

Spectrophotometrically Determination of Fe(III) in Manganese Processing Waste Water with Ethanol Extract of *Terminalia catappa* L. Leaves as a Complexing Agent

Pius Dore Ola*, Milce Y. Beti, Hermania Em Wogo, Dodi Darmakusuma

Program Studi Kimia, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Article Received: 03 February 2021

Article Accepted: 20 March 2021

Abstract

Chemical analysis, including metal ions determination using the spectrophotometry method, involves using a complexing agent, mostly produced by chemical industries, reacting with the analyte to form a colored compound. The very high cost and the environmentally unfriendly are the main disadvantages of that complexing agent. The use of a complexing agent categorized as a “green” chemical is critical to overcoming those shortcomings. In this work, extract ethanol of *Terminalia catappa* L. leaves was employed as a complexing agent in the determination of Fe(III) from aqueous media using the spectrophotometry method. The value of correlation coefficient (r) 0.993, obtained from the calibration curve, indicated that ethanol extract of *Terminalia catappa* L. leaves could be applied as a complexing agent for determining Fe(III) from aqueous media using the spectrophotometry method. By comparing this complexing agent with the commonly used complexing agent of Fe(III) viz KSCN, it was found that these two complexing agents did not differ significantly in the term of precision. Unlike precision, the accuracy obtained from these two complexing agents still differs significantly. When both complexing agents were applied in the determination of Fe(III) in manganese processing waste water, we found the concentration of Fe(III) was 0.009 ppm (ethanol extract as complexing agent) and 0.0076 ppm (KSCN as complexing agent). It is recommended to purify the extract before using it as a complexing agent for Fe(III) determination.

Keywords: Spectrophotometry, manganese processing waste water, Fe(III), *Terminalia catappa* L., complexing agent

Abstrak

Analisis kimia termasuk analisis ion logam dengan menggunakan metode spektrofotometri melibatkan penggunaan agen pengompleks yang sebagian besar diproduksi oleh industri kimia, yang bereaksi dengan analit menghasilkan warna. Biayanya yang mahal dan tidak ramah lingkungan merupakan kelemahan utama dari pengompleks-pengompleks tersebut. Penggunaan reagen pengompleks yang dikategorikan sebagai pereaksi “hijau” sangat diperlukan untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut. Dalam penelitian ini, ekstrak etanol daun ketapang (*Terminalia catappa* L) digunakan sebagai pengompleks untuk penentuan ion Fe(III) dengan metode spektrofotometri UV-Vis. Dengan koefisien korelasi (r) 0,993 yang diperoleh dari kurva kalibrasi mengindikasikan bahwa ekstrak etanol daun ketapang dapat digunakan sebagai pengompleks untuk analisis Fe(III) dalam media air. Dengan membandingkan pengompleks ini dengan pengompleks yang biasa digunakan untuk penentuan Fe(III) yaitu KSCN, diperoleh bahwa kedua metode ini berbeda secara signifikan dalam hal

akurasi. Berbeda dengan akurasi, presisi yang diperoleh untuk kedua pengompleks ini tidak berbeda secara signifikan. Ketika kedua agen pengompleks ini diaplikasikan untuk penentuan Fe(III) dalam air limbah pengolahan mangan, diperoleh konsentrasi Fe(III) sebesar 0,009 ppm (ekstrak etanol sebagai pengompleks) dan 0,0076 ppm (KSCN sebagai pengompleks). Direkomendasikan untuk memurnikan ekstrak sebelum digunakan sebagai agen pengompleks untuk penentuan Fe(III).

Kata kunci: Spektrofotometri, Limbah Pengolahan Mangan, Fe(III), Ketapang, Agen Pengompleks.

