

SEBARAN RADIOAKTIVITAS RADIONUKLIDA ALAM DAN FAKTOR AKUMULASINYA DALAM AIR, SEDIMEN DAN TANAMAN DI PERAIRAN SUNGAI DAN LAUT SURABAYA

Agus Taftazani, Sumining dan Muzakky
Puslitbang Teknologi Maju BATAN, Yogyakarta

ABSTRAK

SEBARAN RADIOAKTIVITAS RADIONUKLIDA ALAM DAN FAKTOR AKUMULASINYA DALAM AIR, SEDIMEN DAN TANAMAN DI PERAIRAN SUNGAI DAN LAUT SURABAYA. Telah dilakukan analisis radioaktivitas beberapa sampel di beberapa lokasi perairan Surabaya. Sampel untuk penelitian berupa air laut dan air sungai, sedimen permukaan dasar perairan dan eceng gondok. Lokasi pengambilan cuplikan di sungai dan laut pesisir Surabaya yang ditetapkan secara terpilih (bertujuan khusus) di lima (5) titik. Air diuapkan, sedimen dibersihkan, dikeringkan dan dihaluskan; eceng gondok diabukan pada 500 °C kemudian ditentukan paparan radioaktivitas α , β dan γ -nya. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa aktivitas cacah cuplikan lingkungan alam sangat rendah. Aktivitas gross β cuplikan air masih di bawah nilai ambang menurut Men KLH No. Kep.02/MENKLH/I/1988 sebesar 1000 mBq/L dan aktivitas α cuplikan air lebih tinggi dari batas ambang (100 mBq/L) dari SK Men KLH tersebut. Aktivitas paparan radiasi dalam cuplikan eceng gondok ternyata lebih tinggi daripada aktivitas cuplikan air dan sedimen yang menunjukkan adanya perpindahan radionuklida menurut jalur air-sedimen-biota dan terjadinya akumulasi radionuklida dalam organisme perairan. Hasil identifikasi radioisotop dengan teknik spektrometri- γ menunjukkan adanya 2 jenis radioisotop yang terdeteksi K-40 dan Tl-208 dalam beberapa cuplikan dan beberapa lokasi. Keberadaan radioisotop alam ini menunjukkan bahwa sampai saat pencuplikan dilakukan, perairan sungai dan pesisir Surabaya belum terkontaminasi oleh radionuklida buatan hasil fisi. Faktor distribusi F_D pada umumnya < Faktor bioakumulasi F_B .

ABSTRACT

RADIOACTIVITY AND NATURAL RADIO NUCLIDES DISTRIBUTION IN RIVER WATER, COASTAL WATER, SEDIMENT AND EICHORNIA CRASSIPES (MART) SLOPS AND THEIR ACCUMULATION FACTOR AT SURABAYA AREA. Distributions of radioactivity and natural radio nuclides in water, sediment and eichornia crassipes (mart) slops from Surabaya River and coastal area have been evaluated. Five sampling locations were selected to represent fresh water and coastal water environment. The samples consist of water (fresh & coastal), bottom surface sediment and eichornia crassipes (mart) slops. The result showed that the gross- β activity from water environment were lower than the threshold value of Environmental Minister Act. Kep.02/MENKLH/I/1988 (1000 mBq/L) and indicated that β -radio ecological quality of water were still good. But the activity of the gross- α of water environment were higher than the threshold value of Environmental Minister Act. Kep.02/MENKLH/I/1988 (100 mBq/L). The eichornia crassipes (mart) slops (gross) activity were higher than water and sediment activities and indicated that transfer of radio nuclides from water to sediment and organism can be detected in water environment. Two natural radionuclide can be identified by γ -Spectrometric technique, they were K-40 and Tl-208. Generally the distribution factors F_D were smaller than bioaccumulation factor F_B .

