dan lingkungan. (Harahap, 2020).

2.5 Sodium Alginat

Alginat adalah kelompok polisakarida yang diekstrak dari rumput laut coklat. Sebagai hidrokoloid, alginat banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai pengental, pembentuk gel, dan stabilizer. Namun, alginat secara alami memiliki beberapa kekurangan, seperti rendahnya kelarutan dan stabilitas larutan yang kurang optimal, serta pembentukan gel yang tidak sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, dalam aplikasinya, perlu dilakukan modifikasi baik pada struktur alginat maupun interaksinya dengan bahan lain untuk meningkatkan kinerjanya. Asam alginat terdiri dari jenis monomer penyusun, yaitu asam D-manuronat dan asam L-guluronat, yang terhubung melalui ikatan kovalen. Rumus molekul alginat adalah $(C_6H_8O_6)_n$, dan senyawa ini dapat ditemukan di semua jenis alga coklat (*Phaeophyta*), di mana ia merupakan salah satu komponen utama dalam penyusun dinding sel. Massa struktur molekul alginat dapat bervariasi, tergantung pada jenis alginat, sumber

bahan baku yang digunakan, serta metode yang diterapkan dalam penyiapan bahan baku.



Gambar 2.3 Bentuk konfigurasi (a) asam D-mannuronat (b) asam L-gulonat
(Sumber: Husni & Budhiyanti, 2021)

Salah satu sifat utama dari sodium alginat, kalium alginat, dan magnesium alginat adalah kemampuannya dalam membentuk gel yang bereaksi dengan ion kalsium. Sumber kalsium yang umum digunakan antara lain kalsium karbonat, kalsium sulfat, kalsium klorida, kalsium fosfat, dan kalsium sitrat. Selain kemampuan untuk membentuk gel, alginat juga berfungsi sebagai pengental (pengikat air), penstabil, dan bahan pembentuk film dalam berbagai aplikasi (Husni & Budhiyanti, 2021).



Gambar 2.4 Sodium Alginat

Penggunaan alginat sangat luas khususnya dari bidang industri. Alginat paling banyak digunakan dalam industri makanan dibanding dengan industri lainnya. Pada industri kosmetik digunakan pada pembuatan shampoo, sabun, lotion, dan cream. Dalam industri farmasi digunakan pada pembuatan stabilizer, suspensi tablet, dan lain sebagainya. Pemanfaatan alginat didasarkan pada

kemampuannya membentuk gel, apabila dilarutkan dalam air dapat menaikkan viskositas larutan (Darmawati dkk., 2023).

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Sodium Alginat

Parameter	Hasil Sodium Alginat	Standar Sodium Alginat
Kadar Air (%)	12,87	≤ 15,00
Kadar Abu (%)	23,03	13,00-27,00
Viskositas (cPs)	75,00	> 27,00
Derajat Putih	71,55	52,80
Rendemen	23,89	> 18,00

(Sumber: Yunizal, 2004)

2.6 Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang paling banyak digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini disebabkan oleh sifatnya sebagai material berpori yang terdiri dari 85-95% karbon. Karbon aktif dihasilkan dari bahan yang mengandung karbon melalui proses pemanasan pada suhu tinggi, yang menghilangkan zat-zat pengotor dan menciptakan struktur pori yang luas, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Karbon aktif memiliki permukaan yang luas sekitar antara 300-3500 m^2/g yang berkaitan dengan struktur pori internalnya, menjadikannya efektif sebagai adsorben (Mukhtar dkk., 2023). Karbon aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa adalah jenis arang yang telah diproses aktivasi menggunakan gas karbon dioksida, uap air, atau bahan kimia lainnya. Proses ini memberikan pori-pori pada karbon aktif, sehingga meningkatkan daya adsorpsinya. Dengan demikian, karbon aktif tempurung kelapa memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk menyerap berbagai kontaminan dan zat-zat lain (Ardiwinata, 2020).