PENDAHULUAN

Spektrofotometri merupakan salah satu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan materi. Spektrofotometri yang menggunakan radiasi elektromagnetik pada daerah cahaya tampak (*visible*), merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam analisis kimia karena relatif sederhana dan dapat digunakan untuk menganalisis analit dengan konsentrasi yang kecil. Persyaratan utama dari analisis menggunakan metode ini adalah sampel harus berwarna. Oleh karena itu, untuk analit yang tidak berwarna (tidak menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah sinar tampak), harus direaksikan terlebih dahulu dengan pereaksi tertentu menghasilkan larutan berwarna, dimana intensitas warna yang dihasilkan harus sebanding dengan konsentrasi analit. Namun, pada umumnya pereaksi-pereaksi yang digunakan sebagai pengompleks harganya sangat mahal dan tidak ramah lingkungan seperti dithizon¹, Tris-1,10-Phenanthroline², N-Methyl Cinnamo Hydroxamic Acid³, KSCN⁴ dan sebagainya. Oleh karena itu perlu dicari pereaksi lain yang berasal dari sumber daya hayati yang berpotensi sebagai pereaksi pembentuk warna. Salah satu bahan yang berpotensi besar untuk tujuan tersebut adalah ekstrak daun ketapang.

Pohon ketapang (*Terminalia catappa* L) dapat tumbuh hampir di seluruh wilayah Indonesia dan biasanya berperan sebagai peneduh. Pohon ini masih dianggap sebagai tanaman liar dimana daunnya hanya dibiarkan jatuh lalu mengering dan akhirnya menjadi sampah. Berdasarkan hasil *phytochemical screening*, ekstrak etanol daun ketapang mengandung flavonoid (20-25%), tanin (11-23%) dan saponin (20%)⁵. Kandungan kimia tersebut menyebabkan ekstrak daun ketapang berpotensi besar sebagai pengompleks untuk ion-ion logam misalnya Fe(III). Hal ini disebabkan karena baik flavonoid maupun tannin mengandung gugus -OH dalam jumlah melimpah sehingga dapat berperan sebagai ligan.

Isain *et al.*, (2013) telah menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai pengompleks untuk penentuan Al(III) dari limbah cair industri keramik⁶. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ion Fe(III) ke dalam sampel yang mengandung Al(III) dalam perbandingan mol 1 :

1, dapat meningkatkan absorbansi campuran dari 0,321 (tanpa ion Fe(III)) menjadi 0,628 (dengan ion Fe(III)). Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan ion Fe(III) untuk membentuk kompleks dengan ekstrak sama baiknya dengan ion Al (III). Oleh karena itu maka ekstrak etanol daun ketapang dapat pula digunakan sebagai pengompleks untuk analisis Fe(III) secara spektrofotometri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi dan Ekstraksi Daun Ketapang

Preparasi bertujuan untuk mendapatkan sampel daun ketapang yang siap diekstraksi. Sampel daun ketapang yang digunakan adalah daun ketapang yang berwarna hijau tua dan segar. Daun ketapang dikeringkan selama 14 hari dan diperoleh daun kering berwarna hijau pudar.

Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi karena selain dapat menghindari penggunaan suhu tinggi yang kemungkinan dapat merusak komponen-komponen aktif dalam sampel, metode ini lebih murah dan mudah. Ekstraksi dilakukan dengan merendam 20 gram sampel daun ketapang yang telah dihaluskan dalam 150 mL pelarut etanol 70%. Setelah dimaserasi selama 3 hari sampel disaring dan diperoleh filtrat yang kemudian dievaporasi pada suhu 78,5°C dengan *rotary evaporator* dan diperoleh ekstrak kental sebanyak 9,577 gram.

