

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eksplorasi bijih nikel di Indonesia dimulai pada 1920-an, dilanjutkan dengan pendirian PT. International Nickel Indonesia (INCO) pada 1968 yang kini dikenal sebagai PT. Vale Indonesia. Komitmen terhadap keberlanjutan menjadi salah satu fokus utama perusahaan dengan menerapkan tiga pilar utama, yaitu kinerja ekonomi, lingkungan, dan sosial (Amalia dan Arseyani, 2024). Isu lingkungan serta keselamatan kerja dalam industri pertambangan global selalu menjadi perhatian utama. Berbagai permasalahan pada area pascatambang maupun area tambang aktif yang perlu dihadapi, terutama terkait perubahan lingkungan yang mencakup aspek kimia, fisika, dan biologi. Aspek kimia menjadi perhatian utama karena dapat menurunkan kualitas air tanah dan air permukaan serta membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. (Yusuf et al., 2023). Upaya perusahaan dalam mengurangi dampak lingkungan melalui reklamasi lahan, rehabilitasi daerah aliran Sungai dan pengurangan emisi karbon (Amalia dan Arseyani, 2024). PT. Vale Indonesia yang beroperasi di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan menerapkan metode tambang terbuka (*open cast mining*), yang menyebabkan peningkatan luas area bukaan seiring berjalannya waktu (Fiah et al., 2024). Metode penambangan terbuka (*surface mining*) menghasilkan depresi topografi di area tambang (Zakhyar et al., 2024). Depresi topografi pada area pertambangan memiliki potensi besar untuk menjadi tempat penampungan air.

Keberadaan air pada area penambangan dapat mengganggu kelancaran aktivitas penambangan, dalam situasi tertentu meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan. Air yang memasuki area tambang umumnya berasal dari air permukaan atau limpasan dan sebagian kecil berasal dari air tanah. (Ginting et al., 2025). Air limpasan merupakan bagian dalam siklus hidrologi khususnya pada siklus limpasan. siklus limpasan adalah siklus hidrologi yang terjadi pada fase lahan (Azizah et al., 2024). Limpasan dari daerah tangkapan air menjadi komponen utama dalam ketersediaan air alami. Pembentukan air permukaan di banyak wilayah memiliki keterkaitan erat antara air tanah dan air permukaan di area bekas tambang maupun area tambang (Tang et al., 2021). Volume air limpasan ini sangat dipengaruhi oleh intensitas curah hujan di wilayah tersebut (Ginting et al., 2025). Air limpasan pada area tambang yang menggunakan metode penambangan *open cast maning* dapat menyebabkan kontak langsung dengan air, baik air hujan maupun air hasil proses penambangan. Kontak langsung yang terjadi dengan air dan tanah membentuk air limpasan yang mengandung krom (Fadhili dan Anasstasia, 2024).

Metode penambangan terbuka (*open cast maning*) menyebabkan logam Cr terpapar di permukaan, yang dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya

oksidasi menjadi Cr(VI). Kromium (Cr) termasuk salah satu logam berat yang dapat mencemari air. Pembentukan Cr(VI) melalui oksidasi Cr(III) telah menjadi sumber utama pencemaran di tanah dan air tanah (Ukhurebor et al., 2021). Logam Cr(VI) bersama dengan logam berat lain yang terdapat dalam bijih laterit dapat mengalami proses pelindian akibat air hujan. Proses pelindian dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti pH, potensial redoks, serta keberadaan mineral besi dan mangan yang dapat melepaskan atau menahan Cr. Pada kondisi oksidatif dan pH netral hingga basa, Cr(VI) cenderung stabil dalam bentuk terlarut sehingga mudah terbawa aliran air menuju air tanah atau badan air permukaan (Delina et al., 2020). Akibatnya, air hujan berperan sebagai media transport yang memindahkan Cr(VI) dari material laterit ke lingkungan perairan di sekitar area tambang sehingga terbentuk air lindi yang mengandung Cr(VI) (Delina et al., 2024). Air yang masuk ke dalam pori-pori laterit akan melarutkan fraksi logam yang bersifat mudah larut, terutama Cr(VI) yang secara kimia lebih mudah larut dibandingkan Cr(III) (Bolanos, 2021). Oksidasi Cr(III) di tanah dipengaruhi oleh oksida mangan (MnO_2), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan radikal fotokimia, yang masing-masing berperan di zona aerobik, anaerobik, dan permukaan tanah. Pada zona aerobik, Cr(III) terlarut mengalami oksidasi pada permukaan MnO_2 dalam kondisi asam, sementara dalam kondisi basa, katalisis Mn(II) menjadi faktor utama. Dalam kondisi anaerobik, Mn(II) mendominasi, menjadikan H_2O_2 sebagai oksidan utama. Oksidasi Cr(III) juga dapat terjadi secara tidak langsung melalui katalisis Mn(II) dalam kondisi basa (Liang et al., 2021).

