

KARAKTERISASI METODE *PAPER ANALYTICAL DEVICE* BERBASIS PENCITRAAN DIGITAL UNTUK DETEKSI KADMIIUM

Zuri Rismiarti^{1,2*} dan Renny Indrawati¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ma Chung, Malang

²Program Studi Diploma Analisis Farmasi dan Makanan, Jurusan Gizi Politeknik Kesehatan Kemenkes, Malang

ABSTRAK

Logam kadmium merupakan logam yang bersifat toksik dan mencemari lingkungan serta mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia). Ikan merupakan salah satu biota perairan yang dapat terpapar logam Cd sehingga merupakan sumber masuknya logam Cd ke dalam tubuh manusia. Telah banyak ditemukan keracunan bersifat kronis yang terjadi pada manusia seperti kanker disebabkan paparan logam kadmium. *Paper analytical device* telah dilaporkan sebagai metode yang efektif, sensitif dan telah banyak diaplikasikan dalam logam berat. Penentuan kadmium dengan metode *paper analytical device* berbasis kolometri dengan teknik pencitraan digital telah berhasil dikembangkan. Metode ini menggunakan kertas Whatmann yang telah dipreparasi, kemudian diteteskan dengan reagen alizarin red s yang berdifusi melewati kapiler kertas hingga membentuk warna kuning kehijauan. Intensitas warna yang terbentuk difoto dengan kamera kemudian dianalisis secara kolorimetri menggunakan program *Image J* untuk memperoleh absorbansi pada masing-masing warna komplementer merah, hijau, biru. Penelitian memfokuskan pada karakterisasi metode yang akan dikembangkan meliputi optimasi reagen (*alizarin red S* dan asam sulfat) serta waktu pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi optimum dari *Alizarin Red S* dan H_2SO_4 masing-masing sebesar 750 ppm dan 0,05 M dengan waktu pengukuran sebesar 10 menit.

Kata kunci: Kertas, analisis, kadmium, alizarin red S, pencitraan, digital

ABSTRACT

Cadmium (Cd) in trace amounts as a toxicant and an environmental pollutant. The cadmium metal will undergo biotransformation and bioaccumulation processes in living organisms (plants, animals, and humans). Fish is one of the aquatic biotas that can be exposed to Cd metal which is the source of the Cd into the human body. Chronic poisoning that occurs in humans such as cancer caused by exposure to cadmium metal. Paper analytical device (PAD) has been reported as an attractive tool for analysis with good sensitivity and can apply for heavy metal detection. This research using Alizarin Red S reagent as a chelating agent with Cd metal to produce greenish yellow color complex on paper due to sample movement through the capillary paper. The greenish yellow color complex in a paper was photographed with the digital color camera. To produce absorbance data from each complementary color of Red, Green, Blue by colorimetry analysis using Image J software. This research focuses on optimization of the reagent such as alizarin red s, sulfuric acid, and time of measuring. The result showed that optimum concentration of Alizarin Red S is 750 ppm, sulfuric acid of 0.05 M with stability time for over 10 minutes.

Keywords: Paper, analysis, cadmium, alizarin red S, digital color image

PENDAHULUAN

Dewasa ini buangan limbah industri yang mengandung logam pencemar banyak menimbulkan masalah lingkungan yang sangat kronis. Salah satu logam pencemar tersebut logam berat Cd(II). Dalam tubuh biota perairan jumlah logam yang terakumulasi akan terus menerus mengalami peningkatan (biomagnifikasi) dan dalam rantai makanan biota yang tertinggi akan mengalami akumulasi kadmium (Cd) yang lebih besar (Istarani, 2014).

Ikan merupakan salah satu biota perairan yang dapat terpapar logam Cd sehingga merupakan sumber masuknya logam Cd ke dalam tubuh manusia.