Uji Skrining Fitokimia

Sebelum diaplikasikan sebagai pengompleks untuk analisis Fe(III) ekstrak terlebih dahulu diuji kandungan metabolit sekundernya. Metode uji skrining fitokimia menggunakan beberapa pereaksi dengan mengamati perubahan warna yang terjadi. Pada penelitian ini ada beberapa uji skrining fitokimia yang dilakukan yaitu uji flavonoid, alkaloid, triterpenoid, saponin dan tannin. Pengamatan uji tiap komponen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji fitokimia ekstrak etanol daun ketapang

Uji	Pereaksi	Warna/endapan	Kesimpulan
Alkaloid	Wagner	Merah Bata	+
Flavonoid	Mg+HCl pekat	Endapan coklat	+++
Tanin	FeCl ₃ 1%	Biru Kehitaman	+++
Sapinin	Aguades +HCl pekat	Tidak Berbui	-
Triterpenoid	Lieberman-Buchard	Coklat Merah	+

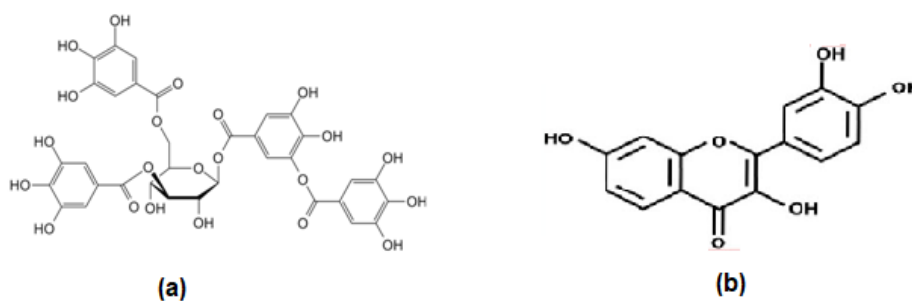
Keterangan

+ = mengandung senyawa (intensitas warna rendah)

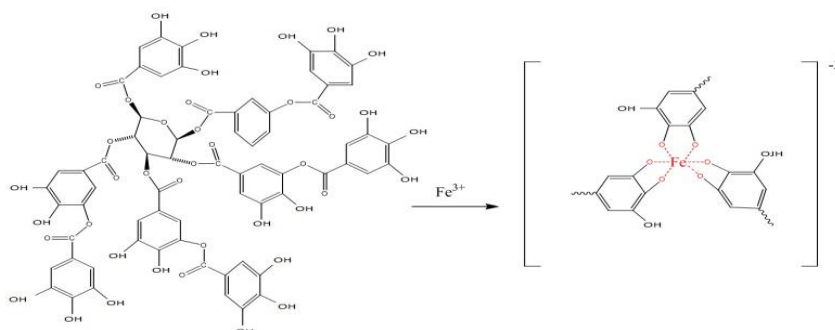
+++ = mengandung senyawa (intensitas warna tinggi)

- = tidak mengandung senyawa

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa flavonoid dan tannin memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metabolit sekunder lain yang diuji. Berdasarkan struktur molekul dari flavonoid dan tannin pada Gambar 1, terlihat bahwa baik flavonoid maupun tannin memiliki gugus $-OH$ yang melimpah. Oleh karena itu maka diduga baik tanin maupun flavonoid dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion $Fe(III)$. Perkiraan reaksi pembentukan kompleks antara tannin dengan ion $Fe(III)$ ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk membuktikan apakah ekstrak ini dapat digunakan sebagai pengompleks ion $Fe(III)$ untuk tujuan analisis secara spektrofotometri maka terlebih dahulu dibuat kurva kalibrasi.



