

Alat Ukur Portabel Kadar Logam Mangan dan Besi dalam Air Menggunakan Prinsip Spektrofotometer

¹Vebi Nadhira, ²Endang Juliastuti, ³Lidzikri Ilham Fauzy, ⁴Rizky Tri Widodo

^{1,2}Kelompok Keahlian Instrumentasi Kontrol Institut Teknologi Bandung

^{3,4}Program Studi D3 Metrologi Dan Instrumentasi Institut Teknologi Bandung

¹vebi@tf.itb.ac.id

²yuliast@tf.itb.ac.id

Abstrak

Ketersediaan air bersih yang layak dikonsumsi di berbagai daerah semakin menurun. Hal tersebut mendorong berbagai pihak untuk mengolah air sehingga layak dikonsumsi. Pada dasarnya, beberapa parameter yang menunjukkan kelayakan air untuk dikonsumsi dapat dideteksi secara langsung. Parameter tersebut diantaranya tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Akan tetapi, terdapat parameter lain yang menentukan kualitas air minum, yaitu tidak mengandung mikroorganisme berbahaya serta tidak mengandung logam berat. Sehubungan dengan hal tersebut, keberadaan mikroorganisme dapat diatasi dengan memasak air. Sementara itu, kadar logam berat pada air tidak dapat dideteksi secara langsung. Oleh karena itu penulis mengembangkan alat ukur portabel kadar logam berat yang terkandung pada air berdasarkan prinsip spektrofotometer. Alat ukur ini mampu menganalisis kadar logam secara lebih praktis dan cepat. Rancang bangun alat ini tersusun dari sumber cahaya yaitu lampu halogen, monokromator, fotodetektor yaitu berupa fototransistor, mikroprosesor, modul penampil hasil pengukuran serta catu daya. Prinsip kerja alat ini adalah mengukur besaran transmisi cahaya menggunakan fotodetektor. Dalam hal ini, semakin banyak logam yang terkandung pada air maka akan semakin banyak pula cahaya yang diabsorpsi, sehingga cahaya yang ditransmisikan menjadi lebih kecil dan tegangan keluaran dari detektor akan semakin kecil pula. Pada penelitian ini terdapat dua logam berat yang diukur, yaitu Mangan dan Besi. Cahaya dengan panjang gelombang $521 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ digunakan untuk pengukuran kadar Mangan dan $500 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ untuk pengukuran kadar Besi. Hasil pengujian karakteristik alat untuk mengukur kadar Mangan menunjukkan nilai akurasi sebesar 84,80%, nilai presisi sebesar 80,23%, dan nilai kesalahan sebesar 15,20%. Adapun pada hasil pengujian karakteristik alat untuk mengukur kadar Besi, didapatkan nilai akurasi sebesar 90,75%, presisi 79,16%, dan nilai kesalahan 9,25%.

Keywords: *spektrofotometer, kadar Mangan dan Besi, air minum, portabel, absorpsi, monokromator*

1 Pendahuluan

Sebagian besar masyarakat Indonesia masih mengkonsumsi air sumur, air danau ataupun air sungai. Untuk menjamin kualitas air yang layak konsumsi, diperlukan adanya upaya pengolahan yang baik serta pemantauan secara berkala. Oleh karena itu, proses uji kelayakan air untuk dikonsumsi sangat dibutuhkan oleh lembaga penguji maupun masyarakat. Saat ini, umumnya dilakukan pengujian kelayakan air di laboratorium. Pada proses tersebut pengambilan sampel dilakukan di lokasi uji, kemudian proses pengukuran dilakukan di laboratorium. Proses ini memerlukan waktu serta biaya yang relatif mahal. Oleh karena itu, perlu dikembangkan alat uji kelayakan air konsumsi yang portable.