Logam kadmium dapat merusak sistem tubuh manusia antara lain menaikkan resiko terjadinya kanker payudara, penyakit kardiovaskular, paru-paru, dan jantung. Efek lain yang menunjukkan toksisitas kadmium seperti kegagalan fungsi ginjal, encok, pembentukan

Korespondensi dialamatkan kepada yang bersangkutan :

*Program Studi Diploma Analisis Farmasi dan Makanan, Jurusan Gizi, Politeknik Kesehatan KEMENKES, Malang
Phone : -, E-mail: zurirismiarti@gmail.com

arthritis, juga kerusakan tulang. Selain itu logam Cd dapat menyebabkan kerusakan kelenjar reproduksi, sistem penciuman dan bahkan dapat mengakibatkan kerapuhan pada tulang (Istarani, 2014; Ullah, 2010; Marzo, 2013). Dampak buruk yang ditimbulkan oleh kadmium bagi kesehatan makhluk hidup dan lingkungan sangatlah tinggi. Oleh sebab itu, perlu adanya monitoring terhadap kadar kadmium pada makanan olahan (ikan), perairan, buangan air limbah industri ataupun sumber pencemar lainnya sehingga bahaya fatal yang ditimbulkan bisa dihindari.

Analisis kadmium menggunakan instrumentasi khusus seperti AAS (*atomic absorption spectrometry*), ICP-AES (*inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*), ICP-MS (*inductively coupled plasma-mass spectrometry*), FAAS (*Flame Atomic Absorption Spectrometry*), GFAS (*Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy*) maupun spektrofotometri (Ong, 2014; Cesur, 2002; Rawat, 2012; Ullah, 2010; Kulkarni, 2015; Jin, 2000). Metode-metode tersebut memiliki keunggulan seperti sensitif, selektif, stabil dalam pH dan termal, presisi dan akurasi. Akan tetapi metode tersebut memiliki biaya analisa tinggi, perawatan yang tidak terjangkau, dan harus memiliki keahlian khusus dalam pengoperasiannya, serta tidak praktis untuk digunakan analisis lapang, mahal sehingga deteksi dan monitoring paparan kadmium menjadi tidak efektif.

Paper analytical device (PAD) telah dikembangkan sebagai alat yang atraktif untuk analisis lapang dengan sensitifitas bagus, menawarkan biaya yang murah, mudah dan bisa diterapkan dimana saja (*portable*) mendorong penggunaannya pada berbagai bidang diagnostik, kesehatan, dan juga lingkungan (Martinez, 2010). Marzo (2013) melaporkan pembuatan kertas sensitif dan integrasi berbasis sistem imunosisitem sebagai sensor Cd(II) dalam *lateral flow format* serta telah berhasil diaplikasikan dalam sampel air minum. Selain itu, teknik PAD juga telah dikembangkan untuk monitoring logam tembaga (Cu) dengan membuat kertas Whatmann No. 1 sebagai *device* yang bersifat sensitif dan selektif berbasis sensor kolorimeter yang diteteskan oleh sampel dan reagen (Chaiyo, 2015). Ullah (2010) melaporkan 1,2-dihydroxy anthraquinone-3-sulphonic acid (*Alizarin Red S*) akan membentuk kompleks kelat dengan logam kadmium (Cd) dengan memberikan warna kuning kehijauan pada panjang gelombang 422 nm. Hasil

penelitian menunjukkan reaksi kompleks stabil selama 1 hari, dengan linearitas pengukuran 0,1-40 µg/mL Cd. Perbandingan komposisi kelat dengan kompleks adalah 2:1, bersifat selektif (tidak diganggu oleh ion asing), presisi dan akurasi yang tinggi.

Berdasarkan studi literatur tersebut peneliti mengembangkan metode berbasis *paper analytical device* (PAD) untuk deteksi kadmium dengan menggunakan *Alizarin Red S* sebagai reagen pengompleks dengan logam Cd. Dalam membuat batas hidrofobik kertas Whatmann dipreparasi dengan melapisi batas pola pada kertas menggunakan *wax*/malam kemudian dipanaskan hingga 120 °C. Warna yang terbentuk di kertas terjadi karena pergerakan sampel dan reagen melalui kapiler kertas. Untuk menganalisis kadar kadmium, dengan mereaksikan sampel dengan reagen *alizarin red S* pada pH asam hingga terbentuk warna kuning kehijauan. Warna tersebut difoto dengan kamera dan intensitas warna yang terbentuk dianalisis secara kolorimetri untuk memperoleh absorbansi pada masing-masing warna komplementer *Red*, *Green*, *Blue*. Pengolahan intensitas warna tersebut dianalisis menggunakan program *Image J* (Soldat, 2009). Data intensitas tersebut dikonversi menjadi absorbansi dengan menggunakan persamaan Lambert-Beer.

