

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat disebut sebagai salah satu limbah padat yang berasal dari proses pengolahan industri kelapa sawit. Tandan kosong kelapa sawit yang tidak tertangani akan menyebabkan bau busuk dan menjadi tempat bersarangnya para serangga terkhususnya lalat sehingga dapat mencemari lingkungan dan menyebabkan bibit penyakit. Menurut Tear dkk, 2014 produksi limbah TKKS dalam volume besar akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan [15].

Tandan kosong kelapa sawit merupakan suatu limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO). Pada proses pembuatan minyak kelapa sawit mampu menghasilkan ratusan ton TKKS per hari. Komponen utama TKKS adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin [16]. Menurut Maslahat dkk, 2018, selulosa adalah senyawa karbon yang terdiri lebih dari 1000 unit glukosa yang terikat oleh ikatan beta 1,4 glikosida dan dapat didekomposisi oleh berbagai organisme selulolitik menjadi senyawa karbon sederhana, sedangkan lignin merupakan komponen limbah TKKS yang relatif sulit diuraikan. Senyawa lignin dapat dikatakan sebagai polimer struktural yang berasosiasi dengan selulosa dan hemiselulosa [22]. Beberapa penelitian yang memanfaatkan limbah tandan kosong kelapa sawit antara lain, papan partikel, pupuk organik, pembangkit listrik tenaga biomassa, arang aktif untuk menyerap logam berat, dan lain-lain. Pada penelitian Kuswarini, 2009, limbah tandan kosong kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bahan baku komponen mebel, karena pada tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan senyawa lignoselulosa sehingga dipilih sebagai bahan dasar pembuatan papan buatan [23]. Sopiah dkk, 2017, melakukan

penelitian pengaruh aktivasi arang aktif tandan kosong kelapa sawit terhadap adsorpsi kadmium terlarut, dengan melakukan metode variasi antara lain suhu karbonisasi, variasi aktivator, dan proses adsorpsi dengan pemanasan dan tanpa pemanasan, didapatkan hasil optimum karbon aktif dengan karbonisasi pada suhu 350°C menggunakan aktivasi natrium asetat pada suhu 120°C sebesar 100% kadmium terlarut. Hasil pada aktivasi tanpa pemanasan mengadsorpsi kadmium sebesar 99,31%, untuk arang aktif dengan karbonisasi 300°C dan aktivasi tanpa pemanasan dapat mengadsorpsi kadmium terlarut sebesar 96,51% [17]. Adapun penelitian Nurrohmi, 2011, membuat adsorben dari bahan biomassa tanda kosong kelapa sawit untuk adsorben ion logam Cd^{2+} dengan aktivasi larutan NaOH 5% dapat mengadsorpsi ion Cd^{2+} dengan waktu kontak 3,5 jam dan pH optimum 8 dengan nilai adsorpsi sebesar 90,70%, dan aktivasi menggunakan larutan Na_2SO_4 waktu dan pH optimum yaitu 100 menit, pH 6 dan ion Cd^{2+} terjerap sebesar 85,81%. Pemanfaatan sistem adsorpsi logam pada pencemaran air dapat dilakukan dengan menggunakan lignoselulosa, hal ini karena ketersediaan bahan yang mudah didapat dan harganya yang murah [24].

2.2 Arang Aktif

Arang aktif dapat dikatakan sebagai senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk memperoleh permukaan yang lebih luas [25]. Arang aktif memiliki peranan yang penting baik dari segi bahan baku maupun sebagai bahan pembantu pada proses industri dalam meningkatkan kualitas atau mutu produk yang dihasilkan, seperti pada industri pengolahan air minum, industri gula, industri obat-obatan dan masih banyak lagi penggunaan karbon aktif [26]. Arang aktif dapat

dibedakan dengan arang berdasarkan sifat pada permukaannya. Permukaan arang masih ditutupi oleh dekomposit hidrokarbon yang menghambat keaktifannya, sedangkan permukaan arang aktif relatif telah bebas dari dekomposit, permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka, sehingga memiliki daya jerap tinggi. Untuk meningkatkan daya jerap arang, maka bahan tersebut dapat diubah menjadi arang aktif melalui proses aktivasi. Pembuatan arang aktif dapat dilakukan dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah pembentukan arang dan tahap kedua adalah proses pengaktifan untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang supaya porositas arang meningkat [20]. Proses aktivasi arang untuk mendapatkan arang aktif dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu kimia aktivasi dan aktivasi fisika.