PENDAHULUAN

Surabaya selain merupakan daerah pelabuhan yang banyak disinggahi oleh kapal laut juga merupakan daerah

perkembangan baru kawasan industri (tekstil, kulit, kayu, logam, obat-obatan, dsb). Untuk itu perlu ditentukan dan dikumpulkan data penyebaran radioaktivitas lingkungannya sebelum PLTN

didirikan sehingga dapat dibandingkan dengan data penyebaran radioaktivitas waktu yang akan datang. Selain itu dapat disusun usulan baku mutu lingkungan pada Menteri Lingkungan Hidup sebagai bagian Program BATAN yakni perwujudan pemasyarakatan teknik nuklir.

Untuk membahas kualitas lingkungan dari aspek radioekologis, perlu dilakukan kajian radioaktivitas pada suatu ekosistem yang berkaitan dengan paparan radiasi (gross), identifikasi radionuklida, dosis radiasi, konsentrasi dan mekanisme perpindahan radionuklida dalam komponen-komponen penyusun ekosistem. Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran dan analisis radioaktivitas alam perairan sungai dan laut Surabaya untuk mendiskripsikan kualitas lingkungan dari aspek radioaktivitas ekologi perairan sungai dan laut Surabaya tersebut.

Dalam konteks radioekologi, lingkungan laut pesisir merupakan badan air tempat akumulasi radionuklida yang berasal dari lepasan langsung instalasi nuklir, cebakan batuan induk deposisi dari daratan hasil proses geomorfologis, jatuhnya dari atmosfer dan paparan sinar kosmis dari angkasa luar.

Pesisir Surabaya merupakan wilayah yang sarat dengan berbagai fungsi dan peruntukan. Wilayah darat pesisir menjadi tempat aktivitas ke pelabuhan, kawasan berikat, kawasan industri dan kawasan pemukiman. Wilayah laut pesisir merupakan tempat muara sungai besar Surabaya/Kalimas sepanjang sekitar 30 km serta menjadi tempat buangan limbah domestik perkotaan. Posisi geografi, kondisi geologi dan geomorfologi kota Surabaya dan daerah aliran sungai dari sungai-sungai yang melintasi kota Surabaya berpengaruh terhadap kualitas lingkungan laut pesisir Surabaya sehingga perlu dikaji kondisi kualitas lingkungan perairannya terutama dari aspek radioekologi. Pengkajian ini akan dilakukan ulangan pada

tahun-tahun berikutnya, untuk mendapatkan bank data.

Tanaman Eceng Gondok

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms) merupakan tumbuhan pengganggu (gulma) perairan yang sulit diberantas, karena pertumbuhannya yang sangat pesat termasuk jenis tumbuhan menahun, mengapung bebas bila air cukup dalam, tetapi berakar di dasar bila airnya dangkal.

Tumbuhan ini juga mampu menyesuaikan diri terhadap lingkungan tempat tumbuhnya, serta dapat memanfaatkan air yang tinggi. Pertumbuhan yang pesat berarti mempunyai daya serap yang besar untuk menyerap berbagai unsur dalam air, baik unsur yang merupakan bahan makanan untuk pertumbuhan (unsur hara) maupun unsur lain yang merupakan bahan pencemar air.

Walaupun eceng gondok mempunyai kemampuan untuk menyesuaikan diri terhadap lingkungan di mana tumbuhan itu hidup, pertumbuhannya juga dipengaruhi oleh lingkungan tempat tinggalnya seperti; cahaya, suhu, keasaman (pH), kedalaman, kandungan unsur hara, ketenangan air dan salinitas air. Eceng gondok dapat tumbuh baik di lingkungan yang tenang, dangkal serta tidak asin dan tumbuh baik pada pH 4-8.

Radioaktivitas lingkungan laut pesisir

Di perairan laut, radionuklida akan diencerkan dan tersebar dalam air untuk kemudian berpindah ke material biologis, sedimen dan partikel tersuspensi. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap konsentrasi radionuklida di perairan laut antara lain adalah proses penyampuran, penyebaran dan interaksi dengan sedimen dan material biologis^[1].