Beberapa parameter yang menentukan kualitas air layak konsumsi adalah tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, tidak mengandung mikroorganisme serta tidak mengandung logam berat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Departemen Kesehatan Indonesia [1]. Dari kelima parameter tersebut, tiga parameter pertama dapat diukur secara subjektif, sedangkan untuk parameter tidak mengandung mikroorganisme dapat diatasi dengan

proses perebusan air. Sementara itu, parameter tidak mengandung logam berat sangat sulit untuk dideteksi. Berdasarkan hal tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan pengembangan alat ukur portable untuk mengukur kadar logam dalam air.

Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengukur kadar logam dalam air adalah spektrofotometer [2, 3, 4]. Alat ini mampu mengukur kadar logam dalam air seperti Mangan (Mn), Logam Besi (Fe), Seng (Sn) dan sejenisnya[5]. Untuk saat ini, Spektrofotometer belum diproduksi di Indonesia dan apabila impor diperlukan biaya yang relatif mahal. Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat sebuah prototipe alat ukur portabel yang sederhana dan murah untuk mengukur kadar logam dalam air menggunakan prinsip Spektrofotometer. Terkait hal tersebut, pada penelitian ini hanya dilakukan pengukuran pada dua jenis logam berat yaitu Mn dan Fe.

2 Teori Dasar

Spektrofotometer adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi suatu zat berdasarkan absorbansi cahaya pada panjang gelombang tertentu. Pada spektrofotometer, cahaya dengan rentang gelombang tertentu akan ditembakkan kepada kuvet yang berisi sampel. Kemudian nilai absorbansi dari cahaya yang diserap akan dikonversi sebagai konsentrasi larutan pada kuvet tersebut.

Prinsip kerja alat ukur ini adalah berdasarkan hukum Lambert-Beer, yaitu hubungan linier antara absorbansi dengan konsentrasi suatu zat yang menyerap cahaya. Hukum ini berlaku apabila cahaya yang ditembakkan tidak memicu reaksi kimia ataupun proses fisis pada zat yang dilewati. Hukum Lambert-Beer dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I = T \times I_0 \quad (1)$$

Dimana I adalah intensitas berkas cahaya keluar, I_0 adalah intensitas berkas cahaya datang, sedangkan T adalah transmitansi. Berdasarkan nilai transmitansi dapat diperoleh nilai konsentrasi senyawa dalam larutan tersebut, seperti yang dinyatakan pada persamaan 2. Dengan kata lain, konsentrasi atau kadar logam pada air dapat diukur berdasarkan hukum ini [6].

$$T\% = I/I_0 \times 100 = \exp(-\epsilon c l) \quad (2)$$

dimana

ϵ : absorbtivitas molar ($\text{ml mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)

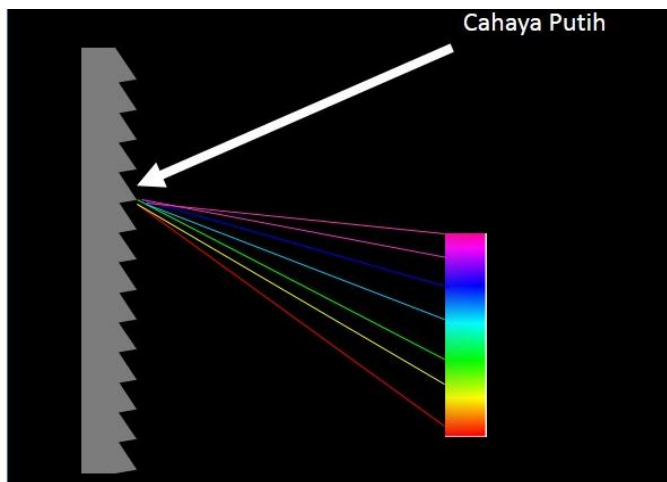
l : tebal kuvet (cm)

c : konsentrasi senyawa dalam larutan (mol/ml)

Komponen terpenting pada spektrofotometer adalah monokromator yang berfungsi sebagai pemecah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis [7]. Hal ini dikarenakan setiap senyawa memiliki spektrum absorbansi cahaya yang berbeda. Berkaitan dengan hal tersebut, maka pada spektrofotometer penggunaan cahaya dengan panjang gelombang tertentu akan menyatakan kadar senyawa tertentu.

