

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGGUNAAN DOSIS FERROSULFAT TERHADAP  
PENURUNAN KADAR KROMIUM HEKSAVALEN PADA  
*WATER TREATMENT* PT. VALE INDONESIA TBK**

**Disusun dan diajukan oleh**

**M. HANIF RIFAI**

**D62115010**



**DEPARTEMEN TEKNIK PERTAMBANGAN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS PENGGUNAAN DOSIS FERROSULFAT TERHADAP PENURUNAN KADAR KROMIUM HEKSAVALEN PADA WATER TREATMENT PT. VALE INDONESIA TBK

Disusun dan diajukan oleh

**M. Hanif Rifai**

**D62115010**

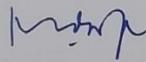
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 19 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

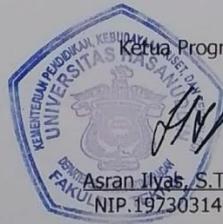


Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T.  
NIP. 196807181993091001



Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T.  
NIP. 199511262022043001

Ketua Program Studi,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197303142000121001

## ***PERNYATAAN KEASLIAN***

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Hanif Rifai  
NIM : D62115010  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Analisis Penggunaan Dosis Ferrosulfat Terhadap Penurunan Kadar Kromium  
Heksavalen pada *Water Treatment* PT. Vale Indonesia Tbk.

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 19 Agustus 2022

Yang menyatakan

A 10000 Indonesian postage stamp with a signature over it. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and 'METERAI TEMPEL'. The serial number '29C43AKX013925475' is visible at the bottom of the stamp.

M. Hanif Rifai

## ABSTRAK

Sistem tambang terbuka PT. Vale Indonesia menyebabkan kromium terpapar ke permukaan dan teroksidasi menjadi kromium heksavalen. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 9 Tahun 2006 tentang baku mutu air limbah tambang nikel menetapkan standar kromium heksavalen maksimal 0,1 mg/L. PT. Vale Indonesia melakukan injeksi ferrosulfat untuk menurunkan kadar kromium heksavalen dengan mempertimbangkan kadar kromium heksavalen inlet dan debit air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dosis injeksi ferrosulfat yang efektif untuk menurunkan kadar kromium heksavalen. Metode penelitian dilakukan dengan analisis regresi linear menggunakan aplikasi *IBM SPSS Statistic 24*. Prediksi dosis injeksi ferrosulfat dianalisis dengan tiga skema prediksi dengan mempertimbangkan pengaruh: a) kadar kromium heksavalen inlet terhadap dosis injeksi ferrosulfat dengan hasil analisis menunjukkan kadar kromium heksavalen inlet tidak berpengaruh terhadap dosis injeksi ferrosulfat; b) debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat dengan hasil analisis menunjukkan debit air berpengaruh terhadap dosis injeksi ferrosulfat; dan c) debit air terhadap kadar kromium heksavalen inlet dengan hasil analisis menunjukkan debit air tidak berpengaruh terhadap kadar kromium heksavalen inlet. Hasil analisis prediksi dosis injeksi ferrosulfat menunjukkan bahwa dosis efektif injeksi ferrosulfat diperoleh dengan menggunakan variabel kadar kromium heksavalen inlet ditambah debit air.

Kata Kunci: Nikel laterit, Pengolahan air, Kromium heksavalen, Injeksi ferrosulfat, Regresi linear

## **ABSTRACT**

*Open pit mine system of PT. Vale Indonesia causes chromium to be exposed to surface and oxidized to hexavalent chromium. The Minister of Environment Regulation No. 9/2006 concerning quality standard of nickel mine waste water stipulates hexavalent chromium standard of a maximum is 0.1 mg/L. PT. Vale Indonesia perform ferrosulfate injection to reduce hexavalent chromium by considering inlet hexavalent chromium levels and water discharge. This study aims to analyze effective dosage of ferrosulfate injection to reduce hexavalent chromium levels. Research method was carried out by linear regression analysis using the IBM SPSS Statistic 24 application. Prediction of ferrosulfate injection dosage was analyzed by three prediction schemes taking into account effect: a) inlet hexavalent chromium levels to ferrosulfate injection dosage with analysis results showing that inlet hexavalent chromium levels has no effects to ferrosulfate injection dosage; b) water discharge to ferrosulfate injection dosage with analysis results showing that water discharge has effects to ferrosulfate injection dosage; and c) water discharge to inlet hexavalent chromium levels with analysis results showing that water discharge has no effects to inlet hexavalent chromium levels. Prediction analysis results of ferrosulfate injection dosage showed that effective dosage of ferrosulfate injection was obtained by using variable of inlet hexavalent chromium levels with water discharge.*

*Key words: Nickel laterite, Water treatment, Hexavalent chromium, Ferrosulfate injection, Linear regression*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis penatkan atas kehadiran Allah SWT. karena dengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul analisis penggunaan dosis ferrosulfat terhadap penurunan kadar kromium heksavalen pada *water treatment* PT. Vale Indonesia Tbk. Penyusunan tugas akhir ini merupakan syarat terakhir yang harus ditempuh untuk menyelesaikan Pendidikan pada jenjang Strata Satu (S1) pada Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Penyelesaian penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada PT. Vale Indonesia Tbk yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T., selaku ketua departemen teknik pertambangan universitas hasanuddin, Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T., dan Bapak Asta Arjunoarwan Hatta, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan dan arahan dalam penyusunan tugas akhir. Terima kasih pula kepada Bapak Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T., selaku dosen penguji.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua Bapak Fiftahuddin dan Ibu Arik Nurhidayati atas segala dukungan yang diberikan, dan keluarga besar Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2015, serta seluruh anggota LBE Lingkungan Tambang Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karenanya, penulis berharap adanya kritik dan saran demi perbaikan tugas akhir yang membangun.