Menurut Resya, 2017, dkk bahwasannya arang aktif atau karbon aktif adalah bahan karbon berpori yang telah mengalami reaksi dengan gas atau dengan penambahan bahan kimia (KOH, NaOH, $ZnCl_2$) setelah karbonisasi untuk meningkatkan sifat serapnya [27]. Adapun menurut Syauqiah dkk, 2011, arang aktif dapat disebut sebagai arang yang diproses sedemikian rupa sehingga memiliki daya jerap atau adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap [28].

Arang aktif atau karbon aktif dapat dikatakan sebagai arang yang dapat menyerap anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik maupun anorganik, larutan ataupun gas. Karbon aktif terdiri dari berbagai mineral yang dibedakan berdasarkan kemampuan adsorpsi (daya jerap) dan karakteristiknya [28]. Karbon aktif secara luas digunakan sebagai adsorben atau proses penjerapan dan secara umum mempunyai kapasitas yang besar untuk mengadsorpsi molekul organik. Arang dapat dikatakan sebagai hasil dari suatu proses pemanasan kayu, gula, tulang, dan benda lain.

Proses aktivasi secara kimia dilakukan dengan penambahan senyawa kimia tertentu pada arang. Senyawa kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator antara lain KCl, NaCl, ZnCl₂, CaCl₂, MgCl₂, H₃PO₄, Na₂CO₃ dan garam mineral lainnya [21]. Arang yang telah diaktivasi digunakan untuk menghilangkan pengotor dengan cara menjerap atau mengadsorp. Kemampuan mengadsorp pengotor merupakan indikator tingkat keberhasilan proses pengaktifan arang. Pada penelitian ini, selain pengukuran kadar air dari arang aktif, juga dilakukan pengukuran kemampuan penjerapan dari arang aktif menggunakan alat instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

Pada penelitian Sopiah dkk, 2017, proses pengaktifan arang yang berasal dari bahan baku limbah tandan kosong kelapa sawit dengan menggunakan proses kimia untuk ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel arang aktif, mengakibatkan luas permukaan semakin besar, dengan demikian arang aktif dapat mengadsorpsi logam berat kadmium (Cd) dengan baik melalui proses aktivasi kimia [17]. Penelitian yang dilakukan oleh Maysharoh dkk, 2018, tandan kosong kelapa sawit dijadikan sebagai bahan dasar arang aktif dengan menggunakan aktivator kimia berupa larutan H₃PO₄ sebagai bahan pengaktif memberi pengaruh yang kuat dalam pembentukan pori dan membuka pori yang tertutupi oleh pengotor. Pemberian aktivator H₃PO₄ dapat mengikat senyawa tar keluar dari pori-pori karbon sehingga diameter pori arang aktif bertambah lebar. Langkah-langkah pembuatan arang aktif meliputi karbonisasi dan aktivasi (kimia dan fisika). Arang aktif yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Hasil citra SEM dianalisis menggunakan metode fraktal untuk mengetahui pola distribusi pori pada arang aktif [29]. Pada penelitian Kurniawan dkk, 2014, Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunanear, Emmelt dan Teller)

Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Aktivasi Asam Fosfat (H_3PO_4), sampel diaktivasi secara kimia, proses aktivasi memiliki variasi konsentrasi antara lain 2,5 Molar, 2, 75 Molar, 3 Molar, 3,25 Molar, dan 3,5 Molar dengan lama waktu selama 7 jam, masing-masing arang aktif memiliki nilai optimum konsentrasi asam fosfat ialah 3 Molar. Pada tandan kosong kelapa sawit dengan perendaman 7 jam dan variasi 3 Molar didapatkan nilai luas permukaan $131.279 \text{ m}^2/\text{g}$, kemudian dari hasil penelitian bahwa luas permukaan arang aktif yang terbaik adalah pada tempurung kelapa dengan variasi konsentrasi 3 Molar memiliki hasil $386.447 \text{ m}^2/\text{g}$. hal ini dikarenakan pemberian konsentrasi 3 Molar cenderung lebih pekat dan lebih baik dibanding yang lain dimana fenomena tersebut menunjukkan bahwa terdapat proses destruksi bahan mentah yang lebih baik terjadi pada konsentrasi 3 Molar [26].