Salah satu monokromator yang umum dan juga digunakan pada penelitian ini adalah monokromator kisi, atau dikenal dengan istilah kisi difraksi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Monokromator kisi ini memiliki kemampuan pengurai warna yang lebih baik

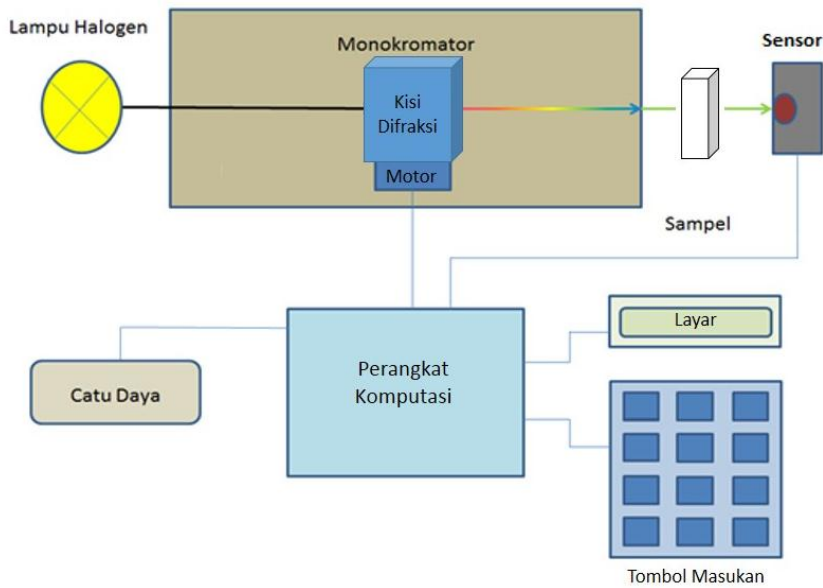
dibanding monokromator prisma yang umum digunakan. Hal tersebut tercapai karena kisi memiliki guratan yang sangat banyak dalam ukuran mikroskopis [8].



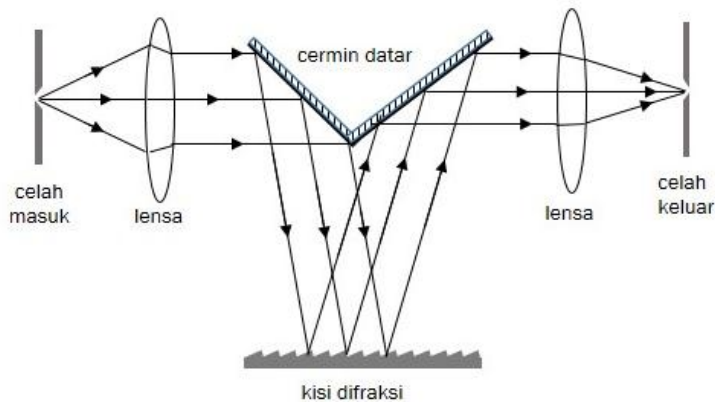
Gambar 1. Pemecahan cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis menggunakan kisi difraksi

