

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Vale merupakan perusahaan tambang nikel yang terletak di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Sistem pertambangan nikel PT Vale menggunakan metode *Open Cast Mining* atau penambangan terbuka. Perusahaan ini mengelola tambang bijih nikel laterit yang kemudian diolah menjadi produk antara berupa *nickel matte* melalui proses pirometalurgi (Majalis et al., 2022). Proses pengolahan ini mencakup beberapa tahapan penting seperti pengeringan (*drying*), reduksi menggunakan rotary kiln, peleburan di electric furnace serta pemurnian menggunakan converter untuk menghasilkan nikel dalam bentuk matte yang memiliki kandungan sekitar 78-80% nikel. Dalam operasionalnya, PT Vale mengandalkan sumber energi ramah lingkungan berupa PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), menjadikannya salah satu pelaku industri tambang dengan emisi karbon terendah di Indonesia. Namun, meskipun proses produksi mengedepankan efisiensi energi dan keberlanjutan, tetap dihasilkan limbah cair (*effluent*) dari berbagai kegiatan, terutama dari proses pendinginan (*cooling system*), pencucian peralatan, pengolahan bijih, serta drainase area industri dan tambang. Limbah cair ini dapat mengandung logam berat, padatan tersuspensi, dan senyawa kimia lain yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Untuk itu, PT Vale menerapkan sistem pengolahan air limbah (*wastewater treatment*) secara terpadu sebelum dibuang ke badan air alami, guna memastikan bahwa kualitas limbah cair yang dihasilkan telah memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan pemerintah.

Selama proses kegiatan pertambangan akan menghasilkan limbah yang berupa limbah cair yang mengandung logam berat. Pengolahan limbah cair di PT Vale Indonesia Tbk dilakukan melalui serangkaian proses yang terintegrasi untuk memastikan bahwa limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan dan pengolahan nikel tidak mencemari lingkungan. Limbah cair utama berasal dari aktivitas pencucian bijih, proses flotasi, dan penggunaan bahan kimia dalam pengolahan mineral. Limbah ini pertama-tama dikumpulkan dalam kolam penampungan (*settling pond*), kemudian dialirkan ke sistem pengolahan yang meliputi proses netralisasi pH, koagulasi-flokulasi menggunakan *ferrosulfate* (Fe_2SO_4), sedimentasi, dan filtrasi. Beberapa parameter kualitas air limbah yang dipantau meliputi kromium heksavalen (Cr(VI)), pH, *Total Suspended Solids* (TSS), *Total Dissolved Solid* (TDS), logam berat terlarut dan analisis ion-ion. Setelah melalui pengolahan, air limbah yang telah memenuhi baku mutu lingkungan sesuai

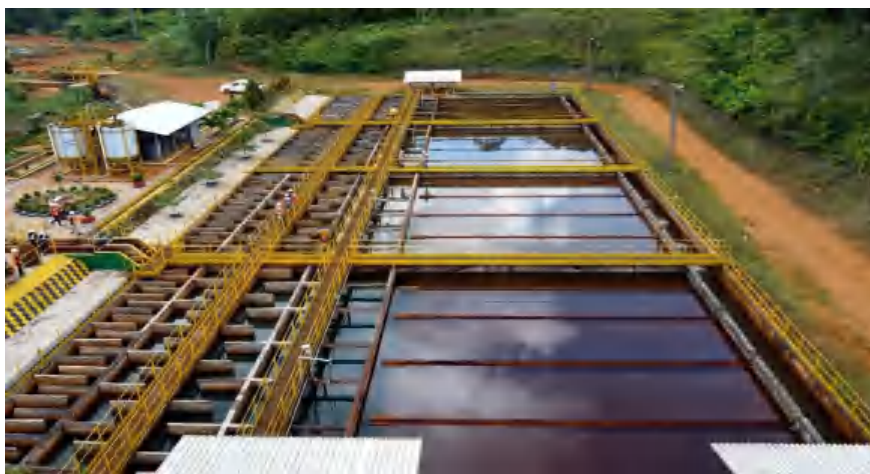


Optimized using
trial version
www.balesio.com

Pemerintah No. 22 Tahun 2021 dilepas ke badan air atau untuk keperluan internal perusahaan, seperti penyiraman jalan juga secara berkala melakukan pemantauan terhadap kualitas laboratorium lingkungan (*environment*) yang terakreditasi untuk lahan terhadap standar lingkungan dan menjaga keberlanjutan (Arzuki, 2016).

Salah satu pengolahan air limbah tambang nikel dapat menggunakan teknologi pengolahan air limbah (Safitri, 2022). Limbah air tambang nikel mengandung berbagai logam berat yang berbahaya dan mudah larut diantaranya Ni, Co, Cu, Cr, Fe, As, dan Mn. Adanya logam berat tersebut akan

meningkatkan risiko kesehatan manusia dan pencemaran bagi lingkungan (Barco et al., 2021). Selain itu, kandungan Cr(VI) (*chromium hexavalent*) banyak ditemukan pada limbah air tambang nikel. Logam Cr(VI) berada dalam keadaan teroksidasi tidak stabil dan berisiko tinggi bagi kesehatan karena bersifat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker dan mutagen bagi organisme hidup (Majalis et al., 2022).