2.3 Aktivasi Arang Aktif

Aktivasi arang dapat dikatakan sebagai penghilangan zat-zat yang menutupi pori-pori pada permukaan arang. Hidrokarbon pada permukaan arang dapat dihilangkan melalui proses oksidasi dengan menggunakan oksidator yang sangat lemah (CO_2 dan uap air) agar atom karbon yang lain tidak turut teroksidasi. Selain itu, dapat juga dilakukan proses dehidrasi oleh garam-garam seperti $ZnCl_2$ atau $CaCl_2$ [30]. Adapun menurut Arsad dan Saibatul, 2010, aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia [31].

Menurut Mesrilestari dkk, 2013, pada proses aktivasi terjadi perubahan massa pada arang yang telah diaktivasi kemudian proses pembentukan dan penyusunan arang, sehingga pori-pori akan menjadi besar yang mengakibatkan massa arang menjadi berkurang karena pori-

porinya sudah tidak rapat seperti sebelum proses aktivasi. Tekstur arang yang semula padat dan keras menjadi lebih rapuh dan mengkilap. Pori-pori yang lebih terbuka akan memudahkan terjadinya proses penyerapan sejumlah besar zat pengotor yang ingin dihilangkan [21]. Pada penelitian Yulianti dkk, 2010, HCl merupakan aktivator yang paling bagus untuk mengaktivasi arang aktif, pori-pori arang aktif lebih terbuka dan dimungkinkan gugus fungsi yang semula tertutup oleh pengotor tersebut dapat lebih terbuka. Hal ini mengakibatkan kuantitas gugus fungsi yang muncul pada arang aktif lebih banyak [32]. Nurhayati dkk, 2018, melakukan penelitian menggunakan aktivasi kimia dengan NaCl sebagai aktivator dan memiliki daya serap I_2 sebesar 46% diperoleh pada aktivasi NaCl 16% selama 12 jam. Hal ini disebabkan karena larutan garam dapat berfungsi sebagai agen dihidrasi (*dehydrating agent*) dan membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan pada proses karbonisasi [33]. Pada proses aktivasi tersebut arang aktif mengalami peningkatan kemampuan mengadsorpsi suatu adsorbat.

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu fenomena permukaan pada suatu adsorben karena akumulasi suatu spesies pada batas permukaan padat-cair. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik antara gugus aktif adsorben dan adsorbat [34]. Adsorpsi mempunyai beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan metode lainnya, diantaranya memerlukan bahan dengan biaya yang relatif murah, proses relatif sederhana, efektivitas, efisiensi tinggi dan adsorben dapat dipergunakan ulang (regenerasi) [9]. Proses adsorpsi lebih cocok digunakan untuk penyerapan logam berat karena biaya yang diperlukan tidak terlalu mahal dan tidak akan menimbulkan zat pencemaran baru. Saat ini sedang

digalakkan penelitian mengenai penggunaan adsorben alternatif yang berasal dari bahan alam. Adsorben alami selain memiliki kemampuan adsorpsi yang baik, juga bersifat lebih ekonomis [35]. Menurut Syauqiah dkk, 2011, bahwasannya adsorpsi dapat disebut sebagai suatu proses terjerapnya suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu *film* (lapisan tipis) [28].