Kromium dalam lingkungan alaminya, dapat berada dalam berbagai keadaan valensi, seperti kromium heksavalen, kromium pentavalen, kromium tetravalen, kromium trivalen, dan kromium nol (Yang et al., 2023). Kromium di alam ditemukan dalam bentuk yang lebih stabil yaitu kromium trivalen dan kromium heksavalen (Alvarez et al., 2021). Kromium trivalen bersifat tidak larut dalam air, dapat merubah warna air menjadi keruh, dan membuat kadar *total suspended solid* (TSS) tinggi. Krom heksavalen memiliki sifat mudah larut dalam air, toksik, dan berbahaya bagi makhluk hidup (Kasmiyati et al., 2022). Keberadaan kromium di perairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air serta membahayakan lingkungan dan organisme akuatik. Dampak yang ditimbulkan bagi organisme akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat terhalangnya kerja enzim dalam proses fisiologis (Maharani et al., 2022). Kromium, terutama dalam bentuk heksavalen dikenal memiliki tingkat toksisitas yang tinggi serta bersifat karsinogenik, sehingga dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya (Sharma et al., 2022). Aktivitas manusia seperti *electroplating*, industri penyamakan, dan proses kimia turut berkontribusi terhadap pelepasan kromium dengan fraksinasi isotop lebih tinggi dibandingkan sumber alami (Bolaños-Benítez et al., 2021).

Limbah industri, seperti dari kegiatan penyamakan kulit, *electroplating*, dan tekstil, merupakan salah satu sumber utama kontaminasi Cr(VI) dalam lingkungan (Yadav et al., 2017). Paparan jangka panjang terhadap kromium heksavalen telah terkait dengan risiko kesehatan serius, termasuk kanker, masalah pernapasan, dan masalah kesehatan lainnya. Kromium heksavalen dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui konsumsi air minum yang terkontaminasi. Kromium trivalen meskipun kurang beracun daripada kromium heksavalen, kromium trivalen juga dapat menjadi masalah kesehatan jika terkandung dalam jumlah yang tinggi dalam air minum (Hidayat dan sukarelawan, 2024). Kromium heksavalen dapat menyebabkan kanker paru-paru terutama pada pekerja industri yang menghirup krom dalam jangka panjang. Hasil studi menyatakan bahwa populasi atau masyarakat yang tinggal dalam lingkungan dengan kadar krom yang tinggi dalam air minumannya berisiko terkena kanker paru-paru (Maharani et al., 2022). Kromium menyebabkan kulit melepuh, gangguan ginjal, pustula, kelainan kromosom persepsi, cedera sel saraf, disfungsi hati, gangguan kognisi, hemolisis, peningkatan pembentukan radikal hidroksil, penurunan enzim antioksidan dan aktivitas motorik, serta klorosis (Kerur et al., 2021). Dampak yang negatif yang ditimbulkan inilah sehingga sangat penting untuk menurunkan kadar Cr(VI) dalam air limpasan tambang sebelum dilepaskan ke lingkungan (Saputra et al., 2023). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 09 Tahun 2006 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan Kegiatan Pertambangan Bijih Nikel, batas maksimum kandungan kromium heksavalen (Cr(VI)) dalam air limbah pertambangan bijih nikel adalah 0,05 mg/L. Batas ini berlaku baik untuk kegiatan penambangan maupun pengolahan bijih nikel dan ditentukan berdasarkan metode analisis SNI 06-6989-53-2005. Tujuan dari regulasi ini adalah untuk memastikan bahwa air limbah yang dibuang ke lingkungan tidak mencemari sumber air dan tetap berada dalam ambang batas aman bagi lingkungan serta kesehatan manusia (KLH, 2006).

