

ANALISIS KANDUNGAN BROM (Br) PADA AIR SUMUR GALI DI DESA KLAMPOK KABUPATEN BREBES JAWA TENGAH DENGAN METODE ANALISIS PENGAKTIFAN NEUTRON

ZAENAL ABIDIN^{*)} WIDARTO^{**)}

^{*)}STTN ^{**)}PTAPB BATAN
Jl. Babarsari Yogyakarta

Abstrak

ANALISIS KANDUNGAN BROM (Br) PADA AIR SUMUR GALI DI DESA KLAMPOK KABUPATEN BREBES JAWA TENGAH DENGAN METODE ANALISIS PENGAKTIFAN NEUTRON. Telah dilakukan analisis dan penentuan kandungan unsur air sumur gali yang diambil pada enam lokasi di desa Klampok, Brebes Jawa Tengah. Analisis dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Analisis kualitatif bertujuan untuk menentukan jenis unsur, sedang analisis kuantitatif menentukan kadar unsur yang terkandung dalam air tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa air dari keenam sumur tersebut mengandung unsur brom (Br) dengan kadar masing-masing sebagai berikut, pada lokasi pertama $4,02 \cdot 10^6 \pm 6,242 \cdot 10^{15}$ gr/l, lokasi kedua $(2,806 \pm 1,25)10^7$ gr/l, lokasi ketiga $(1,9073 \pm 0,14)10^6$ gr/l, lokasi keempat $(2,3983 \pm 0,2147)10^6$ gr/l, lokasi kelima $(1,7777 \pm 0,7798)10^7$ gr/l, dan pada lokasi air sumur keenam yaitu $(2,0532 \pm 0,2289)10^7$ gr/l.

Kata kunci : Kadar brom, sumur gali dan Analisis Pengaktifan Neutron (APN)

Abstract

BROMINE DETERMINATION WELL WATER OF KLAMPOK VILLAGE, BREBES USING NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS METHOD. Analysis has been carried out and determining the water content of elements taken at six locations in the village Klampok, Brebes Central Java. Analysis carried out both qualitatively and quantitatively by the method of Neutron Activation Analysis (APN). Qualitative analysis aims to determine the type of element, is a quantitative analysis to determine levels of elements contained in the water tersebut. Results of analysis showed that the water from six wells that contain the element bromine (Br) with their respective levels as follows, at the first location $4,02 \cdot 10^6 \pm 6,242 \cdot 10^{15}$ gr/l, the location of the second $(2.806 \pm 1.25)10^7$ gr/ l, the third location $(0.14 \pm 1.9073) 10^6$ gr/ l, the location of the fourth $(2.3983 \pm 0.2147) 10^6$ gr/ l, the location of the fifth $(1.7777 \pm 0, 7798) 10^7$ gr/ l, and the location of the sixth well water $(2.0532 \pm 0.2289) 10^7$ gr / l.

Keywords: Bromine level, well, and Neutron Activation Analysis.

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu faktor utama yang diperlukan bagi kelangsungan hidup manusia, hewan maupun tumbuhan. Air yang digunakan untuk kebutuhan manusia khususnya dalam kebutuhan rumah tangga harus memenuhi syarat dari segi kualitas maupun kuantitas.

Di desa Klampok, Brebes, penduduknya biasa menggunakan air yang berasal dari sumur gali, yaitu sumur yang dibuat dengan cara menggali tanah sampai diperoleh air. Air sumur yang dihasilkan pada umumnya berwarna agak kemerahan, asin dan menimbulkan bau. Jika air digunakan untuk mencuci pakaian dapat menyebabkan warna pakaian menjadi kusam, pudar dan bernoda, dan jika digunakan untuk mencuci peralatan saniter mudah berkarat.

Tanda-tanda tersebut sesuai dengan tanda-tanda larutan yang mengandung brom, sehingga diduga sumur penduduk tercemar oleh brom. Brom biasa digunakan pada pestisida, jika tanaman yang terkena pestisida digunakan sebagai pakan ternak sapi, maka kotoran sapi diduga mengandung brom. Pada penelitian ini akan dibuktikan apakah sumur penduduk mengandung brom, dan apakah lokasi sumur ada kaitannya dengan lokasi kandang sapi.