Gowa, Agustus 2022

M. Hanif Rifai

# DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	3
1.6 Tahapan Penelitian .....	4
BAB II PENANGANAN KROMIUM HEKSAVALEN DAN ANALISIS REGRESI LINEAR.....	6
2.1 Kromium .....	6
2.2 Kromium Heksavalen (Cr(VI)).....	9
2.3 Ferrosulfat (FeSO <sub>4</sub> ) .....	12
2.4 Regresi Linear.....	13
2.5 SPSS .....	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Pengambilan Data .....	21
3.2 Pengolahan dan Analisis Data .....	25

BAB IV PREDIKSI DOSIS FERROSULFAT DALAM MENURUNKAN KADAR KROMIUM	
HEKSAVALEN .....	33
4.1 Hubungan Debit Air terhadap Kadar Cr(VI) Inlet.....	33
4.2 Hubungan Kadar Cr(VI) Inlet terhadap Dosis Injeksi Ferrosulfat .....	35
4.3 Hubungan Debit Air terhadap Dosis Injeksi Ferrosulfat .....	37
4.4 Hubungan Cr(VI) Inlet, Debit Air, dan Dosis Injeksi Ferrosulfat terhadap Kadar Cr(VI) Outlet.....	40
4.5 Prediksi Dosis Injeksi Ferrosulfat.....	44
BAB V KESIMPULAN.....	
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran .....	62
DAFTAR PUSTAKA .....	63
LAMPIRAN .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
1.1	Peta lokasi penelitian .....	4
2.1	Diagram spesiasi untuk kromium cair (McNeil at al, 2012) .....	7
2.2	Bentuk Cr(III) pada sampel air (McNeil at al, 2012).....	8
3.1	Fasilitas <i>water treatment</i> Pakalangkai.....	21
3.2	Saluran inlet <i>water treatment</i> Pakalangkai .....	22
3.3	Alat pengadukan larutan ferrosulfat .....	22
3.4	Alat <i>Colorimeter</i> DR 900 .....	23
3.5	Alat <i>Globe Water Flow Probe</i> .....	24
3.6	Halaman data view .....	25
3.7	Halaman <i>variable view</i> .....	26
3.8	Menu <i>analyze</i> untuk analisis regresi linear .....	26
3.9	Halaman analisis regresi .....	27
3.10	Halaman pengolahan SPSS .....	27
3.11	Diagram alir penelitian .....	32
4.1	<i>Scatterplot</i> hubungan debit air terhadap kadar Cr(VI) inlet .....	35
4.2	<i>Scatterplot</i> hubungan kadar Cr(VI) inlet terhadap dosis injeksi ferrosulfat .....	37
4.3	<i>Scatterplot</i> hubungan debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat .....	39
4.4	Perbandingan kadar Cr(VI) outlet aktual dan prediksi .....	43
4.5	Distribusi histogram prediksi menggunakan variabel Cr(VI) inlet .....	45
4.6	Perbandingan dosis injeksi aktual dan prediksi dengan variabel Cr(VI) inlet .....	48
4.7	Distribusi histogram prediksi menggunakan variabel debit air .....	49
4.8	Perbandingan dosis injeksi actual dan prediksi dengan variabel debit air .....	52

4.9	Distribusi histogram prediksi menggunakan variabel kadar Cr(VI) inlet dan debit air .....	54
4.10	Perbandingan dosis injeksi aktual dan prediksi dengan variabel kadar Cr(VI) inlet dan debit air .....	60

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1	Potensial Reduksi Standar (Katz and Salem, 1993) ..... 6
2.2	Reaksi Cr(III) dan Cr(VI) (McNeil at al, 2012) ..... 10
4.1	Hasil pengolahan regresi debit air terhadap kadar Cr(VI) inlet ..... 33
4.2	Nilai r dan R <sup>2</sup> debit air terhadap kadar Cr(VI) inlet ..... 34
4.3	Hasil penglahan regresi kadar Cr(VI) inlet terhadap dosis injeksi ferrosulfat 36
4.4	Nilai r dan R <sup>2</sup> kadar Cr(VI) inlet terhadap dosis injeksi ferrosulfat ..... 36
4.5	Hasil pengolahan regresi debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat ..... 38
4.6	Nilai r dan R <sup>2</sup> debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat ..... 38
4.7	Hasil pengolahan regresi kadar Cr(VI) inlet, debit air, dan dosis injeksi ferrosulfat terhadap kadar Cr(VI) outlet ..... 40
4.8	Nilai r dan R <sup>2</sup> kadar Cr(VI) inlet, debit air, dan dosis injeksi ferrosulfat terhadap kadar Cr(VI) outlet ..... 41
4.9	Hasil pengolahan regresi kadar Cr(VI) inlet, debit air, dan dosis injeksi ferrosulfat terhadap kadar Cr(VI) outlet setelah reduksi data ..... 42
4.10	Nilai r dan R <sup>2</sup> kadar Cr(VI) inlet, debit air, dan dosis injeksi ferrosulfat terhadap kadar Cr(VI) outlet setelah reduksi data ..... 42
4.11	Hasil uji Rank Spearman prediksi menggunakan variabel Cr(VI) inlet ..... 46
4.12	Hasil uji Durbin Watson prediksi menggunakan variabel Cr(VI) inlet ..... 46
4.13	Hasil uji F untuk Cr(VI) inlet ..... 47
4.14	Hasil uji Rank Spearman prediksi menggunakan variabel debit air ..... 50
4.15	Hasil uji Durbin Watson prediksi menggunakan variabel debit air ..... 50
4.16	Hasil uji F untuk debit air ..... 51
4.17	Hasil pengolahan regresi untuk kadar Cr(VI) inlet ditambah debit air ..... 53
4.18	Hasil pengolahan uji Rank Spearman untuk kadar Cr(VI) inlet ditambah

	debit air .....	55
4.19	Hasil uji Durbin Watson prediksi menggunakan variabel kadar Cr(VI) inlet ditambah debit air .....	56
4.20	Hasil uji multikolinearitas untuk kadar Cr(VI) inlet ditambah debit air .....	57
4.21	Hasil uji F untuk kadar Cr(VI) inlet ditambah debit air .....	57
4.22	Hasil uji t untuk kadar Cr(VI) inlet ditambah debit air .....	58
4.23	Koefisien Korelasi dan Koefisien Determinasi kadar Cr(VI) inlet ditambah debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat.....	59

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Vale Indonesia merupakan salah satu industri pertambangan di Indonesia yang berfokus pada penambangan nikel. Proses penambangan nikel sendiri khususnya pada PT. Vale Indonesia dilakukan dengan sistem tambang terbuka dengan mengeruk lapisan nikel laterit, dimana pada lapisan tersebut terdapat pula unsur-unsur lain seperti Cr, Mn, Mg, dan Fe yang mengalami pengayaan melalui kondisi lingkungan dan curah hujan. Proses penambangan dengan metode tambang terbuka tersebut mengakibatkan logam kromium terpapar di permukaan sehingga besar kemungkinan terjadi proses oksidasi kromium menjadi kromium heksavalen (Cr(VI)). Cr(VI) bersama dengan logam berat lain yang terasosiasi dalam bijih nikel laterit mengalami pelindian oleh air hujan dan mengakibatkan terjadinya perpindahan Cr(VI) menuju tempat lain bahkan ke pemukiman masyarakat. Cr(VI) merupakan salah satu logam yang berbahaya bagi manusia sehingga perlu dilakukannya penanganan yang tepat.