Pada penelitian ini di fokuskan untuk karakterisasi dari metode yang dikembangkan. Metode yang praktis, akurat, sederhana dan murah serta tidak digunakan instrumentasi khusus untuk mendiagnosa kadmium berbasis *paper analytical device* (PAD) dengan teknik pencitraan digital, yang meliputi optimasi reagen berupa alizarin red S, asam sulfat, dan optimasi waktu pengukuran. Hasil penelitian ini diharapkan diagnostik dan monitoring kadmium dapat terkendali dan bahaya keracunan kadmium dapat dihindari. gan oksida berlapis yaitu *birnessite* dan *buserite* dengan formula MnO_6 . *Birnessite* merupakan jenis mangan oksida berlapis dengan molekul air dan ion seperti Na^+ terdapat pada lapisannya. *Buserite* yang mengalami pelepasan molekul air akan membentuk *birnessite* dengan jarak antar lapisannya 10 Å.

Mangan oksida dengan berbagai struktur ini sangat banyak menarik perhatian para ahli terutama *birnessite*, karena memiliki beberapa keistimewaan yang dimilikinya. *Birnessite* merupakan kelompok mangan oksida dengan struktur berlapis yang di antara lapisannya terdapat kation-kation. Kation pada *birnessite* ini

dapat dipertukarkan, kemampuan *birnessite* untuk tukar kation ini menjadikan *birnessite* dapat digunakan sebagai prekursor dalam proses sintesis *todorokite*. *Todorokite* merupakan jenis mangan oksida berongga yang mempunyai struktur halus yang stabil yang mirip dengan zeolite. Hal ini menjadikan *birnessite* merupakan material penting dan menarik untuk disintesis. *Birnessite* dapat pula dimanfaatkan sebagai material di dalam baterai dan juga sebagai material katalis (Fritch dkk., 1998), *birnessite* juga digunakan sebagai katoda reversibel pada baterai lithium, sebagai penukar ion, dan juga sebagai katalis heterogen (Xionghan dkk., 2005).

Untuk mendapatkan mineral mangan oksida dengan struktur yang diinginkan dan dalam keadaan murni, para ahli melakukan beberapa metoda untuk mensintesis mineral mangan oksida, diantaranya metoda hidrotermal, refluks, microwave dan sol-gel. Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis mangan oksida jenis *birnessite* dengan metoda sol-gel karena beberapa keunggulan diantaranya metoda yang sederhana, dapat dilakukan pada suhu kamar, produk yang dihasilkan lebih banyak dan lebih murni, dan cara kerjanya yang mudah. Mangan oksida *birnessite* akan disintesis dengan mereduksi KMnO_4 dengan reduktor asam sitrat, dan untuk mempelajari kemampuan KTK *birnessite* ini dilakukan variasi waktu kontak reaksi dan konsentrasi MgCl_2 yang digunakan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai sifat pro analisis antara lain CdSO_4 (*E-Merck*), H_2SO_4 (*E-Merck*), Alizarin Red S, (*E-Merck*), akuades, *pen wax*. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat gelas, kertas Whatman No. 42, neraca analitik (*Ohaus*), *hot plate stirrer* (*Lab Tech*).

Pembuatan *paper analytical devices* untuk kadmium

Paper-based devices didesain pada kertas Whatman No. 42 yang sudah dipola berbentuk persegi panjang dengan ukuran 5x2 cm. Pembuatan batas hidrofobik menggunakan *pen wax* pada sisi lingkaran. Selanjutnya kertas saring dipanaskan di *hot plate* pada temperatur 120 °C selama 5 menit sehingga malam bisa berpenetrasi sehingga membentuk batas hidrofobik. Hasil kertas ini digunakan sebagai

perangkat kertas untuk analisa prosedur selanjutnya.

