

Pembuatan *Visual Strip Sensor* Ion Besi(II) dengan Bahan Pendukung Kertas yang Dilapisi Poliakrilamida

Fabricating Visual Strip Sensor for Iron(II) using Polyacrylamide Coated on Paper Supporting Material

Tetty Kemala*, Deden Saprudin, Ifri Surya Permana
Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Indonesia
*E-mail: tettykemala@apps.ipb.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.26874/jkk.v7i1.259>

Received: 24 April 2024, Revised: 23 June 2024, Accepted: 23 June 2024, Online: 23 June 2024

Abstrak

Penelitian ini bertujuan membuat *visual strip sensor* untuk mengukur kadar besi. Sensor ini dibuat dari kertas selulosa asetat yang telah dilapisi oleh poliakrilamida dan disisipi pengompleks 1,10-fenantrolin. Pengujian *visual strip sensor* dilakukan pada berbagai konsentrasi besi(II) dengan membuat deret standar dan melihat kisaran konsentrasi besi(II) yang dapat terbedakan oleh mata. Sensor yang telah diuji kemudian diamati kestabilan warnanya selama 4 hari. *Visual strip sensor* mampu membedakan dengan kisaran 5 ppm dan sedikit terjadi peningkatan intensitas warna setelah diamati selama 4 hari. Pengukuran sampel obat penambah darah dengan 3 kali ulangan menghasilkan keterulangan yang baik. Dari hasil pengukuran *visual strip sensor* dibandingkan dengan spektrometri serapan atom diperoleh ketepatan 99,42%.

Kata kunci: *kolorimetri, pengompleks, visual strip sensor*

Abstract

This research made a visual strip sensor to measure the levels of iron. This sensor whose made of paper cellulose acetate that has been coated by polyacrylamide and 1,10-penanthroline complex inserted. Visual sensor strip testing is done with various concentrations of iron(II) to create a standard series and see the range of concentrations of iron(II) which can be distinguished by the eye. The stability of the color of sensor that have been tested were observed in 4 days. Visual strip sensor can distinguish the range of 5 ppm and slightly increased after the color intensity observed in four days. Measurement of the blood enhancing drug samples with 3 repetitions producing good. The result of visual strip sensor was compared with AAS and obtained 99.42% accuracy.

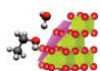
Keywords: *colorimetry, complex, visual strip sensor*

1 Pendahuluan

Besi merupakan salah satu unsur esensial yang penting bagi makhluk hidup. Besi biasanya berada dalam darah sebagai penyusun utama hemoglobin dan berperan bagi kehidupan organisme dalam proses transpor oksigen dan sintesis DNA. Defisiensi besi dalam tubuh dapat menyebabkan gejala anemia, sedangkan kelebihan besi dapat menyebabkan masalah kesehatan dan beberapa penyakit serius [1]. Defisiensi ion besi dalam tubuh pada manusia dapat ditanggulangi dengan menambah asupan zat besi melalui obat

penambah darah yang mengandung ion besi yang terikat pada senyawa besi glukonat maupun besi sulfat.

Kadar besi dalam tablet penambah darah perlu dianalisis untuk menentukan kadar besi sebenarnya. Metode yang dapat digunakan adalah *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry* (ICP-AES), *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS), dan spektrofotometri serapan atom (SSA) [2-4], namun metode ini tergolong mahal. Adapun metode yang murah seperti kolorimetri [5],



fluorometri [6], voltametri [7] dan potensiometri [8]. Namun metode ini relatif banyak menghabiskan pereaksi dan waktu yang relatif lama ketika digunakan pada sampel yang banyak. Untuk itu dikembangkan metode penentuan kadar besi yang murah dan waktu yang singkat. Salah satunya adalah metode kolorimetri menggunakan *visual strip sensor* [9].