Berbagai penelitian telah dilakukan terkait kontaminasi Cr(VI) di air tanah, mencakup sumber pencemaran, mekanisme migrasi dan transformasi, serta metode remediasi. Beberapa teknik yang diterapkan untuk menghilangkan Cr(VI) meliputi metode fisikokimia-biologis seperti *pump and treat*, *permeable reactive barrier* (PRB), reduksi kimia dan bioreduksi in situ, serta remediasi elektrokinetik (Xu et al., 2024). Beragam teknologi telah dikembangkan untuk menghilangkan Cr(VI) dari air limbah, termasuk metode seperti adsorpsi, filtrasi membran, ekstraksi pelarut, koagulasi, pengolahan biologis, pertukaran ion, dan reduksi kimia (El-Gaayda et al., 2023). Diantara metode tersebut, reduksi kimia Cr(VI) menjadi Cr(III) mendapatkan perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir karena Cr(III) merupakan salah satu nutrisi esensial bagi organisme. Proses reduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) dianggap sebagai metode pengolahan limbah yang efektif, mengingat Cr(III) memiliki tingkat toksisitas yang jauh lebih rendah dan cenderung membentuk endapan stabil di lingkungan (Farooqi et al., 2021).

Teknik reduksi kimia telah digunakan secara luas karena operasinya yang hemat biaya dan mudah (Jiang et al., 2024). Koagulasi-flokulasi juga merupakan metode efektif lain untuk mengurangi konsentrasi kromium heksavalen dalam air limbah. Proses ini melibatkan penggunaan koagulan berbahan kimia anorganik atau organik sintetis, yang berperan dalam menghilangkan partikel atau polutan dari air. Faktor-faktor seperti dosis koagulan, pH, kecepatan pengadukan, suhu, dan waktu pengendapan memengaruhi efisiensi proses koagulasi-flokulasi. Partikel tersuspensi yang berukuran kecil dan bermuatan negatif perlu dikumpulkan menjadi flok yang lebih besar agar dapat diendapkan selama sedimentasi (El-taweel et al., 2023). Proses reduksi kromium heksavalen membutuhkan jumlah besar reduktor serta agen pengatur pH seperti natrium bisulfat dan asam sulfat, sementara pembentukan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ memerlukan tambahan NaOH (Hajloo dan Bashiri, 2024). Salah satu koagulan yang sering digunakan adalah Besi(II) sulfat (FeSO_4) (Hutabarat et al., 2022). Koagulan FeSO_4 sering digunakan karena sifatnya yang larut dalam air, bersifat asam, dan mampu mereduksi $\text{Cr}(\text{VI})$ menjadi $\text{Cr}(\text{III})$. Pada pH tertentu, FeSO_4 juga membentuk endapan hidroksida yang stabil, menjadikannya tidak hanya sebagai koagulan tetapi juga agen pereduksi. Biaya yang terjangkau dan efisiensi tinggi, proses koagulasi-flokulasi menjadi metode yang banyak diandalkan untuk pengolahan air limbah dalam skala besar (Pangeran et al., 2023). Berbagai penelitian telah dilakukan terkait penurunan $\text{Cr}(\text{VI})$ dengan koagulan FeSO_4 . Penelitian yang dilakukan oleh Hariani et al. (2009) dengan judul penurunan konsentrasi $\text{Cr}(\text{VI})$ dalam air menggunakan koagulan FeSO_4 diperoleh kondisi optimum yaitu pH 8, dengan konsentrasi koagulan 140 ml/L dan waktu kontak 60 menit dengan konsentrasi awal $\text{Cr}(\text{VI})$ yaitu 20 mg/L. Penelitian yang dilakukan oleh Ruhmawati dan Roni (2013) dengan judul efisiensi instalasi pengolahan air limbah (IPAL) pelapisan logam PTDI dalam menurunkan kadar $\text{Cr}(\text{VI})$ diperoleh bahwa pH koagulasi optimum berada pada pH 7 (netral). Penelitian yang dilakukan oleh Nasrullah et al. (2017) mengenai upaya penurunan kromium heksavalen pada air tambang nikel dengan menggunakan reduktor ferro sulfat pH optimum berada pada pH 6 dengan penambahan H_2SO_4 dan NaOH .