Optimasi konsentrasi *alizarin red S*

Dengan menggunakan 4 buah pola PAD, selanjutnya masing-masing pola saring tersebut ditetesi dengan Cd(II) 10 ppm berbagai variasi *alizarin red S* (ppm) antara lain: 75; 375; 750 dan 1500 mg/L dengan asam sulfat 0,05 M. selanjutnya terjadi pergerakan sampel melalui kapiler kertas. Kertas saring yang mengandung *Alizarin Red S* dan Cd(II) menunjukkan warna kuning kehijauan. Warna kuning kehijauan yang terbentuk masing-masing di foto dengan kamera, kemudian hasilnya diproses menggunakan *Image J software 1.48*. Kemudian nilai intensitas yang muncul dirubah menjadi nilai absorbansi, menggunakan persamaan Lambert-Beer (persamaan 1). Untuk setiap warna pada kertas ditentukan nilai RGB. Prosedur dilakukan dengan tiga kali pengulangan. Nilai rerata dan intensitas dan absorbansi sebagai acuan analisis.

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Gambar 1. Persamaan Lambert Beer

Keterangan: A adalah absorbansi; I adalah intensitas sampel atau kontrol dan I_0 adalah intensitas pelarut dengan nilai 255.

Optimasi waktu pengukuran

Optimasi waktu pengukuran dilakukan dengan memvariasi waktu pengukuran antara 3-105 menit. Dengan menggunakan pola PAD yang telah dipreparasi, selanjutnya masing-masing pola saring tersebut ditetesi dengan Cd(II) 10 ppm; *alizarin red S* 750 ppm dengan asam sulfat 0,05 M. Intensitas warna yang tajam digunakan sebagai optimasi waktu pengukuran. Hasil ini digunakan untuk perlakuan selanjutnya.

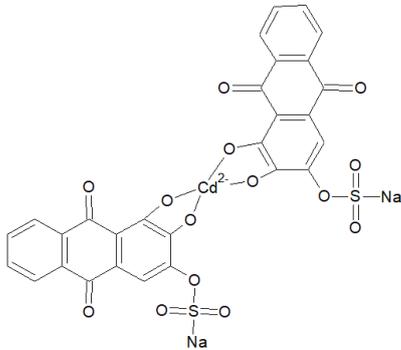
Optimasi konsentrasi H_2SO_4

Optimasi konsentrasi H_2SO_4 terhadap PAD kadmium sesuai prosedur dan kondisi optimum dari percobaan optimasi konsentrasi *Alizarin Red S* dan waktu pengukuran. Dengan menggunakan pola PAD yang telah dipreparasi, selanjutnya masing-masing pola saring tersebut ditetesi dengan Cd(II) 0,7 ppm; *alizarin red S* 750 ppm dengan variasi asam sulfat 0,1; 0,05; 0,01; 0,005 dan 0,001 M. Intensitas warna yang tajam digunakan sebagai optimasi konsentrasi H_2SO_4 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi konsentrasi *alizarin red S*

Penentuan kadmium secara *paper analytical device* berdasarkan prinsip kolometri. Logam kadmium dapat membentuk kompleks berwarna kuning kehijauan dengan reagen *Alizarin Red S* digunakan sebagai agen pengkelat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (Rawat, 2012)