Menurut Ophel (1977)^[2], konsentrasi radionuklida dalam massa air ditentukan oleh faktor sebaran radionuklida di lingkungan perairan laut dan pergerakan

Keterangan gambar :

- 1= Bendung Lengkong Baru (Sepanjang, Surabaya Barat).
- 2 = Kedurus (Surabaya Barat).
- 3 =Sebelum Pintu Air Wonokromo (Surabaya Selatan).
- 4 =Setelah Pintu Air Wonokromo (Surabaya Selatan).
- 5 =Perairan Pantai Kenjeran (Surabaya Timur).

Rumus-rumus perhitungan yang dipakai:

1. Aktivitas- α :

Aktivitas- α cuplikan dihitung dengan cara kalibrasi efisiensi, menggunakan persamaan (Nareh dan Sutarman, 1993)^[4];

$$A_{\alpha}=(C_{\alpha t}-C_{\alpha b})/(60 \times E_{\alpha} \times L) \tag{1}$$

- A_{α} = aktivitas -a total (Bq/I)
- $C_{\alpha t}$ = laju cacah total (cpm)
- $C_{\alpha b}$ = laju cacah latar (cpm)
- E_{α} = efisiensi pencacahan (%)
- L = volume sampel yang diukur (l)
- $C_{\alpha n} = (C_{\alpha t} - C_{\alpha b})$ = laju cacah bersih (cpm)
- Angka 60 menyatakan bilangan konversi menit ke detik.

2. Aktivitas- β

Aktivitas- β cuplikan dihitung dengan cara kalibrasi efisiensi, yakni menggunakan persamaan (Nareh dan Sutarman, 1993)^[4] :

$$A_{\beta}= (C_{\beta t}-C_{\beta b})/(60 \times E_{\beta} \times L) \tag{2}$$

- A_{β} = aktivitas- β total (Bq/I)
- $C_{\beta t}$ = laju cacah total (cpm)
- $C_{\beta b}$ = laju cacah latar (cpm)
- E_{β} = efisiensi pencacahan (%)
- L = volume sampel yang diukur (l)
- $C_{\beta n} = (C_{\beta t} - C_{\beta b})$ = laju cacah bersih (cpm)
- Angka 60 menyatakan bilangan konversi menit ke detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktivitas- α dan aktivitas- β (gross)

Hasil pencacahan dan perhitungan aktivitas- α dan aktivitas- β cuplikan (dengan rumus 1 dan 2) secara gross yang tingkat

paparannya masing-masing untuk cuplikan air, sedimen dan eceng gondok disajikan pada Tabel 1 (aktivitas- α) dan pada Tabel 2 (aktivitas- β).

Nilai paparan terukur dari kelima cuplikan air lebih tinggi dari nilai ambang (sebesar 100 mBq/L) menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, Kep.02/MenKLH/1/1988^[5]. Aktifitas gross- α terukur untuk cuplikan sedimen dan eceng gondok tidak dapat dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah atau Surat Keputusan Menteri, karena belum dibuat oleh Pemerintah Indonesia. Aktivitas gross- α terukur untuk cuplikan air pada Tabel 1 adalah 0,39 Bq/L (Lokasi I); 0,195 Bq/L (Lokasi II); 0,565 Bq/L (III); 0,447 Bq/L (IV) dan 0,385 Bq/L (V). Aktifitas gross- α . cuplikan sedimen terukur berkisar antara sarna dengan latar sampai dengan 0,15 Bq/L, aktivitas tersebut masih di bawah aktivitas cuplikan air, hal ini menunjukkan bahwa partikel- α banyak terlarut dalam air dan tidak terendapkan walau dekat pintu air sekalipun (aliran air lamban), sedang untuk eceng gondok berkisar antara 0,082 *sid* 0,614 Bq/gr., yang tertinggi adalah di lokasi III (sebelum pintu air di Wonokromo) hal ini terjadi pula pada cuplikan air. Data ini dapat untuk menduga bahwa dengan adanya pintu air, maka aliran sungai/air cukup lamban, sehingga eceng gondok mempunyai kesempatan menyerap partikel- α dalam air lebih banyak dari pada di lokasi lainnya. Terlihat aktivitas gross- α ada rantai aktivitas sedimen-air-biota atau sedimen-biota-air.

