

Analisis Penentuan Kadar Besi (Fe) dalam Air Limbah Tambang Batu Bara Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Made Yuri Suryani^{1,*}, Adhe Paramita¹, Hendro Susilo¹, Inggit Kresna Maharsih²

¹Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, 76127,

²Inggit Kresna Maharsih, Universitas Brawijaya, Malang, 65145

Korespondensi penulis. Email: yurisuryani@staff.itk.ac.id

Submisi: 21 Januari 2022; Penerimaan: 1 April 2022

ABSTRAK

Kegiatan industri di Kalimantan lebih dari 70% merupakan industri pertambangan batu bara. Limbah hasil kegiatan pertambangan dapat menyebabkan pencemaran air yang mengakibatkan turunnya kualitas air akibat kandungan air limbah tambang yang mengandung logam berat terlarut dengan sifat asam yang tinggi. Oleh sebab itu diperlukan adanya pengujian kadar besi pada air limbah tambang sebagai upaya pengendalian pencemaran air agar sesuai dengan baku mutu air limbah pertambangan. Pengambilan contoh sampel uji air limbah berdasarkan SNI 6989.59-2008 yaitu sampel air limbah diambil dari tiga titik lokasi kolam penataan area stockpile pada industri pertambangan batu bara di Kabupaten Sangatta, Kalimantan Timur. Validasi setiap parameter uji dilakukan di Laboratorium Terpadu ITK dengan pengulangan untuk masing-masing sampel uji sebanyak 7 (tujuh) kali pengulangan. Pada parameter validasi metode analisis untuk uji linearitas pada air limbah diperoleh nilai koefisien korelasi regresi linier (r) sebesar 0,999; batas deteksi dan batas kuantitasi diperoleh sebesar 0,141 mg/L dan 0,470 mg/L. Pada uji presisi sampel uji air limbah tambang A, B dan C didapatkan nilai %RSDr sebesar 1,602%; 0,829% dan 0,782%. Nilai %recovery pada masing-masing air limbah adalah 103,429%, 108,870% dan 95,116%. Hasil pengujian kadar besi (Fe) menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan pengompleks tiosianat (KSCN) pada limbah A, B dan C adalah 0,721 mg/L, 2,786 mg/L dan 4,961 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kadar besi sampel air limbah tidak melebihi batas ambang air limbah pertambangan.

Kata kunci: validasi metode; analisis besi; air limbah tambang batubara; spektrofotometer UV-Vis.

PENDAHULUAN

Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Kalimantan Timur menyebutkan jumlah perusahaan pertambangan yang memiliki izin pertambangan di Kalimantan Timur pada tahun 2018 dan 2021 berturut-turut adalah 1.404 dan 140.400 perusahaan (Data Pertambangan Provinsi Kaltim, 2021). Peningkatan jumlah perusahaan pertambangan di Kalimantan Timur dapat menyebabkan turunnya kualitas air akibat

kandungan air limbah tambang yang mengandung logam berat terlarut dengan sifat asam yang tinggi. Pencemaran air akibat adanya kandungan senyawa logam berat dalam air limbah mengakibatkan air berbau tidak sedap, membuat iritasi pada kulit dan mata serta dapat mengakibatkan kematian apabila dikonsumsi oleh manusia secara berkala dan jangka panjang (Soemitrat, 2009).

Badan air dapat dikatakan tercemar apabila kadar logam berat yang terkandung dalam air limbah melebihi dari

batas baku mutu yang sudah ditetapkan. Baku mutu merupakan ukuran batas atau kadar unsur pencemar dalam air limbah yang akan dilepas ke lingkungan. Baku mutu air limbah industri pertambangan batu bara di Kalimantan Timur menetapkan maksimum kadar besi total (Fe) adalah 7 mg/L (Peraturan Daerah (PERDA) Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air, 2011). Oleh sebab itu diperlukan adanya upaya pengendalian pencemaran air dengan cara membatasi beban pencemaran air limbah yang masuk ke badan air. Salah satu upaya dalam pengendalian pencemaran air dengan melakukan pengecekan kualitas air limbah secara berkala sebelum dialirkan ke badan air. Pengukuran kadar logam berat adalah tahap awal yang penting dalam proses pengendalian pencemaran air. Pengukuran kadar logam berat menurut metode Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Metode SNI merupakan metode baku yang telah tervalidasi, akan tetapi ketersediaan alat tersebut masih minim dikarenakan harga alat yang cukup mahal. Metode lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Proses pengukuran kadar besi (Fe) dengan spektrofotometer UV-Vis relatif lebih mudah, sederhana dan memiliki akurasi yang baik dikarenakan menggunakan ligan sebagai pengompleks ion besi (Fe) (Khasanah & Sunarto, 2018).