Gambar 2. Kompleks Cd dan *Alizarin Red S*

Pengaruh konsentrasi *alizarin red s* disajikan pada Tabel 1 yang menunjukkan intensitas warna kompleks berbanding terbalik absorbansi, hal ini sesuai dengan persamaan 1. Radiasi cahaya yang dihasilkan dari kamera mengandung paket-paket energi yang disebut foton. Jumlah foton yang diserap oleh larutan berwarna mengakibatkan jumlah intensitas cahaya tampak (I) semakin besar sehingga nilai absorbansi menjadi kecil. Berdasarkan Tabel 1 diperoleh hasil pencitraan digital diperoleh dari salah satu komponen warna RGB yaitu komponen warna *Blue* karena memberikan intensitas warna yang besar sehingga menghasilkan absorbansi larutan yang besar dibandingkan komponen warna *red* dan *green*. Hal tersebut menunjukkan larutan kompleks *Cd-alizarin red S* menyerap warna komplemen biru lebih secara dibandingkan komplemen warna merah dan hijau dari sumber radiasi cahaya yang dipancarkan oleh *kamera*. Ketika larutan sampel berwarna kuning maka analisis pencitraan digital menggunakan intensitas komplementer warna biru dari masing-masing larutan sehingga menghasilkan data yang sesuai dengan persamaan Lambert Beer (Kohl, 2006).

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi *alizarin red S* dengan intensitas dan absorbansi pada berbagai warna komplementer

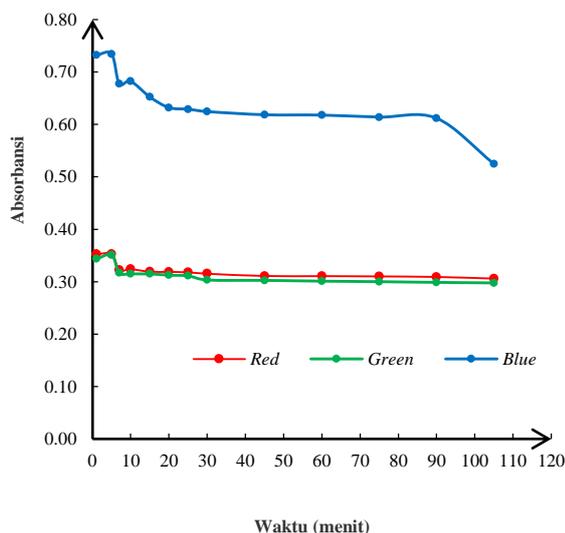
Konsentrasi <i>alizarin red S</i> (ppm)	Intensitas rata-rata			Absorbansi rata-rata		
	<i>Red</i>	<i>Green</i>	<i>Blue</i>	<i>Red</i>	<i>Green</i>	<i>Blue</i>
75	172,215	152,588	90,53	0,17	0,22	0,45
375	169,243	135,784	47,47	0,18	0,27	0,73
750	152,486	134,025	45,48	0,22	0,28	0,75
1500	142,414	121,248	10,76	0,25	0,32	1,37

Dari Tabel 1 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi reagen *Alizarin Red S*, maka intensitas warna yang dihasilkan semakin kecil sehingga diperoleh absorbansi larutan yang besar. Hal tersebut sesuai dengan persamaan Lambert Beer, $A = e.b.c$, bahwa absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi. Mengacu pada azas Le Chatleir bahwa ketika ditambahkan reagen peraksi maka laju reaksi bergeser ke arah kanan atau ke arah produk (Petrucci, 2010). Hal ini menunjukkan semakin besar konsentrasi *alizarin red S* yang ditambahkan ke reaksi kompleks dengan Cd maka semakin banyak kompleks *Cd-alizarin red S* yang terbentuk akibatnya absorbansi warna kompleks yang dihasilkan semakin tinggi.

Berdasarkan Tabel 1, pada konsentrasi *Alizarin Red S* 1500 ppm, nilai absorbansi yang diperoleh sangatlah tinggi yaitu 1,37. Persamaan Lambert Beer menyebutkan nilai absorbansi larutan antara 0,2-0,8 ($0,2 \leq A \leq 0,8$). Jika absorbansi yang diperoleh lebih besar dari kisaran tersebut maka hubungan absorbansi dengan konsentrasi tidak linear lagi. Pada konsentrasi *alizarin red S* 750 ppm dengan intensitas komplementer warna biru dihasilkan nilai absorbansi 0,75. Data ini dijadikan acuan sebagai optimasi konsentrasi *alizarin red S*. Oleh sebab itu konsentrasi *alizarin red S* yang optimum adalah 750 ppm.