Tabel 1. Hasil pengukuran dan perhitungan aktivitas total- α cuplikan air, sedimen dan eceng gondok di lima lokasi.

Kode Cuplikan	Aktivitas total- α		
	Sedimen (Bq/gr)	Eceng Gondok (Bq/gr)	Air (Bq/L)
Lokasi I	< Latar	0,265	0,390
Lokasi II	0,15	0,164	0,195
Lokasi III	$\cong$ Latar	0,674	0,565
Lokasi IV	$\cong$ Latar	0,403	0,447
Lokasi V	< Latar	0,082	0,385

Keterangan : Latar= sama back ground
 Lokasi III = Sebelum Pintu Air Wonokromo
 Lokasi I = Bendung Lengkong Baru
 Lokasi IV = Setelah Pintu Air Wonokromo
 Lokasi II = Kedurus
 Lokasi V = Perairan Pantai Kenjeran

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan aktivitas total- β cuplikan air, sedimen dan eceng gondok

Kode Cuplikan	Aktivitas total- α		
	Sedimen (Bq/gr)	Eceng Gondok (Bq/gr)	Air (Bq/L)
Lokasi I	0,061 $\pm$ 0,008	0,267 $\pm$ 0,000	0,037 $\pm$ 0,005
Lokasi II	0,041 $\pm$ 0,000	0,345 $\pm$ 0,0314	0,047 $\pm$ 0,012
Lokasi III	0,029 $\pm$ 0,131	0,391 $\pm$ 0,00	0,016 $\pm$ 0,002
Lokasi IV	0,059 $\pm$ 0,003	0,504 $\pm$ 0,005	0,047 $\pm$ 0,008
Lokasi V	0,076 $\pm$ 0,000	0,353 $\pm$ 0,029	0,026 $\pm$ 0,021

Lokasi I = Bendung Lengkong Baru
 Lokasi II = Kedurus
 Lokasi III = Sebelum Pintu Air Wonokromo
 Lokasi IV = Setelah Pintu Air Wonokromo
 Lokasi V = Perairan Pantai Kenjeran

Aktivitas- β (gross) terukur pada Tabel 2 untuk cuplikan air, sedimen dan eceng gondok sangat beragam, pengaruh lokasi pengambilan cuplikan tidak bisa dilihat secara nyata. Aktivitas- β (gross) terukur untuk cuplikan air berkisar antara adalah 0,016 Bq/l sampai dengan 0,047 Bq/L, yang tertinggi adalah di lokasi II (Kedurus) dan IV (setelah pintu air Wonokromo), 0,047 Bq/L. Nilai paparan terukur dari kelima cuplikan ini masih di bawah nilai ambang batas menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, Kep.02/MenKLH/I/1988 sebesar 1,0 Bq/L sehingga kondisi kualitas lingkungan perairan sungai dan laut pesisir Surabaya dan aspek radioekologis untuk gross- β bisa dikategorikan baik karena masih di bawah nilai ambang batas.

Aktivitas gross- β dalam cuplikan sedimen berkisar antara 0,029 Bq/gr sampai dengan 0,076 Bq/gr, yang tertinggi adalah di lokasi V (pantai Kenjeran) sedangkan dalam cuplikan eceng gondok adalah 0,267 Bq/gr sampai dengan 0,504 Bq/gr. Aktivitas yang paling besar di lokasi IV (setelah pintu

air Wonokromo) seperti pada cuplikan air. Terlihat bahwa aktivitas- β dari cuplikan biota > cuplikan sedimen > air, dapat dianggap bahwa ada rantai aktivitas- β : air-sedimen-biota.

Analisis lanjut pada identifikasi radios isotop dan analisis kuantitatif dengan teknik spektrometri akan memperlihatkan perbandingan afinitas ini melalui faktor distribusi radionuklida dalam sedimen dan faktor bioakumulasi dalam biota. Menurut Dahlgaard (1991)⁽⁶⁾, tingkat paparan radiasi sedimen diperlukan untuk program pemantauan polusi radioaktif perairan laut karena partikel-partikel tersuspensi dan sedimen dasar perairan mengakumulasi radionuklida yang tersebar di badan air perairan dengan konsentrasi yang relatif lebih tinggi daripada perairan itu sendiri.