Metode *visual strip sensor* merupakan salah satu metode kolorimetri yang prinsipnya hampir sama dengan pengukuran dengan metode spektrofotometri, secara detektor yang digunakan adalah mata. Kelebihan metode ini yaitu dapat digunakan *in situ*, murah, waktu yang singkat, dan menggunakan sedikit pereaksi kimia. *Visual strip sensor* dapat mengukur total ion besi dalam larutan dengan penambahan pereduksi hidroksiamin-HCl untuk mereduksi ion Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang nantinya dapat bereaksi dengan pengompleks pada *visual strip sensor*. *Visual strip sensor* dapat digunakan pada pengukuran besi dalam air dan kadar besi dalam buah secara kualitatif [9]. Penelitian ini akan menggunakan *visual strip sensor* untuk mengukur kadar besi dalam sampel obat penambah darah.

Visual strip sensor menggunakan polimer yang telah sisipi pengompleks yang akan bereaksi dengan ion logam Fe^{2+} . Penentuan kadar ion besi dengan *visual strip sensor* ini menggunakan pengompleks 1,10-fenantrolin dalam poliakrilamida yang selektif terhadap ion Fe^{2+} . Reaksi 1,10-fenantrolin dengan Fe^{2+} membentuk ion kompleks oktahedral $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ akibatnya *visual strip sensor* berubah dari warna putih menjadi jingga kemerahan [9]. Beberapa pengujian dilakukan seperti pengaruh ion lain, uji ketahanan warna, batas maksimal dan minimal konsentrasi yang dapat diukur dengan *visual strip sensor*, dan selang konsentrasi kadar besi yang dapat terbedakan oleh metode ini. Hasil pengukuran sampel dengan *visual strip sensor* akan dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan spektrofotometri serapan atom, sehingga dapat diketahui keakuratan pengukuran dengan metode ini. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan membuat *visual strip sensor* untuk mengukur kadar besi.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu pembuatan *visual strip sensor*, pengujian dengan larutan standar besi, pengujian ketahanan warna, pengujian pengaruh ion lain, dan

pengaplikasian dengan mengukur kadar besi dalam sampel tablet penambah darah kemudian dibandingkan dengan pengukuran menggunakan SSA.

2.1 Pembuatan Visual strip sensor

Akridamida ditimbang sebanyak 1,34 g; bisakridamida sebanyak 0,27 g; α, α^0 -dimetoksi- α -fenil asetofenon 0,16 g; dan 1,10-fenantrolin 0,76 g dimasukkan dalam cawan petri, kemudian ditambahkan 4 mL DMSO. Campuran diaduk sampai semua bahan terlarut. Setelah itu, kertas Whatman 41 yang telah dipotong 6x6 cm kemudian diamkan selama 5 jam. Campuran disinari dengan lampu UV selama 15 menit. *Visual strip sensor* yang sudah terbentuk dicuci berturut-turut dengan DMSO, metanol teknis, dan akuabides. *visual strip sensor* kemudian dipotong dengan ukuran 1x1 cm.

2.2 Pembuatan Deret Standar

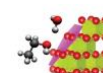
Pembuatan Larutan stok Fe^{2+} 1000 ppm dilakukan dengan menimbang 0,1358 g FeSO_4 kemudian dilarutkan dengan akuabides dan 1 mL hidroksilamin dalam labu takar 50 mL. Kemudian Larutan Fe^{2+} dibuat deret standar dengan cara larutan stok 1000 ppm diencerkan dalam labu takar 25 mL masing-masing dengan konsentrasi 500 ppm, 400 ppm, 300 ppm, 250 ppm, 200 ppm, 150 ppm, 125 ppm, 100 ppm, 75 ppm, 50 ppm, 40 ppm, 30 ppm, 25 ppm, 20 ppm, 15 ppm, 10 ppm, 5 ppm, 4 ppm, 3 ppm, 2 ppm, dan 1 ppm. *Visual strip sensor* dimasukkan pada masing-masing dalam gelas piala yang berisi 25 mL larutan Fe^{2+} pada konsentrasi tertentu dan direndam selama 15 menit.