Penanganan Cr(VI) di PT. Vale Indonesia telah dilakukan dengan membuat sejumlah fasilitas *water treatment* untuk menurunkan kadar Cr(VI) tersebut. Berdasarkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 9 Tahun 2006 tentang baku mutu air limbah pada pertambangan bijih nikel ditetapkan bahwa standar untuk kadar Cr(VI) maksimal 0,1 mg/L. PT. Vale Indonesia juga menetapkan standar tersendiri untuk kadar Cr(VI) di area penambangannya yaitu 0,05 mg/L. PT. Vale Indonesia melakukan upaya dalam menurunkan kadar Cr(VI) agar berada dibawah standar yang telah ditetapkan dengan menggunakan larutan Ferrosulfat ( $\text{FeSO}_4$ ) yang diinjeksi kedalam air tambang yang mengandung Cr(VI) pada fasilitas *water treatment*.

Pemberian injeksi Ferrosulfat dilakukan dengan memperhatikan beberapa parameter yang mempengaruhi dalam penentuan dosis injeksinya seperti kadar Cr(VI) pada inlet dan debit air yang masuk kedalam fasilitas *water treatment* tersebut. Permasalahan muncul dalam proses tersebut dimana selalu berubahnya kondisi kedua parameter tersebut sehingga menyulitkan operator atau petugas dalam menentukan dosis ferrosulfat dengan tepat dan terukur, sehingga diperlukan sebuah formula prediksi dosis yang dapat digunakan dalam segala kondisi dengan memperhatikan parameter-parameter yang mempengaruhinya. Hal tersebut menjadi dasar pemikiran untuk melakukan penelitian mengenai analisis dosis ferrosulfat dalam menurunkan kadar kromium heksavalen.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Pemberian injeksi ferrosulfat dengan dosis yang tepat dalam menurunkan kadar kromium heksavalen sulit dilakukan karena parameter yang mempengaruhinya selalu berubah-ubah. Berdasarkan masalah tersebut, rumusan masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hubungan dan pengaruh kadar Cr(VI) inlet dan debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat.
2. Hubungan dan pengaruh kadar Cr(VI) inlet, debit air, dan dosis injeksi ferrosulfat terhadap kadar Cr(VI) outlet.
2. Prediksi dosis ferrosulfat dalam menurunkan kadar Cr(VI) menggunakan analisis regresi linear.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

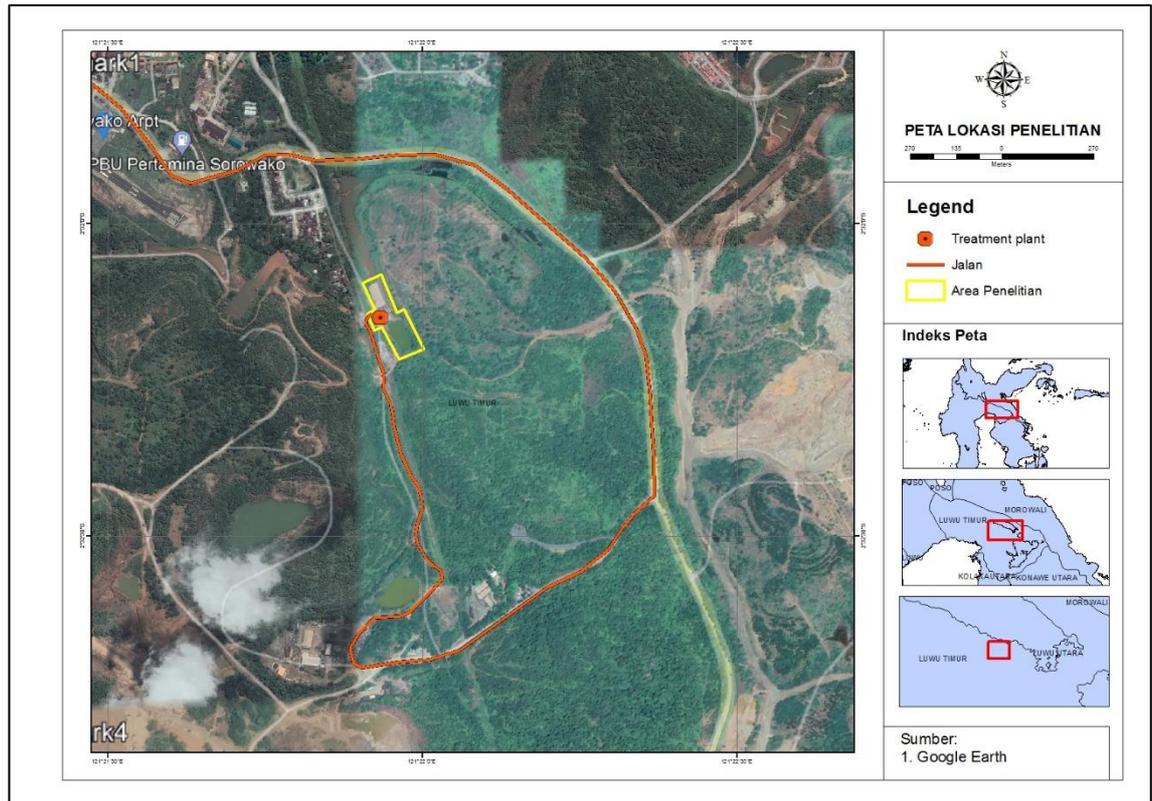
1. Menganalisis hubungan dan pengaruh kadar Cr(VI) inlet dan debit air terhadap dosis injeksi ferrosulfat.
2. Menganalisis hubungan dan pengaruh kadar Cr(VI) inlet, debit air, dan dosis injeksi ferrosulfat terhadap kadar Cr(VI) outlet.
3. Menganalisis prediksi dosis injeksi ferrosulfat dalam menurunkan kadar Cr(VI) menggunakan analisis regresi linear.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Kegunaan dari penelitian ini yaitu penulis dapat memperoleh gambaran mengenai hubungan parameter-parameter yang mempengaruhi dalam pemberian injeksi ferrosulfat. Penulis juga dapat memperoleh model persamaan prediksi dosis injeksi ferrosulfat yang dapat berguna sebagai referensi sekaligus menjadi alternatif lain dalam penentuan dosis. Persamaan prediksi dosis ferrosulfat ini diharapkan dapat digunakan dalam segala kondisi berdasarkan beberapa faktor yaitu kadar kromium heksavalen inlet dan debit air pada fasilitas *water treatment* PT. Vale Indonesia sehingga mempermudah dalam pemberian dosis ferrosulfat yang tepat dan terukur.

#### **1.5 Lokasi dan Kesampaian Daerah**

Daerah penelitian merupakan fasilitas pengolahan air tambang Pakalangkai (Pakalangkai *Water Treatment*) milik PT. Vale Indonesia Tbk. yang mengolah air yang berasal dari area penambangan sebelum dialirkan ke luar area penambangan. Secara administratif lokasi penelitian terletak di Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi penelitian dapat ditempuh dengan kendaraan roda empat sekitar 30 menit dari Desa Sorowako. Koordinat lokasi penelitian terletak pada koordinat 2°32'09.47" LS dan 121°21'56.74" BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Peta lokasi penelitian

## 1.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Studi literatur meliputi kajian mengenai objek penelitian melalui literatur dan berbagai referensi yang tersedia. Kajian diperoleh melalui buku, jurnal penelitian, *proceeding* artikel, serta laporan dan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan pada daerah penelitian.