Optimasi waktu pengukuran

Pengaruh waktu pengukuran kompleks *alizarin red S* dengan metode *paper analytical device* berbasis pencitraan digital ditunjukkan pada Gambar 3. Intensitas yang rendah dihasilkan pada warna komplementer *Blue* sehingga memperoleh absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan warna komplementer *Red* dan *Green* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat kompleks *alizarin red S* dan logam Cd membentuk warna kuning kehijauan dengan absorbansi tertinggi hingga menit ke-10, dan stabil hingga menit ke-90 dan mengalami penurunan pada menit ke-105. Hal ini menunjukkan reagen *alizarin red S* dan logam Cd pada suasana asam pH 4 membentuk senyawa kompleks berwarna kuning kehijauan dengan berdifusi melewati kapiler kertas yang bersifat hidrofilik sehingga membentuk kompleks yang stabil hingga menit ke-10 dan warna kompleks akan memudar pada menit selanjutnya sehingga absorbansi yang dihasilkan juga semakin menurun. Dengan demikian kondisi untuk waktu pengukuran optimum pada metode analisis menggunakan metode PAD secara teknik pencitraan digital adalah 1 hingga 10 menit.



Gambar 3. Hubungan antara waktu pengukuran dengan absorbansi

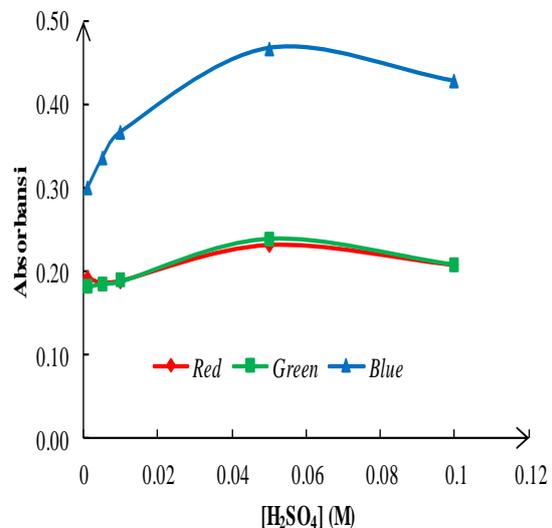
Optimasi konsentrasi asam sulfat

Mengacu pada penelitian Ullah (2010) menyebutkan bahwa reaksi *alizarin red S* dengan kadmium pada larutan sedikit asam (0,0005-0,05M H_2SO_4) untuk menghasilkan produk kelat kuning kehijauan yang tinggi pada pengukuran absorbansi langsung. Optimasi konsentrasi H_2SO_4 pada metode penentuan Cd dengan kompleks *alizarin red S* menggunakan

metode *paper analytical device* ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4. Pada Tabel 2 menunjukkan intensitas H_2SO_4 terendah pada konsentrasi H_2SO_4 0,05 M pada warna komplementer biru.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi H_2SO_4 dengan intensitas dan absorbansi pada berbagai warna komplementer

Kadar (H_2SO_4) (M)	Intensitas		
	Red	Green	Blue
0,1	158,394	157,694	95,243
0,05	149,834	146,892	87,015
0,01	165,502	165,207	109,517
0,005	166,284	166,278	117,936
0,001	164,052	167,712	128,065



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi H_2SO_4 dengan absorbansi

Untuk melihat absorbansi masing-masing konsentrasi asam sulfat ditunjukkan pada Gambar 4 dengan nilai 0,47 pada warna komplementer biru. Pada Gambar 4 juga menunjukkan absorbansi larutan kompleks kadmium-*alizarin red S* pada konsentrasi 0,001 hingga 0,05 M H_2SO_4 semakin tinggi. Hal ini ditandai dengan meningkatnya ketajaman /kepekatan warna kompleks kuning kehijauan yang terbentuk seiring dengan meningkatnya konsentrasi H_2SO_4 . Pada konsentrasi H_2SO_4 0,1 M warna kuning kehijauan kompleks kadmium-*alizarin red S* semakin memudar yang menunjukkan absorbansi larutan ikut menurun.