Gambar 1. Pond pengolahan limbah air tambang PT Vale Indonesia TBK

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT Vale Indonesia TBK memiliki kegiatan berupa pengolahan air limbah yang bersumber dari kegiatan pertambangan dan pengolahan bijih nikel serta kegiatan domestik dilingkungan sekitar PT Vale. Pengolahan air limbah dilakukan dengan menggunakan teknologi *Lamella Gravity Settler* (LGS) yang dilakukan dalam beberapa tahap yaitu koagulasi, flokulasi dan pengendapan (sedimentasi). PT Vale menerapkan teknologi *Lamella Gravity Settler* (LGS) atau juga dikenal sebagai *Counter-current Tilted Plate Settler* (TPS) yang merupakan bagian dari sistem pengolahan air limbah tambang (*mine runoff water treatment system*). Teknologi ini umumnya digunakan untuk pengolahan air minum, namun PT Vale menjadi pelopor penerapannya dalam industri pertambangan di Indonesia. Proses pengolahan air limbah melalui LGS melibatkan tahapan pencampuran dengan ferosulfat (*ferrous sulfate*) untuk mereduksi Cr(VI) kemudian memasuki area *slow mixing* berbentuk kamar bersekat sedalam 9 meter. Pada area ini, partikel padat mengendap secara gravitasi sedangkan air yang telah jernih dialirkan ke kolam penampungan yang diuji terlebih dahulu kemudian dilepaskan ke Danau Matano.

Secara umum diketahui bahwa logam berat merupakan unsur yang berbahaya di permukaan bumi sehingga kontaminasi logam berat di lingkungan merupakan ancaman bagi manusia saat ini. Persoalan spesifik di lingkungan terutama terdapat pada rantai makanan dan keberadaannya di alam, serta logam berat yang dapat menyebabkan keracunan terhadap manusia. Air yang akan meningkat seiring waktu. Kegiatan-kegiatan yang dapat menyebabkan masuknya logam berat ke lingkungan antara lain pertambangan (minyak, emas, nikel, bauksit, batubara, dan lain-lain),



pembangkit tenaga listrik, peleburan logam, pabrik pupuk, kegiatan industri dan penggunaan produk sintetik (misalnya pestisida, cat, baterai, limbah industri dan lain-lain) (Gultom dan Lubis, 2014).

Logam berat adalah logam dengan berat jenis 5,0 atau lebih besar dan nomor atom antara 21 (skandium) dan 92 (uranium) pada tabel periodik (Al-Kazaghly et al. 2021). Logam berat terbagi menjadi dua golongan, yaitu logam berat esensial dan logam berat non esensial. Logam berat esensial merupakan logam berat yang dibutuhkan dalam tubuh dengan jumlah tertentu, misalnya tembaga, besi, selenium dan seng. Sedangkan logam berat non esensial adalah jenis logam berat yang keberadaannya masih belum diketahui apa fungsinya serta dapat menyebabkan keracunan bahkan dalam jumlah yang sedikit, misalnya merkuri, arsenik, timbal dan kadmium (Adhani dan Husaini, 2017).

Pencemaran logam berat merupakan salah satu jenis pencemaran yang dapat membahayakan lingkungan dan makhluk hidup di dalamnya. Logam berat akan terakumulasi di tempat-tempat seperti sedimen dan kolom air, dan diserap oleh biota laut (Effendi, 2003). Hal ini karena logam berat sulit terurai dan dapat terakumulasi di perairan (Ika et al., 2012). Logam berat di perairan dapat menjadi racun jika keberadaannya melebihi nilai ambang batas sehingga dapat berdampak langsung pada organisme perairan, secara tidak langsung ekosistem di perairan tersebut akan berdampak terhadap keberlangsungan hidup manusia di sekitarnya (Ramlia dan Djalla, 2018). Pencemaran logam berat terhadap lingkungan merupakan suatu proses yang erat hubungannya dengan penggunaan logam tersebut oleh manusia. Pada awal digunakannya, belum diketahui pengaruh pencemaran pada lingkungan. Proses oksidasi pada logam yang menyebabkan perkaratan sebetulnya merupakan tanda adanya pencemaran. Pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat terjadi jika industri yang menggunakan logam tersebut tidak memperhatikan keselamatan lingkungan. Logam-logam tertentu dalam konsentrasi tinggi akan sangat berbahaya bila ditemukan didalam lingkungan (air, tanah, dan udara). Logam berat masuk kedalam tubuh manusia melalui mulut, yaitu makanan yang terkontaminasi oleh alat masak, wadah (minum/makanan kaleng) dan juga melalui pernapasan seperti asap dari pabrik, proses industri dan buangan limbah (Agustina, 2014).