Penggunaan arang aktif menawarkan harapan yang baik dalam mengatasi pencemaran pada permukaan tanah dan air, baik yang disebabkan oleh pencemar organik maupun anorganik. Dengan kemampuannya dalam menyerap berbagai kontaminan, arang aktif dapat berkontribusi secara signifikan dalam proses remediasi lingkungan. Di beberapa negara, arang aktif telah digunakan sebagai penyerap residu pestisida dalam proses penjernihan air, menghasilkan air minum yang bebas dari kontaminasi pestisida. Selain itu, arang aktif juga mampu

mengaktifkan kontaminan pestisida dalam tanah dengan dosis antara 100-400 kg. Dalam konteks tanah, penggunaan arang aktif dapat meningkatkan total kandungan karbon organik serta mengurangi biomassa mikroba, respirasi, dan agregasi. Selain itu, arang aktif juga dapat mempengaruhi pembekuan cahaya pada tanah, karena kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan panas (Ardiwinata, 2020).



Gambar 2.5 Tempurung Kelapa

Karbon aktif memerlukan perlakuan khusus untuk menghasilkan bentuk baru (karbon), yang dapat dihubungkan ayat dalam Al-Qur'an. Di dalam surat Yasin ayat 80, dijelaskan tentang kekuasaan Tuhan dalam menciptakan dan mengubah sesuatu:

الَّذِي جَعَلَ لَكُمْ مِنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِنْهُ تُوقِدُونَ

Artinya: "Tuhan yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu".

Ayat tersebut menegaskan bahwa Allah SWT menciptakan tumbuhan untuk dimanfaatkan oleh umat manusia. Di antara berbagai jenis tumbuhan di bumi, tempurung kelapa adalah salah satu yang punya banyak kegunaan dalam aktivitas, seperti digunakan untuk membuat centong nasi, mainan atau gantungan kunci, asbak, cangkir, lampu meja, dan berbagai kerajinan lainnya. Dalam konteks ilmiah, tempurung kelapa juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar untuk menghasilkan material baru, seperti karbon, graphene, dan turunan sejenisnya.



Gambar 2.6 Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Potensi tempurung kelapa sebagai bahan baku arang aktif dapat dilihat dari sifat-sifat yang dimilikinya, terutama kandungan selulosa dan lignin. Selulosa memberikan struktur yang kuat dan stabil, sedangkan lignin berkontribusi pada ketahanan dan kekuatan bahan. Kombinasi kedua komponen ini memungkinkan tempurung kelapa untuk diolah menjadi arang aktif yang memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi, sehingga efektif dalam menyerap berbagai kontaminan dan zat-zat berbahaya (Rengga, 2020).

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Tempurung Kelapa

Kandungan	Persentase Hasil
Selulosa	26,60%
Lignin	29,40%
Hemiselulosa	12,34%

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif berlangsung dalam tiga tahap, yaitu (Rozanna, 2010):

1) Proses Dehidrasi

Tahap penghilangan kandungan air pada bahan baku. Pada tahap ini, bahan baku, seperti tempurung kelapa, dipanaskan hingga mencapai suhu sekitar 170 °C. Tujuan dari proses ini adalah untuk menurunkan kadar air yang dapat menghambat langkah-langkah selanjutnya dalam pembuatan karbon aktif. Dengan menghilangkan air, bahan baku menjadi lebih siap untuk tahap karbonisasi dan aktivasi, yang akan meningkatkan efisiensi dan kualitas produk akhir.

2) Proses Karbonisasi

Tahap pembakaran bahan baku yang dilakukan dengan menggunakan udara yang sangat terbatas. Proses ini berlangsung pada suhu antara 300 °C hingga 900 °C, tergantung pada tingkat kekerasan bahan baku yang digunakan. Selama karbonisasi, komponen-organik dari bahan baku akan terurai dan menghasilkan arang, sementara sebagian besar air dan zat volatil lainnya akan dihilangkan. Proses ini penting untuk membentuk struktur dasar karbon aktif, yang nantinya akan mengalami tahap aktivasi untuk meningkatkan porositas dan daya adsorpsinya.

3) Proses Aktivasi

Proses aktivasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika.:

a. Proses Aktivasi Kimia

Pada proses aktivasi kimia ini menunjukkan kepada penyertaan material yang digunakan untuk mengetahui reaksi kimia. Selama pemanasan, senyawa kontaminan pada pori-pori menjadi lebih mudah terlepas. Hal ini disebabkan oleh luas permukaan aktif yang bertambah besar dan dapat meningkatkan daya serap karbon aktif.

b. Proses Aktivasi Fisika

Pada proses aktivasi fisika ini, karbon aktif biasanya dipanaskan terlebih di dalam furnace pada suhu 800 °C hingga 900 °C. Ada beberapa bahan baku yang lebih mudah untuk diaktivasi dan diklorinasi terlebih dahulu. Selanjutnya melakukan tahap karbonisasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang telah terklorinasi sehingga melakukan pengaktifasian dengan uap (Deri, 2020).