2.3 Pengujian Pengaruh Ion Mangan dan Tembaga

Visual strip sensor dicelupkan dalam larutan masing-masing mengandung ion Cu^{2+} 3 ppm; Mn^{2+} 3 ppm; Fe^{2+} 15 ppm; campuran Cu^{2+} 3 ppm dan Fe^{2+} 15 ppm; campuran Mn^{2+} 3 ppm dan campuran Fe^{2+} 15 ppm; dan campuran Cu^{2+} 3 ppm, Mn^{2+} 3 ppm dan Fe^{2+} 15 ppm.

2.4 Pengujian Kestabilan Warna

Larutan Fe^{2+} dengan konsentrasi 40 ppm diuji dengan *visual strip sensor* kemudian diamati warna sambil ditimbang bobotnya setiap hari selama 4 hari. Setelah 4 hari direndam dengan akuabides kembali.



2.5 Pengukuran Kadar Besi dalam Sampel Tablet Penambah Darah dengan Visual strip sensor

Sampel sebanyak 0,4267 g ditimbang dan dilarutkan dengan akuabides dalam labu takar 50 mL. Sampel diambil sebanyak 0,64 mL dan dilarutkan kembali dalam labu takar 25 mL. Setelah itu larutan sampel dimasukkan dalam labu takar 25 mL kedalam gelas piala 50 mL. *Visual strip sensor* dimasukkan dalam gelas piala dan direndam 15 menit.

2.6 Pengukuran Kadar Besi dalam Sampel Tablet Penambah Darah dengan SSA

Sampel ditimbang 0,0250 g dengan tiga kali ulangan. Masing-masing sampel ditambahkan 5 mL HNO₃ kemudian di dalam ruang asam dipanaskan pada suhu 100-120°C selama 2 jam. Sampel yang telah didestruksi dimasukkan dalam labu takar 50 mL lalu diukur dengan SSA.

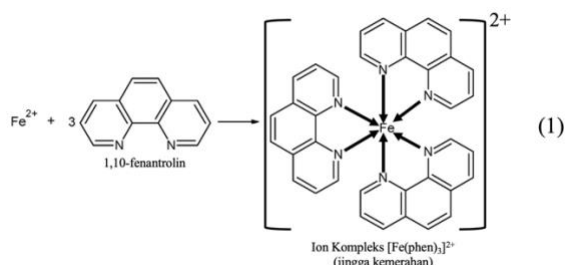
3 Hasil dan Diskusi

3.1 Pembuatan dan Karakter Visual strip sensor

Visual strip sensor seperti Gambar 1a dibuat dengan melapisi kertas Whatman 41 dengan poliakrilamida yang disisipkan pengompleks 1,10-penantrolin. Senyawa 1,10-penantrolin merupakan ligan bidentat dengan atom nitrogen di dalam tiga siklik segi enam. Persamaan (1) merupakan persamaan reaksi pembentukan kompleks [Fe(phen)₃]²⁺ yang berwarna jingga kemerahan.



Gambar 1. (a) *Visual strip sensor* dan (b) *Visual strip sensor* 200 ppm Fe²⁺



Kompleks yang terbentuk memiliki warna yang stabil dalam waktu yang lama dan memiliki spektrum absorpsi 400 nm sampai 600 nm dengan serapan maksimum pada 515 nm [11]. Selain itu, poliakrilamida pada *visual strip sensor* merupakan polimer yang bentuk dari monomer akrilamida

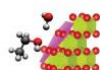
dengan penautsilang bisakrilamida dalam pelarut DMSO. Proses polimerisasi poliakrilamida ini menggunakan inisiator DMPA dan bantuan sinar ultraviolet.

Persiapan pembuatan *visual strip sensor* membutuhkan dasar yang sesuai untuk keseragaman distribusi dan stabilitas pengompleks dalam matrik. Menurut Kumar *et al* penguat *visual strip sensor* yang baik digunakan membran polipropilena dengan ukuran pori 0.2 μm memiliki ketahanan yang baik dan mampu mendistribusikan pengompleks dalam matrik substrat [9]. Namun, membran polipropilena masih sulit didapatkan dan mahal harganya sehingga pada penelitian ini digunakan kertas Whatman 41 yang memiliki sifat yang mirip dengan membran polipropilena dalam hal menyeragamkan distribusi pengompleks. Kertas Whatman 41 masih memiliki ketahanan yang rendah, untuk itu dalam pembuatan *visual strip* dengan bahan pendukung kertas ini membutuhkan kehati-hatian. *Visual strip sensor* dengan substrat kertas Whatman 41 dicobakan untuk melihat distribusi pengompleks pada larutan Fe²⁺ 200 ppm. Distribusi pengompleks sangat baik (Gambar 1b) karena warna yang dihasilkan seragam pada permukaan *visual strip sensor* dengan substrat kertas Whatman 41.