### 2. Pengambilan Data

Data pada penelitian ini merupakan data tidak langsung yang diperoleh dari tim hidrologi PT. Vale Indonesia Tbk. Data tersebut terdiri atas kadar kromium heksavalen inlet dan outlet, debit air, serta dosis ferrosulfat aktual yang diambil

setiap 2 jam sekali. Lokasi pengambilan data terletak di Pakalangkai *Water Treatment* PT. Vale Indonesia yang terletak di Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan.

### 3. Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi *IBM SPSS Statistic 24* dan dilakukan analisis data menggunakan metode regresi linear berganda untuk memperoleh model persamaan prediksi dosis ferrosulfat. Setelah model persamaan diperoleh, dilakukan prediksi data dan membandingkan nilai hasil prediksi dengan nilai aktual untuk mengetahui persentase kesalahan dalam prediksi sehingga diperoleh dosis injeksi ferrosulfat.

### 4. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan tugas akhir merupakan tahapan terakhir dalam penelitian. Penyusunan laporan ini bertujuan untuk melaporkan seluruh data, kegiatan, dan hasil yang diperoleh selama melaksanakan penelitian ini. Laporan ini disusun berdasarkan kaidah penyusunan laporan yang berlaku di Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

## BAB II

# PENANGANAN KROMIUM HEKSAVALEN DAN ANALISIS REGRESI LINEAR

### 2.1 Kromium

Kromium merupakan logam transisi yang penting, senyawanya berupa senyawa kompleks yang memiliki berbagai warna, berkilau, titik lebur pada suhu tinggi serta tahan terhadap perubahan cuaca. Selain itu pelapisan logam dengan kromium menghasilkan paduan logam yang indah, keras, dan melindungi logam lain dari korosi (Hariani dkk., 2009). Kromium termasuk polutan umum yang masuk ke perairan alami karena pembuangan berbagai air limbah industri. Di sisi lain, katalis berbasis kromium juga biasanya digunakan dalam berbagai proses kimia, termasuk oksidasi selektif hidrokarbon (Owlad *et al.*, 2009).

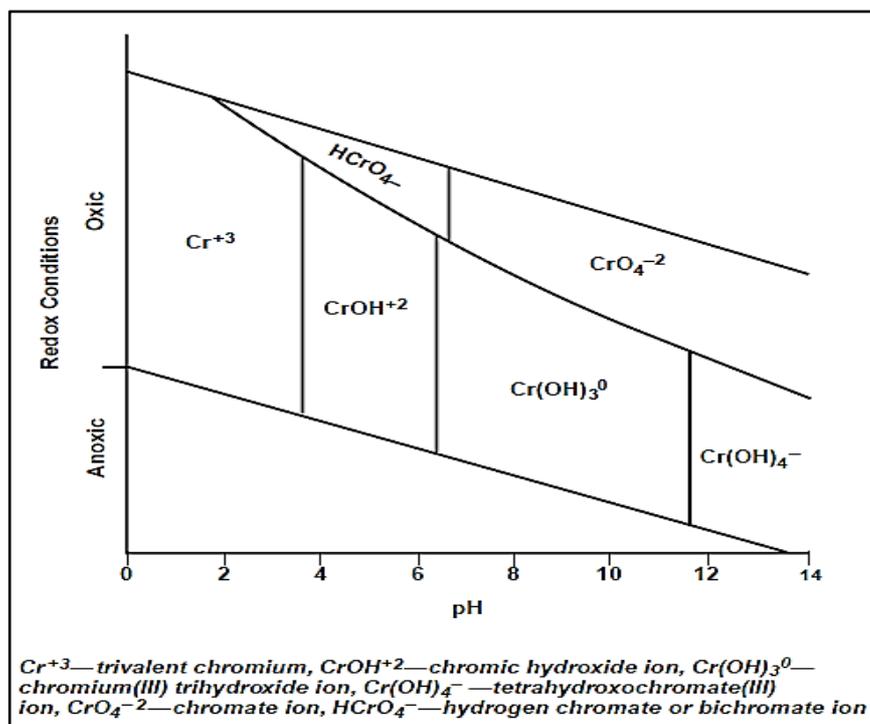
Unsur kromium sendiri pertama kali teliti dan diklasifikasikan oleh Louis Vanquelin pada tahun 1793. Senyawa kromium menunjukkan bilangan oksidasi +2, +3, +4, +5, dan +6, dimana senyawa kromium trivalen adalah senyawa yang paling stabil dan paling melimpah di alam bebas. Potensi standar untuk kesetimbangan oksidasi-reduksi diantara keadaan valensi tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut (Katz and Salem, 1993):

Tabel 2.1 Potensial Reduksi Standar (Katz *and* Salem, 1993).

<i>Half-cell Reaction</i>	<i>E0 (V)</i>	<i>Change</i>
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	0,55	VI ke V
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightarrow 2\text{CrO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	0,95	VI ke IV
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e} \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,38	VI ke III
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + \text{e} \rightarrow \text{CrO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,34	V ke IV

Half-cell Reaction	E0 (V)	Change
$\text{CrO}^- + 5\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,72	V ke III
$\text{CrO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{e} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	2,10	IV ke III
$\text{Cr}^{3+} + \text{e} \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0,42	III ke II
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Cr}$	-0,74	III ke 0
$\text{Cr}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cr}$	-0,90	II ke 0
$\text{CrO}^- + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} \rightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + 4\text{OH}$	-0,72	VI ke III
$\text{CrO} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}$	-0,11	VI ke III
$[\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + 3\text{e} \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	-1,33	III ke 0
$\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{e} \rightarrow \text{Cr} + 3\text{OH}$	-1,33	III ke 0