Terdapat beberapa sample berbeda yang telah menggunakan spektrofotometer untuk mengukur kadar besi (Fe), yaitu analisis kandungan besi (Fe) pada limbah radioaktif cair (Setyawan, 2018), air sumur bor (Suryadirja et al., 2021), air hujan (Hidayah et al., 2019), serta air sumur dan air PDAM (Khaira, 2013). Namun untuk

saat ini tidak ada metode khusus yang menjelaskan pengukuran kadar besi (Fe) pada air limbah tambang batu bara. Pengukuran kadar besi (Fe) pada air limbah tambang dilakukan dengan menggunakan mengompleks zat yang akan dianalisis dengan pengompleks besi. Proses ini akan membentuk suatu warna yang spesifik. Pengompleks yang dapat digunakan untuk menentukan kadar besi (Fe) adalah senyawa kalium tiosianat (KSCN). Hasil pengompleksan antara ion besi (III) dan pengompleks tiosianat (CNS^-) akan membentuk kompleks warna yang stabil dalam waktu lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar besi (Fe) pada air limbah tambang batu bara dengan pengompleks kalium tiosianat (KSCN) menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pada akhirnya dapat ditentukan uji validasi metode dengan parameter uji linearitas, limit deteksi (LOD) dan limit kuantitasi (LOQ), uji presisi dan uji akurasi untuk penentuan kadar besi pada air limbah tambang batu bara yang dapat diterapkan di Laboratorium Terpadu ITK.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei hingga November 2021 di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan. Penelitian dilakukan terhadap tiga sampel uji air limbah tambang batu bara yang diperoleh dari area stockpile perusahaan pertambangan batu bara di daerah Sangatta, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu ukur, botol semprot, gelas piala, tabung reaksi, pipet ukur, karet penghisap, corong kaca,

spatula, kaca arloji, pipet tetes dan kuvet. Instrumentasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: pH meter, neraca analitik merk As One, alat pemanas merk Heidolph dan Spektrofotometer UV-Vis merk Shimadzu tipe UV-1780. Bahan yang digunakan yaitu sampel air limbah tambang batu bara pada tiga titik area berbeda, larutan standar besi (Fe) 1000 mg/L, kalium tiosianat (KSCN), asam klorida (HCl) 37%, asam nitrat (HNO_3) 65%, kertas saring 0,45 μm dan akuades.

Pengambilan dan Persiapan Sampel Air Limbah Tambang

Tahapan pengambilan sampel menurut SNI 6989.59-2008 untuk keperluan pengendalian pencemaran air adalah sampel air diambil pada tiga titik lokasi pada kolam penataan yaitu pada perairan penerima sebelum tercampur limbah (upstream), saluran pembuangan air limbah sebelum ke perairan penerima dan perairan penerima setelah bercampur dengan air limbah (downstream) (Indonesia, S. N., & Nasional, 2008).

Adapun titik-titik koordinat masing-masing

pengambilan contoh uji air limbah tambang pada kolam penataan sebagai berikut:

- Sampel Air Limbah A = 0°32'06.2"N, 117°38'20.2"E
- Sampel Air Limbah B = 0°31'54.3"N, 117°38'07.4"E
- Sampel Air Limbah C = 0°32'15.1"N, 117°38'18.5"E

Sampel air limbah diambil menggunakan jirigen yang telah dibilas dengan air bersih kemudian dibilas dengan asam nitrat dengan perbandingan 1:1, kemudian dibilas kembali dengan air bebas analit sebanyak tiga kali. Sampel air limbah diambil sebanyak 2,5 L dan dicampurkan kedalam jirigen lalu dihomogenkan,

Kemudian melakukan pengujian untuk parameter lapangan yaitu parameter suhu dan pH. Untuk pengujian di laboratorium sampel air limbah dilakukan pengawetan terlebih dahulu dengan cara melakukan penyaringan terhadap sampel uji dengan menggunakan kertas saring berukuran 0,45 μm . Setelah proses penyaringan sampel uji ditambahkan asam nitrat (HNO_3) hingga pH sampel <2 agar memiliki umur simpan selama 6 bulan (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

Larutan Pengompleks KSCN 2M

Padatan Kalium Tiosianat (KSCN) ditimbang sebanyak 19,43 gr dalam gelas beker dan dilarutkan sedikit dengan akuadest, kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL dengan menggunakan corong kaca dan menambahkan akuadest hingga tepat pada batas tera lalu dihomogenkan.