3.2 Pembuatan Deret Standar Visual strip sensor








Visual strip sensor diuji dengan larutan Fe²⁺ standar yang terbuat dari FeSO₄ untuk mengetahui selang konsentrasi yang dapat dibedakan oleh mata. Konsentrasi yang digunakan dalam pengujian *visual strip sensor* ini diantaranya rentang 100 ppm, 50 ppm, 25 ppm, 10 ppm, 5 ppm, dan 1 ppm. Hasil pengamatan menunjukkan semakin tinggi konsentrasi Fe²⁺ maka warna *visual strip sensor* semakin merah, sebaliknya semakin rendah konsentrasi Fe²⁺ maka intensitas warna *visual strip sensor* berkurang dan menjadi jingga (Tabel 1).

Berdasarkan Tabel 1, *visual strip sensor* yang digunakan pada pengukuran deret standar dengan rentang konsentrasi 100 ppm, 50 ppm, 25 ppm, 10 ppm, 5 ppm, dan 1 ppm menghasilkan warna *strip* yang berbanding lurus dengan konsentrasi. Semakin tinggi konsentrasi Fe²⁺ maka semakin tinggi juga intensitas warna *strip*nya. Pada rentang konsentrasi 100 ppm yaitu antara konsentrasi 300 ppm sampai 500 ppm warna merah yang dihasilkan sangat pekat dan susah untuk dibedakan oleh mata. Hal ini disebabkan pada konsentrasi Fe²⁺ 300 ppm, 1,10-fenatrolin telah



habis terkompleks dengan Fe^{2+} , sehingga pada konsentrasi lebih dari 300 ppm warna yang dihasilkan tidak begitu berbeda. Rentang konsentrasi Fe^{2+} 1 ppm, warna pada *visual strip sensor* sangat susah terbedakan oleh mata, sedangkan pada 50 ppm, 25 ppm, 10 ppm, dan 5 ppm masih dapat terbedakan oleh mata dengan baik. Dengan demikian rentang konsentrasi Fe^{2+} terkecil yang dapat diukur oleh *strip* dan terbedakan oleh mata dengan baik yaitu rentang konsentrasi 5 ppm.

Tabel 1. Pengamatan *visual strip sensor* dalam berbagai konsentrasi Fe^{2+}

Selang $[\text{Fe}^{2+}]$ (ppm)	Warna <i>strip</i> hasil uji
0	
100-500	
50-250	
25-125	
10-50	
5-25	
1-5	

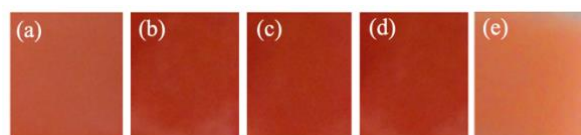
Visual strip sensor yang digunakan pada konsentrasi yang rendah seperti dibawah 5 ppm memiliki warna jingga kemerahan dengan intensitas rendah. Hal ini disebabkan adanya kompetisi antara 1,10-fenantrolin dengan poliakrilamida pada *strip*. Poliakrilamida mengandung gugus fungsi NH dan NH_2 yang memiliki sepasang pasangan elektron bebas sehingga memungkinkan Fe^{2+} mengkompleks dengan poliakrilamidanya [12]. Sehingga untuk konsentrasi yang rendah pengompleksan poliakrilamid dengan Fe^{2+} akan mengganggu pengukuran dengan *visual strip sensor*, namun untuk konsentrasi yang tinggi tidak akan terlalu mengganggu, hanya saja akan mengganggu pada keterulangan warna saat pengukuran dengan *strip*.