Pada proses penjerapan dikenal dua istilah berbeda yaitu adsorpsi dan absorpsi. Adsorpsi dapat dikatakan sebagai suatu proses penjerapan pengotor pada limbah cair atau zat pencemar dari air limbah, contohnya pada limbah pabrik, bahan yang digunakan pada proses penjerapan ini yaitu arang aktif. Pada penelitian ini, arang aktif yang digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit. Berbeda pada prinsip absorpsi, pada proses masuknya zat cair pada zat padat atau zat cair lain. Pada adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorben, dapat diketahui adsorbat merupakan substansi yang terjerap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorben dapat dikatakan suatu media penyerap yang dalam hal ini berupa senyawa karbon. Irma dkk, 2015, melakukan penelitian dengan membuat adsorben arang aktif dari limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai adsorpsi fenol, arang aktif tandan kosong kelapa sawit pada proses adsorpsi memiliki waktu kontak terbaik 12 jam dengan ukuran partikel 100 mesh dapat menjerap 97,23% hal ini disebabkan karena ukuran *mesh* karbon aktif merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi besar adsorpsi fenol [36]. Adsorpsi juga sering digunakan untuk proses penjerapan beberapa unsur logam berat.

2.5 Logam Berat

Logam berat merupakan salah satu jenis zat polutan lingkungan yang paling umum dijumpai dalam perairan. Logam berat berdampak negatif terhadap manusia yang menggunakan air dan organisme yang ada di dalam sungai. Keberadaan kandungan logam berat dalam organisme mengindikasikan adanya sumber logam berat yang berasal dari alam atau dari aktivitas manusia [37]. Menurut Indirawati, 2017, logam berat merupakan elemen yang tidak dapat terurai (persisten) dan dapat terakumulasi melalui rantai makanan (bioakumulasi), dengan efek jangka panjang yang merugikan makhluk hidup [38]. Berdasarkan penelitian Handayani dkk, 2012, logam berat merupakan jenis polutan yang banyak dijumpai pada limbah perairan industri. Keberadaan logam berat di perairan limbah industri sangat berbahaya bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup, karena memiliki sifat beracun dan tidak dapat terbiodegradasi, sehingga perlu metode untuk menghilangkan logam berat agar perairan memenuhi standard kualitas lingkungan [39].

Pencemaran logam berat dalam lingkungan dapat menimbulkan efek berbahaya bagi kesehatan baik pada manusia, hewan, tumbuhan, maupun lingkungan. Efek gangguan logam berat terhadap kesehatan manusia tergantung pada bagian mana dari logam berat tersebut terakumulasi di dalam tubuh serta besar dosis paparan logam berat. Efek toksik atau beracun dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, dan menyebabkan alergi [1].

Adanya logam berat yang terdapat di perairan memiliki potensi yang berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat logam berat yang sulit terurai, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan [40]. Menurut Widowati dkk, 2008, tingkat toksisitas logam berat terhadap hewan air, mulai dari yang

paling toksik yaitu Hg, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni, dan Co. Sementara itu, tingkat toksisitas terhadap manusia dari yang paling toksik adalah Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn [7].

Taer dkk, 2016, melakukan penelitian tentang pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai karbon aktif pembersih air limbah aktivitas penambangan emas, pada penelitian ini dilakukan metode adsorpsi pada logam berat Fe dan logam berat Zn, dengan nilai penjerapan logam Fe sebesar 78,52% waktu kontak 5 jam dan penjerapan logam berat Zn sebesar 77,23% waktu kontak 3 jam. Pada proses penjerapan kedua logam ini arang aktif dari tandan kosong kelapa sawit lebih efisien pada penjerapan logam berat Fe karena interaksi elektrostatis antara pelet karbon aktif dan logam berat besi menimbulkan efek magnetisasi besi sehingga Fe memiliki kemampuan untuk menarik ion Fe lainnya [15]. Berdasarkan penelitian Haura dkk, 2017, mengenai Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada Adsorpsi Logam Pb(II) dan Cr(VI) yang termasuk logam berat yang berbahaya, pada penelitian ini digunakan dua jenis adsorben, yaitu biosorben (kulit manggis tanpa aktivasi secara fisik) dan arang aktif (kulit manggis yang teraktivasi secara fisik). Terdapat perbedaan kinerja dari dua jenis adsorben dalam proses penyerapan logam Pb(II) dan Cr(VI), penelitian ini mempunyai variasi konsentrasi pada logam Pb(II) dan Cr(II), arang aktif lebih efektif menyerap logam Pb(II) daripada biosorben pada konsentrasi awal ion logam 20 dan 100 mg/L, sedangkan untuk proses penyerapan logam Cr(VI) arang aktif bekerja lebih efektif dibandingkan biosorben pada konsentrasi awal larutan 100 dan 200 mg/L. Kemampuan adsorben untuk menyerap logam dipengaruhi oleh tinggi atau rendahnya nilai konsentrasi awal sampel. Apabila sampel mempunyai konsentrasi yang rendah maka daya jerap adsorben untuk menyerap sampel juga kecil. pada

