



## PEMANTAUAN LOGAM BERAT PADA CUPLIKAN AIR SUNGAI KALIGARANG MENGGUNAKAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON

Winda Kusuma Dewi<sup>1</sup>, Dwi Yulianti<sup>1</sup>, Widarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

<sup>2</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) BATAN Yogyakarta

---

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Diterima Maret 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan Juli 2016

*Keywords:*

Neutron Activation Analysis,  
Kaligarang River, Water

---

---

### Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pemantauan logam berat pada cuplikan air Sungai Kaligarang dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron (AAN). Cuplikan diambil di 7 lokasi pada setiap segmen Sungai Kaligarang dari Bergas sampai Semarang Utara. Cuplikan 500 ml ditambah  $HNO_3$  sebanyak 1,5 ml dengan konsentrasi 30%, selanjutnya dipanaskan sampai volumenya 25 ml. Cuplikan diambil sebanyak 1 ml dan ditempatkan pada ampul lalu diaktivasi menggunakan fasilitas iradiasi Reaktor Kartini selama 5 jam dan 5 menit. Setelah itu, dilakukan pencacahan dengan spektrometer gamma. Hasil analisis kualitatif dan kuantitatif menunjukkan bahwa cuplikan air teridentifikasi unsur  $^{81}Br$ ,  $^{41}K$ ,  $^{23}Na$ ,  $^{27}Al$ ,  $^{55}Mn$ , dan  $^{26}Mg$  dengan kadar mulai dari  $^{81}Br$ : 1,05-118,44 mg/l,  $^{41}K$ : 74,14-7744,60 mg/l,  $^{23}Na$ : 428,03-4882,86 mg/l,  $^{27}Al$ : 16,44-245,80 mg/l,  $^{55}Mn$ : 0,45-64,24 mg/l, dan  $^{26}Mg$  72,78-201,09 mg/l. Unsur tersebut telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah. Hampir seluruh unsur terdistribusi merata di setiap lokasi pengambilan, kecuali  $^{27}Al$ .

---

### Abstract

*A research on the monitoring of heavy metals in the Kaligarang river water by Neutron Activation Analysis (NAA) Method has been carried out. Samples was taken at seven locations in each segment of Kaligarang river from Bergas until North Semarang. 1.5 ml of 30% nitrate acid ( $HNO_3$ ) was added in 500 ml Kaligarang river water, and then it heated until the volume become 25 ml. 1 ml sample was taken and placed in polyethylene vial, and then activated by Kartini Reactor irradiation facilities for 5 hours and 5 minutes. After that, the samples was counted by use gamma spectrometer. The results of qualitative and quantitative analysis shows that the Kaligarang river water identified  $^{81}Br$ ,  $^{41}K$ ,  $^{23}Na$ ,  $^{27}Al$ ,  $^{55}Mn$ , and  $^{26}Mg$  element with ranging from  $^{81}Br$ : 1.05-118.44 mg/l,  $^{41}K$ : 74.14-7744.60 mg/l,  $^{23}Na$ : 428.03-4882.86 mg/l,  $^{27}Al$ : 16.44-245.80 mg/l,  $^{55}Mn$ : 0.45-64.24 mg/l, and  $^{26}Mg$  72.78-201.09 mg/l. Those elements have exceeded the quality standards set by the government. Almost all the elements was distributed evenly in every location taken, except  $^{27}Al$ .  $^{41}K$  dan  $^{23}Na$  elements was found with the highest levels.*