Pada penelitian ini kadar unsur brom dalam sampel air sumur gali ditentukan dengan metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). Prinsip APN adalah inti atom unsur-unsur yang terkandung dalam sampel tersebut menangkap neutron sehingga menjadi radioaktif dan memancarkan sinar gamma, sehingga dapat dideteksi menggunakan spektrometri gamma.

Analisis kualitatif digunakan untuk menentukan kandungan jenis unsur sedangkan analisis kuantitatif menentukan besarnya kandungan unsur dalam air tersebut. Keunggulan dari metode ini adalah tidak merusak sampel, dapat langsung diketahui jenis dan besarnya kadar unsur yang terkandung dalam sampel tersebut.

LANDASAN TEORI

Air

Secara konvensional, air digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup sebagai air minum, untuk mandi dan mencuci, serta untuk pengairan pertanian dan lain-lain. Kualitas air ditentukan berdasarkan sifat-sifat air yang meliputi :

- Sifat Fisika : temperatur, warna, kekeruhan, rasa dan bau.
- Sifat Kimia : kandungan unsur dalam air baik bersifat racun ataupun bukan.
- Sifat Mikrobiologis : Mikroba yang digunakan sebagai indikator dalam penentuan kualitas air minum adalah kuman-kuman parasitik, patogenik dan bakteri-bakteri golongan koli .
- Sifat Radioaktif : adanya partikel alfa dan beta dalam batas maksimal masing-masing adalah $10^{-9} \mu \text{Ci/ml}$ dan $10^{-8} \mu \text{Ci/ml}$.^[1]

Sedangkan yang dimaksud air tanah adalah air yang tersimpan atau terperangkap di dalam lapisan batuan yang mengalami pengisian atau penambahan secara terus menerus oleh alam.^[2]

Brom (Br)

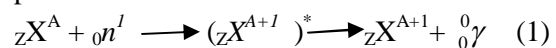
Sebagaimana telah disebutkan di atas, dimungkinkan air sumur tersebut mengandung unsur brom. Pada suhu lingkungan, brom berwarna seperti cairan *brownish* kemerahan. Menurut WHO, konsentrasi brom di dalam air minum kurang dari $90 \mu\text{g/liter}$.^[3]

Brom dalam besaran dosis diserap manusia melalui makanan dan minuman ataupun pernafasan, bersifat korosif terhadap jaringan tubuh dan asapnya mengakibatkan iritasi pada mata dan tenggorokan. Efek kesehatan yang paling utama adalah mal fungsi dari sistem syaraf dan gangguan materi genetik. Brom juga menyebabkan kerusakan pada berbagai organ tubuh seperti hati, ginjal, paru-paru, limfa, mal fungsi pada saluran pencernaan dan gangguan perut.

Metode Aktivasi Neutron

Prinsip dasar pengaktifan neutron adalah timbulnya radioaktivitas imbas dari sampel setelah ditembaki dengan neutron selama waktu tertentu. Selama mengalami penembakan neutron, sampel mengalami peningkatan radioaktivitas hingga mencapai kondisi jenuh (*saturation*).

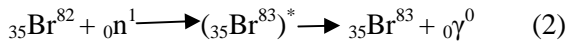
Secara umum, reaksi aktivasi neutron dapat dituliskan :^[4]



Apabila suatu sampel diaktivasi, maka terjadi penangkapan neutron oleh inti unsur-unsur yang terkandung didalamnya, dan dinyatakan dengan persamaan $A(n, \gamma)B$. Energi sinar gamma ($E\gamma$) mempunyai karakteristik yang berbeda untuk setiap unturnya. Analisis kualitatif dilakukan berdasarkan atas hasil analisis energi sinar gamma sehingga dapat ditentukan jenis unturnya, sedangkan analisis kualitatif dilakukan dengan cacah intensitas sinar gamma unsur tersebut, menggunakan spektrometri gamma.^[5]