saat adsorpsi konsentrasi optimum yang didapat Kapasitas adsorpsi maksimal arang aktif dalam menyerap ion logam Pb(II) dan Cr(VI) masing-masing sebesar 38,54 mg/g dan 36,84 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi yang diberikan oleh biosorben untuk penyisihan logam Pb(II) dan Cr(VI) masing-masing sebesar 36,98 mg/g dan 36,12 mg/g [41].

2.5.1 Merkuri (Hg)

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 57 Tahun 2016 bahwasannya merkuri (Hg) merupakan salah satu bahan berbahaya dan beracun berupa logam berat yang berbentuk cair, berwarna putih perak serta mudah menguap pada suhu ruangan. Merkuri telah dikenal sebagai *global concern* karena merupakan bahan kimia yang sulit terurai dan dapat bersifat bioakumulatif dalam ekosistem sehingga memberikan berbagai dampak negatif pada kesehatan manusia dan lingkungan.

Air raksa atau merkuri (Hg) adalah salah satu elemen atau senyawa yang diatur dengan ketat, dan kadar minimumnya dibatasi kurang dari 1 µg/l (mikrogram per liter). Senyawa logam merkuri sering dijumpai di dalam air lindi yaitu di pembuangan akhir sampah, air *scrubber* dari *incinerator*, air limbah pelapisan logam, industri pencucian komponen elektronika, air limbah laboratorium dan lainnya. Air raksa atau merkuri atau *hydrargyrum* (Hg) termasuk logam berat yang menguap pada temperatur kamar [2]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Said, 2010, arang aktif granular sering digunakan untuk proses pengolahan lanjut air yang sudah diolah dengan tingkat keberhasilan yang bervariasi, untuk menghilangkan kandungan merkuri sampai tingkat konsentrasi yang rendah umumnya menggunakan beberapa tahapan proses (*multi step process*) yaitu gabungan proses pengendapan, proses pertukaran ion dan proses adsorpsi dengan arang aktif granular

[2]. Jatmiko, 2013, melakukan penelitian mengenai adsorpsi logam berat Hg dengan menggunakan bahan dasar dari tempurung kemiri dan melakukan variasi massa arang aktif serta pH adsorbat, kemudian memiliki daya jerap yang baik pada logam berat Hg dengan nilai adsorpsi sebesar 89% pada pH 4 dan berat karbon aktif 5 gram karena memiliki arang aktif yang banyak serta memiliki luas permukaan $613,4809 \text{ m}^2/\text{g}$ maka daya adsorpsi semakin besar [12]. Pada penelitian Sutardi dkk, 2014, mengadsorpsi logam merkuri menggunakan zeolit MCM-41 termodifikasi, dengan mensintesis MCM-41 dan NH_2 - MCM-41, kemudian memiliki variasi pH merkuri dan konsentrasi merkuri. Hasil yang diperoleh dari variasi pH merkuri pada saat dijerap oleh MCM-41 dan NH_2 -MCM-41 pada saat adsorpsi keduanya memiliki nilai optimum pH 4, modifikasi MCM-41 dengan menambahkan gugus aminopropil terbukti mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi hampir 4,5 kalinya, yakni sebesar $63,29 \text{ mg/g}$ ($3,16 \times 10^{-4} \text{ mol/g}$) pada padatan NH_2 -MCM-41 dibandingkan kapasitas adsorpsi MCM-41 tanpa modifikasi, yaitu sebesar $14,21 \text{ mg/g}$ ($7,09 \times 10^{-5} \text{ mol/g}$) [42].