Deret standar warna *strip* yang telah dibuat dapat digunakan untuk pengukuran sampel yang mengandung Fe^{2+} . Prinsip pengukuran mirip dengan penggunaan pH universal, dimana hasil

pengukuran warna *strip* sampel dicocokkan dengan deret standar warna *strip* yang telah dibuat. Hasil pengukuran harus dibandingkan dengan metode yang lebih sensitif dan selektif seperti SSA untuk menentukan ketepatan pengukuran dengan *visual strip sensor*.

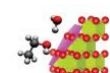
3.3 Pengujian Kestabilan Warna

Visual strip sensor yang telah diuji harus dilihat kestabilan warnanya setelah direndam dalam larutan Fe^{2+} selama 15 menit. Konsentrasi Fe^{2+} yang digunakan 40 ppm dengan rentang waktu pengamatan 1 hari. Poliakrilamida dalam *visual strip sensor* memiliki sifat absorben yang baik sehingga ketika *visual strip sensor* direndam dalam larutan mengandung ion Fe^{2+} akan terjadi absorpsi air yang mengandung ion Fe^{2+} memasuki pori-pori poliakrilamida [11]. Pori-pori pada poliakrilamida mengandung pengompleks 1,10-fenantrolin sehingga akan membentuk kompleks dengan ion Fe^{2+} dengan dicirikan adanya perubahan dari warna putih menjadi jingga kemerahan pada *strip sensor*. *Visual strip sensor* yang telah diangkat dari larutan Fe^{2+} diamati selama 4 empat hari (Gambar 2a-d). Pada hari kedua terjadi penurunan kadar air yang signifikan dibandingkan hari pertama (Gambar 3), penurunan ini disebabkan keluarnya air yang terkandung di dalam *visual strip sensor*, sehingga tebal dari *visual strip sensor* akan berkurang dan intensitas warnanya terlihat sedikit meningkat. Dari hari kedua sampai hari keempat kadar airnya sedikit berubah (Gambar 3), sedangkan warna *visual strip* dari hari kedua sampai keempat tidak ada perubahan. Setelah diamati selama 4 hari *visual strip sensor* direndam kembali dengan air bides selama 15 menit, sehingga warna *strip* kembali seperti semula (Gambar 2e).

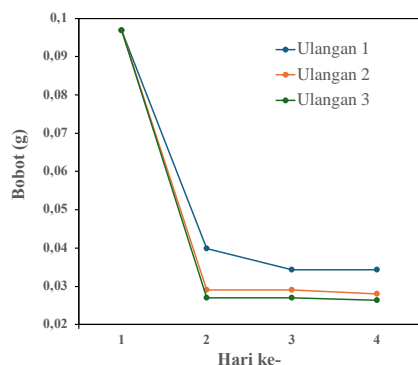


Gambar 2. Kestabilan warna *visual strip sensor* konsentrasi 40 ppm selama a) 1 hari; b) 2 hari; c) 3 hari; dan d) 4 hari pengamatan serta e) setelah direndam menggunakan air bides selama 15 menit

Kompleks antara ligan Fe^{2+} dengan ligan 1,10-fenantrolin memiliki bentuk oktahedral. Menurut teori medan ligan 1,10-fenantrolin merupakan ligan medan kuat sehingga ketika mengkompleks dengan Fe^{2+} akan terjadi pengisian elektron pada orbital t_{2g} cenderung berpasangan terlebih dahulu. Akibat pengisian orbital tersebut



ion kompleks $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ sangat stabil dan bersifat inner. Inner merupakan parameter kinetika sehingga ligan 1,10-fenantrolin pada ion kompleks $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ sulit untuk dapat lepas dari ion logam pusat Fe^{2+} [12]. Dengan demikian warna *visual strip sensor* yang telah digunakan untuk mendeteksi ion besi (II) stabil atau tidak akan berubah.