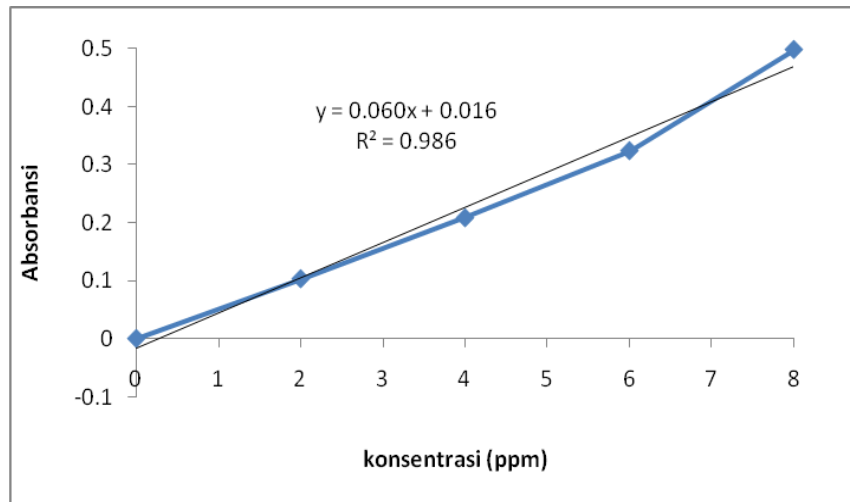
Gambar 1. Struktur molekul (a) asam tanat (suatu tanin), (b) flavonoid



Gambar 2. Perkiraan reaksi antara tanin dengan ion $Fe(III)$

Pembuatan Kurva Standar dengan Ekstrak sebagai Pengompleks

Kurva kalibrasi dibuat dengan menggunakan 5 variasi konsentrasi $Fe(III)$: 0; 2; 4; 6; dan 8 mg/L. Pada setiap larutan standar selain ditambahkan ekstrak sebagai pengompleks, juga ditambahkan HNO_3 4 M yang bertujuan untuk membuat larutan menjadi bersuasana asam karena hanya pada kondisi tersebut (pH 3-6) $Fe(III)$ dapat membentuk senyawa kompleks dengan tanin terhidrolisis (penicalagin)⁷. Hasil pengukuran pH campuran menunjukkan bahwa pH campuran berkisar antara 3,1 – 4,5. Kurva kalibrasi yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 3.

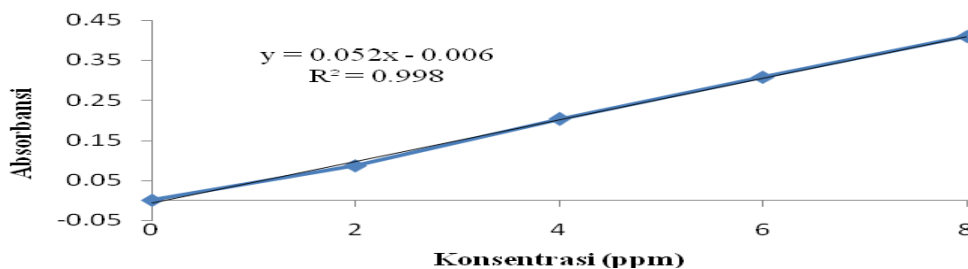
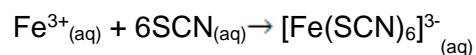


Gambar 3. Kurva kalibrasi Fe(III) dengan ekstrak etanol daun ketapang sebagai pengompleks

Kurva kalibrasi pada Gambar 3 menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) 0,993, yang menunjukkan bahwa ekstrak etanol dapat digunakan sebagai pengompleks untuk analisis ion Fe(III) dalam media air.

Pembuatan Kurva Standar Fe(III) dengan KSCN sebagai Pengompleks

KSCN biasanya digunakan sebagai pengomplek untuk analisis Fe(III) secara spektrofotometri. Oleh karena itu maka pengompleks KSCN digunakan sebagai pembanding. KSCN bereaksi dengan Fe(III) membentuk kompleks berwarna merah, dengan reaksi yang terjadi adalah:



Gambar 4. Kurva kalibrasi Fe(III) dengan KSCN sebagai pengompleks

Penentuan Presisi dan Akurasi Metode

Presisi (ketelitian) dan akurasi (ketepatan) merupakan dua parameter penting sebuah metode/instrumen analisis. Larutan standar dengan konsentrasi Fe(III) 8 mg/L telah digunakan untuk mengevaluasi kedua parameter ini. Dari 6 kali pengulangan diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsentrasi real larutan standar Fe(III) 8 mg/L yang diukur secara spektrofotometri menggunakan kedua jenis pengompleks