## PENDAHULUAN

Sungai Kaligarang merupakan sungai besar yang melintasi dan memiliki peran penting bagi Kota Semarang. Sungai Kaligarang berhulu di bagian selatan Gunung Ungaran, alur sungainya memanjang ke arah Utara hingga mencapai Tugu Soeharto, bertemu dengan aliran Sungai Kreo dan Kripik yang selanjutnya mengalir menuju Laut Jawa (Peraturan Gubernur No. 156 Tahun 2010). Kegiatan yang terdapat di sepanjang aliran Sungai Kaligarang seperti perkampungan, industri, apotek, pertanian, dan perikanan berpotensi menghasilkan limbah yang terbawa aliran arus sungai. Beberapa zat yang terdapat dalam limbah bersifat racun terhadap tubuh manusia, termasuk logam berat. Logam berat merupakan kelompok logam dengan kerapatan lebih besar dari  $4 \text{ g/cm}^3$  (Duruibe *et al.*, 2007). Limbah yang mengandung logam berat bersifat toksik dan karsinogenik, dapat larut dalam air, serta meresap ke dalam tanah sehingga mencemari sumur warga di sekitar Sungai Kaligarang (Akbulut, 2009).

Analisis kandungan logam berat pada air Sungai Kaligarang perlu dilakukan secara berkala. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat pencemaran logam berat sehingga dapat dilakukan tindakan untuk mengurangi dan mengendalikan pencemaran. Apabila kandungan logam berat yang mencemari sungai tersebut melebihi ambang batas, akan berbahaya, mengingat Kaligarang sebagai pemasok air terbesar bagi salah satu PDAM di Kota Semarang.

Penelitian terdahulu mengenai kondisi Sungai Kaligarang yang dilakukan oleh Yulianti & Sunardi (2010) dengan menggunakan metode Analisis Aktivasi Neutron Cepat (AANC) menunjukkan bahwa air Sungai Kaligarang telah terkontaminasi logam berat  $^{24}\text{Mg}$  (2,31 mg/l),  $^{27}\text{Al}$  (1,28 mg/l),  $^{28}\text{Si}$  (4,75 mg/l),  $^{31}\text{P}$  (4,98 mg/l),  $^{41}\text{K}$  (13,41 mg/l),  $^{55}\text{Mn}$  (7,34 mg/l),  $^{56}\text{Fe}$  (9,42 mg/l),  $^{63}\text{Cu}$  (0,48 mg/l), dan  $^{65}\text{Zn}$  (2,63 mg/l) yang tersebar di 10 lokasi pengambilan

cuplikan, namun kandungan logam berat tersebut belum melebihi ambang batas. Sampai saat ini penelitian mengenai kandungan logam berat di Sungai Kaligarang belum dilakukan lagi.

Identifikasi logam berat dalam air dapat dilakukan dengan beberapa metode, misalnya dengan menggunakan sensor, spektrografi, *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), serta Analisis Aktivasi Neutron (AAN). Metode AAN memiliki kelebihan, diantaranya preparasi sampel yang cepat dan mudah, sensitivitasnya yang lebih tinggi jika dibandingkan metode lain karena dapat mendeteksi kadar sampai orde nanogram ( $10^{-12}$  gram), mampu mendeteksi beberapa sampel secara bersamaan, tidak merusak cuplikan, dapat membedakan masing-masing isotop dari cuplikan yang sama, serta dapat digunakan untuk mengetahui kandungan unsur dalam zat cair, padat, dan gas (Mulyaningsih *et al.*, 2010). Metode AAN didasarkan pada reaksi inti antara neutron dengan inti yang terkandung dalam sampel. Hasil interaksi antara neutron dengan inti yang akan diuji, menghasilkan inti radioaktif dalam keadaan tidak stabil. Untuk mencapai keadaan stabil, inti tersebut memancarkan radiasi gamma. Sinar gamma yang diemisikan bersifat khas untuk setiap radionuklida dan akan membentuk suatu spektrum yang disebut spektrum gamma. Pada detektor HPGe, spektrum gamma yang terbentuk dapat dipilah dan radionuklida yang terkandung dalam materi dapat dianalisis secara kualitatif untuk mengetahui kandungan unsur yang terkandung di dalamnya maupun kuantitatif untuk mengetahui kadar unsurnya (Supriyanto *et al.*, 2015). Detektor HPGe memiliki resolusi yang paling tinggi dibandingkan dengan detektor  $\text{NaI}(\text{TI})$  dan  $\text{LaBr}_3$  (Shulyakova *et al.*, 2015).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi serta memantau kadar logam berat pada cuplikan air Sungai Kaligarang. Manfaat yang diharapkan adalah memberikan