Aktivitas paparan radiasi dalam cuplikan tanaman ini dari kelima lokasi penelitian pada umumnya menunjukkan tingkat paparan yang lebih tinggi daripada aktivitas cuplikan air. Hal ini disebabkan karena eceng gondok mampu menyerap dan mengakumulasi radionuklida yang terdispersi di perairan dan terasosiasi dalam sedimen.

Hasil pengukuran secara gross ini tidak memberikan informasi tentang jenis radionuklida penyumbang paparan karena dalam pencacahan tidak membedakan tingkat tenaga dan mode peluruhan. Meskipun jenis radionuklida tidak teridentifikasi pada pengukuran secara gross tetapi hasil pengukuran dapat dijadikan data basis untuk menilai dan memantau kualitas perairan dalam kaitannya dengan kemungkinan kontaminasi radioaktif perairan.

Identifikasi radioisotop dalam cuplikan

Identifikasi radioisotop dalam cuplikan dilakukan dengan teknik spektroskopi- γ dan analisis kualitatif hasil spektral. Setelah dilakukan kalibrasi tenaga, pengukuran cuplikan dilakukan pada kondisi alat yang

tepat sama dengan kondisi kalibrasi. Resolusi detektor Ge(Li) yang digunakan berkisar antara 0,8-1,3 keV pada 122 keV dan antara 1,8 keV-2,2 keV pada 1,3 MeV dengan efisiensi yang bervariasi sesuai dengan tingkat tenaga. Puncak-puncak tenaga spektrum sinar- γ karakteristik yang diperoleh ini dicocokkan dengan Tabel isotop dari Erdtmann (1976)⁽⁷⁾ dan Erdtmann & Soyka (1979)⁽⁸⁾ untuk identifikasi radioisotop pemancar- γ .

$$F_D = \frac{\text{Aktivitas dalam sedimen}}{\text{Aktivitas dalam air}}$$
$$F_B = \frac{\text{Aktivitas dalam Eceng Gondok}}{\text{Aktivitas dalam air}}$$

Hasil identifikasi radioisotop untuk masing-masing cuplikan yang disajikan pada Tabel 3 memperlihatkan adanya 2 (dua) jenis radioisotop yang teridentifikasi dari puncak tenaga- γ yang terdeteksi.

Tabel 3. Radionuklida alam yang terdeteksi oleh Spektrometer γ dalam sampel air, sedimen dan eceng gondok di 5 lokasi.

Kode Cuplikan	Isotop	Aktivitas γ (Bq/gr)		
		Sedimen	E.Gondok	Air (Bq/L)
Lokasi I;	²⁰⁸ Tl	0,013	ttd	0,175
	⁴⁰ K	0,105	0,612	0,412
Lokasi II	²⁰⁸ Tl	ttd	ttd	0,070
	⁴⁰ K	0,172	0,549	0,170
Lokasi III	²⁰⁸ Tl	0,005	0,099	0,070
	⁴⁰ K	0,103	1,248	ttd
Lokasi IV	²⁰⁸ Tl	1,29	0,0988	ttd
	⁴⁰ K	0,067	0,4257	ttd
Lokasi V	²⁰⁸ Tl	ttd	ttd	0,047
	⁴⁰ K	ttd	ttd	0,218

Keterangan :
Tenaga 40K = 510 keV dan 208Tl = 1460 keV
Efisiensi alat = 1,432 % (²⁰⁸Tl)
0,413% (⁴⁰K)
ttd = tidak terdeteksi
Lokasi I = Bendung Lengkong Baru
Lokasi II = Kedurus
Lokasi III = Sebelum Pintu Air Wonokromo
Lokasi IV = Setelah Pintu Air Wonokromo
Lokasi V = Perairan Pantai Kenjeran