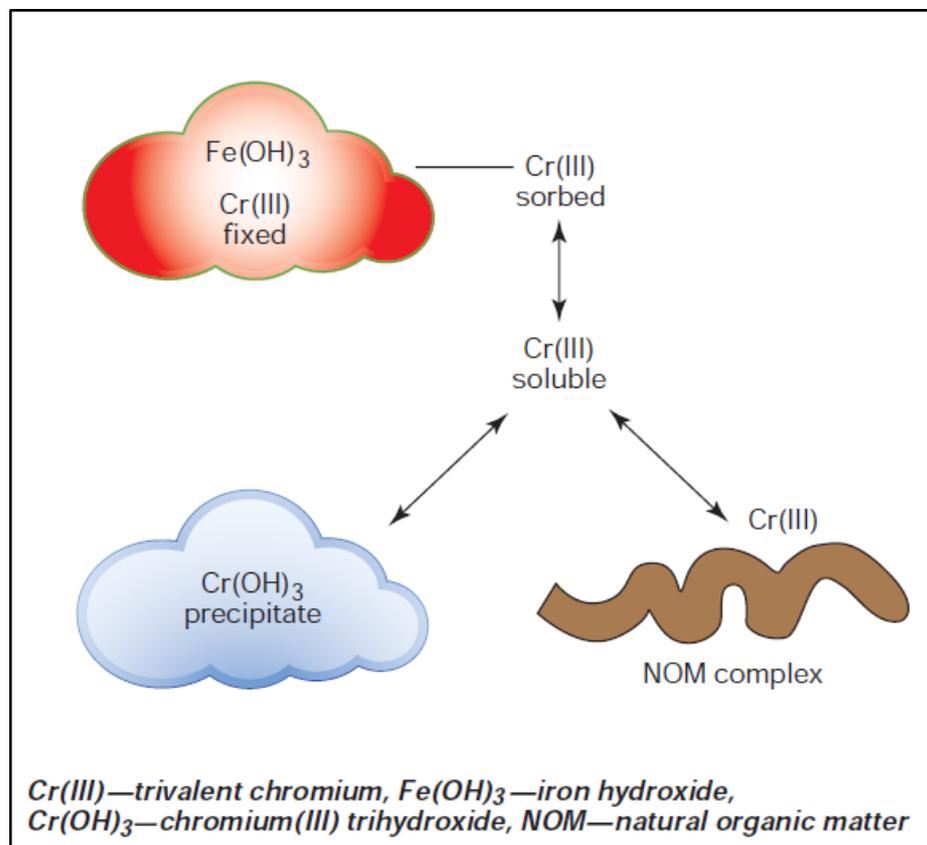
Kromium (Cr) memiliki dua keadaan oksidasi utama yaitu kromium trivalen (Cr(III)) dan kromium heksavalen (Cr(VI)). Diagram pE - pH menggambarkan pentingnya Cr(III) dan Cr(VI) secara relatif pada kesetimbangan dan spesies dominan yang dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut (McNeil *et al.*, 2012):



Gambar 2.1 Diagram spesiasi untuk kromium cair (McNeil *et al.*, 2012).

Kelompok kromium redox pada sistem perairan utamanya mencakup kromium trivalen Cr(III) dan kromium heksavalen Cr(VI) terbentuk sebagai kation dalam larutan dan membentuk ligan anorganik dan organik yang kompleks. Cr(III) hidroksida ( $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ) menunjukkan kelarutan yang rendah pada kisaran pH netral. Sebaliknya, Cr(VI) menjadi anion dalam fase cair sebagai  $\text{HCrO}_4^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ , atau  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  tergantung pada pH dan konsentrasi Cr(VI). Toksisitas Cr(III) dan Cr(VI) pun berbeda secara signifikan (Qin *et al.*, 2005).

Dalam sampel air tertentu, Cr(III) dapat hadir dalam lima bentuk yaitu sebagai spesies Cr(III) yang dapat larut, padatan  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  yang diendapkan, diserap ke permukaan oksida besi hidroksida [ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ] dan oksida lainnya, tetap di dalam oksida dalam bentuk yang relatif tidak dapat dijangkau oleh larutan, dan dikomplekskan dengan bahan organik alami seperti asam humat dan asam fulvat seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.2 berikut (McNeil *et al.*, 2012):



Gambar 2.2 Bentuk Cr(III) pada sampel air (McNeil *et al.*, 2012).

Data menunjukkan bahwa senyawa Cr(III) (kromium trivalen) kurang beracun dibandingkan dengan Cr(VI) (kromium heksavalen). Karsinogenesitas berbagai senyawa Cr(VI) pada manusia dan hewan memperlihatkan masalah toksisitas akut dan kronis yang terkait dengan paparan senyawa Cr(VI) termasuk bisul, deviasi septum nasal, radang laring, serta kerusakan ginjal dan paru-paru (Katz, 1991). Menurut pedoman air minum organisasi Kesehatan dunia (WHO), batas maksimum yang diizinkan untuk total kromium adalah 0,05 mg/L (Owlad *et al.*, 2009).

## **2.2 Kromium Heksavalen (Cr(VI))**

Kromium Heksavalen (Cr(VI)) merupakan senyawa beracun yang biasanya berasal dari aktivitas antropogenik. Namun, kromium terjadi secara alami terkonsentrasi tinggi pada batuan ultrabasa dan umumnya terkontaminasi di permukaan dan air tanah. Kromium dicirikan sebagai logam berwarna abu-abu berkilau dan ditemukan hampir hanya dalam bentuk senyawa atau ion dalam air. Sumber komersial utama kromium adalah kromit ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) dengan kromium yang ditambang sebagai produk utama (Saha *et al.*, 2011).

Formasi nikel laterit pada industri pertambangan nikel dapat mengalami proses pengayaan (*enrichment*) di dalam tanah melalui kondisi lingkungan dan cuaca. Elemen selain nikel dan kobalt akan mengalami pengayaan seperti Cr, Mn, Mg, dan Fe. Proses penambangan dengan metode open pit mengakibatkan logam Cr terpapar ke permukaan sehingga besar kemungkinan terjadi oksidasi menjadi Cr(VI) (Nasrullah dkk., 2017).

Konversi Cr(III) menjadi Cr(VI) yang lebih cepat dapat terjadi dengan adanya oksigen tambahan yang menjadi perhatian karena bahkan jika Cr(VI) dihilangkan sepenuhnya, Cr(VI) berpotensi terbentuk kembali dalam sistem distribusi pada tingkat yang signifikan ketika oksigen ini bertemu dengan Cr(III) terlarut. Reaksi yang mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) juga penting, pengurangan ini merupakan langkah

awal dalam banyak cara pengolahan air yang efektif yang diikuti dengan konversi Cr(III) terlarut menjadi Cr(OH)<sub>3</sub> partikulat atau padatan yang dapat dapat diendapkan atau disaring dari air. Reduktor yang paling umum digunakan adalah Fe(II) dengan waktu reaksi dalam orde detik hingga jam tergantung pH. Reaksi umum Cr(III) dan Cr(VI) pada pengolahan dan distribusi air dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut (McNeil *et al.*, 2012):

Tabel 2.2 Reaksi Cr(III) dan Cr(VI) (McNeil *et al.*, 2012).