Gambar 3. Penurunan bobot *visual strip sensor* dalam 3x pengulangan

3.4 Pengukuran Kadar Besi Dalam Sampel Tablet Penambah Darah

Sampel yang diukur kadar besinya merupakan obat penambah darah yang ada dipasaran dan berbentuk kapsul. Besi yang ada dalam sampel obat penambah darah ini terikat dalam senyawa besi glukonat. Sampel diukur dengan *visual strip sensor* setelah itu dibandingkan dengan pengukuran SSA. Pengukuran sampel dengan *visual strip sensor* menghasilkan warna *strip* dengan keterulangan yang baik (Gambar 4). Setelah dicocokkan dengan deret standar yang telah dibuat kadar Fe yang terkandung sekitar 15 ppm. Berdasarkan perhitungan, kadar Fe dalam obat penambah darah dengan *visual strip sensor* rata-rata 6,87% per kapsul sedangkan data yang didapatkan pada pengukuran dengan SSA sebesar 6,91%. Ketepatan pengukuran besi dengan *visual strip sensor* dibandingkan dengan SSA sangat bagus karena mencapai 99,42%. Dengan demikian pengukuran dengan *visual strip sensor* memiliki ketepatan dan ketelitian yang sangat baik walaupun pengukurannya bersifat semi kuantitatif.



Gambar 4. Pengukuran sampel dengan *visual strip sensor* pada a) ulangan ke-1; b) ulangan ke-2; dan c) ulangan ke-3

3.5 Pengaruh Ion lain

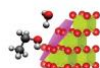
Sampel obat penambah darah tidak hanya mengandung ion Fe^{2+} saja, namun mengandung ion lain seperti ion mangan dan tembaga. 1,10-fenantrolin sebagai pengompleks *visual strip sensor* dapat mengkompleks dengan ion bivalen lain seperti Mn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} dan Cu^{2+} [13]. Pengaruh ion Mn^{2+} dan Cu^{2+} penting dilihat kontribusinya pada pengukuran obat penambah darah menggunakan *visual strip sensor*. Untuk itu dilakukan pula pengujian terhadap ion Mn^{2+} dan Cu^{2+} . Konsentrasi ion Mn^{2+} dan Cu^{2+} yang digunakan 3 ppm berdasarkan perkiraan pada sampel obat penambah darah. Pada Tabel 2, Ion Mn^{2+} maupun tembaga tidak mengubah warna *visual strip sensor* sedangkan untuk ion Fe^{2+} 15 ppm terjadi perubahan dari putih ke jingga kemerahan. Campuran ion Fe^{2+} dan Mn^{2+} , Campuran ion Fe^{2+} dan Mn^{2+} , dan campuran ion Fe^{2+} , Cu^{2+} , dan Mn^{2+} menghasilkan warna *strip* yang hampir sama persis dengan *visual strip sensor* Fe^{2+} 15 ppm (Tabel 2). Dengan demikian pada kadar Cu^{2+} dan Mn^{2+} masing-masing dengan 3 ppm tidak mengganggu pengukuran ion Fe^{2+} . Menurut S A kumar *et al* yang menguji *visual strip sensor* dengan ion Mn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} dengan konsentrasi 25 ppm, menemukan bahwa hanya ion logam Co^{2+} yang membentuk kompleks berwarna merah muda.

Tabel 2. Pengaruh ion logam Mn^{2+} dan Cu^{2+} terhadap pengukuran Fe^{2+} *visual strip sensor*

Ion logam	Konsentrasi (ppm)	warna strip
Fe^{2+}	15	Jingga kemerahan
Mn^{2+}	3	Putih
Cu^{2+}	3	Putih
Fe^{2+} Mn^{2+}	15 3	Jingga kemerahan
Fe^{2+} Cu^{2+}	15 3	Jingga kemerahan
Fe^{2+} Mn^{2+} Cu^{2+}	15 3 3	Jingga kemerahan

4 Kesimpulan

Visual strip sensor dari polimerisasi akrilamida pada kertas Whatman 41 dan disisipi pengompleks 1,10-fenantrolin berhasil dibuat. Berdasarkan uji yang dilakukan, *visual strip*



sensor mampu membedakan konsentrasi Fe^{2+} selang 5 ppm dengan minimal kadar konsentrasi Fe^{2+} 1 ppm dan maksimal 300 ppm. Pengukuran kadar sampel dengan *visual strip sensor* memiliki keterulangan dan ketepatan yang baik setelah dibandingkan dengan pengukuran menggunakan SSA.