Tabel 2.4 Syarat Mutu Karbon Aktif Berdasarkan SNI 06-3730-1995

Jenis Uji	Syarat Mutu
Kadar Air	Max. 15%
Kadar Abu	Max. 10%
Zat Mudah Menguap	Max. 25%
Kadar Karbon	Min. 65%

2.7 Metode Karakterisasi

Karakterisasi karbon aktif bertujuan untuk menilai sifat-sifat karbon aktif yang memengaruhi kualitas arang aktif yang dihasilkan. Proses ini melibatkan pengujian berbagai parameter untuk memastikan bahwa karbon aktif memenuhi

standar yang ditetapkan. Kualitas karbon aktif biasanya diuji sesuai dengan standar yang berlaku, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995). Pengujian ini mencakup analisis terhadap berbagai aspek, seperti kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap dan kadar karbon yang meliputi sebagai berikut:

2.7.1 Kadar Air

Kadar air adalah jumlah air yang terkandung dalam bahan, biasanya diukur dalam bentuk persentase dari berat total bahan. Kadar air mempengaruhi proses pemanasan dan kualitas bahan, seperti dalam pembuatan arang atau briket (Irawati Ramli dkk., 2022).

Kadar air dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan: W_1 = Berat sampel sebelum pemanasan (gram)

W_2 = Berat sampel sesudah pemanasan (gram)

2.7.2 Kadar Abu

Kadar abu adalah sisa materi yang tidak terbakar setelah bahan dibakar pada suhu tinggi, dan mengindikasikan jumlah mineral yang terdapat dalam bahan. Kadar abu umumnya digunakan untuk menilai kualitas bahan bakar atau arang.

Kadar abu karbon aktif dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan: w_1 = Berat sampel sebelum pemanasan (gram)

w_2 = Berat sampel sesudah pemanasan (gram)

2.7.3 Analisis Kadar Zat Mudah Menguap (*Volatile Matter*)

Kadar zat mudah menguap adalah jumlah senyawa yang terlepas dalam bentuk gas atau uap saat bahan dipanaskan pada suhu tertentu. Zat mudah menguap ini dapat berupa air, gas, atau senyawa organik lainnya yang mudah teruap.

Kadar zat menguap dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Vol.Matter (\%) = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% - kadar\ air \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan: w_1 = Berat sampel sebelum pemanasan (gram)

w_2 = Berat sampel sesudah pemanasan (gram)

2.7.4 Kadar Karbon

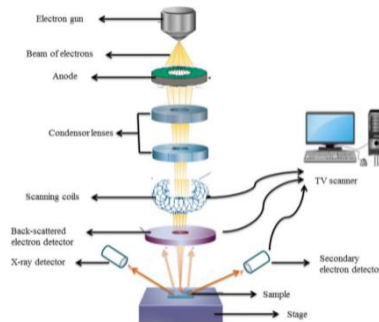
Kadar karbon adalah jumlah karbon yang terkandung dalam sampel, yang mempengaruhi nilai kalor dan kualitas bahan bakar. Pada arang, karbon adalah komponen utama yang menentukan kualitas dan energi yang dihasilkan (Silitonga & Ibrahim, 2020). Kadar karbon dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Kadar\ Karbon (\%) = 100 - (kadar\ zat\ menguap + kadar\ abu)\% \dots\dots\dots(2.4)$$

2.7.5 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Istilah mikroskop berasal dari bahasa Yunani, yaitu *micros* yang berarti kecil dan *skopeo* yang berarti mengamati. Sama seperti mikroskop lainnya, fungsi utama mikroskop elektron pemindaian (SEM) adalah untuk memperbesar fitur atau objek kecil yang tidak terlihat oleh pandangan manusia. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan berkas elektron, bukan cahaya yang digunakan untuk membentuk gambar di mikroskop cahaya optik.