Garam besi sangat populer karena kemampuannya untuk mereduksi $\text{Cr}(\text{VI})$ secara efektif menjadi $\text{Cr}(\text{III})$ yang lebih aman, membentuk $\text{Fe}_x\text{Cr}_{1-x}(\text{OH})_3$ dan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ yang stabil (Jiang et al., 2024). Senyawa FeSO_4 merupakan senyawa kimia yang tersedia dalam bentuk lembab, kering, dan larutan, yang digunakan untuk pengolahan air minum, air limbah, serta air reklamasi. Senyawa ini telah lama diterapkan sebagai koagulan dalam proses pengolahan air, terutama dalam kombinasi dengan kapur untuk membentuk hidroksida besi yang efektif dalam menjernihkan air keruh. Koagulan FeSO_4 bekerja dengan membentuk flok yang dapat mengikat partikel tersuspensi dalam air, sehingga mempercepat proses pengendapan dan pemurnian. Efektivitasnya meningkat dalam kondisi pH tertentu, terutama saat dikombinasikan dengan oksidator seperti klorin atau

dalam lingkungan basa dengan bantuan kapur. Keunggulan FeSO_4 meliputi ketersediaan yang luas, biaya yang relatif rendah, serta kemampuannya dalam menghilangkan zat organik dan logam berat dari air. Penelitian yang dilakukan oleh Majalis et al. (2022) dengan judul pengolahan kromium(VI) pada air limbah pertambangan bijih nikel menggunakan besi(II) yang diperoleh dari slag nikel pada kondisi kontinu, dengan rasio berat $\text{Fe(II)}:\text{Cr(VI)}=7,5:1$ berhasil memperoleh persen penurunan konsentrasi Cr(VI) pada rentang 98,46 - 100%.

Pengolahan air limpasan tambang nikel yang mengandung Cr(VI) , dalam pendekatan sistem kontinu menjadi sangat penting karena aliran air yang bersifat terus-menerus dan bervolume besar. Sistem ini memungkinkan pengolahan air secara real-time, menyesuaikan dengan fluktuasi debit dan konsentrasi kontaminan, sehingga lebih efisien dibandingkan sistem batch. Penelitian oleh Mitrakas et al. (2020) menunjukkan bahwa dalam sistem reaktor aliran kontinu, efisiensi reduksi Cr(VI) oleh Fe(II) tetap tinggi meskipun terjadi variasi kecepatan aliran. Namun, peningkatan kecepatan aliran dapat mengurangi waktu kontak antara Fe(II) dan Cr(VI) , yang berpotensi menurunkan efisiensi reaksi. Oleh karena itu, pengaturan laju alir menjadi krusial untuk memastikan waktu kontak yang cukup guna mencapai efisiensi reduksi yang optimal. Selain itu, Gheju dan Iovi (2008) menemukan bahwa pH influen sangat mempengaruhi efisiensi reduksi Cr(VI) dalam sistem aliran kontinu. Mereka mencatat bahwa pada pH 2,5, efisiensi reduksi mencapai tingkat optimal, namun pH yang terlalu rendah atau tinggi dapat menurunkan efisiensi proses. Hal ini menekankan pentingnya kontrol pH yang tepat dalam sistem kontinu untuk menjaga kinerja optimal.

Berbagai metode telah diterapkan, namun optimasi penggunaan FeSO_4 dalam proses koagulasi dan flokulasi penurunan kadar Cr(VI) masih perlu ditingkatkan untuk mencapai hasil yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penelitian terkait dosis optimal FeSO_4 , waktu kontak, serta kondisi pH yang mendukung reaksi koagulasi dan flokulasi menjadi aspek penting dalam menentukan keberhasilan proses koagulasi-flokulasi (Kumar et al., 2021). Oleh karena itu, dilakukan analisis dosis, pH dan waktu kontak optimum FeSO_4 5% terhadap penurunan kadar Cr(VI) pada air limpasan tambang tanpa penambahan katalis dengan pengukuran secara kontinu di PT. VALE Indonesia. Penggunaan FeSO_4 yang teroptimasi tidak hanya berpotensi meningkatkan efisiensi proses pengolahan limbah, tetapi juga berkontribusi pada upaya perlindungan lingkungan dan keberlanjutan sumber daya alam.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi dosis FeSO_4 5% terhadap penurunan kadar Cr(VI) menjadi Cr(III) dalam air limpasan tambang?
2. Berapakah pH optimum dalam penurunan Cr(VI) menggunakan FeSO_4 5% dalam air limpasan tambang?