informasi bagi masyarakat, PDAM Kota Semarang, serta industri mengenai pencemaran

logam berat sehubungan dengan pemanfaatan sungai.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bidang Reaktor Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) BATAN Yogyakarta pada bulan Februari 2016 sampai Mei 2016. Cuplikan diambil di setiap segmen sungai Kaligarang pada 7 lokasi pengambilan. Lokasi pengambilan dipilih yang diperkirakan dekat dengan sumber pencemar, baik domestik maupun non domestik. Ketujuh titik lokasi tersebut adalah Bergas, Sukun, Tugu Soeharto, Dekat TPA Jatibarang, Sekitar Jalan Dewi Sartika Barat, Simongan (Semarang Makmur), dan Jalan Grand Marina.

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa 7 buah cuplikan air sungai Kaligarang,  $\text{HNO}_3$  dengan konsentrasi 30%, sumber standar  $^{60}\text{Co}$  dan  $^{241}\text{Am}$  untuk kalibrasi energi, sumber standar  $^{152}\text{Eu}$  untuk kalibrasi efisiensi, *aqueast*, dan nitrogen cair untuk mendinginkan detektor. Alat yang digunakan terdiri dari alat pengambilan sampel (botol, corong, spidol, gayung, batang kayu), preparasi cuplikan (gelas beker, saringan, *handystep*, *vial polyethylene*, pipet, kompor, kelongsong, plastik), alat iradiasi (fasilitas iradiasi *Lazy Susan* dan *Pneumatic Transfer System* Reaktor Kartini dan *stopwatch*), dan alat pencacah (spektrometer gamma).

### Preparasi Cuplikan

Cuplikan yang telah diambil disaring agar terpisah dari zat pengotor lalu diukur hingga volumenya 500 ml. Selanjutnya cuplikan dipekatkan dengan menambahkan asam nitrat 1,5 ml sebesar 30% untuk melarutkan logam berat dalam air, lalu dipanaskan sampai volumenya 25 ml (Sasongko, 2010). Kandungan logam berat dalam air tergolong rendah, sehingga perlu dilakukan pemekatan (Mohamed

et al., 2009). Hasil pemekatan diambil sebanyak 1 ml lalu dimasukkan ke dalam *vial polyethylene*, selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik klip yang telah diberi label.

### Iridiasi dan Pencacahan

Iridiasi dilakukan selama 5 jam dan 5 menit. Waktu iridiasi tersebut diambil dengan mempertimbangkan waktu paruh unsur yang diduga terdapat dalam cuplikan air sehingga aktivitas inti radioaktif dalam sampel dapat mencapai keadaan jenuh. Pencacahan dilakukan dengan menggunakan perangkat spektrometer gamma.

### Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif dilakukan untuk mengetahui jenis unsur yang terdapat dalam cuplikan. Hal ini dilakukan karena setiap isotop hasil reaksi inti akan memancarkan radiasi gamma dengan energi yang berbeda-beda (Supriyanto *et al.*, 2015). Energi gamma yang dipancarkan mempunyai spektrum karakteristik dari nuklida tertentu, sehingga dengan mengacu pada *Neutron Activation Tables* dengan mempertimbangkan waktu paruh, tumpang lintang reaksi, serta kelimpahan radioisotopnya maka jenis unsur dapat ditentukan dari puncak energinya.

### Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif bertujuan untuk mengetahui kadar atau konsentrasi masing-masing unsur dalam cuplikan. Untuk menentukan massa unsur, digunakan persamaan :

$$m = \frac{C_{\text{ps}} B_A \ln 2}{N_A a \phi \sigma \epsilon Y t_{1/2}} \times \frac{1}{(1-e^{-\lambda t a}) e^{-\lambda t d} (1-e^{-\lambda t c})} \quad (1)$$

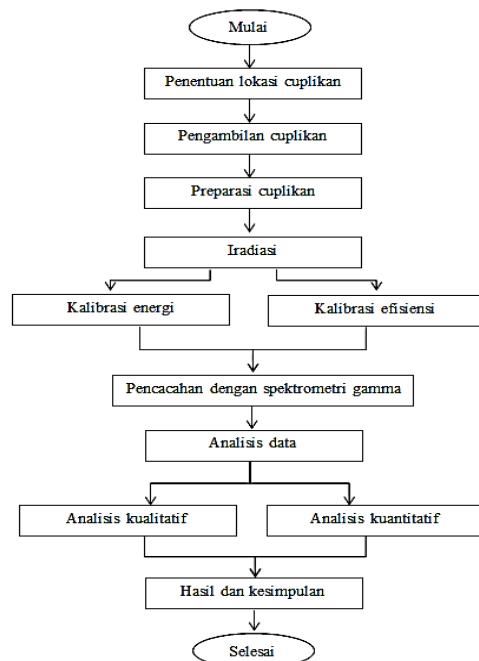
dengan:

- $m$  = massa isotop unsur yang dicari (g)  
 $C_{ps}$  = laju cacaah (cps)  
 $N_A$  = bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  atom/mol)  
 $B_A$  = massa atom relatif (g)  
 $\alpha$  = kelimpahan isotop (%)  
 $\varepsilon$  = efisiensi detektor  
 $\phi$  = fluks neutron (neutron/cm<sup>2</sup>detik)  
 $\tau$  = tampilan lintang reaksi (cm<sup>2</sup>)  
 $Y$  = yield gamma (%)  
 $t_{1/2}$  = waktu paruh unsur (detik)  
 $t_a$  = waktu aktivasi (detik)  
 $t_c$  = waktu cacaah (detik)  
 $t_d$  = waktu tunda (detik)

Penghitungan kadar dilakukan dengan membagi massa unsur dengan volume sampel yang diiradiasi.

### Alur Penelitian

Desain dan alur penelitian disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Alur Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 1.** Data Analisis Kualitatif Cuplikan Air

Unsur	t <sub>a</sub>	Lokasi Sampel						
		1	2	3	4	5	6	7
<sup>81</sup> Br	5 jam	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<sup>41</sup> K	5 jam	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
<sup>23</sup> Na	5 jam	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<sup>27</sup> Al	5 menit	✓	✓	✓	—	—	—	✓
<sup>55</sup> Mn	5 menit	—	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<sup>26</sup> Mg	5 menit	✓	✓	✓	—	✓	✓	✓

**Tabel 2.** Data Analisis Kuantitatif Cuplikan Air

Lokasi Sampel	Kadar (mg/l)					
	<sup>81</sup> Br	<sup>41</sup> K	<sup>23</sup> Na	<sup>27</sup> Al	<sup>55</sup> Mn	<sup>26</sup> Mg
Kadar maksimum yang diperbolehkan	0,09 (WHO)	10 (WHO)	200 (MENKES)	0,2 (MENKES)	0,4 (MENKES)	50 (MENKES)
1	1,20	261,07	1164,26	16,44	—	152,57
2	1,05	220,93	702,84	57,21	2,16	201,09
3	1,09	74,14	428,03	20,71	9,34	131,19
4	93,50	7744,60	4882,86	—	0,611	—
5	4,64	198,95	481,28	—	0,45	101,98
6	1,91	215,21	499,36	—	4,72	72,78
7	118,44	—	2898,54	245,80	64,24	160,10

Hasil analisis kualitatif serta kuantitatif unsur-unsur pada cuplikan air Sungai Kaligarang disajikan pada Tabel 1 dan 2. Hasil analisis kualitatif dan kuantitatif menunjukkan bahwa logam berat yang terdeteksi dalam cuplikan air Sungai Kaligarang hanya Mn. Unsur  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{41}\text{K}$ ,  $^{23}\text{Na}$ , dan  $^{26}\text{Mg}$  merupakan unsur logam sedangkan  $^{81}\text{Br}$  termasuk dalam kategori non logam.