3 Rancangan Alat Ukur

Pada perancangan alat ukur portabel kadar logam Mn dan Fe ini terdapat beberapa komponen utama, yaitu lampu halogen, monokromator, motor penggerak, kuvet sebagai wadah sampel, sensor, perangkat komputasi berupa mikroprosesor, layar, tombol masukan serta catu daya, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Cara kerja alat ini adalah dengan menembakan cahaya polikromatis yang dihasilkan lampu halogen ke dalam celah masukan pada monokromator. Lampu halogen digunakan sebagai sumber cahaya polikromatis karena mampu menghasilkan cahaya tampak dengan spektrum warna yang luas. Skema rinci mengenai monokromator yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa cahaya monokromatis yang telah didifraksi menggunakan kisi akan melalui celah sempit. Celah sempit keluaran ini berfungsi untuk menapis panjang gelombang tertentu, sehingga hanya panjang gelombang yang dibutuhkan saja yang akan keluar melalui celah. Pengaturan panjang gelombang cahaya keluaran diatur dengan menggunakan motor untuk menggerakkan kisi difraksi cahaya, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Putaran kisi difraksi adalah sebesar 0,175 derajat setiap 5 step, dalam hal ini panjang gelombang yang keluar dari celah akan bergeser sebesar $23 \text{ nm} \pm 15 \text{ nm}$ dari posisi sebelumnya. Untuk mengukur kadar Mn dalam air digunakan cahaya dengan panjang gelombang sebesar 521 nm sesuai nilai absorbansi Mn setelah bereaksi dengan reagen berupa senyawa fenantrolin [9]. Sementara itu, untuk pengukuran kadar Fe digunakan panjang gelombang 500 nm[10].



Gambar 2. Skema alat ukur



Gambar 3. Skema monokromator

Tombol masukan pada Gambar 2 berfungsi untuk mengatur panjang gelombang yang dilewatkan melalui celah kecil. Sebagian cahaya tersebut akan diserap oleh sampel yang ditempatkan pada wadah kuvet, kemudian cahaya yang telah diabsorpsi akan dideteksi menggunakan fotodetektor sederhana. Fotodetektor ini akan mengirimkan sinyal berupa tegangan, yang kemudian akan dikonversi menjadi kadar logam berdasarkan program yang sudah disusun pada mikroprosesor. Selanjutnya, nilai kadar logam terlarut akan ditampilkan pada layar LCD berukuran 16 x 2.

4 Hasil dan Pembahasan



Gambar 4. Rancang bangun alat ukur kadar logam Fe dan Mn

Setelah dilakukan pembuatan rancang bangun alat ukur kadar logam Fe dan Mn pada air, maka diperlukan adanya pengujian. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa alat ukur ini dapat digunakan dengan baik dan dapat menampilkan hasil yang sesuai. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian linearitas serta pengujian karakteristik alat ukur. Pengujian karakteristik tersebut meliputi perhitungan nilai akurasi, nilai presisi, bias dan kesalahan dari alat ukur.

4.1 Pengujian karakteristik alat ukur kadar logam Mn dan Fe

Pengujian karakteristik alat ukur kadar logam Mn dan Fe ini dilakukan untuk mengetahui nilai akurasi, nilai presisi, bias dan kesalahan yang dihasilkan oleh alat ukur kadar logam Mn dan Fe ini. Berdasarkan nilai-nilai tersebut dapat diketahui performansi dari alat ukur kadar logam Mn dan Fe ini.

4.1.1 Hasil pengujian linearitas

Sampel yang digunakan adalah air murni (*aquadest*) yang sudah terkondisi dengan tambahan Mn dan Fe secara terpisah. Untuk pengujian karakteristik alat dalam mengukur kadar Mn, digunakan 5 buah sampel dengan kadar sebesar 0,05; 0,2; 0,5; 0,7; 1,0 mg/L. Sedangkan untuk pengujian karakteristik alat dalam mengukur kadar Fe digunakan 6 buah sampel dengan kadar sebesar 0,01; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 mg/L. Data hasil pengujian karakteristik alat ukur yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