Tabel 4. Faktor Distribusi dan Faktor Bioakumulasi di berbagai lokasi

Kode Cuplikan	Radioaktivitas total α		Radioaktivitas total β		Radioaktivitas total γ			
	F _D	F _B	F _D	F _B	F _D		F _B	
Lokasi 1	-	0,680	1,634	7,139	0,075	(²⁰⁸ Tl)	-	(²⁰⁸ Tl)
Lokasi II	0,769	0,841	0,876	7,372	0,225	(⁴⁰ K)	1,487	(⁴⁰ K)
					-	(²⁰⁸ Tl)	-	(²⁰⁸ Tl)
Lokasi III	-	1,193	2,148	28,963	1,015	(⁴⁰ K)	3,239	(⁴⁰ K)
					0,072	(²⁰⁸ Tl)	1,418	(²⁰⁸ Tl)
Lokasi IV	-	0,902	1,261	10,769	-	(⁴⁰ K)	-	(⁴⁰ K)
					-	(²⁰⁸ Tl)	-	(²⁰⁸ Tl)
Lokasi V	-	0,213	2,946	13,682	-	(⁴⁰ K)	-	(⁴⁰ K)
					-	(²⁰⁸ Tl)	-	(²⁰⁸ Tl)
					-	(⁴⁰ K)	-	(⁴⁰ K)

Keterangan :
- = tidak dapat dihitung karena ada data yang tidak lengkap

Radioisotop K-40 (1460,7 keV) dan Tl-208 (510,7 keV) dari deret perluruhan alam teridentifikasi tidak dalam semua cuplikan dan semua lokasi penelitian. K-40 (1460,7 keV) dan Tl208 (510,7 keV tidak teridentifikasi dalam cuplikan sedimen dan tanaman di lokasi V (pantai Kenjeran). Hal ini disebabkan mungkin partikel pemancar γ tidak atau sedikit yang mengendap atau diserap oleh tanaman, hal ini dipengaruhi

oleh keadaan air setempat (pH, kecepatan aliran, kandungan garam di Sungai berbeda dengan di perairan pantai lokasi V)

Analisis lanjut pada identifikasi radioisotop dan analisis kuantitatif dengan teknik spektrometri akan memperlihatkan perbandingan aktivitas ini melalui faktor distribusi radionuklida dalam sedimen dan bioakumulasi dalam biota ditampilkan pada Tabel 4.

Pada umumnya harga $F_D < F_B$ hal ini menunjukkan bahwa partikel- α , - β dan γ lebih banyak yang terserap dalam tanaman daripada terdispersi/terendapkan di sedimen, hal ini dapat diduga bahwa eceng gondok sangat kuat atau lebih kuat dalam hal menyerap partikel radioaktif sebelum mengendap atau setelah terendapkan, hal ini sesuai dengan penelitian yang lebih dahulu (Agus Taftazani, 1999)⁽⁹⁾, eceng gondok sangat baik untuk menyerap logam berat di perairan sungai Surabaya.