Brom bukan termasuk kategori logam berat, tetapi merupakan unsur non logam yang berbentuk cair dan mengeluarkan asap dengan bau yang sangat menyengat serta memiliki massa jenis  $3,1028 \text{ g/cm}^3$ . Brom biasa digunakan pada pestisida, jika tanaman yang terkena pestisida digunakan sebagai pakan ternak, maka kotoran ternak diduga mengandung brom (Abidin & Widarto, 2009). Penggunaan lain dari senyawa Brom adalah sebagai desinfektan, obat-obatan, serta dalam industri plastik dan pada berbagai produk seperti kabel, konektor, karpet, dan cat pelapis. Dari Tabel 2 terlihat bahwa Brom terdistribusi merata di seluruh lokasi pengambilan cuplikan. Kandungan Brom dalam cuplikan air Sungai Kaligarang dimungkinkan karena limbah-limbah yang mencemari Sungai Kaligarang berasal dari industri-industri, perkampungan, rumah sakit, pertanian dan peternakan yang menggunakan senyawa Brom dalam kegiatannya. Brom yang berbentuk cairan larut dalam air, lalu terbawa aliran arus sungai dan terakumulasi di lokasi 7 yang memiliki perairan yang tenang.

Natrium termasuk dalam kelompok logam yang banyak terdapat dalam senyawa alam. Natrium biasanya mudah mengapung diatas air karena memiliki massa jenis  $0,968 \text{ g/cm}^3$ . Senyawa natrium banyak dimanfaatkan sebagai garam dapur, digunakan dalam industri sabun, tekstil, plastik, dan ditemukan dalam sisa eksresi makhluk hidup. Kadar Natrium yang ditemukan dalam air Sungai Kaligarang telah melebihi ambang batas. Kadar tertinggi sebesar  $4882,86 \text{ mg/l}$  ditemukan di TPA Jatibarang Semarang. TPA Jatibarang merupakan pusat pengelolaan

sampah yang ada di Semarang. Timbunan sampah di TPA Jatibarang mencapai  $4.000 \text{ m}^3/\text{hari}$  dengan komposisi sampah organik 61,95%, kertas 12,26%, kaca 1,72%, plastik 13,39%, logam 1,80%, kain 1,55%, kantor 0,5%, dan lain-lain 6,83% yang berasal dari seluruh wilayah Kota Semarang (Sudarwin, 2008). TPA Jatibarang juga digunakan sebagai lahan peternakan sapi (Wulandari, 2015). Sapi tersebut hidup dengan memakan sampah. Akibatnya, kotoran hewan ternak tersebut memberi kontribusi dalam pencemaran di TPA Jatibarang. Oleh karena itu, kadar unsur  $^{23}\text{Na}$  yang terdeteksi di TPA Jatibarang lebih tinggi dibanding dengan lokasi lain.

Kalium merupakan unsur logam lunak berwarna putih keperakan dengan massa jenis  $0,862 \text{ g/cm}^3$ . Kandungan  $^{41}\text{K}$  tertinggi terdapat di lokasi pengambilan ke 4 yaitu TPA Jatibarang. Unsur  $^{41}\text{K}$  yang terdeteksi jauh melebihi ambang batas. Kalium dalam berbagai senyawa dan campuran digunakan sebagai pupuk, pembuatan sabun, pada industri kaca, dan dapat digunakan untuk bahan campuran obat. Pendistribusian  $^{41}\text{K}$  di setiap lokasi pengambilan disebabkan oleh pencemaran limbah-limbah yang berasal dari pabrik/industri, pertanian, dan perkampungan. Di sepanjang aliran Sungai Kaligarang terdapat kegiatan industri, rumah sakit, serta lahan pertanian, oleh karena itu kadar  $^{41}\text{K}$  yang terdeteksi sangat besar.