Durasi	Pereaksi dan reaksinya	Tipe Lokasi
Okasidasi Cr(III) ke Cr(VI):		
Cepat (menit hingga jam)	<p>MnO<sub>2</sub> padat:</p> $2\text{Cr}^{3+} + 3\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}^+$ <p>Chlorine, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>:</p> $2\text{Cr}^{3+} + 3\text{HOCl} + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Cl}^- + 13\text{H}^+$ $2\text{Cr}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 10\text{H}^+$ $5\text{Cr}^{3+} + 3\text{MnO}_4^- + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Mn}^{2+} + 16\text{H}^+$	Air tanah dengan pH tinggi teroksidasi, pengolahan air, sistem distribusi air.
Lambat (jam hingga hari)	<p>Chloramine:</p> $2\text{Cr}^{3+} + 3\text{NH}_2\text{Cl} + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{NH}_3 + 3\text{Cl}^- + 13\text{H}^+$	Sistem distribusi air
Sangat lambat (hari hingga tahun)	<p>Oksigen terlarut:</p> $4\text{Cr}^{3+} + 3\text{O}_2 + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CrO}_4^{2-} + 20\text{H}^+$	Air tanah, sistem distribusi air
Reduksi Cr(III) ke Cr(VI):		
Cepat (menit)		Air tanah dengan

Durasi	Pereaksi dan reaksinya	Tipe Lokasi
hingga jam)	Fe <sup>2+</sup> , Timah Klorida, Sulfat:  $\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+ \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ $2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Sn}^{2+} + 16\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cr}_3 + 3\text{Sn}^{4+} + 8\text{H}_2\text{O}$ $2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{S}^{2-} + 16\text{H}^+ \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{S} + 8\text{H}_2\text{O}$	oksigen terlarut  rendah, pengolahan air, sistem distribusi  air
Lambat (hari hingga tahun)	Tidak ada oksigen terlarut, sulfida, banyak bakteri	Air tanah, berpotensi di saluran besi
Konversi Cr terlarut menjadi Cr partikulat:		
Cepat (detik hingga jam)	Water pH > 5,0  Besi dan Aluminium oksida	Memungkinkan bila Cr(III) terlarut diatas 1 g/L dengan koagulan besi dan aluminium oksida

Efluen ini harus dikelola agar tidak mencemari lingkungan. Pada penggunaan magnesium hidroksida secara mandiri dalam pengelolaan proses koagulasi flokulasi, hanya Cr(III) yang terendapkan sedangkan Cr(VI) tetap tinggal dalam larutan. Cr(VI) harus direduksi dulu menjadi Cr(III) menggunakan reduktor yang sesuai misalnya FeSO<sub>4</sub> (ferrosulfat) agar dapat dilakukan pengendapan lanjut (Prayitno dkk., 2005). Selain ferrosulfat, reduksi kimia lain juga dapat menghilangkan Cr(VI) secara efektif seperti kalsium polisulfida (CaS<sub>5</sub>) dan senyawa organik. Ferrosulfat umumnya digunakan untuk remediasi tanah yang terkontaminasi Cr(VI) dan residu pengolahan bijih kromit (COPR) karena senyawa ini relative murah dan sangat efektif (Zhang *et al.*, 2018).

### 2.3 Ferrosulfat (FeSO<sub>4</sub>)

FeSO<sub>4</sub> merupakan senyawa kimia yang berbentuk kristal dengan warna putih kehijauan yang sangat mudah larut dalam air dan bersifat asam. Jadi dalam proses ini ferrosulfat selain berfungsi sebagai koagulan juga bertindak sebagai bereduksi, yang selanjutnya pada pH tertentu ion kromium akan terendapkan atau mengendap sebagai hidroksidanya (Hariani dkk., 2009).

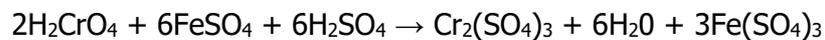
Pengurangan Cr(VI) melalui proses reduksi menjadi Cr(III) menggunakan ferrosulfat telah banyak digunakan dalam pengolahan Cr industri untuk konsentrasi dalam kisaran milligram/liter. Perhatian terhadap Cr(VI) dalam air minum telah mendorong penyelidikan teknologi pengolahan dengan potensi menghilangkan Cr ke tingkat yang jauh dibawah tingkat kontaminan maksimum (*Maximum Contaminant Level*) air minum USEPA. Studi terbaru mengenai pengurangan Cr(VI) dengan menggunakan ferrosulfat menghasilkan hasil yang beragam, proses ini menghilangkan Cr dari air minum dalam satu penelitian tetapi tidak pada penelitian lain. Kedua studi menunjukkan bahwa ferrosulfat secara efektif mengurangi Cr(VI) tetapi tidak efektif dalam penghilangan Cr(III) (Saha *et al.*, 2011).

Besi valensi-nol Fe<sup>0</sup> juga dapat dioksidasi untuk menghasilkan Fe(II) yang selanjutnya akan mereduksi Cr(VI), elektroda besi dan lapisan permeabel bawah permukaan yang mengandung serbuk atau serutan besi juga dapat digunakan untuk mengurangi kadar Cr(VI) yang tinggi dalam air tanah. Padatan besi lain yang ada pada pipa distribusi air seperti hematit, magnetit, limenit, dan karat hijau juga dapat berfungsi sebagai sumber besi untuk reduksi Cr(VI) (McNeil *et al.*, 2012).

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Dermatas dan Meng (2003), peran ferrosulfat heptahidrat (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) dalam mereduksi Cr(VI) dipelajari lebih lanjut menggunakan tanah buatan (tanah yang disiapkan di laboratorium) yang terdiri dari 5%

kaolinit dengan 95% pasir, dan diolah dengan 5% ferrosulfat heptahidrat (sumber Fe(II)), ferriklorida (sumber Fe(III)), atau *fly ash* sebagai alternatif dengan atau tanpa penambahan kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Fe(II) bekerja dengan baik tanpa penambahan kapur pada pH rendah, sedangkan Fe(III) memiliki pengaruh yang sangat kecil (Kostarelos *et al.*, 2009).

Setelah terbentuk logam Cr(III), maka logam kromium dalam suasana basa mudah mengendap dan secara umum tahapan proses reduksi dapat digambarkan dengan reaksi sebagai berikut (Prayitno dkk., 2005):



Logam kromium terutama Cr(III) dalam limbah dapat terkoagulasi optimal sebagai Cr(OH)<sub>3</sub> pada pH 8,0 sampai 10,0. Memvariasi konsentrasi larutan ferrosulfat akan diperoleh beningan efluen yang miskin logam Cr(VI) dan Cr(III) sehingga limbah tersebut dapat didispersi ke lingkungan (Prayitno dkk., 2005).

Penelitian menunjukkan, ferrosulfat memiliki efek stabilitas yang lebih baik pada reduksi Cr(VI) di tanah. Sebagai perbandingan, efek stabilitas natrium sulfida dan natrium sulfit sedikit lebih buruk. Mempertimbangkan manfaat dari segi ekonomi dan lingkungan, ferrosulfat merupakan agen pereduksi terbaik (Lu *et al.*, 2019).