Larutan HCl 4M

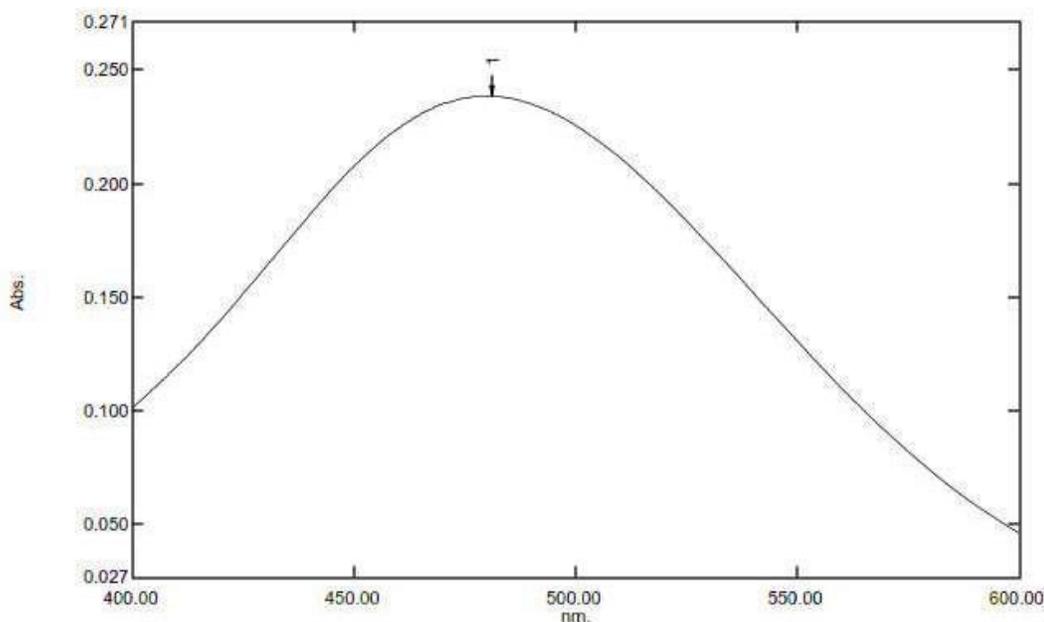
Larutan HCl 37% dipipet sebanyak 33,44 mL kedalam labu ukur 100 mL. Ditambahkan akuadest hingga batas tera lalu dihomogenkan.

Kurva Kalibrasi Logam Besi (Fe)

Tahap awal dalam pembuatan kurva standar Fe adalah dengan membuat larutan induk Fe 100 mg/L dengan cara mengencerkan larutan standar Fe 1000 mg/L sebanyak 10 ml kedalam labu ukur 100 mL, kemudian menambahkan larutan pengencer HNO_3 0,05 M hingga batas tera lalu larutan dihomogenkan. Larutan induk Fe 100 mg/L dipipet sebanyak 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; dan 10 mL masing-masing kedalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan larutan pengencer hingga batas tera untuk membuat deret larutan Fe dengan konsentrasi 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; dan 10 mg/L (Badan Standardisasi

Nasional, 2009). Tahap selanjutnya adalah menentukan panjang gelombang maksimum dengan menggunakan 5 mL larutan standar Fe 10 mg/L dipipet kedalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 2 mL HCl 4M selanjutnya menambahkan

kembali 5 mL larutan KSCN 2M dihomogenkan dan didiamkan selama 15 menit hingga kondisi reaksi stabil sebelum diukur absorbansinya pada panjang gelombang 400-600 nm (Handayani *et al.*, 2018).