KESIMPULAN

1. Nilai paparan Aktivitas gross- α terukur dari kelima lokasi cuplikan air tersebut lebih tinggi dari nilai ambang batas menurut Keputusan Menteri KLH, Kep.02/MenKLH/I/1988, (sebesar 100 mBq/L).
2. Aktifitas gross- α terukur untuk cuplikan sedimen dan eceng gondok tidak dapat dibandingkan dengan nilai ambang batas yang ditetapkan menurut Peraturan Pemerintah atau Surat Keputusan Menteri, karena belum dibuat oleh Pemerintah Indonesia.
3. Aktifitas gross- α cuplikan sedimen terukur berkisar antara sama dengan latar sampai dengan 0,15 Bq/L, hal ini menunjukkan bahwa partikel - α banyak terlarut dalam air dan tidak terendapkan walau dekat pintu air sekalipun (aliran air lamban), sedang untuk eceng gondok berkisar antara 0,082 s/d 0,614 Bq/gr, yang tertinggi adalah di lokasi III (sebelum pintu air di Wonokromo) hal ini terjadi pula pada cuplikan air.
4. Secara umum aktivitas gross- α mempunyai rantai aktivitas air-sedimen-eceng gondok.
5. Aktivitas- β (gross) terukur pada Tabel 2 untuk cuplikan air, sedimen dan eceng gondok sangat beragam, pengaruh lokasi pengambilan cuplikan tidak bisa dilihat secara nyata.
6. Nilai paparan Aktivitas- β (gross terukur dari kelima cuplikan ini masih di bawah nilai ambang batas menurut Keputusan Menteri KLH, Kep.02/Men KLH/I/1988 sebesar 1,0 Bq/L sehingga kondisi kualitas lingkungan perairan sungai dan laut pesisir Surabaya dan aspek radioekologis untuk gross- β bisa dikategorikan baik:
7. Aktivitas gross- β dalam cuplikan sedimen berkisar antara 0,029 Bq/gr s/d 0,076 Bq/gr, yang tertinggi adalah di lokasi V (pantai Kenjeran) sedangkan dalam cuplikan eceng gondok adalah 0,267 Bq/gr sampai dengan 0,504 Bq/gr. Aktivitas yang paling besar di lokasi IV (setelah pintu air Wonokromo) seperti pada cuplikan air. Terlihat bahwa aktivitas- β dari cuplikan biota > cuplikan sedimen > air, dapat dianggap bahwa ada rantai aktivitas- β : air-sedimen-biota.
8. Aktivitas paparan radiasi dalam cuplikan tanaman ini dari kclima lokasi penelitian pada umumnya menunjukkan tingkat paparan yang lebih tinggi daripada aktivitas cuplikan air.
9. Radioisotop ^{40}K (1460 keV) dan ^{208}TI (510,7 keV) teridentifikasi dalam cuplikan sedimen, eceng gondok dan air dengan aktifitas dan kadar yang bervariasi. Hasil ini menunjukkan adanya kelimpahan unsur radioaktif alam yang tinggi dalam lingkungan perairan Surabaya.
10. Pada umumnya harga $F_D < F_B$ hal ini menunjukkan bahwa partikel- α , - β dan γ lebih banyak yang terserap dalam tanaman daripada terdispersi/terendapkan di sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases: Procedures and Data. Safety

- Series No. 57, International Atomic Energy Agency, Vienna (1982).
2. OPHEL, I.L., "Aquatic Food Chain Transport of Radionuclides". Proceeding Workshop on the Evaluation on Model Used for the Environmental Assesment of Radionuclide Releases, Gatinburg (1977).
 3. AGUS TAFTAZANI, KRIS TRI BASUKI, DWI P. SASONGKO. "Radioaktivitas Lingkungan Pesisir Laut Semarang". Prosiding Temu Iilmiah Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, Seminar Nasional VI. Kimia Dalam Industri dan Lingkungan Buku I. Jogjakarta 1617 Desember 1997, halaman 6-23
 4. NAREH, M. dan SUTARMAN, Metode Pengukuran Aktivitas Tingkat Rendah, PSPKR-BATAN, Jakarta (1993).
 5. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup, Kep.02/Men KLH/I/1988, Jakarta 1988.
 6. DAHLGAARD, H. "Marine radioecology. Nordig radioecology: Compenium for Nurdic Postgraduate Course in General Radioecology, 15-26 April 1991, Lund Sweden, (1991).
 7. ERDTMANN, G. Neutron Activation Analysis Tables. Vo16. Weinheim, New York: Verlag Chemie (1976).
 8. ERDTMANN, G. and SOYKA, W. The gamma rays of the radionuclides. Vol 7: Tables for applied gamma ray spectrometry. Weinheim, New York : Verlag Chemie, (1979).
 9. AGUS TAFTAZANI, SUMINING, SUTANTO W.W, KRIS TRI BASUKI, GANDEN SUPRIY ANTO DAN ABDULLAH "Anallsis Kandungan Logam Hg, Co, Cr dan Cd pada Sedimen dan Eceng Gondok di Sungai Surabaya dengan Metode Pengaktifan Neutron". Prosiding Seminar Nasional I Kimia Analisis. Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, Jogjakarta 24-25 Agustus 1999, halaman 117-126.