Nilai ambang batas *The American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) untuk berbagai bentuk kimia kromium adalah 0,5 mg/m<sup>3</sup> untuk logam kromium, 0,5 mg/m<sup>3</sup> untuk senyawa kromium divalen, 0,5 mg/m<sup>3</sup> untuk senyawa kromium trivalen, dan 0,05 mg/m<sup>3</sup> untuk senyawa kromium heksavalen (Katz, 1991).

## 2.4 Regresi Linear

Model regresi merupakan suatu cara formal untuk mengekspresikan dua unsur penting suatu hubungan statistik dengan ciri-ciri suatu kecenderungan berubahnya peubah tidak bebas Y secara sistematis sejalan dengan berubahnya peubah besar X dan

perpencaran titik-titik di sekitar kurva hubungan statistik tersebut. Kedua ciri tersebut disatukan dalam suatu model regresi dengan cara mempostulatkan bahwa ada suatu rencana peluang peubah Y untuk setiap taraf (level) peubah X dan rata-rata sebaran-sebaran peluang berubah secara sistematis sejalan dengan berubahnya nilai peubah X (Basuki dan Prawoto, 2015).

Analisis regresi setidaknya memiliki tiga kegunaan yaitu (Basuki dan Prawoto, 2015):

- a. Digunakan untuk tujuan deskripsi dan fenomena data atau kasus yang sedang diteliti, regresi mampu mendeskripsikan fenomena data melalui terbentuknya suatu model hubungan yang bersifat numerik,
- b. Digunakan untuk tujuan kontrol, regresi juga dapat digunakan untuk melakukan pengendalian terhadap suatu kasus atau hal-hal yang sedang diamati melalui penggunaan model regresi yang diperoleh,
- c. Sebagai prediksi model juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan prediksi variabel terikat

Bentuk umum dari fungsi regresi linear dapat dituliskan sebagai berikut (Basuki dan Prawoto, 2015):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

$Y_i$  adalah nilai perubahan respons dalam pengamatan ke- $i$

$\beta_0$  dan  $\beta_1$  adalah parameter

$X_i$  adalah konstanta yang diketahui, yaitu nilai peubah bebas dari pengamatan ke- $i$

$\varepsilon_i$  adalah suku galat yang bersifat acak dengan rata-rata  $E\{\varepsilon_i\} = 0$  dan ragam  $\sigma^2\{\varepsilon_i\} = \sigma^2$ , dan  $\varepsilon_i$  dan  $\varepsilon_j$  tidak berkorelasi sehingga peragam (covariance)  $\sigma\{\varepsilon_i, \varepsilon_j\} = 0$  untuk semua  $i, j, i \neq j$  dan  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Analisis regresi linear sendiri merupakan teknik statistika untuk membuat model

dan menyelidiki pengaruh antara satu atau beberapa variabel bebas (*independent variables*) terhadap satu variabel respon (*dependent variable*). Ada dua macam analisis regresi linear yaitu (Basuki dan Prawoto, 2015):

- a. Regresi linear sederhana, analisis regresi dengan satu independent variable dengan formula umum:

$$Y = a + b_1X_1 + e \dots\dots\dots(2.2)$$

- b. Regresi linear berganda, analisis regresi dengan dua atau lebih independent variavle dengan formula umum:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e \dots\dots\dots(2.3)$$

Menurut Gujarati (2006), suatu model statistik dapat dikatakan sebagai model yang baik apabila memenuhi beberapa kriteria antara lain berikut (Basuki dan Prawoto, 2015)

- a. Parsemoni. Suatu model tidak akan pernah dapat secara sempurna menangkap realitas sehingga hal ini menjadi urgensi untuk melakukan sedikit abstraksi atau penyederhanaan dalam pembuatan model. Maksudnya, ketidakmampuan model dalam mencakup semua realitas yang ada itu menjadikan harus berfokus membuat model khusus untuk menjelaskan realitas yang menjadi tujuan penelitian saja.
- b. Mempunyai identifikasi tinggi, artinya dengan data yang tersedia parameter-parameter yang diestimasi memiliki nilai yang unik (tunggal, berdiri sendiri) sehingga hanya akan ada satu parameter saja.
- c. Keselarasan atau *Goodness of fit*. Khusus untuk analisis regresi ialah menerangkan sebanyak mungkin variasi variabel terikat dengan menggunakan variabel bebas dalam model. Oleh karena itu suatu model dikatakan baik jika indikator pengukur kebaikan model, yaitu *adjusted R square* bernilai tinggi.

Menurut Gujarati (2003), asumsi yang harus terpenuhi dalam analisis regresi sebagai berikut (Basuki dkk 2015):

- a. Residual menyebar normal (asumsi normalitas)
- b. Antar residual saling bebas (autokorelasi)
- c. Kehomogenan ragam residual (asumsi heteroskedastisitas)
- d. Antar variabel independen tidak berkorelasi (multikolinearitas)

## 2. Uji Asumsi Klasik Analisis Regresi

### a. Uji normalitas

Uji normalitas berguna untuk menentukan data yang telah dikumpulkan berdistribusi normal atau diambil dari populasi normal (Basuki dan Prawoto, 2015). Cara untuk mendeteksinya adalah dengan melihat penyebaran data pada sumbu diagonal pada grafik *Normal PP Plot of regression standardized* sebagai dasar pengambilan keputusannya. Jika menyebar sekitar garis dan mengikuti garis diagonal maka model regresi tersebut telah normal dan layak dipakai untuk memprediksi variabel bebas dan sebaliknya. Cara lain uji normalitas adalah dengan metode uji *One Sampel Kolmogorov Smirnov* dengan kriteria sebagai berikut (Mardiatmoko, 2020):

- 1) Jika nilai signifikansi (*Asym Sig. 2 tailed*)  $> 0,05$  maka data terdistribusi normal.
- 2) Jika nilai signifikansi (*Asym Sig. 2 tailed*)  $< 0,05$  maka data tidak terdistribusi normal

### b. Uji heteroskedastisitas

Heteroskedastisitas merupakan keadaan dimana terjadi ketiaksamaan varian dan residual untuk semua pengamatan pada model regresi. Cara pengujiannya menggunakan uji glejser dengan meregresikan variabel-variabel bebas terhadap nilai absolute residual. Residual adalah selisih

antara nilai variabel  $Y$  dengan variabel  $Y$  yang diprediksi, dan absolut adalah nilai mutlaknya. Jika nilai signifikansi  $> 0,05$  maka tidak terjadi heteroskedastisitas (Mardiatmoko, 2020).

