

ANALISIS KESELAMATAN PELEPASAN PRODUK FISI DARI REAKTOR KARTINI KE LINGKUNGAN

M. Hadi Kusuma¹, Susyanta Widyatmaka², Syarip³

^{1,2} Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN
Komplek Puspiptek Serpong Gedung 80 Telp: 021-7560912, Fax: 021-7560913
Email: luluikal@batan.go.id, rswidyatmaka@yahoo.com

³Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta

ABSTRAK

ANALISIS KESELAMATAN PELEPASAN PRODUK FISI DARI REAKTOR KARTINI KE LINGKUNGAN. Untuk mempertinggi tingkat kepercayaan keselamatan pengoperasian reaktor, maka perlu dilakukan analisis keselamatan penyebaran produk fisi ke lingkungan sekitar reaktor saat reaktor beroperasi. Evaluasi keselamatan sistem bantu (auxiliary system) pada sistem ventilasi reaktor Kartini setelah retrofitting telah dilakukan, dengan cara analisis produk fisi dari teras reaktor, melewati sistem ventilasi hingga cerobong, sesuai dengan Design Basis Accident reaktor Kartini. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui besarnya konsentrasi pelepasan paparan radiasi yang keluar dari sistem ventilasi menuju ke lingkungan di sekitar reaktor Kartini dengan mempertimbangkan faktor meteorologi, yaitu suhu dan kecepatan gas buang dari cerobong serta kecepatan angin, digunakan metode Pasquill-Gifford untuk menghitung aktivitas produk fisi yang terlepas ke lingkungan. Hasil pengukuran langsung aktivitas produk fisi dari cerobong menghasilkan nilai paparan 2.33×10^{-9} rad per detik, sedangkan hasil penghitungan menunjukkan nilai $1,74 \times 10^{-14}$ rad per m^3 , nilai ini masih berada di bawah ambang batas ketentuan nasional yang dipersyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa dari segi keselamatan nuklir untuk pelepasan produk fisi ke lingkungan, reaktor Kartini cukup aman bagi masyarakat, pekerja dan lingkungan di sekitar reaktor terhadap risiko radiasi.

Kata kunci: analisis keselamatan, produk fisi, reaktor Kartini, lingkungan

ABSTRACT

SAFETY ANALYSIS OF FISSION PRODUCT RELEASE FROM KARTINI REACTOR TO ENVIRONMENT. To enhance reliance on reactor operation safety, it needs to evaluate the dispersion of radioactive releases to environment of reactor in operation. A safety evaluation of auxiliary system on post-retrofitting ventilation system of Kartini research reactor, has been conducted, by analysing fission product propagated from reactor core to ventilation system, according to design basis accident of Kartini reactor. The objective of this research is to investigate the concentration of radiation exposure released from the ventilation system of Kartini reactor to the environment. By considering meteorological factor such as temperature and velocity of effluent and wind velocity, Pasquill-Gifford method is used to calculate the activity of fission product fraction released to the environment. In-situ measurement shows the activity is 2.33×10^{-9} rad per second, and $1,74 \times 10^{-14}$ rad per cubic meter if activity concentration is calculated. It can be concluded that the radiation exposures level is lower than the environmental dose limit that permitted by national regulatory agency, are safe enough for the actual condition of Kartini reactor site against radiation risks.

Keywords: safety analysis, fission product, Kartini reactor, environment

1. PENDAHULUAN

Dalam terminologi nuklir, keselamatan (safety) diartikan sebagai perlindungan terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan terhadap bahaya radiasi, dan keselamatan terhadap fasilitas nuklir dan aktivitas yang berpotensi mengakibatkan bahaya radiasi. Ketentuan standar keselamatan nasional maupun internasional memberikan petunjuk dan rekomendasi untuk mewujudkan tingkat yang diinginkan dalam implementasi yang harmonis antara standar keselamatan dan tindakan keselamatan.

Untuk dapat menjamin agar reaktor selalu berada dalam keadaan aman dalam segala keadaan/tingkat operasi, maka pada setiap pengoperasian reaktor harus memenuhi persyaratan keselamatan operasi dimana batas-batas keselamatan (*safety limits*) yang menjadi batasan operasi reaktor tidak boleh dilampaui. Hal ini diperlukan untuk memproteksi masyarakat, pekerja maupun lingkungan tempat reaktor nuklir berada, terhadap potensi bahaya pelepasan kandungan hasil reaksi fisi yang terjadi di dalam teras reaktor.