Gambar 1. Kurva *scanning* panjang gelombang maksimum

Gambar 1 menunjukkan hasil *scanning* panjang gelombang maksimum berada pada panjang gelombang 481 nm. Dimana panjang gelombang maksimum ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kepekaan yang tinggi dan kesalahan terkecil sehingga dapat digunakan untuk larutan dengan nilai konsentrasi yang rendah (Handayani *et al.*, 2018). Tahap selanjutnya adalah pembuatan kurva kalibrasi yaitu masing-masing larutan standar yang telah dibuat dipipet sebanyak 5 mL kedalam tabung reaksi. Kemudian tambahkan 2 mL HCl 4M dan 5 mL KSCN 2M kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama 15 menit (Hidayah *et al.*, 2019). Ukur absorbansi setiap larutan standar pada panjang gelombang 481 nm.

Syarat keberterimaan kurva kalibrasi adalah regresi linier sebesar $r^2 \geq 0,995$ (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

Analisis Pengukuran Kadar Besi (Fe)

Uji Linieritas

Deret larutan standar dibuat dengan menggunakan blanko matriks yang di dalamnya ditambahkan analit standar yang sudah diketahui konsentrasinya. Larutan deret kalibrasi dibuat dengan konsentrasi 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; dan 10 mg/L. Masing-masing deret konsentrasi diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum kemudian tentukan persamaan garis lurus nya. Jika koefisien korelasi regresi linernya (r^2) > 0,995 maka telah

memenuhi syarat keberterimaan uji linieritas (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

Uji Batas Deteksi (LOD) dan Batas Kuantitasi (LOQ)

Penentuan batas deteksi dan batas kuantitasi dapat ditentukan secara statistik melalui regresi linier dari kurva kalibrasi yaitu $y = ax + b$ dengan menggunakan rumus (1) dan (2):

$$LoD = \frac{3 \times S(\frac{y}{x})}{a} \quad (1)$$

$$LoQ = \frac{10 \times S(\frac{y}{x})}{a} \quad (2)$$

Keterangan:

$S(\frac{y}{x})$ = Simpangan baku

a = Slope (Riyanto, 2014)

Uji Presisi

Sampel air limbah yang telah diawetkan dipipet sebanyak 75 ml kedalam gelas beker dan tutup dengan kaca arloji kemudian dipanaskan hingga volume sampel menjadi 45 ml, tunggu hingga suhu sampel air sesuai dengan suhu ruang (Badan Standardisasi Nasional, 2009). Kemudian pipet masing-masing sampel sebanyak 5 ml kedalam tabung reaksi dan tambahkan 2 ml HCl 4M dan 5 mL KSCN 2M. Diamkan selama 15 menit dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 481 nm. Setiap sampel air limbah dilakukan pengulangan analisa sebanyak 7 kali pengulangan (Khasanah & Sunarto, 2018).

Uji Akurasi

Sampel air limbah yang telah diketahui kadar analitnya ditambahkan larutan standar besi (Fe) dengan konsentrasi tertentu kedalam sampel uji. Konsentrasi larutan standar yang

dimasukkan kedalam sampel tidak boleh lebih dari 5% kadar analit dalam sampel (Riyanto, 2014). Masing-masing sampel air limbah yang sudah ditambahkan analit dipipet sebanyak 5 mL kedalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 2 mL HCl 4M dan 5 mL KSCN 2M kemudian dihomogenkan dan didiamkan selama 15 menit sebelum dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 481 nm. Pengujian nilai akurasi dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali sehingga diperoleh nilai %recovery pada masing-masing sampel air limbah (Harmita, 2004)