Kromium adalah logam yang termasuk dalam golongan transisi. Kata krom berasal dari bahasa Yunani yaitu (*Chroma*) yang berarti warna. Dalam struktur kimia kromium dilambangkan dengan "Cr" Kromium adalah logam non ferro yang dalam tabel periodik termasuk grup VIB dan lebih mulia dari besi (Pratiwi, 2013). Dalam lingkungan terdapat dua bentuk logam kromium yaitu Cr(III) dan Cr(VI). Cr(III) merupakan yang ada dalam makanan, yang digunakan untuk mengontrol metabolisme glikosa dan lipid dalam membran sel (Supriyanto, 2011). Kromium tubuh manusia dapat mengakibatkan kerusakan dalam sistem antara kromium trivalen diperlukan dalam proses metabolisme kromium heksavalen (Cr VI) merupakan komponen yang bersifat beracun. Kromium heksavalen (Cr VI) dalam jumlah 7,5 mg/l pada manusia akan toksisitas akut berupa kematian sedangkan bila terjadi



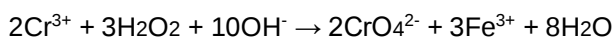
akumulasi kromium heksavalen (Cr VI) pada dosis 0,57 mg/kg perhari dapat menyebabkan kerusakan hati dan dapat menyebabkan kanker (Anggraini, 2016).

Logam kromium yang masuk ke lingkungan dapat berasal dari berbagai sumber, tetapi sumber umum yang diduga paling banyak berpengaruh yaitu dari aktivitas industri, pertambangan, kegiatan rumah tangga dan zat sisa pembakaran serta mobilitas bahan bakar. Kadar maksimum Cr (VI) untuk keperluan air baku air minum dan kegiatan perikanan sebesar 0,05 mg/L (Andini, 2017).

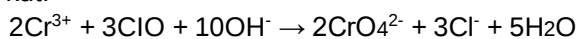
Kromium dan senyawanya banyak digunakan pada beberapa industri seperti finishing logam, pewarna, pigmen, tinta, kaca, keramik, penyamakan, tekstil, pewarnaan dan pengawetan kayu dan lem. Logam kromium memberi dampak yang sangat buruk bagi lingkungan karena sifatnya yang sangat toxic dan terutama bagi kesehatan manusia (Lakherwal, 2014). Menurut WHO, Cr (VI) adalah ion logam bersifat racun yang dapat menyebabkan gangguan sintesis DNA dan meningkatkan perubahan mutagen yang dapat menyebabkan tumor. Batasan maksimum air minum mengandung kromium sebesar 0,05 mg/dm. Pada air tanah, rata-rata kandungan kromium sebesar 0,07-2 mg/dm. Kromium akan terakumulasi di ginjal dan hati. Logam berat Kromium Heksavalen (Cr VI) merupakan salah satu parameter wajib yang harus diukur dalam memantau kualitas air sungai berdasarkan Lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kromium heksavalen sangat beracun dan juga bersifat mutagenik jika terhirup, sedangkan logam berat ini banyak digunakan oleh industri yang membutuhkan pewarnaan, seperti industri tekstil, cat dan penyamakan kulit (Dewata dan Danhas, 2021).

Kondisi pH normal ke basa yaitu pada rentang pH 7-8 spesiasi krom dapat dalam bentuk Cr(III) dan Cr(VI). Spesi Cr (III) dengan kondisi pH di atas sebagai $\text{Cr}(\text{OH})_3$ sementara Cr(VI) dalam bentuk spesi CrO_4^{2-} . Spesiasi Kromium (Cr) sangat penting karena toksisitas logam-logam ini bergantung pada bilangan oksidasi dan konsentrasinya sangat rendah dalam sistem air. Kromium terdapat di lingkungan terutama dalam dua keadaan valensi, yaitu Cr(III) trivalen dan Cr(VI) heksavalen. Kromium (III) merupakan mikronutrien esensial bagi tubuh manusia, sedangkan Cr(VI) sangat beracun dan bersifat karsinogenik. Kromium(VI) dalam air dapat dianalisis secara spektrofotometri dengan reagen difenilkarbazida pada pH=1 pada panjang gelombang maksimum 540 nm (Nasrullah et al., 2017).

Dalam suasana basa kuat (misalnya NaOH atau KOH), kromium trivalen (Cr^{3+}) dapat dioksidasi menjadi kromat (CrO_4^{2-}) dengan bantuan oksidator kuat, seperti hidrogen peroksida (H_2O_2) atau natrium hipoklorit (NaClO). Reaksi oksidasi Cr^{3+} menjadi Cr^{6+} dalam suasana basa dengan oksidator hidrogen peroksida adalah sebagai berikut:



reaksinya adalah natrium hipoklorit, maka reaksi oksidasinya kut:



nya dampak yang ditimbulkan oleh limbah industri, beberapa masalah pencemaran lingkungan dan pengaruhnya terhadap

kesehatan mendapat perhatian penting. Logam berat dalam limbah industri dapat dipisahkan dengan berbagai cara seperti pengendapan kimia, elektrodposisi, ekstraksi pelarut, ultrafiltrasi dan penukar ion. Adsorpsi dengan menggunakan resin penukar ion telah umum digunakan sebagai bahan penyerap polutan. Akan tetapi bahan penyerap dan resin penukar ion tersebut tidak mudah didapatkan dan harganya relatif mahal, sehingga para peneliti mulai mencari alternatif material lain yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap (Gultom dan Lubis, 2014).