Penentuan Kadar Brom dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron

Akibat dari penyinaran neutron pada sampel, maka sebagian unsur dalam sampel menjadi radioaktif.^[6] Reaksi APN terhadap brom yaitu :



Secara spontan isotop radioaktif meluruh memancarkan sinar gamma, sehingga laju pembentukan radionuklida merupakan selisih antara laju produksi inti radioaktif dan laju peluruhannya. Secara matematis dapat dinyatakan melalui persamaan :^[7]

$$A_c = \frac{mY N_A \phi \tau \epsilon a}{B_A \lambda} (1 - e^{-\lambda t_i}) (1 - e^{-\lambda t_c}) (1 - e^{-\lambda t_d}) \quad (3)$$

dengan : A_c = laju cacah (cps); ϕ = fluks neutron (neutron / cm²detik); N_A = Bilangan Avogadro; τ = tampang lintang reaksi (cm²) (6,02 x 10²³ atom / mol); Y = yield gamma; m = massa isotop unsur (gr); λ = konstanta peluruhan; B_A = massa atom relative (gr); t_i = waktu aktivasi (detik); a = kelimpahan isotop; t_c = waktu cacah (detik); ϵ = efisiensi detektor; t_d = waktu tunda (detik).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan berupa sampel air yang diambil dari enam sumur yang berbeda, kemudian diiradiasi antara 3 sampai 10 sampel untuk masing-masing sampel air sumur.

Alat yang digunakan adalah ember, botol air mineral, *handy step*, *vial polyetilene* dan plastik klip. Irradiator *lazy susan* Reaktor Kartini (fluks neutron: 5,1 x 10¹⁰ cm⁻²s⁻¹, daya maksimum 100 kW). Spektrometri gamma GC1018 seri 4922305 *Canberra Industries Inc.* detektor HpGe.^[8]

Analisis Kualitatif dan Kuantitatif

Analisis kualitatif bertujuan untuk mendapatkan unsur brom yang terkandung di dalam sampel. Setelah data hasil kalibrasi diperoleh, maka dilakukan pencacahan sampel selama 300 detik. Energi sinar gamma yang dipancarkan oleh suatu radionuklida pada saat pencacahan, merupakan salah satu karakteristik dari radionuklida.

Analisis kuantitatif bertujuan untuk menentukan kadar suatu unsur di dalam sampel. Aktivitas radionuklida pada cuplikan ditentukan berdasarkan atas laju cacah foton gamma daripada pancaran sinar gamma dengan satuan cacah per detik. Rumusan yang dipergunakan

dalam analisis kuantitatif adalah persamaan (3) dan (4).^[9]

$$m = \frac{A_c B_A \lambda}{\phi N_A \tau \epsilon a Y [1 - e^{-\lambda t_i}] [1 - e^{-\lambda t_c}] [e^{-\lambda t_d}]} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Energi

Hasil pengukuran kalibrasi tenaga pada detektor HpGe dengan sumber standar Eu¹⁵² disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data nomor salur dan energi pada kalibrasi detektor HpGe

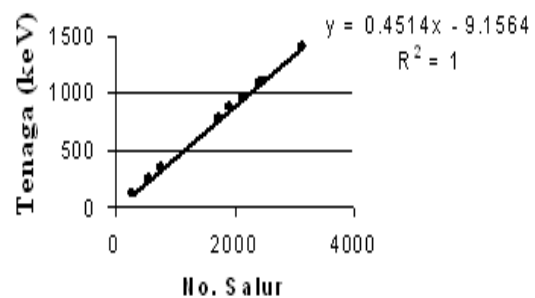
No	Nomor Salur (Xi)	Energi (Yi)
1	290,06	121,77
2	562,27	244,64
3	782,94	344,24
4	1746,09	778,99
5	1942,02	867,42
6	2156,22	964,11
7	2425,76	1085,77
8	2484,08	1112,10
9	3139,31	1407,85

Catatan : data diambil dari operasi spektrometri pada tegangan 3 kV, aktivitas Eu¹⁵² sebagai sumber standar pada tanggal 27-03-2006 sebesar 1,839 x 10³ dps, jarak detektor 5 cm, lama pencacahan 900 detik.^[10]

Hubungan antara nomor salur (Xi) dan energi (Yi) dapat dinyatakan dalam persamaan regresi linear $Y = aX + b$, dengan *slope* $a = 0,451375552$, dan *intercept* $b = -9,1564561$, sehingga diperoleh persamaan kalibrasi energi sebagai berikut :

$$Y = 0,451375552X - 9,1564561$$

dengan koefisien determinasi $R^2=1$, dan dinyatakan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara nomor salur dan tenaga

Kalibrasi Efisiensi

Hasil kalibrasi efisiensi disajikan pada Tabel 2.