3. Berapakah waktu kontak optimum dalam penurunan Cr(VI) menggunakan FeSO_4 5% dalam air limpasan tambang?
4. Berapakah penurunan kadar Cr(VI) pada air limpasan tambang setelah pengaplikasian dosis optimum FeSO_4 5%?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi dosis FeSO_4 5% terhadap penurunan kadar Cr(VI) menjadi Cr(III) dalam air limpasan tambang.
2. Menentukan pH optimum dalam penurunan Cr(VI) menggunakan FeSO_4 5% dalam air limpasan tambang.
3. Menentukan waktu kontak optimum dalam penurunan Cr(VI) menggunakan FeSO_4 5% dalam air limpasan tambang.
4. Menentukan penurunan kadar Cr(VI) pada air limpasan tambang setelah pengaplikasian dosis optimum FeSO_4 5%.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu mengembangkan metode efektif untuk mengurangi kandungan Cr(VI) dalam air limpasan tambang menggunakan FeSO_4 5% tanpa penambahan bahan lain untuk mengefisienkan biaya. Secara praktis, penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai dosis optimal FeSO_4 5% dan pengaruh pH terhadap efisiensi reduksi Cr(VI) secara kontinu, yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah tambang agar memenuhi baku mutu lingkungan. Selain itu, penelitian ini berkontribusi dalam upaya perlindungan ekosistem perairan dengan mengurangi toksisitas logam berat, sehingga mendukung keberlanjutan industri pertambangan yang lebih ramah lingkungan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air limpasan tambang, padatan $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (*ISKY Chemicals*), padatan difenilkarbazida (*merck*), H_3PO_4 85% (*merck*), padatan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ p.a (*merck*), aseton p.a (*merck*), kertas saring *Whatman* 0,45 mikron dan akuades.

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat gelas yang umum digunakan di laboratorium, neraca analitik, *magnetic stirrer*, botol semprot, pH meter *seven excellent matter toledo*, botol sampel HDPE, *handheld vacuum pump*, rangkaian pompa vakum, kuvet, spektrofotometer UV-Vis cary 100, *magnetic bar*, *prototipe* sistem pengolahan air, *stopwatch*, *infuse set macro*.

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2025 - Juni 2025 di Laboratorium *Environment* PT. Vale Indonesia, Tbk Sorowako-Luwu Timur, Laboratorium Kualitas Air Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Laboratorium Kimia Analitik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pengambilan Sampel Air Limpasan Tambang (dimodifikasi (SNI) 6989.57:2008)

Pengambilan sampel air limpasan tambang dilakukan dengan metode acak, yaitu dengan menentukan satu titik sampling pada setiap *inlet pond* yang mewakili variasi karakteristik limpasan. Sampel diambil menggunakan botol HDPE (*high density polyethylene*) berkapasitas minimal 1 L yang bersih. Selama proses pengambilan, botol sampel diisi penuh tanpa menyisakan ruang udara dan disimpan dalam kondisi dingin ($\pm 4^\circ\text{C}$) di dalam *cool box*.

2.4.2 Pembuatan FeSO_4 5% sebanyak 100 mL

Padatan FeSO_4 ditimbang sebanyak 5 g kedalam gelas kimia 100 mL dilarutkan menggunakan akuades kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dan dihomogenkan.

2.4.3 Pembuatan Larutan H_3PO_4 30%

Larutan asam fosfat pekat sebanyak 17,35 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL, selanjutnya ditambahkan akuades sedikit demi sedikit sambil diaduk,

lalu larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas, setelah itu larutan dihomogenkan.

2.4.4 Pembuatan Larutan 1,5-Difenilkarbazida 0,5%

Padatan 1,5-difenilkarbazida ditimbang sebanyak 0,25 g kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL, dilarutkan menggunakan aseton p.a hingga larut sempurna, selanjutnya dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan aseton p.a hingga tanda batas, lalu larutan dihomogenkan.