Pengujian heteroskedastisitas dapat pula dilakukan dengan metode korelasi *spearman's rho* yaitu mengkorelasikan variabel independen dengan residualnya. Pengujian menggunakan tingkat signifikansi 0,05 dengan uji dua sisi, jika korelasi diperoleh signifikansi lebih dari 0,05 maka tidak terjadi heteroskedastisitas (Purnomo, 2016).

Uji heteroskedastisitas dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode *Scatterplot*. Metode *scatterplot* dilakukan dengan melihat pola titik-titik pada *scatterplot* regresi. Jika tidak ada pola yang jelas serta titik-titik menyebar diatas dan dibawah angka 0 dan  $Y$  maka tidak terjadi heteroskedastisitas (Bakti, 2017).

c. Uji autokorelasi

Autokorelasi merupakan keadaan dimana pada model regresi terdapat korelasi antara residual pada periode  $t$  dengan residual pada periode sebelumnya ( $t-1$ ). Model regresi dianggap baik adalah apabila tidak adanya autokorelasi yang terjadi (Madiatmoko, 2020). Uji autokolasi dapat dilakukan dengan uji Durbin Watson dengan ketentuan pengambilan keputusan dijabarkan sebagai berikut (Basuki dan Prawoto, 2015):

- 1) Jika  $d$  lebih kecil dari  $dL$  atau lebih besar dari  $(4-dL)$  maka hipotesis nol ditolak, yang berarti terdapat autokorelasi.
- 2) Jika  $d$  terletak diantara  $dU$  dan  $(4-dU)$  maka hipotesis nol diterima, yang berarti tidak ada autokorelasi.
- 3) Jika  $d$  terletak antara  $dL$  dan  $dU$  atau diantara  $(4-dU)$  dan  $(4-dL)$ , maka tidak menghasilkan kesimpulan yang pasti.

Menurut Azuar (2010), pengambilan keputusan uji Durbin Watson juga dapat dilakukan dengan melihat nilai Durbin Watson pada regresi utama dengan ketentuan sebagai berikut (Faustyna dan Jumani, 2015):

- 1) Jika nilai D-W di bawah -2 maka ada autokorelasi.
- 2) Jika nilai D-W di antara -2 sampai +2 maka tidak ada autokorelasi.
- 3) Jika nilai D-W di atas +2 maka ada autokorelasi.

d. Uji multikolinearitas

Multikolinearitas merupakan keadaan dimana antar variabel independen yang terdapat dalam model regresi memiliki hubungan linear yang sempurna atau mendekati sempurna (koefisien korelasinya tinggi atau bahkan 1). Model regresi yang baik seharusnya tidak terjadi korelasi sempurna atau mendekati sempurna diantara variabel bebasnya. Kriteria pengujian multikolinearitas sebagai berikut (Purnomo, 2016):

- 1)  $r^2$  (nilai koefisien determinasi individual)  $>$   $R^2$  (nilai determinasi secara serentak), maka terjadi multikolinearitas.
- 2)  $r^2$  (nilai koefisien determinasi individual)  $<$   $R^2$  (nilai determinasi secara serentak), maka tidak terjadi multikolinearitas.

Gejala multikolinearitas juga dapat diketahui dengan melihat nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) dan *Tolerance*. Jika nilai VIF  $<$  10 dan *Tolerance*  $>$  0,1 maka dinyatakan tidak terjadi multikolinearitas (Mardiatmoko, 2020).

e. Uji F dan uji t

1) Uji t (uji parsial)

Uji t dalam regresi berganda digunakan untuk mengetahui apakah model regresi variabel independen secara parsial berpengaruh terhadap variabel dependen, dengan hipotesis nol ( $H_0$ ) yaitu tidak ada pengaruh  $X_1$ ,  $X_2$ , secara parsial terhadap  $Y_1$ , dan hipotesis nol ( $H_a$ ) yaitu ada pengaruh

antara X1, X2, secara parsial terhadap Y1. Kriteria pengambilan keputusan uji t yaitu hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima apabila signifikansi  $>0,05$  (tidak berpengaruh), dan hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak bila signifikansi  $<0,05$  (berpengaruh) (Mardiatmoko, 2020).

## 2) Uji F (uji serentak)

Uji F digunakan untuk mengetahui apakah variabel independen secara bersama-sama berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen dengan hipotesis  $H_0$  yaitu tidak ada pengaruh X1, X2, secara bersama-sama terhadap Y1, dan  $H_a$  yaitu ada pengaruh X1, X2, secara bersama-sama terhadap Y1. Kriteria pengambilan keputusan uji F yaitu  $H_0$  diterima apabila signifikansi  $>0,05$  (tidak berpengaruh), dan  $H_0$  ditolak apabila signifikansi  $<0,05$  (berpengaruh) (Mardiatmoko, 2020).

## f. Koefisien determinasi

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) digunakan untuk mengetahui persentase variasi variabel bebas yang digunakan dalam model mampu menjelaskan variasi variabel terikat. Hasil analisis determinasi dapat dilihat pada output model summary dari hasil analisis regresi berganda (Ningsih dan Dukalang, 2019).

## 2.5 SPSS

SPSS adalah sebuah program komputer yang digunakan untuk membuat analisis statistika. SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) digunakan oleh peneliti pasar, peneliti kesehatan, perusahaan survei, pemerintah, peneliti Pendidikan, organisasi pemasaran, dan sebagainya. Selain analisis statistika, manajemen data (seleksi kasus, penajaman file, pembuatan data turunan) dan dokumentasi data (kamus meta-data ikut dimasukkan bersama data) juga merupakan fitur-fitur dari software dasar SPSS. Statistik yang termasuk dalam SPSS meliputi (Purnomo, 2016)

- a. Statistik deskriptif: tabulasi silang, frekuensi, deskripsi, penelusuran, statistik deskripsi rasio.
- b. Statistik bivariat: rata-rata, *t-test*, ANOVA, korelasi (bivariat, parsial, jarak), *nonparametric tests*.
- c. Prediksi hasil numerik: regresi linear
- d. Prediksi untuk mengidentifikasi kelompok: analisis faktor, analisis *cluster* (*two-step*, *K-means*, hierarkis), diskriminan.

# BAB III

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa hal yang berkaitan dengan tahapan dalam penelitian dengan tujuan untuk mengumpulkan informasi atau data, serta melakukan pengolahan data. Metode penelitian memberikan gambaran mengenai rancangan penelitian, pengambilan data hingga pengolahan dan analisis data.

### 3.1 Pengambilan Data

Data penelitian diperoleh dengan menggunakan data yang telah diambil oleh tim hidrologi PT. Vale Indonesia Tbk. Data yang digunakan merupakan data pengelolaan *water treatment* di Pakalangkai *Water Treatment*. Fasilitas *water treatment* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Fasilitas *water treatment* Pakalangkai

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa parameter-parameter yang mempengaruhi penentuan dosis injeksi ferrosulfat, data pemberian dosis injeksi