Aluminium merupakan logam paling berlimpah dengan massa jenis  $2,70 \text{ g/cm}^3$ . Alumunium digunakan untuk bangunan rumah, mobil, AC, badan mesin, badan mobil, dan kabel. Alumunium tidak ditemukan di lokasi 4, 5, dan 6. Hal ini dimungkinkan karena lokasi-lokasi tersebut memiliki perairan yang cukup tenang, sehingga unsur Al mengendap di dasar sungai dan terakumulasi dalam sedimen, akibatnya kadar Al dalam cuplikan air lebih kecil dari limit deteksi AAN. Kadar Alumunium tertinggi ditemukan di lokasi 7 dengan kadar jauh melebihi ambang batas yang ditetapkan pemerintah, yaitu  $0,2 \text{ mg/l}$ . Hal ini dikarenakan

kondisi sungai pada lokasi tersebut memiliki potensi cemaran yang lebih besar, berupa cemaran limbah dari percetakan, limbah pabrik yang berasal dari serpihan Al dalam cat, maupun limbah rumah tangga yang berasal dari peralatan dapur di sepanjang Sungai Kaligarang (Faisal, 2010). Selain itu, lokasi 7 merupakan muara sungai yang terletak di sekitar Jalan Grand Marina dan dekat dengan pelabuhan Tanjung Mas. Sedimen dan zat terlarut di sepanjang aliran Sungai Kaligarang dimungkinkan terakumulasi di lokasi 7. Oleh karena itu sangat dimungkinkan apabila ditemukan unsur Al dengan kadar yang tinggi di lokasi tersebut.

Mangan merupakan logam keras berwarna abu-abu dengan densitas  $7.43 \text{ g/cm}^3$  pada suhu  $20^\circ\text{C}$ . Mangan sangat penting pada produksi besi dan baja. Industri baja menggunakan sekitar 85% sampai 90% total produksi mangan. Mangan merupakan komponen kunci dari *stainless steel* dan paduan Aluminum tertentu. Unsur ini ditemukan hampir setiap lokasi pengambilan cuplikan. Kadar tertinggi unsur Mangan

ditemukan di lokasi ke 7. Hal ini dikarenakan di sepanjang aliran sungai Kaligarang, banyak terdapat industri serta distributor besi dan baja yang pasti menggunakan unsur Mangan dalam proses produksinya. Limbah yang berasal dari industri-industri mengendap dalam sedimen lalu terbawa oleh aliran air sungai dan terakumulasi di lokasi 7 yang memiliki perairan tenang.

Magnesium merupakan unsur logam dengan massa jenis  $1,738 \text{ g/cm}^3$ . Senyawa Magnesium banyak dipakai dalam pertanian untuk kesuburan tanah, perekat kertas, pencelupan dan pencetakan pada pabrik tekstil, serta digunakan pada bidang farmasi. Unsur Mg dalam air Sungai Kaligarang ditemukan hampir di setiap lokasi dengan kadar tertinggi berada di lokasi 2 yaitu Banyumanik. Hal ini dimungkinkan karena letak lokasi pengambilan cuplikan berada dalam kawasan padat industri yang limbahnya telah memasuki badan sungai. Limbah yang mengandung Mg dari industri-industri tekstil dan rumah tangga mencemari Sungai Kaligarang.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis kualitatif cuplikan air Sungai Kaligarang teridentifikasi unsur  $^{81}\text{Br}$ ,  $^{41}\text{K}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{55}\text{Mn}$ , dan  $^{26}\text{Mg}$ . Dari unsur-unsur tersebut, hanya Mn yang merupakan logam berat. Kadar unsur yang ditemukan dalam cuplikan air Sungai Kaligarang mulai dari  $^{81}\text{Br}$ : 1,05-118,44 mg/l,  $^{41}\text{K}$ : 74,14-7744,60 mg/l,  $^{23}\text{Na}$ : 428,03-4882,86 mg/l,  $^{27}\text{Al}$ : 16,44-245,80 mg/l,  $^{55}\text{Mn}$ : 0,45-64,24 mg/l, dan  $^{26}\text{Mg}$  72,78-201,09 mg/l.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala PSTA BATAN Yogyakarta yang telah memberikan ijin penelitian serta Bapak Drs.