HASIL DAN PEMBAHASAN

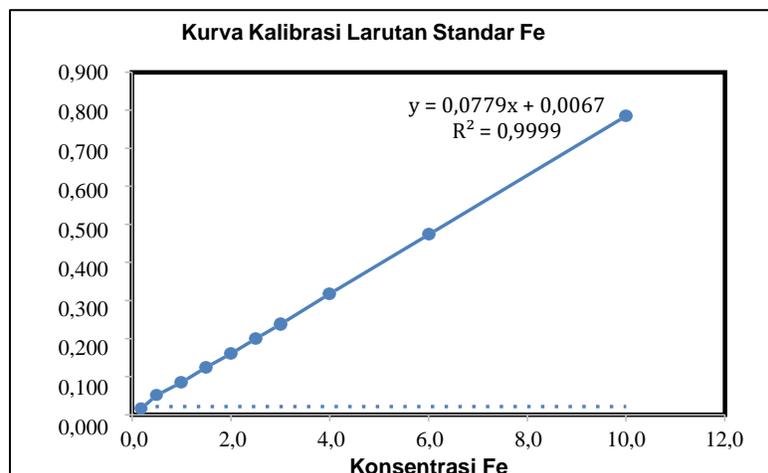
Pada analisis pengukuran kandungan Fe total dalam sampel air limbah tambang batubara, dilakukan dengan metode destruksi basah, dengan menggunakan HNO₃ 65% sebanyak 5 mL kedalam sampel air limbah. Penambahan HNO₃ bertujuan sebagai asam pengoksidasi kuat sehingga sampel air limbah akan teroksidasi sempurna dengan menghilangkan zat-zat pengganggu pada larutan asam dalam bentuk senyawa anorganik yang sesuai untuk dianalisis (Hidayah *et al.*, 2019). Berdasarkan hasil pengujian maka diperoleh hasil untuk setiap parameter validasi metode sebagai berikut :

Uji Linieritas

Uji linieritas bertujuan untuk menentukan batas daerah kerja metode analisis dari batas terendah dan tertinggi analit yang sudah ditentukan. Linieritas dinyatakan dalam persamaan garis lurus dan koefisien relasi. Koefisien relasi (r) dapat menunjukkan tingkat kecermatan, ketelitian dalam pembuatan deret standar Fe (Riyanto, 2014).

Tabel 1. Pengukuran Absorbansi dan Konsentrasi Larutan Standar Fe

| Konsentrasi Fe standar (mg/L) | Absorbansi |
|-------------------------------|------------|
| 0,2 | 0,018 |
| 0,5 | 0,052 |
| 1 | 0,085 |
| 1,5 | 0,125 |
| 2 | 0,161 |
| 2,5 | 0,200 |
| 3 | 0,238 |
| 4 | 0,318 |
| 6 | 0,474 |
| 10 | 0,786 |

**Gambar 2.** Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fe

Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa kurva kalibrasi diperoleh persamaan linier yaitu $y = 0,0779x + 0,0067$ dengan nilai koefisien korelasi regresi linier (r) sebesar 0,999. Ketelitian pengukuran analisis suatu metode dapat digambarkan melalui linieritas dengan ditandai nilai koefisien relasi $r > 0,995$, sehingga dapat disimpulkan pada kurva kalibrasi larutan standar Fe sudah memenuhi batas keberterimaan uji linieritas (Badan Standardisasi Nasional, 2009).

Limit Deteksi (LoD) dan Limit Kuantitasi (LoQ)

Penentuan batas deteksi dan batas kuantitasi dalam penelitian ini diperoleh

dengan menggunakan kurva kalibrasi menggunakan deret konsentrasi standar dari larutan standar Fe. Nilai batas deteksi dan batas kuantitasi yang diperoleh adalah sebesar 0,141 mg/L, sedangkan nilai batas kuantitasi (LOQ) yang diperoleh sebesar 0,470 mg/L. Nilai batas deteksi menunjukkan nilai batas alat dengan membandingkan hasil kadar atau konsentrasi contoh uji yang diperoleh (Riyanto, 2014).

Uji Presisi dan Analisa Kadar Logam Besi (Fe)

Penentuan kadar besi (Fe) dalam air limbah tambang ini dilakukan untuk mendapatkan informasi jumlah kadar besi

yang terkandung dalam air limbah dimana apabila kadar besi yang terlalu tinggi atau melebihi dari batas baku mutu air limbah pertambangan dapat mengakibatkan pencemaran air dan merusak lingkungan.

Hasil dari penentuan kadar besi (Fe) dan nilai uji presisi pada sampel air limbah A, B dan C dipaparkan pada Tabel 2, 3, dan 4.