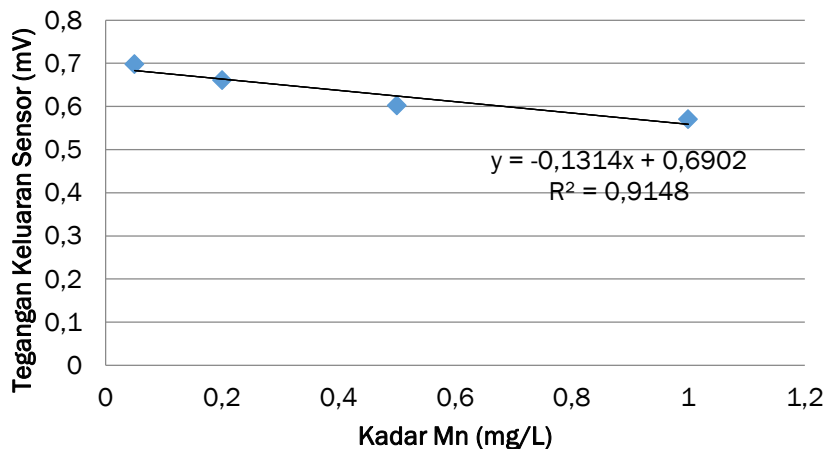
Table 1 Data hasil pengujian karakteristik alat ukur untuk mendeteksi kadar Mn

Kadar Mn (mg/L)	Tegangan Keluaran Sensor (mV)										Rata rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,05	0,69	0,72	0,68	0,7	0,72	0,68	0,7	0,71	0,67	0,71	0,698
0,2	0,62	0,62	0,65	0,62	0,62	0,65	0,62	0,62	0,65	0,62	0,629
0,5	0,61	0,59	0,58	0,60	0,62	0,61	0,59	0,59	0,61	0,62	0,602
1,0	0,57	0,57	0,57	0,58	0,57	0,58	0,57	0,57	0,57	0,57	0,572

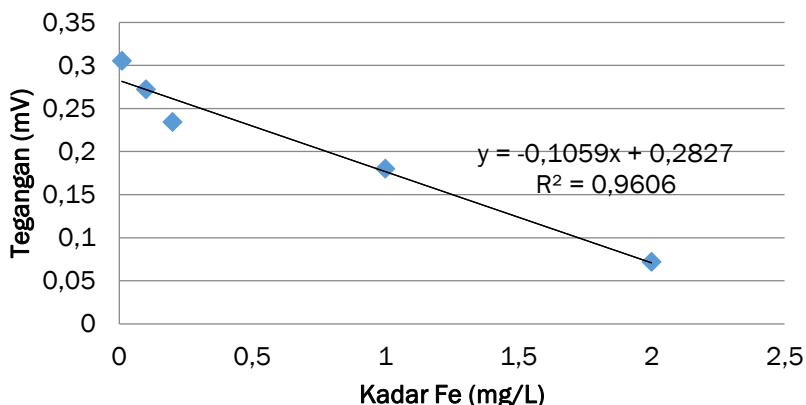
Table 2 Data hasil pengujian karakteristik alat ukur untuk mendeteksi kadar Fe

Kadar Fe (mg/L)	Tegangan Keluaran Sensor (mV)										Rata rata
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0,01	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,31	0,31	0,305
0,1	0,27	0,27	0,28	0,27	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,272
0,2	0,23	0,24	0,23	0,23	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,24	0,234
1,0	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,181
2,0	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,072

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2 maka didapat grafik hubungan antara kadar logam dengan tegangan keluaran dari sensor, yang diperlihatkan pada Grafik 1 dan Grafik 2.



Grafik 1 Grafik hubungan antara kadar Mangan (Mn) dengan tegangan keluaran sensor



Grafik 2 Grafik hubungan antara kadar besi (Fe) dengan tegangan keluaran sensor

Grafik 1 dan Grafik 2 menunjukkan bahwa hasil pengujian memiliki linearitas yang cukup baik. Hal ini diperlihatkan melalui nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9148 untuk pengujian logam Mn dan 0,9606 untuk logam Fe. Selain itu, hubungan antara masukan dan keluaran yang ditunjukkan Grafik 1 dan Grafik 2 memperlihatkan bahwa semakin besar kadar logam maka nilai absorpsi cahaya juga semakin besar. Dengan kata lain, cahaya yang ditransmisikan dari sampel ke sensor semakin kecil, sehingga tegangan keluaran sensor juga semakin kecil. Selain itu, berdasarkan kedua grafik tersebut diperoleh persamaan regresi linier yang menyatakan hubungan kadar mangan dan kadar besi dengan tegangan keluaran sensor, sebagai berikut:

$$x_1 = (y - 0,6902) / -0,1314 \tag{1}$$

$$x_2 = (y - 0,2827) / -0,1059 \tag{2}$$

dimana

y : Tegangan keluaran sensor (mV)

x_1 : Kadar Mn (mg/L)

x_2 : Kadar Fe (mg/L)

Persamaan (1) dan (2) ini digunakan untuk mengonversi dari tegangan menjadi kadar logam Mn dan Fe. Proses konversi dilakukan dengan menuliskan persamaan tersebut dalam bentuk program pada mikroprosesor. Selanjutnya, alat ukur kadar logam ini dapat langsung menampilkan hasil persentase kadar logam Mn atau Fe dalam satuan miligram per Liter (mg/L).

4.1.2 Hasil pengujian linearitas

Pengujian akurasi dan presisi dilakukan dengan melakukan pengukuran pada beberapa titik di kuvet. Dalam pengujian ini dipilih satu sampel air untuk masing-masing kadar Mn dan Fe sebesar 0,7 mg/L dan 0,5 mg/L, dimana nilai kadar ini diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan alat standar. Kemudian, masing-masing sampel diukur menggunakan alat ukur yang telah dibangun dengan pengulangan sebanyak 10 kali.

Berdasarkan data yang ditunjukkan pada kolom kedua dan ketiga dari Tabel 3 dan Tabel 4, dilakukan perhitungan nilai akurasi alat ukur menggunakan persamaan (3). Nilai akurasi ini menyatakan kedekatan nilai penunjukan alat ukur dengan nilai yang sebenarnya.

$$akurasi = \left(1 - \frac{Bias + 3\sigma}{x_{benar}} \right) \times 100\% \tag{3}$$

dimana

σ : standar deviasi

Bias : selisih rata-rata hasil pengukuran dengan nilai pengukuran benar

X_{benar} : nilai yang dianggap benar

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai presisi. Nilai ini menunjukkan kemampuan alat ukur untuk memberikan hasil pengukuran yang konsisten pada saat dilakukan pengukuran berulang. Penentuan nilai presisi dihitung menggunakan persamaan (4).

$$\text{Presisi} = \left(1 - \frac{3\sigma}{\bar{x}}\right) \tag{4}$$

dimana

\bar{x} : rata-rata hasil pengukuran

Selain itu, dilakukan perhitungan nilai kesalahan yang merupakan perbedaan antara hasil pengukuran dengan nilai yang dianggap benar. Penentuan nilai kesalahan dihitung menggunakan persamaan (5).

$$\text{Kesalahan} = \left(\frac{3\sigma + \text{Bias}}{X_{\text{benar}}}\right) \times 100\% \tag{5}$$

Table 3 Pengujian Sampel Kadar Mn

Pengujian Ke-	Hasil Pengujian Alat (mg/L)	Kadar Sampel Benar (mg/L)	Bias	Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
1	0,762	0,7	-0,039	84,80	80,23	15,20
2	0,610					
3	0,686					
4	0,762					
5	0,762					
6	0,762					
7	0,762					
8	0,762					
9	0,762					
10	0,762					

Table 4 Pengujian Sampel Kadar Fe

Pengujian Ke-	Hasil Pengujian Alat (mg/L)	Kadar Sampel Benar (mg/L)	Bias	Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
1	0,592	0,5	-0,073	90,75	79,16	9,25
2	0,592					
3	0,592					
4	0,592					
5	0,497					
6	0,592					
7	0,592					
8	0,497					
9	0,592					
10	0,592					