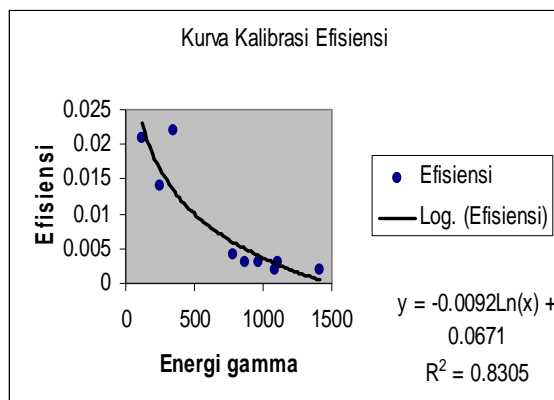
Tabel 2. Data kalibrasi efisiensi detektor dengan sumber standart Eu152

No	Nomor Salur	Energi (KeV)	Cacah (Cps)	Yield*	Efisiensi (%)
1	290,06	121,77	201,75	0,2820	0.021
2	562,27	244,64	35,37	0,0738	0.014
3	782,94	344,24	85,58	0,2640	0.022
4	1746,09	778,99	16,66	0,0221	0.004
5	1942,02	867,42	4,91	0,0308	0.003
6	2156,22	964,11	15,67	0,1300	0.003
7	2425,76	1085,77	8,38	0,1448	0.002
8	2484,08	1112,10	12,10	0,1014	0.003
9	3139,31	1407,85	15,41	0,1355	0.002

Hasil-hasil efisiensi kemudian dituangkan dalam plot efisiensi versus energi gamma yang disebut kurva kalibrasi efisiensi. Dengan menggunakan fasilitas program excel dengan tipe regresi logaritma, diperoleh persamaan:

$$Y = -0,0092 \ln(X) + 0,0671$$

Kurva kalibrasi efisiensi secara ringkas disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara energi gamma dan efisiensi

Hasil Analisis Kualitatif

Data kualitatif unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel air sumur gali dengan fasilitas irradiasi *lazy Susan* pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa air yang berasal dari air sumur gali yang terdapat di desa Klampok, Kecamatan Wanasari, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah mengandung unsur brom.

Tabel 3. Hasil pencacahan sampel

Identitas Cuplikan	Energi (Kev)	Unsur	Waktu Paruh (Jam)	Cps _i
Air	554.45	Br-82	35.87	0.23
Sumur	618.85	Br-82	35.87	0.14
Gali I	698.49	Br-82	35.87	0.07
(01	776.17	Br-82	35.87	0.18
BRF)	827.27	Br-82	35.87	0.06
	1042.51	Br-82	35.87	0.05
	1316.67	Br-82	35.87	0.04
	1367.77	Br-82	35.87	0.05
	1459.59	Br-82	35.87	0.03
	1473.99	Br-82	35.87	0.01
Air	553.91	Br-82	35.87	0.12
Sumur	618.56	Br-82	35.87	0.07
Gali II	697.56	Br-82	35.87	0.05
(02	775.85	Br-82	35.87	0.13
BRF)	1042.54	Br-82	35.87	0.01
	1314.86	Br-82	35.87	0.03
	1366.80	Br-82	35.87	0.07
	1458.79	Br-82	35.87	0.02
Air	554.06	Br-82	35.87	0.35
Sumur	618.92	Br-82	35.87	0.26
Gali III	697.78	Br-82	35.87	0.09
(03	775.99	Br-82	35.87	0.26
BMF)	827.41	Br-82	35.87	0.08
	1042.87	Br-82	35.87	0.05
	1316.41	Br-82	35.87	0.06
	1367.43	Br-82	35.87	0.09
	1459.59	Br-82	35.87	0.04
	1473.58	Br-82	35.87	0.03
Air	553.81	Br-82	35.87	0.19
Sumur	618.63	Br-82	35.87	0.11
Gali IV	775.41	Br-82	35.87	0.11
(04	826.63	Br-82	35.87	0.04
MYF)	1366.94	Br-82	35.87	0.07
	1459.29	Br-82	35.87	0.03
Air	553.68	Br-82	35.87	0.09
Sumur	618.87	Br-82	35.87	0.06
Gali V	776.18	Br-82	35.87	0.09
(05				
PSF)				
Air	553.92	Br-82	35.87	0.07
Sumur	618.71	Br-82	35.87	0.06
Gali VI	775.69	Br-82	35.87	0.10
(06 PF)	1366.87	Br-82	35.87	0.05
	1459.39	Br-82	35.87	0.04