Pengulangan	Konsentrasi real, mg/L	
	Ekstrak daun ketapang	KSCN
1	8,000	7,865
2	7,933	7,826
3	7,950	7,942
4	8,000	7,923
5	7,933	7,846
6	7,933	7,903
Rerata	7,958	7,884
SD	0,034	0,0456

Secara umum, hasil pengukuran secara spektrofotometri menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai pengompleks menghasilkan nilai konsentrasi yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan KSCN sebagai pengompleks. Diduga hal ini disebabkan oleh adanya komponen-komponen dalam ekstrak yang tidak membentuk kompleks dengan ion Fe(III) tetapi ikut mengabsorpsi radiasi pada panjang gelombang yang digunakan. Oleh karena itu maka diperlukan tahap purifikasi ekstrak sebelum digunakan sebagai pengompleks untuk analisis Fe(III).

Dengan menggunakan data kurva kalibrasi (Gambar 2 dan Gambar 3) serta Data pengujian presisi dan akurasi (Tabel 2), maka dapat dievaluasi berbagai parameter kinerja analisis, seperti ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter kinerja analisis

No	Parameter Kinerja Analisis	Jenis pengompleks	Hasil
1	Akurasi	KSCN	: 1,45%
		Ekstrak	: 0,525%
2	Presisi	KSCN	: 0,55%
		Ekstrak	: 0,427%
3	Batas Deteksi (LOD)	KSCN	: 0,576 ppm
		Ekstrak	: 1,83 ppm

4	Batas Kuantitas (LOQ)	KSCN	: 0,106 ppm
		Ekstrak	: 0,06 ppm
5	Sensitivitas	KSCN	: 0,052 ppm
		Ekstrak	: 0,060 ppm
6	t-hitung ($\alpha=0,05$)	2,642	Berbeda secara signifikan
7	t-tabel	2,57	
8	F-hitung ($\alpha=0,05$)	2,1445	Tidak berbeda secara signifikan
9	F-tabel	5,050	

Aplikasi untuk analisis Fe(III) dalam limbah cucian mangan

Meskipun hasil analisis menunjukkan bahwa nilai akurasi yang diperoleh dari pengukuran menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai pengompleks menunjukkan nilai yang berbeda secara signifikan dengan metode standar (KSCN sebagai pengompleks), metode ini telah diujicoba pada sampel alami yaitu limbah pengolahan mangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Fe(III) dalam sampel limbah pencucian mangan berturut-turut 0,009 ppm dan 0,0076 ppm masing-masing menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai pengompleks dan KSCN sebagai pengompeks. Hasil ini konsisten dengan data yang diperoleh pada penentuan presisi dan akurasi dimana penggunaan ekstrak daun ketapang sebagai pengompleks memberikan hasil yang relatif lebih besar dibandingkan dengan penggunaan KSCN sebagai pengompleks. Oleh karena itu maka diperlukan tahap purifikasi ekstrak sebelum digunakan sebagai pengompleks untuk analisis Fe(III) secara spektrofotometri.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa ekstrak etanol daun ketapang dapat digunakan sebagai pengompleks untuk analisis Fe(III) dalam media air secara spektrofotometri. Jika dibandingkan dengan penggunaan KSCN sebagai pengompleks, akurasi hasil pengukuran menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai pengompleks memberikan hasil yang masih berbeda signifikan namun tidak berbeda dalam hal presisi. Konsentrasi Fe(III) yang diukur masing-masing dengan menggunakan ekstrak dan KSCN sebagai pengompleks berturut-turut 0,009 dan 0,0076 ppm. Direkomendasikan untuk dilakukan pemurnian ekstrak sebelum digunakan sebagai pengompleks.