Salah satu bentuk pengolahan limbah air tambang dapat dilakukan dengan pembuatan *settling pond* untuk mengendapkan air limbah. *Settling pond* dibuat dengan sistem labirin untuk memperlambat laju air serta memaksimalkan pengolahan yang ada (Safitri, 2022). Secara kimiawi, pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat dapat pula dilakukan dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon diantaranya tulang, kulit biji, kayu keras dan lunak, kulit kayu, tongkol jagung, serbuk gergaji, sekam padi, tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu, dan tempurung kelapa. Karbon aktif diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan pori-pori yang lebih luas. Karbon aktif dapat berbentuk serbuk atau butiran, karbon aktif mempunyai luas permukaan per satuan berat yang besar, karena sangat banyaknya pori-pori halus (mikro pori) (Santoso & Yunitasari, 2024).

Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben terkadang digunakan hanya untuk satu kali pemakaian saja. Sukar ditemukan adanya penggunaan kembali karbon aktif yang telah digunakan untuk diaplikasikan kembali sebagai adsorben. Karbon aktif yang sudah pernah digunakan sebenarnya masih dapat dipakai kembali dengan cara diaktivasi menggunakan metode pemanasan, sehingga memiliki potensi sebagai *reusable adsorbent* (Sumila et al., 2023). Arang aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung sekitar 65-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu yang tinggi. Ketika pemanasan berlangsung, diusahakan tidak terjadi kebocoran udara didalam ruangan pemanasan sehingga bahan yang mengandung karbon tersebut hanya terkarbonisasi dan tidak teroksidasi. Arang aktif selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (Gultom dan Lubis, 2014).

Karbon aktif dipilih dan banyak digunakan sebagai adsorben dikarenakan sifatnya yang menguntungkan seperti tidak beracun, mudah didapat, ekonomis, dan efektif. Selain itu, kelebihan dari material karbon aktif juga dapat disintesis dari limbah berlignoselulosa yang sudah tak terpakai seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS). TKKS mengandung senyawa lignoselulosa yang terdiri atas selulosa,

lignin dengan persentase masing-masing sebesar 45,95%,
%. Adanya kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi tersebut
potensi dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif
si (Sumila et al., 2023).

Salah satu jenis adsorben yang digunakan dan banyak
ak adsorpsi zat warna dan logam berat dikarenakan memiliki



kapasitas adsorpsi yang besar dan dapat diregenerasi ulang. Besarnya kapasitas adsorpsi ini disebabkan karbon aktif memiliki luas permukaan besar, porositas tinggi dan gugus-gugus fungsi misal hidroksil, karboksil dan karbonil pada permukaannya. Karbon aktif dapat dipreparasi dari berbagai bahan yang mengandung lignoselulosa, seperti tandan kosong kelapa sawit. Limbah pabrik kelapa sawit yang mengandung sejumlah padatan tersuspensi, terlarut, dan mengambang merupakan bahan-bahan organik dengan konsentrasi tinggi. Setiap ton tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menghasilkan limbah sebesar 900 kg yang berasal dari unit sterilisasi, klasifikasi, dan unit hidrosiklon. Tandan kosong kelapa sawit adalah salah satu hasil limbah padat industri kelapa sawit berkisar 20 hingga 23 persen dari jumlah panen tandan buah sawit (TBS) yang dipasok kepengolah. Pengolahan atau pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit oleh pabrik kelapa sawit masih sangat terbatas yaitu dibakar dalam incinerator yang menimbulkan pencemaran udara, ditimbun (open dumping) yang menimbulkan pencemaran tanah, dijadikan mulsa di perkebunan kelapa sawit atau diolah menjadi kompos. Secara fisik tandan kosong kelapa sawit terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain selulosa sekitar 45.95%, hemisellulosa sekitar 16.49% dan lignin sekitar 22.84%. Pada tandan kosong kelapa sawit mengandung selulosa yang cukup tinggi, kandungan selulosa ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai karbon aktif dalam menyerap zat warna dan logam berat (Utami et al., 2017).

Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit terluas di dunia mencapai 15,34 juta hektar pada tahun 2022, dan pada tahun 2023 meningkat menjadi 16,83 juta hektar (Dirjen Perkebunan, 2024). Produksi tandan buah segar kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 46,81 juta ton, dan pada tahun 2023 meningkat menjadi 47,08 juta ton. Provinsi Riau sebagai daerah yang memiliki lahan perkebunan kelapa sawit terluas di Indonesia menghasilkan kurang lebih 8.739.100 ton tandan buah segar dengan limbah TKKS berdasarkan hasil perhitungan data sekunder pada tahun 2023. Tandan buah segar per ton setelah diolah menjadi *Crude Palm Oil* (CPO) akan menghasilkan limbah TKKS sebesar 21%, cangkang 6,4%, dan fiber 14,4% (Hambali, 2010).

Kabupaten Luwu Timur merupakan salah satu sentra penting pengembangan kelapa sawit di Provinsi Sulawesi Selatan. Perkebunan kelapa sawit di wilayah ini berkembang pesat terutama sejak satu dekade terakhir, didorong oleh potensi lahan yang luas serta dukungan iklim tropis yang sesuai. Berdasarkan data terbaru dari Dinas Pertanian Luwu Timur, pada tahun 2023 luas areal perkebunan kelapa sawit mencapai 9.806,35 hektar, meningkat dari 9.271,38 hektar pada tahun sebelumnya. Jumlah petani atau kepala keluarga yang mengelola perkebunan ini juga bertambah menjadi 4.740 KK, menunjukkan keterlibatan masyarakat yang cukup tinggi dalam produksi kelapa sawit Luwu Timur pada tahun 2023 tercatat sebesar 101.851 ton. Luwu Timur dijadikan kabupaten Luwu Timur sebagai penghasil kelapa sawit terbesar di Sulawesi Selatan, setelah Kabupaten Luwu Utara yang menghasilkan 122.000 ton dari luas panen sekitar 28.380 hektar. Total produksi kelapa sawit Sulawesi Selatan tahun 2023 mencapai 101.851 ton (BPS



Sulsel, 2024). Jenis kelapa sawit yang banyak dibudidayakan adalah hibrida Tenera yang memiliki produktivitas cukup baik. Meskipun perkebunan didominasi oleh rakyat, sebagian besar petani masih menghadapi tantangan seperti akses ke pupuk, teknologi pengolahan hasil, dan keterbatasan pasar.

Limbah biomassa dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti bahan energi terbarukan, untuk kompos dan bisa juga dijadikan sebagai arang aktif. Arang aktif adalah arang yang diproses melalui aktivasi fisika dan kimia menggunakan bahan yang bersifat asam maupun basa, dan menggunakan suhu tinggi serta uap panas, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih luas dan mampu melakukan absorpsi (Choi et al., 2015). Penelitian Rasidi et al. (2015), yaitu arang aktif tempurung kelapa yang diimbaskan dengan nikel untuk hidrogenasi asam lemak minyak kelapa, penelitian lain dengan menggunakan arang aktif tersulfonasi untuk hidrolisis selulosa (Anggoro et al., 2014).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit terhadap logam berat dalam limbah yang dihasilkan dari beberapa industri. Zubaidah et. al (2021) melakukan penelitian untuk melihat kemampuan adsorpsi karbon aktif tandan kosong kelapa sawit terhadap ion logam kromium heksavalen (Cr(VI)). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa karbon aktif tandan kosong kelapa sawit mampu mengadsorpsi 93,45% ion Cr(VI) dalam waktu optimum 60 menit dengan dosis adsorben 1 g/100 mL. Falah et al. (2015) juga melakukan penelitian tentang studi kinetika reaksi karbon aktif tandan kosong kelapa sawit dalam adsorpsi kromium heksavalen Cr(VI) dengan menggunakan aktivator HCl. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa persentase efisiensi ion logam krom Cr(VI) maksimum menggunakan karbon aktif tandan kosong kelapa sawit yaitu sebesar 92% dengan kapasitas adsorpsi maksimum 20 mg/g pada konsentrasi aktivator HCl 1 M dengan waktu kontak 90 menit.

Penelitian lain dilakukan oleh Oktaviani et al. (2024) dengan menguji daya adsorpsi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit terhadap metilen biru. Hasil penelitian yang dilakukan mengungkapkan bahwa analisis kandungan yang terdapat dalam karbon aktif tandan kosong kelapa sawit memenuhi syarat sesuai dengan SNI No. 06-3830-1995. Hal ini ditunjukkan oleh parameter uji kadar air sebesar 10,33%, kadar abu sebesar 5,33%, fixed carbon sebanyak 75,5%, serta daya serap karbon aktif terhadap metilen biru sebesar 350,8 mg/g. Penelitian lain juga dilakukan oleh (Sumila et al., 2023) yang menguji daya adsorpsi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit terhadap logam besi pada air gambut dengan aktivator CH_3COONa 1 N. Hasil penelitian yang diperoleh yakni kapasitas adsorpsi besi sebesar 0,06075 mg/g dan daya adsorpsi logam besi sebesar 91%.