Oleh sebab itu, konsentrasi asam sulfat yang optimum pada metode ini adalah 0,05 M.

KESIMPULAN

Karakterisasi metode *paper analytical device* berbasis pencitraan digital untuk deteksi logam kadmium dengan menggunakan beberapa kondisi percobaan dan optimum. Kondisi tersebut adalah optimasi reagen antara lain *alizarin red S* dan asam sulfat) dan optimasi waktu pengukuran. Penelitian menunjukkan konsentrasi optimum dari *alizarin red S* dan H₂SO₄ masing-masing sebesar 750 ppm dan 0,05 M dengan waktu pengukuran 10 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi (Kemendiknas) atas dukungan dana penelitian melalui Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) 2017.

DAFTAR PUSTAKA

Cesur, H. & Bati, B. 2002. Determination of cadmium by FAAS after solid-phase extraction of its 1-benzylpiperazinedithiocarbamate complex on microcrystalline naphthalene. *Turkish Journal of Chemistry*. 26(1), 29-35.

Chaiyo, S., Siangproh, W., Aplux, A. & Chailapakul, O. 2015. Highly selective and sensitive paper-based colorimetric sensor using thiosulfate catalytic etching of silver nanoplates for trace determination of copper ions. *Analytica Chimica Acta*. 866, 75-83.

Istarani, F. & Pandebesie, E. 2014. Studi dampak arsen (As) dan kadmium (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(1), 2337-3539.

Jin, G, Kan, J., Zhu, Y. & Lei, N. 2000, Spectrophotometric determination of cadmium(II) using the chromogenic reagent (4-O-diazoaminophenylarsonic acid) azobenzene. *Indian Journal of Chemistry*. 39A(11), 1227-1230.

Kohl, K.S., Landmark, D.J. & Stickle, F.D. 2006, Demonstration of absorbance using digital color image analysis and colored solutions, *Journal of Chemical Education*, 83(4), 644-646.

Kulkarni, S., Dhokpande. S. & Kaware, J. 2015, A Review on spectrophotometric determination of heavy metals with emphasis on cadmium and nickel determination by UV spectrophotometry, *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. 2(9), 2349-6495.

Martinez, A.W., Phillips, S.T. & Whiteside, G.M. 2010, Diagnostics for the developing world: microfluidic paper-based analytical devices. *Analytical Chemistry*. 82(1), 3-10.

Marzo, A.M.L., Pons, J., Blake, D.A. & Merkoçl, A. 2013, All-integrated and highly sensitive paper based device with sample treatment platform for Cd²⁺ immunodetection in drinking/tap waters. *Analytical Chemistry*. 85(7), 3532-3538

Ong, K., 2014, *Determination Of Lead And Cadmium In Foods By Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy*, www.perkinelmer.com., USA.

Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, J.D. & Bissonnette, C. 2010. *General Chemistry: Principles and Modern Application (10th Edition)*, Pearson Prentice Hall.

Rawat. J.P., Nasaer, U. & Andrabi, S.M.A. 2012, Chelation ion chromatography on alizarin red S loaded rannic silicate-selective separation of Cd²⁺ and Pb²⁺ from some transition metal ions. *Indian Journal of Chemical Technology*. 19, 71-74

Rusmawan, C.A., Onggo, D. & Mulyani, I. 2011. Analisis kolorimetri kadar besi(III) dalam sampel air sumur dengan metoda pencitraan digital. *Prosiding. Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains*, 1-6.

Soldat, J.D. Barak, P. & Lepore. J.B., 2009, Microscale Colorimetric Analysis Using a Desktop Scanner and Automated Digital Image Analysis. *Journal of Chemical Education*. 86(5), 617-620.

Ullah, M.R. & Haque, M.E. 2010. Spectrophotometric determination of toxic elements (cadmium) in aqueous media. *Journal of Chemical Engineering*. 25(1), 1-12