2.4.5 Pembuatan Larutan *Stock* Cr(VI) 500 ppm

Padatan kalium dikromat p.a ditimbang sebanyak 0,0707 g kedalam gelas kimia, dilarutkan dengan akuades kemudian dipindahkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan aseton p.a hingga tanda batas, lalu larutan dihomogenkan

2.4.6 Pembuatan Kurva Kalibrasi *Low Level Standard*

a) Pembuatan Larutan Induk Cr(VI) 0,5 ppm

Larutan *stock* Cr(VI) 500 ppm dipipet 1mL lalu dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL diencerkan dengan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

b) Pembuatan Deret *Low Level Standard* (0,005 ppm; 0,01 ppm; 0,025 ppm; 0,05 ppm dan 0,1 ppm)

Larutan induk Cr(VI) 0,5 ppm dipipet masing-masing sebanyak 0,5 mL; 1 mL; 2,5 mL; 5 mL dan 10 mL lalu dimasukkan kedalam masing masing labu ukur 50 mL kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

c) Pembuatan Kurva Kalibrasi *Low Level Standard*

Deret standar *low level* dan blanko masing-masing sebanyak 25 mL ditambahkan dengan H_3PO_4 30% sebanyak 3 tetes dan larutan 1,5-difenilkarbazida 0,5% sebanyak 1 mL yang kemudian dibiarkan bereaksi selama 10 menit hingga terbentuk warna magenta. Lalu diukur absorbansinya pada panjang gelombang 540 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2.4.7 Pembuatan Kurva Kalibrasi *High Level Standard*

a) Pembuatan Larutan Induk Cr(VI) 5 ppm

Larutan *stock* Cr(VI) 500 ppm dipipet 1 mL lalu dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan.

b) Pembuatan Deret High Level Standart (0,1 ppm; 0,2 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm dan 1,2 ppm)

Larutan induk Cr(VI) 5 ppm dipipet masing-masing sebanyak 1 mL; 2 mL; 5 mL; 10 mL dan 12 mL lalu dimasukkan ke dalam masing-masing labu ukur 50 mL kemudian diencerkan dengan akuades hingga tanda batas lalu dihomogenkan

c) Pembuatan Kurva Kalibrasi High Level Standart

Deret standar low level dan blanko sebanyak ditambahkan dengan H_3PO_4 30% sebanyak 3 tetes dan larutan 1,5-difenilkarbazida 0,5% sebanyak 1 mL yang kemudian dibiarkan bereaksi selama 10 menit hingga terbentuk warna magenta. Lalu diukur absorbansinya pada panjang gelombang 540 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2.4.8 Pengukuran Kromium Heksavalen dalam Sampel Air Limpasan (dimodifikasi (SNI) 6989.71:2009)

Sampel air limbah tambang disaring menggunakan kertas saring berpori ukuran 0,45 μm . Setelah itu, 25 mL sampel yang telah disaring ditambahkan dengan H_3PO_4 30% sebanyak 3 tetes dan larutan 1,5-difenilkarbazida 0,5% sebanyak 1 mL yang kemudian dibiarkan bereaksi selama 10 menit hingga terbentuk warna magenta. Lalu diukur absorbansinya pada panjang gelombang 540 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

2.4.9 Pengukuran Dosis Optimal FeSO_4 5% terhadap Cr(VI) Secara Bertahap (dimodifikasi dari Majalis et al., 2022)

Sampel yang telah diketahui konsentrasi kromium heksavalennya dimasukkan ke dalam 5 gelas kimia masing-masing sebanyak 1 L. Gelas kimia pertama, kemudian ditambahkan 0,1 mL FeSO_4 5% pada 10 menit pertama lalu diukur kadar kromium heksavalen setelah penambahannya. Gelas kimia kedua ditambahkan 0,1 mL FeSO_4 5% tiap 10 menit selama 20 menit kemudian diukur kadar kromium heksavalennya. Gelas kimia ketiga, ditambahkan 0,1 mL FeSO_4 5% tiap 10 menit selama 30 menit kemudian diukur kadar kromium heksavalen setelah penambahannya. Gelas kimia keempat, ditambahkan 0,1 mL FeSO_4 5% tiap 10 menit selama 40 menit kemudian diukur kadar kromium heksavalennya. Pada gelas kimia kelima, ditambahkan 0,1 mL FeSO_4 5% tiap 10 menit selama 50 menit yang kemudian diukur kadar kromium heksavalennya. Dilakukan hal yang sama untuk sampel dengan konsentrasi Cr(VI) yang berbeda. Hasil pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan (1):

$$y = ax + b \quad (1)$$

Keterangan:

$a = \text{slope}$

$b = \text{intercept}$

$x = \text{penurunan konsentrasi Cr(VI) (mg/L)}$

$y = \text{volume FeSO}_4 \text{ yang digunakan (mL)}$

Penurunan konsentrasi Cr(VI) dihitung menggunakan persamaan (2):

$$\text{Penurunan [Cr(VI)]} = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \quad (2)$$

Keterangan:

$C_0 = \text{konsentrasi Cr(VI) awal (mg/L)}$

$C_i = \text{konsentrasi Cr(VI) akhir (mg/L)}$

2.4.10 Pengukuran pH Optimal FeSO₄ 5% terhadap Cr(VI) (dimodifikasi dari Majalis et al., 2022)

Sampel yang telah diketahui konsentrasi kromium heksavalen dan pHnya dimasukkan kedalam 5 gelas kimia masing-masing sebanyak 1 L. Pada gelas kimia pertama, kemudian ditambahkan 0,1 mL FeSO₄ 5% pada 10 menit pertama lalu diukur pH setelah penambahannya. Pada gelas kimia kedua ditambahkan 0,1 mL FeSO₄ 5% tiap 10 menit selama 20 menit kemudian diukur pH setelah penambahannya. Pada gelas kimia ketiga, ditambahkan 0,1 mL FeSO₄ 5% tiap 10 menit selama 30 menit kemudian diukur pH setelah penambahannya. Pada gelas kimia keempat, ditambahkan 0,1 mL FeSO₄ 5% tiap 10 menit selama 40 menit kemudian diukur pH setelah penambahannya. Pada gelas kimia kelima, ditambahkan 0,1 mL FeSO₄ 5% tiap 10 menit selama 50 menit yang kemudian diukur pH setelah penambahannya. Dilakukan hal yang sama pada dosis 0,3 ml/10 menit.

2.4.11 Pengukuran Waktu Kontak Optimal FeSO₄ 5% terhadap Cr(VI) (dimodifikasi dari Nasrullah et al., 2017)

Sampel yang telah diketahui konsentrasi kromium heksavalennya dimasukkan kedalam 5 gelas kimia masing-masing sebanyak 1 L. Pada gelas kimia ditambahkan 0,1 mL FeSO₄ 5% lalu diaduk dan diukur kadar kromium heksavalennya tiap 10 menit selama 70 menit

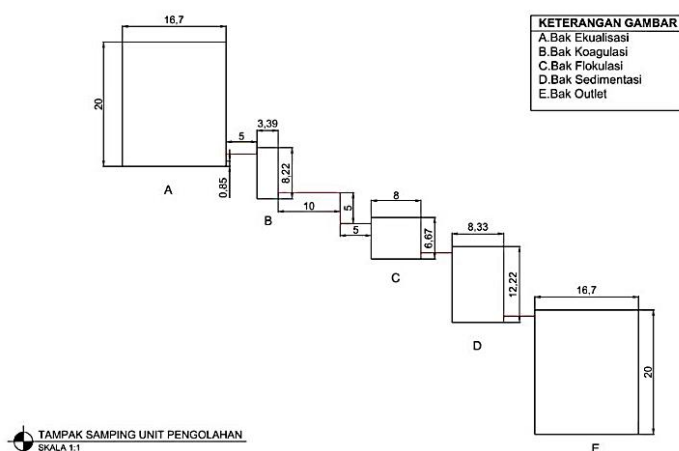
2.4.12 Aplikasi Kondisi Optimum pada Pengolahan Air Limpasan Tambang Secara Kontinu

a) Pembuatan Prototipe Bak Unit Pengolahan (dimodifikasi dari Sarwono et al., 2017)

Bak ekualisasi dengan kapasitas sekitar 6 L yang berfungsi sebagai penampung air baku dan diletakkan pada posisi paling atas. Kemudian, bak koagulasi diposisikan lebih rendah dari bak ekualisasi agar aliran air dapat terjadi secara alami menggunakan pipa PVC berdiameter ½ inci.