Berlandaskan uraian tersebut, maka sangat penting untuk menemukan alternatif karbon aktif yang berbahan dasar dari limbah organik (bioadsorben) seperti limbah tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensis Jacq*) untuk mengurangi kontaminan air dari logam berat. Tingginya kandungan karbon yang terdapat dalam kelapa sawit membuat limbah tersebut memiliki potensi yang tinggi sebagai karbon aktif. Selain itu, pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensis Jacq*) sebagai adsorben juga diharapkan mampu mengurangi limbah dari tandan kosong kelapa sawit dan menjadi bioadsorben yang memiliki kemampuan adsorpsi seperti karbon aktif komersial.



Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. berapa konsentrasi logam terlarut, krom total, dan Cr(VI) pada limbah air tambang nikel PT Vale Indonesia TBK?
2. bagaimana persentase adsorpsi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensiss Jacq*) terhadap logam berat Cr(VI) pada limbah air tambang nikel PT Vale Indonesia TBK?
3. bagaimana karakteristik fisik dari karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensiss Jacq*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan konsentrasi logam terlarut, krom total, dan Cr(VI) pada limbah air tambang nikel PT Vale Indonesia TBK
2. menganalisis persentase adsorpsi karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensiss Jacq*) terhadap logam berat Cr(VI) pada limbah air tambang nikel PT Vale Indonesia TBK
3. mengkarakterisasi karbon aktif tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensiss Jacq*)

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai konsentrasi logam terlarut, krom total, dan Cr(VI) pada limbah air tambang nikel PT Vale Indonesia TBK serta dapat berkontribusi dalam pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensiss Jacq*) sebagai adsorben logam Cr(VI) yang ramah lingkungan serta ekonomis untuk mengurangi pencemaran akibat logam berat. Selain itu, karakteristik karbon aktif yang dihasilkan diharapkan dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dan memberikan pengalaman serta pengetahuan kepada peneliti.



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air limbah tambang PT Vale Indonesia TBK, tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis Guinensiss Jacq*) dari Luwu Timur, HCl 37%, HNO₃ pekat, difenilkarbazida, H₃PO₄ 30%, metanol, larutan ME (multi elemen), ref Cr(VI), kertas saring Whattman No.42, aluminium foil, *tissue*, sabun, dan aquades.

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven, *hotplate*, gunting, *stopwatch*, alu dan mortar, labu ukur, gelas kimia, gelas ukur, corong, alat tulis, batang pengaduk, spatula, *furnace*, *coolbox*, neraca analitik, *magnetic stirrer*, batang *magnetic stirrer*, botol semprot, *pH meter seven excellen matler toledo*, botol sampel HDPE, *handheld vacuum pump*, kertas saring Whattman 0,45 mikron, cawan porselen, desikator, pipet tetes, kuvet, *test tube*, *Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) Agilent 5900, *Spectrofotometer UV-Vis Carry 100*, *sample holder ring*, *powder press block*, *bottom plate*, *X-ray Diffraction* (XRD) Panalytical Aeris, dan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX).

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga Juni 2025 di Environment Laboratory PT Vale Indonesia TBK dan Laboratory and Sample House Process Technology PT Vale Indonesia TBK, Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, dan Laboratorium Mikrostruktur Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pembuatan Karbon Aktif (Sumila et al., 2023)

Proses pembuatan karbon aktif diawali dengan pengguntingan TKKS ke ukuran yang lebih kecil dan dilanjutkan dengan pencucian menggunakan air bersih untuk menghilangkan tanah atau kotoran yang masih menempel pada TKKS. TKKS yang sudah bersih, kemudian dikeringkan dengan memanfaatkan sinar matahari selama 24 jam. Setelah dikeringkan kadar air sebelum ke tahap karbonisasi. TKKS yang sudah dikeringkan dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. TKKS yang sudah dikeringkan dimasukkan ke dalam *furnace* selama 1 jam pada suhu 500°C untuk dibakar. Setelah dibakar, arang yang dihasilkan tersebut dihaluskan dengan alu dan mortar. Kemudian dilanjutkan dengan pengayakan dengan ayakan 60 mesh untuk mendapatkan sampel karbon tanpa aktivator.

2.4.2 Aktivasi (Suprabawati et al., 2018)

Arang dimasukkan ke dalam larutan aktivator HCl 0,2 M dengan perbandingan 1:10 dari massa arang. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* lalu didiamkan selama 24 jam. Dari langkah tersebut didapatkan sampel pasta arang. Sampel



paste arang disaring dengan kertas saring, kemudian dicuci dengan aquades hingga pH 7. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Didapatkan sampel karbon aktif dengan konsentrasi aktivator 0,2 M.