Tabel 4. Kadar Brom sampel Air Sumur Gali pada masing-masing lokasi

No.	Kadar Brom (BR)(gr/l) Lokasi 01 BRF	Kadar Brom (BR) (gr/l) Lokasi 02 BRF	Kadar Brom (BR) (gr/l) Lokasi 03 BMF	Kadar Brom (BR)(gr/l) Lokasi 04 MYF.	Kadar Brom (BR) (gr/l) Lokasi 05 PSF	Kadar Brom (BR) (gr/l) Lokasi 06 PF
1.	$1,057.10^{-7}$	$2,929.10^{-8}$	$6,996.10^{-7}$	$3,865.10^{-7}$	$1,815.10^{-7}$	$1,424.10^{-7}$
2.	$4,584.10^{-7}$	$2,333.10^{-7}$	$8,514.10^{-7}$	$3,666.10^{-7}$	$1,982.10^{-7}$	$1,999.10^{-7}$
3.	$3,541.10^{-7}$	$2,574.10^{-7}$	$4,552.10^{-7}$	$1,894.10^{-7}$	$1,536.10^{-7}$	$1,721.10^{-7}$
4.	$3,046.10^{-7}$	$2,238.10^{-7}$	$4,399.10^{-7}$	$2,374.10^{-7}$		$2,659.10^{-7}$
5.	$3,499.10^{-7}$	$5,129.10^{-8}$	$4,665.10^{-7}$	$1,200.10^{-5}$		$2,461.10^{-7}$
6.	$2,520.10^{-7}$	$1,596.10^{-7}$	$2,520.10^{-7}$	$2,596.10^{-7}$		
7.	$2,091.10^{-7}$	$1,117.10^{-6}$	$3,136.10^{-7}$			
8.	$8,820.10^{-7}$	$1,730.10^{-7}$	$1,500.10^{-5}$			
9.	$2,550.10^{-7}$		$3,401.10^{-7}$			
10.	$8,501.10^{-7}$		$2,550.10^{-7}$			

Hasil secara rerata dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil rerata kadar Brom dari keenam sampel air sumur

No.	Lokasi	Kadar (gr/liter)
1.	01 BRF	$4,02.10^{-6} \pm 6,242.10^{-15}$
2.	02 BRF	$(2,806 \pm 1,25)10^{-7}$
3.	03 BMF	$(1,907 \pm 0,14)10^{-6}$
4.	04 MYF	$(2,398 \pm 0,215)10^{-6}$
5.	05 PSF	$(1,778 \pm 0,779)10^{-7}$
6.	06 PF	$(2,053 \pm 0,229)10^{-7}$

Hasil Analisis Kuantitatif

Hasil analisis kuantitatif secara mutlak (absolute) di sajikan pada Tabel 4 dan 5.

Pembahasan

Dari hasil aktivasi sampel diperoleh pancaran energi inti yang diterima oleh detektor dan diteruskan dalam perangkat spektrometri gamma. Hasil pencacahan sampel dicocokkan dengan energi radionuklida, sehingga dapat diketahui bahwa sampel air sumur mengandung unsur brom di dalamnya.