DAFTAR PUSTAKA

1. Halili, J., Mele., A., Arbneshi, T, Halili, A., Mehmeti, V., 1, Jusufi, K., Berisha, A. 2016, The Evaluation of the Dithizone Performance as a Complexing Agent for Supercritical CO₂ Extraction of Heavy Metals from Aqueous Solution, RAD Conference Proceedings, vol. 1, pp. 114-116.
2. Lazic, D., Skundric, B., Penanvin-Škundric, J., Sladojevic, S., Vasiljevic, L., Blagojevic, D. and Obrenovic, Z., 2010, Stability of Tris-1,10- Phenantroline Iron (II) Kompleks in Different Composites, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 16 (2), 193–198, DOI 10.2298/CICEQ100204028L.
3. Rajput, S. K., Patel, A., Bapat, K. N., 2016, *Spectrophotometric Determination of Vanadium (V) Using N–Methyl Cinnamo Hydroxamic Acid as Reagent, Chemistry and Materials Research, Vol 8(7), 8-16.*
4. Loren, F.P., Perez, G., Franco, T., Lopez, V., Pivaral, C., Compos, A., Solares, N., dan Nunenz, N. 2008. *Risk Factors in Cesarean Section.* Ginecol Obstet Mex Article in Spanish. 2018 Jun;76 (7):392-7.
5. Howell, A. 2004. Hydroszable Tanin Extracts from Plants Effective to Surfaces. United States Patent Application, *Journal Analytical.* New York.
6. Isain, I. Khonyoung, S. Sooksamiti. 2013. Green Analytical Methodology Using Indian Almond (*Terminalia Catappa L*) Leaf for Determination of Alumunium Ion in Waste from Ceramic Factories *Analytical Science*, Vol. 29(6), 655-659.
7. Suzuki, Y., Sawada and Chihara, K. 2004. Prosiding Pertemuan Tahunan AIChE 2003, Seri 265 dasar-dasar absorbansi dan ion exchange. Austin, Tx. USA. 265:1-265.
8. Lenny, S. 2006. Senyawa Flavonoid, Fenilpropanida dan Alkaloid. Karya Ilmiah Departemen Kimia Fakultas MIPA. Universitas Sumatera Utara.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun ketapang, etanol 70%, FeCl₃ Anhidrat, KSCN, H₂SO₄ pekat, HNO₃, HCl, Reagen Wagner, Serbuk Mg, HCl pekat, CHCl₃, aquades dan Air cucian mangan

Prosedur Penelitian

Ekstraksi Daun Ketapang (*Terminalia catappa L*)

Daun ketapang segar diambil dan dicuci hingga bersih menggunakan aquades, selanjutnya dipotong kecil-kecil lalu dikeringkan pada suhu kamar. Daun ketapang kering diblender dan diambil sebanyak 20 gram dan dimaserasi dengan 150 mL etanol 70% selama 3 hari⁸. Campuran disaring dan fitratnya dievaporasi hingga diperoleh ekstrak kental yang digunakan untuk eksperimen selanjutnya.

Uji Skrining Fitokimia

Uji Flavonoid

Sebanyak 2 gram ekstrak daun ketapang dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 1 mL akuades lalu dipanaskan sampai mendidih selama 5 menit. Setelah itu disaring dan filtratnya digunakan sebagai larutan uji. Filtrat dimasukkan dalam tabung reaksi lalu ditambahkan 0,1 gram pita Mg dan 1 mL HCl pekat. Uji positif flavonoid ditandai oleh terbentuknya warna merah bata

Uji Alkaloid

Sebanyak 0,1 gram ekstrak daun ketapang dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 1 mL HCl pekat dan 2 mL akuades lalu dipanaskan sampai mendidih selama 5 menit. Setelah itu disaring dan filtratnya digunakan sebagai larutan uji. Filtrat dimasukkan ke dalam tabung reaksi lalu ditambahkan Reagen Wargner sebanyak 3 tetes. Uji positif alkaloid ditandai terbentuknya endapan coklat.