Tabel 2. Penentuan besi (Fe) dalam air limbah tambang A

| Pengulangan | Absorbansi | Konsentrasi Fe (mg/L) |
|---------------------------------|------------|-----------------------|
| 1 | 0,064 | 0,736 |
| 2 | 0,062 | 0,710 |
| 3 | 0,062 | 0,710 |
| 4 | 0,063 | 0,723 |
| 5 | 0,062 | 0,710 |
| 6 | 0,063 | 0,723 |
| 7 | 0,064 | 0,736 |
| Rata-rata konsentrasi Fe (mg/L) | | 0,721 |
| Simpangan baku (SD) | | 0,012 |
| %RSD | | 1,602 |

Tabel 3. Penentuan besi (Fe) dalam air limbah tambang B

| Pengulangan | Absorbansi | Konsentrasi Fe (mg/L) |
|---------------------------------|------------|-----------------------|
| 1 | 0,224 | 2,789 |
| 2 | 0,222 | 2,764 |
| 3 | 0,221 | 2,751 |
| 4 | 0,226 | 2,815 |
| 5 | 0,223 | 2,777 |
| 6 | 0,225 | 2,802 |
| 7 | 0,225 | 2,802 |
| Rata-rata konsentrasi Fe (mg/L) | | 2,786 |
| Simpangan baku (SD) | | 0,023 |
| %RSD | | 0,829 |

Tabel 4. Penentuan besi (Fe) dalam air limbah tambang C

| Pengulangan | Absorbansi | Konsentrasi Fe (mg/L) |
|---------------------------------|------------|-----------------------|
| 1 | 0,391 | 4,933 |
| 2 | 0,388 | 4,895 |
| 3 | 0,395 | 4,985 |
| 4 | 0,394 | 4,972 |
| 5 | 0,397 | 5,010 |
| 6 | 0,392 | 4,946 |
| 7 | 0,395 | 4,985 |
| Rata-rata Konsentrasi Fe (mg/L) | | 4,961 |
| Simpangan baku (SD) | | 0,039 |
| %RSD | | 0,782 |

Pada tabel 2, 3 dan 4 menunjukkan bahwa kadar besi pada sampel air limbah A, B dan C setelah dilakukan pengulangan sebanyak 7 kali adalah sebesar 0,721

mg/L, 2,786 mg/L dan 4,961 mg/L. Nilai uji presisi digunakan untuk mengetahui kedekatan antara nilai hasil pengukuran sampel yang homogen pada serangkaian

sampel uji yang sama dengan menggunakan alat yang sama. Parameter ini bertujuan untuk mengetahui konsistensi analit yang digunakan (Setyawan, 2018). Pengendalian mutu dapat ditunjukkan melalui nilai persen deviasi standar relatif (%RSD) pada sampel air limbah A, B dan

C sebesar sebesar 1,602%, 0,829% dan 0,872%. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode pengompleks tiosianat dapat digunakan untuk analisis kadar besi pada air limbah tambang karena memenuhi batas keberterimaan uji presisi yaitu %RSD<11% (Khasanah & Sunarto, 2018).

Tabel 5. Penentuan %recovery

| Sampel Air Limbah | % Recovery | Kisaran keberterimaan %recovery | Keterangan |
|-------------------|------------|---------------------------------|------------|
| A | 103429% | 85%-115% | Memenuhi |
| B | 108870% | 85%-115% | Memenuhi |
| C | 95116% | 85%-115% | Memenuhi |

Uji Akurasi

Nilai uji akurasi menunjukkan derajat kedekatan hasil analisis dengan kadar analit yang sebenarnya. Pengujian nilai akurasi dilakukan dengan metode *spike*, yaitu menambahkan larutan standar Fe dengan konsentrasi tertentu ke dalam sampel uji hingga diperoleh nilai perolehan kembali analit yang ditambahkan atau dapat dinyatakan sebagai %recovery. Batas keberterimaan nilai perolehan kembali kadar analit yang ditambahkan (%recovery) sesuai SNI 6989.4:2009 sebesar 85%-115% (Badan Standardisasi Nasional, 2009). Hasil penentuan *recovery* pada setiap *sample* ditunjukkan pada Tabel 5.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penentuan kadar besi (Fe) dalam air limbah tambang batubara diperoleh hasil pada air limbah A, B dan C sebesar 0,721 mg/L, 2,786 mg/L, dan 4,961 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah tambang dapat dikategorikan aman karena masih dibawah batas baku mutu air limbah pertambangan yang ditetapkan oleh Peraturan Daerah Kalimantan Timur Tahun 2011. Berdasarkan hasil pada