Dalam penelitian ini masing-masing sampel diiradiasi dengan waktu aktivasi atau waktu iradiasi 11 jam (39600 detik) yaitu kondisi jenuh unsur Brom, dan waktu pencacahan 5 menit (300 detik), namun terdapat perbedaan untuk waktu tunda tiap-tiap sampel. Hal ini disebabkan karena kondisi pada saat penelitian dilakukan, tidak memungkinkan

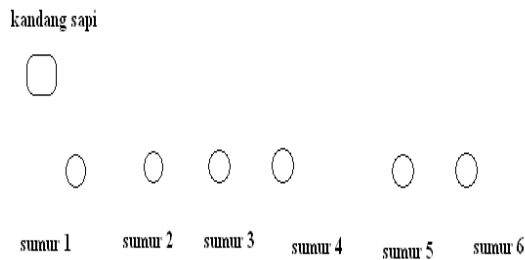
untuk dilakukan pengaturan waktu tunda tiap-tiap sampel. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik, maka untuk tiap-tiap waktu tunda harus diberi sampel standar.

Waktu pencacahan dilakukan selama 300 detik atau 5 menit dengan mempertimbangkan waktu paruh dari unsur yang akan dianalisis, dimana dengan waktu pencacahan selama 5 menit tersebut dianggap aktivitas dari radionuklida yang akan dianalisis telah dapat diukur.

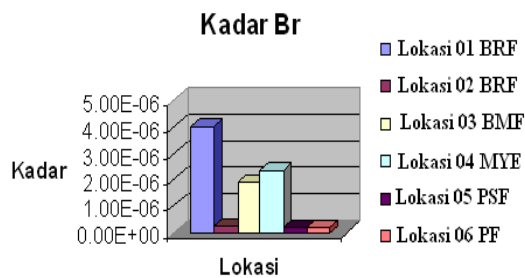
Pada penelitian ini dilakukan analisis kualitatif secara mutlak dengan menggunakan persamaan (4). Hal ini dilakukan karena tidak tersedianya standar unsur yang memiliki geometri yang mirip dengan sampel yang dianalisis.

Pada Tabel 6 diperoleh bahwa kandungan brom yang terdapat pada air sumur gali yang ada di Desa Klampok, Brebes, Jawa Tengah masih jauh dari $90 \mu\text{g/liter}$, karena menurut WHO, konsentrasi brom di dalam air minum adalah kurang dari $90 \mu\text{g/liter}$, itu berarti air yang dikonsumsi masih dalam batas standart kesehatan.^[3]

Denah lokasi sumur terhadap kandang sapi dapat di lihat pada Gambar 3. dan hasil pengukuran dapat dibuat gambar seperti Gambar 4.



Gambar 3. Skema lokasi sumur



Gambar 4. Diagram Batang Hasil Perhitungan Kadar Air Sumur Gali dari Enam Lokasi

Berdasarkan Gambar 4. di atas dapat kita ketahui bahwa pada air sumur gali pertama kadar brom ($4,02 \cdot 10^{-6}$ gram/liter) jauh lebih besar dari pada kadar air sumur gali yang lain. Pada air sumur gali kedua kadar brom ($2,806 \cdot 10^{-7}$ gram/liter) sangat berbeda jauh dengan air sumur gali pertama. Pada air sumur gali ketiga ($1,9073 \cdot 10^{-6}$ gram/liter) dan keempat ($2,3983 \cdot 10^{-6}$ gram/liter) kadar Br tidak jauh berbeda, sedangkan pada air sumur gali kelima ($1,7777 \cdot 10^{-7}$ gram/liter) dan keenam ($2,0532 \cdot 10^{-7}$ gram/liter) kadar Br jika dibandingkan dengan air sumur gali yang lain paling kecil. Perbedaan kadar dari keenam lokasi air sumur gali kemungkinan besar disebabkan karena jarak antara sumur gali dengan kandang sapi berdekatan, artinya semakin besar kadar Br yang terdapat pada air sumur gali tersebut maka lokasi sumur gali paling dekat dengan kandang sapi, karena Br organik mengendap di dalam makanan sapi.