Bak koagulasi berbentuk tabung dengan ukuran diameter 5,5 dan tinggi 14 cm. Selanjutnya, bak flokulasi disusun lebih rendah dari bak koagulasi untuk mempertahankan aliran gravitasi menuju unit flokulasi. Bak flokulasi dibuat dengan tipe *baffle channel*. Bak flokulasi tipe *baffle channel* berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 28 cm, lebar 8 cm, dan tinggi 6,67 cm, serta dilengkapi dengan sekat-sekat kaca untuk mengarahkan dan memperlambat aliran air selama proses flokulasi. Bak sedimentasi dengan model tabung dibuat dengan ukuran diameter 8,33 cm dan tinggi 17,22 cm dan bak terakhir untuk bak *outlet* dibuat seukuran dengan bak ekualisasi. Skema tampak samping unit pengolahan dapat dilihat ada gambar 1.

Setiap sambungan antar bak dilengkapi dengan pipa PVC ½ inci dan *valve* yang berfungsi sebagai pengatur aliran air antar unit. Setelah sistem dirangkai, dilakukan pengujian kebocoran dengan mengalirkan air dari bak ekualisasi ke seluruh unit pengolahan untuk memastikan seluruh sambungan kedap air dan berfungsi sebagaimana mestinya.



Gambar 1. Tampak samping unit pengolahan

b) Pengukuran Debit Manual pada Bak Koagulasi (dimodifikasi dari Suhardi, 2020)

Sebelum proses pengolahan air dilakukan, tahap awal yang perlu dilakukan adalah pengukuran debit air dari bak ekualisasi menuju bak koagulasi. Pengukuran debit ini dilakukan secara manual menggunakan metode volumetrik. Metode ini dilakukan dengan *valve* pada bak ekualisasi yang volumenya telah diketahui dibuka, dan waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi wadah tersebut dicatat menggunakan *stopwatch*. Debit aliran kemudian dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (3):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

Q = debit air (L/detik atau mL/menit),

V = volume air yang tertampung (L atau mL)

t = Lama pengisian (detik atau menit)

c) Pengukuran Debit Manual pada Injektor Koagulan (dimodifikasi Batista et al., 2013)

Pengukuran debit injeksi koagulan dilakukan sebelum proses koagulasi berlangsung dengan menggunakan *infuse set macro* yang dipasang pada buret. Buret kemudian diisi dengan larutan FeSO_4 5%. Setelah itu, dialirkan pada *PVC tube* dipastikan tidak terdapat gelembung udara di dalam *syringe* serta sambungan berada dalam kondisi rapat. Ujung keluaran *syringe* selanjutnya diarahkan ke dalam gelas ukur. *Syringe pump* kemudian dibuka sedikit, dan diberi penanda. Injeksi larutan dimulai bersamaan dengan pengaktifan *stopwatch*, kemudian dibiarkan berlangsung selama waktu tertentu yang disesuaikan dengan kondisi aliran, yaitu selama 60 detik. Setelah waktu pengukuran berakhir, injeksi dihentikan dan volume cairan yang tertampung dalam gelas ukur dibaca sebagai volume (V) dalam satuan mL. Pengukuran ini diulang sebanyak minimal tiga kali untuk memperoleh hasil yang representatif. Debit injeksi koagulan kemudian dihitung menggunakan Persamaan (3):

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

Q = debit koagulan (mL/detik atau mL/menit)

V = volume larutan yang tertampung (mL)

t = waktu pengukuran (detik atau menit)

d) Alur Pengolahan Air hingga Bak Flokulasi (dimodifikasi dari Sarwono et al., 2017)

Air limpasan tambang yang telah diketahui konsentrasi kromium heksavalennya sebanyak 5 L dimasukkan ke dalam bak ekualisasi. Air kemudian mengalir secara gravitasi ke dalam bak koagulasi. Pada bak koagulasi, dilakukan penambahan koagulan FeSO_4 5% dengan dosis optimum yang telah ditentukan. Proses pengadukan di bak koagulasi dilakukan secara hidrolisis menggunakan sistem terjunan agar terjadi pencampuran yang cepat. Setelah itu, air akan mengalir ke dalam bak flokulasi, untuk memperbesar pembentukan flok melalui proses flokulasi selama 30 menit. Setelah 50 menit air limpasan tambang dari bak flokulasi diambil sebanyak 25 mL dan diukur kadar kromium heksavalennya.