SEM adalah jenis mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar mikrostruktur beresolusi tinggi dari permukaan suatu sampel. Gambar yang dihasilkan SEM memiliki karakteristik tampilan tiga dimensi, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis struktur permukaan sampel. Hasil gambar SEM ditampilkan dalam warna hitam putih. SEM bekerja berdasarkan prinsip difraksi elektron, di mana proses pengukurannya mirip dengan mikroskop optik. Prinsip kerjanya adalah elektron yang ditembakkan akan dibelokkan oleh lensa elektromagnetik di dalam SEM (Yuvaraja dkk., 2016).



Gambar 2.7 Scanning Electron Microscope (SEM)

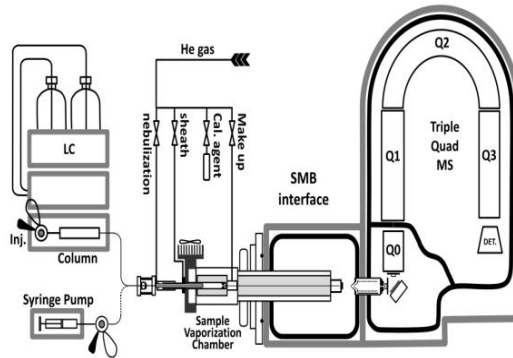
Gambar dihasilkan dengan memindai permukaan sampel menggunakan berkas elektron berenergi tinggi, sehingga alat ini disebut mikroskop elektron pemindaian. Berdasarkan panjang gelombangnya yang lebih kecil, Elektron memiliki kemampuan untuk mengungkap fitur atau detail material dengan tingkat kehalusan yang jauh lebih tinggi dibandingkan cahaya optik. SEM modern mampu memperbesar objek hingga satu juta kali ukuran aslinya, memungkinkan pengamatan detail dengan ukuran yang sangat kecil 1 nm (Hamid, 2023).

Secara singkat, proses pemindaian (scanning) SEM bekerja dengan memfokuskan sinar elektron berenergi antara beberapa ribu eV hingga 50 kV menggunakan satu atau dua lensa magnetik, membentuk spot fokus yang sangat kecil, sekitar 1 nm hingga 5 μm . Sinar ini kemudian melewati beberapa gulungan pemindai (*scanning coils*) di dalam lensa obyektif, yang akan membelokkan sinar dalam pola raster pada area persegi di permukaan sampel. Ketika elektron primer mengenai permukaan sampel, terjadi pancaran inelastis oleh atom-atom sampel tersebut. Melalui penghamburan, sinar elektron primer menyebar dan mengisi volume berbentuk air mata, disebut volume interaksi, yang memanjang dari kurang dari 100 nm hingga sekitar 5 nm dari permukaan. Interaksi dalam wilayah ini menghasilkan emisi elektron sekunder, yang kemudian ditangkap oleh detektor untuk membentuk gambar. Intensitas gambar bergantung pada jumlah elektron sekunder yang mencapai detektor, yang kemudian diubah menjadi sinyal gambar (Zahrul Mufrodi, 2010).

2.7.6 *Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS)*

Liquid Chromatography Mass Spectrometry (LC-MS/MS) adalah teknik analisis yang memadukan kemampuan pemisahan fisik dari kromatografi cair dengan spesifisitas deteksi dari spektrometri massa. Melalui kromatografi cair, komponen-komponen sampel dipisahkan, kemudian ion bermuatan dideteksi oleh spektrometer massa. Data LC-MS memberikan informasi mengenai massa molekul, struktur, identitas, dan kuantitas komponen tertentu dalam sampel. Pemisahan senyawa dilakukan berdasarkan interaksi relatif antara lapisan kimia pada partikel (fase diam) dan pelarut yang mengalir melalui kolom (fase gerak) (Himawan, 2010).

Keunggulan LC-MS terletak pada kemampuannya untuk menganalisis berbagai jenis komponen, termasuk senyawa yang labil secara termal, senyawa dengan polaritas tinggi, senyawa dengan massa molekul besar, hingga protein. Komponen alat LC-MS/MS dapat dilihat pada skema berikut.