2.4.3 Karakterisasi Karbon Aktif

Uji Kadar Air (SNI 1683:2021). Sebanyak 1 gram karbon aktif masukkan ke dalam cawan porselen yang sudah diketahui bobotnya. Cawan yang berisi karbon aktif dimasukkan ke dalam oven yang telah diatur suhunya $\pm 100-115^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam. Karbon aktif didinginkan di dalam desikator dan ditimbang beratnya. Perlakuan yang sama dilakukan berulang-ulang hingga diperoleh bobot konstan dan dicatat kadar airnya. Penentuan kadar air dihitung dengan **Persamaan (1)**.

$$\% \text{Kadar Air} = \frac{W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W_1 = Bobot awal sampel

W_2 = Bobot uap air

Uji Kadar Abu (SNI 1683:2021). Karbon aktif ditimbang sebanyak 1 gram dan dimasukkan ke dalam cawan porselen yang sudah diketahui bobotnya. Cawan porselen yang sudah diisi dan ditimbang, dimasukkan ke dalam tungku pada suhu 500°C selama 2 jam. Abu didinginkan dalam desikator selama 20 menit kemudian ditimbang beratnya. Perlakuan yang sama dilakukan berulang-ulang hingga diperoleh bobot konstan dan dicatat kadar airnya. Kadar abu dihitung menggunakan **Persamaan (2)**.

$$\% \text{Kadar Abu} = \frac{W_2}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

W_1 = Bobot awal sampel

W_2 = Bobot abu

Analisis Struktur Kristalit (PTVI). Sampel karbon aktif dimasukkan ke dalam oven selama 15 menit. Kemudian spatula, *sample holder ring*, dan *powder press block* dibersihkan dengan metanol. Sampel dimasukkan ke dalam rongga *sample holder* lalu ditekan dengan *powder press block*. Setelah ditekan, kelebihan powder m plate dijepit ke holder ring dan sampel siap dianalisis umen XRD panalytical aeris.



logi Permukaan dan Komposisi Kimia (Tasanif et al., 2020). permukaan dan komposisi kimia dilakukan menggunakan *Energy spectroscopy (EDX)* yang dipasang pada *Scanning Electron* dengan cara serbuk selulosa dibekukan diatas aluminium sampai

kering. Setelah itu, sampel dipercikkan dengan emas selama 30 menit menggunakan palardon. Hasil analisis akan ditampilkan dalam stereoscan.

2.4.4 Pengambilan Sampel Air Limbah (SNI 6989.59:2008)

Pengambilan sampel air limbah di PT Vale Indonesia TBK menggunakan *water sampling* dengan mengambil sampel secara langsung dari pond inlet atau jalur masuknya air limbah menuju ke proses pengolahan. Air limbah diambil pada 5 titik sampling yang dianggap representatif (dapat mewakili). Sampel air diambil sebanyak 4 L pada masing-masing titik dan dimasukkan ke dalam botol sampel HDPE (*High-Density Polyethylene*). Botol yang telah terisi sampel dimasukkan ke dalam *coolbox* dan dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

2.4.5 Pengukuran Logam Terlarut Pada Sampel Air Limbah (APHA 3120)

Sampel air dihomogenkan, kemudian diukur menggunakan gelas ukur sebanyak 100 mL. Sampel air disaring menggunakan peralatan vakum. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam *test tube* dan akan dianalisis menggunakan ICP-OES pada panjang gelombang 267 nm dengan cara filtrat pada *test tube* disambungkan dengan selang yang terhubung ke alat.

2.4.6 Pengukuran Krom Total Pada Sampel Air Limbah (APHA 3120)

Pembuatan Larutan Standar Multi Elemen 10 mg/L. Larutan induk multi elemen 100 mg/L dipipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Deret Larutan Standar Multi Elemen 0,1; 0,5; dan 1 mg/L.

Larutan standar multi elemen 10 mg/L dipipet masing-masing sebanyak 1; 5; dan 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Diperoleh larutan standar multi elemen dengan konsentrasi 0,1; 0,5; dan 1 mg/L.

Pembuatan Deret Larutan Standar Multi Elemen 0,01 mg/L dan 0,05 mg/L.

Larutan standar multi elemen 1 mg/L dipipet masing-masing sebanyak 1 mL dan 5 mL ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Diperoleh larutan standar multi elemen dengan konsentrasi 0,01 mg/L dan 0,05 mg/L.

Analisis Krom Total Pada Sampel Air Limbah. Sampel air dihomogenkan, kemudian diukur menggunakan gelas ukur sebanyak 100 mL. Setelah itu dimasukkan ke dalam gelas kimia dan ditutupi kaca arloji. Ditambahkan HNO₃ pekat kemudian dipanaskan menggunakan *hotplate* hingga larutan mendidih. Kemudian bilas dinding gelas kimia dan kaca arloji dengan akuades. Masukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Larutan kemudian dihomogenkan. Larutan yang diperoleh dipindahkan



ke dalam *test tube* dan akan dianalisis menggunakan ICP-OES pada panjang gelombang 267 nm dengan cara filtrat pada *test tube* disambungkan dengan selang yang terhubung ke alat.