Berdasarkan data yang tertera pada Tabel 3, untuk pengukuran sampel kadar mangan sebesar 0,7 mg/L, diperoleh nilai akurasi sebesar 84,80%, sedangkan nilai presisinya adalah 80,23% dan nilai kesalahannya adalah 15,20%. Sementara pada Tabel 4, untuk pengukuran sampel kadar besi sebesar 0,5 mg/L, diperoleh nilai akurasi sebesar 90,75%, nilai presisi sebesar 79,16% dan nilai kesalahannya adalah 9,25%. Kesalahan yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh lebar pita panjang gelombang cahaya yang digunakan masih terlalu lebar, yaitu sekitar 40 nm. Hal ini mungkin mengakibatkan terjadinya penyerapan oleh senyawa lain. Apabila dibandingkan antara nilai akurasi, presisi, dan kesalahan antara hasil pengujian Fe dibanding Mn, terlihat bahwa pengujian Fe jauh lebih baik daripada pengujian Mn. Hal ini kemungkinan dikarenakan Mn lebih mudah teroksidasi.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengerjaan dan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa alat ukur ini mampu mengukur kadar Mn dan Fe pada air, meskipun masih memiliki kesalahan pengukuran yang relatif tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya akan digunakan filter celah dengan ukuran keluaran yang lebih sempit. Diharapkan dengan penggunaan celah filter yang lebih sempit, maka proses absorpsi oleh senyawa lain dapat dihindari, sehingga kehandalan alat ukur dapat ditingkatkan. Sebagai kesimpulan akhir, alat ini sangat menjanjikan untuk dikembangkan lebih lanjut dalam mengukur kadar logam Mn, Fe serta jenis lain yang terkandung dalam air.

6 Daftar Pustaka

- [1] http://pppl.depkes.go.id/_asset/_regulasi/53_Permenkes%20492.pdf, diakses pada tanggal 11 Februari 2016.

- [2] Jesús Anzano et.al., Developing an Environmental Analysis of Soils and Water by Spectrochemical Techniques for Undergraduate Students of Chemistry, *Journal of Laboratory Chemical Education* 2014, 2(1): 4-9
- [3] Kefa K. Onchoke and Salomey A. Sasu, Determination of Hexavalent Chromium (Cr(VI)) Concentrations via Ion Chromatography and UV-Vis Spectrophotometry in Samples Collected from Nacogdoches Wastewater Treatment Plant, East Texas (USA), *Advances in Environmental Chemistry*. 2016, Article ID 3468635, 9 pages
- [4] P. Nagaraj, N. Aradhana, A. Shivakumar, A. K. Shrestha, and A. K. Gowda, "Spectrophotometric method for the determination of chromium (VI) in water samples," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 157, no. 1, pp. 575–582, 2009.
- [5] D.G. Marbaniang, Spectrophotometric Determination of Manganese in Ground Water in Shillong City Using Bismuthate Oxidation Method, *International Journal of Environmental Protection*, 2015.
- [6] D. W. Ball, *Field Guide to Spectroscopy*, SPIE Press, Bellingham, WA, 2006.
- [7] Adolf Cortel and Luis Fernandez, A simple diffraction grating spectroscope: Its construction and uses, *J. Chem. Educ.*, , 63 (4), p 348, 1986.
- [8] Juliastuti, Endang. 1983. Pembuatan Monokromator Sederhana. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- [9] Hideo Akaiwa, Hiroshi Kawamoto, Shoji Kogure, Spectrophotometric determination of manganese(II) with dithizone and o-phenanthroline, *Bunseki Kagaku*, Vol. 28 (1979) No. 8 P 498-500
- [10] Dragica Lazić, Branko Škundrić, Jelena Penavin-Škundrić, Slavica Sladojević, Ljubica Vasiljević, Dragana Blagojević, Zoran Obrenović, Stability Of Tris-1,10-Phenanthroline Iron (II) Complex In Different Composites, *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly* 16 (2) 193-198 (2010)