Gambar 2.8 *Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS)*

Komponen yang dielusi dari kolom kromatografi diteruskan ke spektrometer massa melalui antarmuka khusus. Prinsip kerjanya adalah memisahkan analit-analit berdasarkan tingkat kepolaran. Alat ini terdiri dari kolom sebagai fase diam dan larutan tertentu sebagai fase gerak, dengan tekanan tinggi digunakan untuk mendorong fase gerak. Campuran analit akan terpisah sesuai dengan kepolarannya, dengan waktu retensi yang berbeda-beda untuk mencapai detektor. Hal ini akan terlihat pada spektrum sebagai puncak-puncak yang terpisah.

Fase gerak cair dialirkan melalui kolom detektor dengan bantuan pompa. Cuplikan disuntikkan ke dalam aliran fase gerak untuk proses pemisahan. Di dalam kolom, komponen-komponen campuran terpisah berdasarkan perbedaan kekuatan interaksi antara larutan dan fase diam. Akibatnya, larutan akan muncul dari kolom, kemudian dideteksi oleh detektor, dan hasilnya tercatat sebagai kromatogram (Isnawati, 2013).

2.7.7 *Potential Hydrogen (pH)*

Kondisi pH tanah atau air berperan penting dalam memengaruhi aktivitas mikroba dan kecepatan bioremediasi. pH netral sangat mendukung pertumbuhan mikroba, dengan kisaran pH 6-7 yang ideal untuk mikroba pengurai hidrokarbon. Secara spesifik, mikroba hanya dapat berkembang pada kisaran pH tertentu, seperti pH asam (*acidophiles*), netral (*neutrophiles*), dan basa (*alkaliphiles*).

Tanah yang terkontaminasi biasanya mengalami perubahan pada sifat dan karakteristik kimianya dari kondisi awal. Perubahan ekstrem sering terjadi di lapangan, menyebabkan pH menjadi sangat asam atau sangat basa. Kondisi ini menyulitkan perkembangan mikroba lokal, sehingga laju degradasi bisa sangat lambat atau bahkan tidak terjadi. Selain itu, pH tanah memengaruhi kelarutan fosfor dan unsur hara lain yang dibutuhkan mikroba, reaksi biotik kontaminan, serta transformasi unsur berbahaya dalam koloid tanah (pengendapan atau mobilisasi). Perubahan pH juga menyebabkan polutan tercemar lebih mudah terikat pada partikel liat tanah, yang pada akhirnya menghambat proses penguraian (Ajoku & Oduola, 2013).

2.8 Penelitian yang Relevan

Pada penelitian Ardiwinata (2020) pada jurnalnya yang berjudul “Sebagai Pemanfaatan Arang Aktif Dalam Pengendalian Residu Pestisida di Tanah: prospek dan Masalahnya” bahwa karbonisasi bahan tempurung kelapa dilakukan dengan mengaktivasi kontaminan yang terdapat didalam tanah dengan dosis antara 100-400 kg. Arang aktif yang berasal dari limbah pertanian, memiliki prospek untuk mengendalikan residu pestisida di tanah/lahan pertanian karena memiliki karakteristik dapat menyerap residu tersebut di dalam tanah. Residu tersebut selanjutnya akan mudah didegradasi menjadi metabolit oleh mikroba pendegradasi yang tinggal di dalam pori-pori arang aktif. Bakteri lebih menyukai pori-pori arang aktif yang digunakan sebagai tempat tinggal karena terdapat sumber nutrisi yang berasal dari residu pestisida.

Pada penelitian Yuliusman (2016) pada jurnalnya yang berjudul “Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Melalui Aktivasi Kimia Dengan KOH dan Fisika Dengan CO₂” bahwa karbonisasi berbahan cangkang kelapa dilakukan menggunakan furnace dengan suhu 600 °C selama 2 jam. Hasil karbonisasi didapatkan bahwa tingkat karbon dalam tempurung 18,80%.

Pada penelitian Wang dkk., (2023) pada jurnalnya yang berjudul “Komposit Berbasis Alginat Sebagai Pengkodisi Tanah Baru Untuk Aplikasi Berkelanjutan di Bidang Pertanian” bahwa merupakan suatu bahan dasar alginat yang memberikan efek sinergis dan menunjukkan potensi besar dalam aplikasi

pertanian, seperti bahan pembenah tanah, pembawa mikroba, dan pupuk slow release.

2.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang diuji dalam penelitian ini adalah tanah tercemar residu pestisida dapat diremediasi dengan sodium alginat dan karbon aktif tempurung kelapa.



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUMATERA UTARA MEDAN