Daftar Pustaka

- [1] Peng B, Shen Y, Gao Z, Zhou M, Ma Y, Zhao S. 2015. Determination of total iron water and foods by dispersive liquid-liquid microextraction couple with microvolume UV-Vis spektrophotometri. *Food chemistry*. 176:288-293. 10.1016/j.foodchem.2014.12.084
- [2] Abdel-Azeem SM, Bader, NR, Kuss HM, El-Shahat MF. 2013. Determination of total iron in food samples after flow injection preconcentration on polyurethane foam functionalized with N,N-bis(salicylidene)-1,3-propanediamine. *Food Chemistry*. 138:1641-1647. 10.1016/j.foodchem.2012.11.054
- [3] Kass M, Ivaska A. 2002. Spectrophotometric determination of iron (III) and total iron by sequential injection analysis technique. *Talanta*. 58, 1131-1137. 10.1016/s0039-9140(02)00439-3
- [4] Shyla B, Bhaskar CV, Nagendrappa G. 2012. Iron (III) oxidized nucleophilic coupling of catechol with o-tolidine/p-toluidine followed by 1,10-phenantroline as new and sensitivity improved spectrophotometric methods for iron present in chemicals, pharmaceutical, edible green leaves, nuts and lake water samples. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 86: 152-158. 10.1016/j.saa.2011.09.068
- [5] Knecht R. March, Manish Sethi. 2009. Bio-inspired colorimetric of Hg^{2+} and Pb^{2+} heavy metal ions using Au nanoparticles. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 394(1):33-46. 10.1007/s00216-008-2594-7
- [6] Suarez, B. Horskotte, M.C Duarte, C. Victor. 2012. Fully-automated fluorimetric determination of aluminium in seawater by in-syringe dispersive liquid-liquid microextraction using lumogallion. *Analytical Chemistry*. 84(21):9462-9469. 10.1021/ac302083d
- [7] Gholivand MB, NH Rashidi, H Fazeli. 2005. Cathodic adsorptive stripping voltametric determination of uranium (VI) complexed with 2,6-pyridinedicarboxylic acid. *Talanta*. 65(1):62-66. 10.1016/j.talanta.2004.05.019
- [8] Qiuntar SE, JP Santagata, VA Cortinez. 2005. Determination of vanadium(V) by direct automatic potentiometric titration with EDTA using a chemically modified electrode as a potentiometric sensor. *Talanta*. 64(7):843-847. 10.1016/j.talanta.2005.04.010
- [9] Kumar A Sanjukta, Neha Thakur, Harshala J Parab, Shailaja P Pandey, Rakesh N Shinde, Ashok K Pandey, Sangita D Kumar, AVR Reddy. 2014. A *Visual strip sensor* for Determination of Iron. *ACA*. 851(8):87-94. 10.1016/j.aca.2014.08.047
- [10] Dinararum Retno Rahayu, Djarot Sugiarto. 2013. Studi gangguan krom (III) pada analisa besi dengan pengompleks 1,10-fenantroline pada pH 4,5 secara spektrofotometri UV-tampak. *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. 1(1):1-6. 10.12962/j23373520.v2i2.3737
- [11] Abidin A Zainal, G Susanto, NMT Sastra, T Puspasari. 2012. Sintesis dan karakterisasi polimer superabsorben dari akrilamida. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. 11(2):87-9. 10.5614/jtki.2012.11.2.5
- [12] Miessler GL., Fischer PJ., Tarr DA. *Inorganic Chemistry*. Boston: Pearson; 2014. ISBN 978-0-321-81105-09.
- [13] Novita S, Djarot Sugiarto. 2015. Studi gangguan Mg (II) dalam analisis besi(II) dengan pengompleks O-fenantroline menggunakan spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Sains dan Seni*. 4(1):2337-3520. 10.12962/j23373520.v4i1.9066