parameter validasi metode yang digunakan diperoleh informasi untuk uji linieritas memiliki ketelitian yang baik, ditandai dengan nilai koefisien relasi $r > 0,995$ yaitu 0,999 serta memiliki nilai limit deteksi hingga konsentrasi 0,141 mg/L dan limit kuantitasi sebesar 0,470 mg/L; Nilai %RSD pada uji presisi analisis kadar Fe pada air limbah tambang batu bara A, B dan C sebesar 1,602%, 0,829%, 0,782% Pada uji akurasi diperoleh hasil yang memenuhi keberterimaan dimana diketahui nilai %recovery sebesar yaitu 103,429%, 108,807% dan 95,116% sehingga dapat disimpulkan bahwa metode pengompleks KSCN memiliki akurasi yang baik sehingga dapat digunakan untuk analisa kadar besi (Fe) pada air limbah tambang batu bara dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu penambahan parameter validasi metode untuk penjaminan mutu hasil pengujian serta dapat melakukan pengecekan kadar logam berat lain yang terkandung dalam air limbah tambang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kepada Lembaga Penelitian dan

Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan (LPPM ITK) yang telah membiayai penelitian ini dalam Program Penelitian Tenaga Kependidikan Tahun 2021. Penulis mengucapkan terimakasih pula kepada Asful Hariyadi, M.Eng dan Rika Awalyn Safitri, S.Si atas bantuan teknis dan diskusi analisis kadar besi menggunakan spektrofotometer uv-vis.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2009). Air dan Air Limbah - Bagian 4: Cara Uji besi (Fe) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) - Nyala. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–9.
- Data Pertambangan Provinsi Kaltim. (2021). <https://data.kaltimprov.go.id/dataset/74859a22-0526-49a4-9ad5-04e64a2846ee/resource/4aa2ce71-ad6a-4f7c-ba2b-bc2c84aa17b7/download/data-pertambangan-provinsi-kaltim-tahun-2016-2020.csv>
- Handayani, T., Destiarti, L., & Idiawati, N. (2018). Perbandingan pengompleks kalium tiosianat dan 1,10 fenantrolin pada penentuan kadar besi dengan spektrofotometer uv-vis. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(2), 47–53.
- Harmita, H. (2004). Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode Dan Cara Perhitungannya. *Majalah Ilmu Kefarmasian*, 1(3), 117–135. <https://doi.org/10.7454/psr.v1i3.3375>
- Hidayah, H., Suhendar, D., Sudiarti, T., & Maesaroh, E. (2019). Studi Keadaan Oksidasi Besi pada Air Hujan. *Al-Kimiya*, 6(1), 15–21. <https://doi.org/10.15575/ak.v6i1.4685>
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2008). *Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan. Sni 6989.59:2008*, 59, 19. http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/SNI_-6989-59-2008-_Metoda-Pengambilan-Contoh-Air-Limbah.pdf
- Khaira, K. (2013). Penentuan kadar besi (Fe) air sumur dan air PDAM dengan metode spektrofotometri. In *Jurnal Sainstek* (Vol. 5, Issue 1, pp. 17–23).
- Khasanah, S. R. N., & Sunarto. (2018). Perbandingan Validasi Metode Analisis Ion Besi Secara Spektrofotometri Sinar Tampak Dengan Pengompleks Kscn Dan 1,10-Ortufenantrolin. *Jurnal Kimia Dasar*, 7(3), 105–114.
- Peraturan Daerah (PERDA) tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.* (2011). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/32978/perda-prov-kalimantan-timur-no-2-tahun-2011>
- Riyanto. (2014). *Validasi & Verifikasi Metode Uji: Sesuai ISO/IEC 17025 Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi*. Deepublish.
- Setyawan, A. (2018). Validasi Metode Analisis Logam Pada Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom. *Buletin Limbah*, 15(1), 21–31.
- Soemitrat, S. (2009). *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press.
- Suryadirja, A., Muliastari, H., Ananto, A. D., & Andayani, Y. (2021). Analisis Kadar Logam Besi (Fe) Pada Air Sumur Bor Di Kecamatan Praya Tengah Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom *Analysis of Iron (Fe) Levels in Drilling Well Water in Praya Tengah District Using Atomic Absorption Spectrophotometry*. 2(2).