Dari penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan, diketahui bahwa kadar brom terbesar adalah pada air sumur gali pertama, artinya air sumur gali pertama letaknya paling dekat dengan kandang sapi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Sesuai dengan yang diperkirakan, maka air sumur gali yang terdapat di Desa Klampok, Brebes, Jawa Tengah mengandung unsur brom.
2. Kadar unsur brom yang terkandung dalam air sumur gali berturut-turut adalah pada lokasi pertama $4,02 \cdot 10^{-6} \pm 6,242 \cdot 10^{-15}$ gr/l, lokasi kedua $(2,806 \pm 1,25) \cdot 10^{-7}$ gr/l, lokasi ketiga $(1,9073 \pm 0,14) \cdot 10^{-6}$ gr/l, lokasi keempat $(2,3983 \pm 0,2147) \cdot 10^{-6}$ gr/l, pada lokasi kelima $(1,7777 \pm 0,7798) \cdot 10^{-7}$ gr/l dan lokasi air sumur keenam yaitu $(2,0532 \pm 0,2289) \cdot 10^{-7}$ gr/l.

SARAN

1. Agar diperoleh suatu kesalahan yang sekecil mungkin maka perlu diperhatikan waktu aktivasi, waktu pencacahan, dan kemurnian bahan detektor.
2. Perlu penelitian lanjut untuk menetralsir air yang bebas dari unsur brom, sehingga memenuhi standart kesehatan.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dilakukan dengan menggunakan sampel air sumur gali yang diperoleh dari daerah lain, sebagai pembandingan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Saudari Nita Yuliasari atas data yang diberikan, tim APN reaktor Kartini atas bantuan pengukuran spektroskopi, dan semua pihak yang membantu dalam pengambilan sampel di Brebes.

DAFTAR PUSTAKA

1. WARDHANA, WISNU A., 1995, *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta : Andi offset.
2. REBAN, 1997, *Analisis Kadar Br dalam Air Sumur Gali di Desa Tegalrejo Kecamatan Wirosari Kabupaten Grobogan Jawa Tengah dengan Metode Spektrometri Sinar Tampak. (Skripsi)*. Yogyakarta : FMIPA.
3. WHO, 1996, *Guidelines for Drinking-Water Quality, V.2.: Health Criteria and Other Supporting Information*, Snd Edition, Geneva.

4. BEISSER, ARTHUR, 1999, *Konsep Fisika Modern. Edisi keempat.* (Alih Bahasa : The Hoaw Liong). Jakarta : Erlangga.
5. LUKAS WW., 2003, *Analisis Kemurnian Perak Sebagai Bahan Industri Kerajinan Perak di Kotagede (Yogyakarta) dengan Metode Aktivasi Neutron.* (Skripsi). Yogyakarta : FMIPA.
6. ABIDIN, ZAENAL, 2005, *Aplikasi Teknik Nuklir*, STTN-BATAN, Yogyakarta
7. SAPTAAJI, RANI, 1991, *Pemetaan Fluks Neutron pada Beamport dan Fasilitas Irradiasi Reaktor Kartini.* (Sripsi). Yogyakarta Jurusan Tekno Fisika Nuklir. Pusat Pendidikan dan Latihan BATAN.
8. ERY, RAHMAWATI, 2003, *Pemetaan Fluks Neutron Thermal Pada Fasilitas Iradiasi Lazy Susan Reaktor Kartini.* (Skripsi). Yogyakarta : FMIPA.
9. NARGOWALLA, SAM S. DAN EDWIN P. PRZYBYLOWISC, 1973, *Activation Analysis with Neutron Generators*, John Wiley & Sons, New York.
10. YULIASARI, NITA, 2006, *Penentuan Kadar Brom (Br) Air Sumur Gali Di Desa Klampok Kecamatan Wanasari Kabupaten Brebes Jawa Tengah Dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (Apn) Di Reaktor Kartini*, Skripsi, UNY, Yogyakarta.
11. ERDMANN, GERHARD, 1976, *Neutron Activation Table.* Weinheim Newyork : Verlag chermia.