2.4.7 Pengukuran Cr(VI) Pada Sampel Air Limbah (SNI 6989.71:2009)

Pembuatan Larutan Standar Ref Cr(VI) 5 mg/L. Larutan standar ampuis Cr(VI) 12,5 mg/L dipipet sebanyak 40 mL ke dalam labu ukur 100 mL. Larutan kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pembuatan Deret Larutan Standar Ref Cr(VI) High Level. Larutan standar ref Cr(VI) 5 mg/L dipipet masing-masing sebanyak 1; 2; 5; 10; dan 12 mL ke dalam labu ukur 50 mL. Kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Diperoleh larutan standar ref Cr(VI) dengan konsentrasi 0,1; 0,2; 0,5; 1; dan 1,2 mg/L.

Pembuatan Deret Larutan Standar Ref Cr(VI) Low Level. Larutan standar ref Cr(VI) 0,5 mg/L dipipet masing-masing sebanyak 2; 4; 6; 8; dan 10 mL ke dalam labu ukur 50 mL. Kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas. Diperoleh larutan standar ref Cr(VI) dengan konsentrasi 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; dan 0,1 mg/L.

Analisis Cr(VI) Pada Sampel Air Limbah. Sampel air dihomogenkan, kemudian diukur menggunakan gelas ukur sebanyak 100 mL. Kertas saring dibasahi terlebih dahulu dengan aquades dan diletakkan pada peralatan vakum. Kemudian sampel air disaring menggunakan peralatan vakum. Filtrat yang diperoleh dipindahkan ke labu ukur 50 mL hingga tanda batas. Filtrat ditetesi dengan H₃PO₄ 30% sebanyak 3 tetes dan difenilkarbazida sebanyak 1 mL. Kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama 10 menit hingga terbentuk warna magenta. Filtrat dianalisis kadar Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-Vis carry 100 pada panjang gelombang 540 nm.

2.4.8 Aplikasi Karbon Aktif sebagai Adsorben Logam Berat Cr(VI)

Uji Daya Adsorpsi Karbon Aktif Berdasarkan Variasi Massa Adsorben (Fitriani et al., 2014). Karbon aktif dengan variasi massa 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 gram dimasukkan kedalam 100 mL sampel air limbah yang telah diketahui konsentrasi logam berat Cr(VI). Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 30°C. Setelah pengadukan selesai, campuran didiamkan dan dibiarkan selama 60 menit sehingga dapat mengendap dengan sempurna. Selanjutnya disaring dan dipisahkan antara filtrat dengan residu. Filtrat dimasukkan kedalam labu ukur 50 mL. Filtrat ditetesi dengan H₃PO₄ 3 tetes dan difenilkarbazida sebanyak 1 ml. Kemudian didiamkan selama 10 menit hingga terbentuk warna magenta. Filtrat dianalisis kadar Cr(VI) pada larutan dengan menggunakan UV-Vis carry 100 pada panjang gelombang 540 nm.



Uji Daya Adsorpsi Karbon Aktif Berdasarkan Variasi Waktu Kontak (Fitriani et al., 2014). Karbon aktif ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian dimasukkan kedalam 100 mL sampel air limbah yang telah diketahui konsentrasi logam berat Cr(VI). Kemudian campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama variasi waktu pengadukan (10, 30, 60, 120, dan 240 menit) pada suhu 30°C. Kemudian didiamkan selama 60 menit hingga mengendap sempurna. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan filtrat dan endapan. Filtrat yang diperoleh dimasukkan kedalam labu ukur 50 mL. Filtrat ditetesi dengan H₃PO₄ 30% sebanyak 3 tetes dan difenilkarbazida sebanyak 1 mL. Kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama 10 menit hingga terbentuk warna magenta. Kemudian ditentukan kadar Cr(VI) pada larutan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis carry 100 pada panjang gelombang 540 nm.

2.4.9 Penentuan Ukuran Kristal (Bakti et al., 2022)

Ukuran kristal karbon aktif tandan kosong kelapa sawit dapat dihitung menggunakan rumus pada **Persamaan (3)**.

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

Keterangan :

D = Ukuran kristal (nm)

K = Faktor bentuk dari kristal (0,98)

λ = Panjang gelombang sinar-X (0,1790300 nm)

β = Nilai dari FWHM (radian)

θ = Sudut difraksi (°)

2.4.10 Penentuan Persen Adsorpsi (Tasanif et al., 2020)

Jumlah Cr(VI) yang teradsorpsi oleh karbon aktif tandan kosong kelapa sawit dapat dihitung menggunakan rumus pada **Persamaan (4)**.

$$\% \text{Adsorpsi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (4)$$



r(VI) sebelum teradsorpsi (mg/L)

r(VI) setelah teradsorpsi (mg/L)

Kapasitas Adsorpsi (Tasanif et al., 2020)

Kapasitas adsorpsi karbon aktif tandan kosong kelapa sawit terhadap logam berat Cr(VI) dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (5)**.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (5)$$

Keterangan:

q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = Konsentrasi Cr(VI) sebelum teradsorpsi (mg/L)

C_e = Konsentrasi Cr(VI) setelah teradsorpsi (mg/L)

m = Massa adsorben yang digunakan (g)

V = Volume air limbah (L)