Uji Triterpenoid

Sebanyak 5 mL ekstrak daun ketapang dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 2 mL klorofom (CHCl_3) dan 3 mL H_2SO_4 . Uji positif triterpenoid ditandai terbentuknya warna coklat kemerahan.

Uji Saponin

Sebanyak 0,1 gram sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian ditambahkan 1 mL air panas dan didihkan selama 5 menit. Setelah itu, disaring dan filtratnya digunakan sebagai larutan uji. Filtratnya dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian dikocok selama ± 10 detik dan dibiarkan selama 10 menit lalu ditambahkan 1 mL HCl pekat. Adanya saponin ditunjukkan dengan terbentuknya buih yang stabil.

Uji Tanin

Sebanyak 0,2 gram ekstrak ditambahkan dengan 1 mL air panas lalu didihkan selama 5 menit dan disaring. Filtratnya ditambahkan 3 tetes $\text{FeCl}_3 1\%$. Hasil positif ditunjukkan oleh terbentuknya warna hijau kehitaman.

Pembuatan Kurva Standar dengan Ekstrak sebagai Pengompleks

Larutan Fe(III) 100 mg/L sebanyak 0, 2, 4, 6, 8 mL, masing-masing dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL, kemudian ditambahkan 7 mL HNO₃ 2 M dan 5 mL ekstrak (dibuat dengan melarutkan 2,9 gram ekstrak kental dalam 100 mL etanol). Masing-masing larutan tersebut diencerkan dengan aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan. Setelah homogen, larutan Fe(III) tersebut dimasukkan ke dalam *glass vial* dan diukur absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Pembuatan Kurva Standar dengan KSCN sebagai Pengompleks

Larutan Fe(III) 100 mg/L sebanyak 0, 2, 4, 6, 8 mL, masing-masing dimasukkan ke dalam labu takar 100 mL dan kemudian larutan HNO₃ 2 M masing-masing 7 mL dan KSCN 2 M (masing-masing 5 mL) ditambahkan ke tiap labu tersebut. Masing-masing larutan tersebut diencerkan dengan aquades sampai tanda. Setelah larutan homogen, diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Penentuan Akurasi dan Presisi

Sebanyak 10 mL larutan Fe(III) 8 mg/L ditambahkan 5 mL ekstrak (2,9 g dalam 100 mL) dan 3 mL HNO₃ 2 M dalam labu 100 mL. Campuran dihomogenkan dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 310 nm. Prosedur yang sama juga dilakukan dengan menggunakan 8 mL KSCN 2 M sebagai pengompleks dan diukur absorbansi pada panjang gelombang 463 nm. Pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak 6 kali. Selanjutnya dihitung nilai akurasi dan presisi. Sedangkan LOD, LOQ dan sensitivitas dapat dievaluasi dari kurva standar.

Analisis Fe(III) dalam Air Cucian Mangan

Sebanyak 10 mL air cucian mangan ditambahkan dengan 7 mL ekstrak dan 3 mL HNO₃ 2 M, kemudian diencerkan dengan etanol pada labu 100 mL. Campuran diukur absorbansinya pada panjang gelombang 310 nm. Prosedur yang sama diulang dengan menggunakan 10 mL KSCN 2 M sebagai pengompleks dan diukur absorbansi pada panjang gelombang 463 nm.

Analisis Data

Uji t dilakukan dengan tujuan menentukan adanya perbedaan rerata kadar logam besi (III) antara hasil analisis metode spektrofotometri UV-Vis. Uji t ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$t_{\text{hitung}} = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

Dimana X: rata-rata perolehan kembali dan S : simpangan baku, subskript 1 menunjukkan metode spektrofotometri UV-Vis dengan KSCN sebagai pengompleks dan subskript 2 menunjukkan metode spektrofotometri UV-Vis dengan ekstrak etanol daun ketapang sebagai pengompleks.