Perlu penelitian lebih lanjut dengan titik pengambilan yang lebih banyak untuk mengetahui dampak pencemaran logam berat pada berbagai aspek kehidupan di Sungai Kaligarang. Selain itu, Perlu dilakukan penelitian dengan waktu pengambilan pada saat musim kemarau dan penghujan sehingga dapat diketahui peningkatan atau penurunan kandungan logam berat dalam rentang waktu tersebut.

Widarto dan Tim Operator Reaktor Kartini yang berkenan membantu, membimbing, dan memberi masukan sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. & Widarto. 2009. Analisis Kandungan Brom (Br) Pada Air Sumur Gali di Desa Klampok Kabupaten Brebes Jawa Tengah Dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN). *Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta: ISSN 1978-0176.
- Akulut, A. & N.E. Akbulut. 2010. The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment, and fish tissue in Kızılırmak River Basin in Turkey. *Environ Monit Assess*, 167: 521-526. Tersedia di Springer [diakses 29-10-2015].
- Duruibe, J. O., M.O.C. Ogwuegbu, & J.N. Egwurugwu. 2007. Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2(5): 112-118. Tersedia di <http://www.academicjournals.org> [diakses 29-10-2015]
- Faisal, W. & E. Nuraini. 2010. Validasi Metode AANC Untuk Pengujian Unsur Mn, Mg dan Cr Pada Cuplikan Sedimen di Sungai Gajahwong. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra* 13(1): 27-36.
- Mohamed, A.A., H.A. Amer, S. Shawky, M.E. Tahawy, & A.T. Kandil. 2009. Instrumental Neutron Activation Analysis of Water Hyacinth as a Bioindicator Along the Nile River, Egypt. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 279(2): 611-617.
- Mulyaningsih, T., R., Istanto, S.Yusuf, & S. Suprapti. 2010. Analisis Unsur Toksik Dan Makro-Mikro Nutrien Dalam Bahan Makanan Dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra* 13(1): 46-55.
- Peraturan Gubernur Jawa Tengah No. 156 tahun 2010 tentang Peruntukan Air dan Pengelolaan Kualitas Air Sungai Garang.
- Sasongko, D. P., & W.P. Tresna. 2010. Identifikasi Unsur dan Kadar Logam Berat pada Limbah Pewarna Batik dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH*, Volume 27.
- Shulyakova, O., P. Avtonomov, & V. Kornienko. 2015. New Developments of Neutron Activation Analysis Applications. *Jurnal Procedia - Social and Behavioral Sciences* 195: 2717 - 2725. Tersedia di <http://www.sciencedirect.com/> [diakses 06-09-2015].
- Supriyanto, C., Sukirno, & Samin. 2015. UjiBanding Metoda SSA Dan AAN Pada Analisis Unsur Mayor Dan Minor Dalam Mineral Zirkon Kalimantan. *Ganendra Journal of Nuclear Science and Technology*, 18(1): 35 - 43.
- Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*. Tesis. Semarang: Jurusan Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro.
- WHO. 1996. *Guidelines for Drinking-Water Quality*, V.2.: *Health Criteria and Other Supporting Information, Snd Edition*, Geneva
- Wulandari, R. S. 2015. *Identifikasi Pertambahan Persebaran Limbah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang Menggunakan Metode Geolistrik*. Skripsi Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
- Yulianti, D. & Sunardi. 2010. Identifikasi Pencemaran Logam pada Sungai Kaligarang Dengan Metode Analisis Aktivasi Netron Cepat (AANC). *Jurnal UNNES* 8(1). Tersedia di <http://journal.unnes.ac.id/> [diakses 22-08-2015].