Dalam makalah ini dilakukan analisis keselamatan pelepasan produk fisi dari reaktor nuklir ke lingkungan, dalam upaya mencegah terjadinya kegagalan atau kondisi abnormal yang mengakibatkan lepasnya kendali terhadap sumber radiasi atau sumber lain radiasi, penelitian dilakukan dengan cara melakukan evaluasi sistem ventilasi reaktor Kartini untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya pelepasan produk fisi ke lingkungan.

Reaktor riset Kartini dipilih sebagai tempat penelitian karena sesuai dengan fungsi utama reaktor yaitu untuk kepentingan pelatihan dan pendidikan, dan sebagai sarana penelitian fisika reaktor dasar dan penelitian keselamatan reaktor. Reaktor Kartini adalah reaktor riset jenis Triga Mark II, yang dioperasikan oleh Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Berdiri pada tahun 1979 dan berlokasi di Yogyakarta, reaktor ini merupakan satu di antara tiga reaktor riset yang dimiliki oleh Indonesia. Reaktor Kartini merupakan reaktor riset tipe kolam dengan bahan bakar UZrH, berpendingin air dan dioperasikan pada level daya 100 kWt, meskipun didisain mampu beroperasi hingga 250 kWt. Faktor pendukung lain untuk alasan pemilihan tempat penelitian adalah bahwa telah dilakukan retrofitting terhadap sistem ventilasi reaktor Kartini, sehingga perlu dievaluasi pengaruh tingkat keandalan keselamatan reaktor.

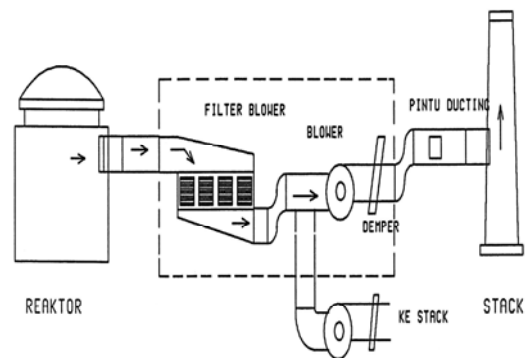
Sesuai dengan evaluasi *source term* reaktor Kartini yang diawali dengan kejadian awal yang

dipostulasikan (*postulated initiating events*, PIE) yang dipakai untuk mengawali analisa keselamatan sesuai dengan kecelakaan berdasar desain (*design bases accident*), maka di antara 8 (delapan) kejadian awal postulasi, tiga di antaranya, yaitu (1) kegagalan *transfer cask*, (2) kehilangan air pendingin dan (3) kegagalan sistem *scram*, mempunyai kebolehjadian pelepasan radioaktif ke lingkungan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya konsentrasi pelepasan paparan radiasi yang keluar dari sistem ventilasi menuju ke lingkungan di sekitar reaktor Kartini, untuk kemudian dilakukan perbandingan terhadap ketentuan nasional, sebagaimana tercantum dalam SK Bapeten No. 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi.

2. TEORI

Untuk mencegah penyebaran gas radioaktif ke lingkungan, maka sistem ventilasi udara (*filter, blower, saluran pengaliran udara, dan cerobong*); dipersyaratkan untuk mampu bekerja dengan stabil pada saat reaktor beroperasi, dan menjaga agar tekanan udara di dalam ruang reaktor $\leq 0,2$ cmH₂O terhadap tekanan udara di bagian luar. Sistem ventilasi reaktor Kartini ditunjukkan pada gambar 1¹.



Gambar 1. Sistem Ventilasi Reaktor Kartini

Dalam keadaan operasi normal, udara kotor yang akan dibuang ke lingkungan melalui cerobong harus dilewatkan melalui lapisan *filter* yang berada dalam satu rumah *filter*, yaitu: *Pre filter* tipe P15/500 VILAIR sebagai penyaring kotoran/debu berdiameter, $\varnothing = 10 \mu\text{m}$, *pre filter* ini menyerap 85 % kotoran. Tipe P15/500 ini dapat dibersihkan dengan cara dicuci dengan air biasa dengan daya tahan cuci 15-20 kali pencucian. *Pre filter* tipe PA/500 VILAIR

berfungsi sebagai penyaring kotoran/debu dengan diameter, $\varnothing = 1 \mu\text{m}$. *Pre filter* ini berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang lolos dari *pre filter* tipe P15/500; dan *Absolut filter* (HEPA, *High Efficiency Particulate Air Filter*) jenis LUWA tipe N, berfungsi menahan kotoran/debu sampai diameter $\varnothing = 0,3 \mu\text{m}$. *Filter* ini berfungsi untuk menyaring partikel-partikel yang lolos dari *pre filter* kedua. Diperkirakan 99,99 % kotoran/debu dapat ditahan olehnya.

Blower digunakan untuk memasukan udara segar dan mengeluarkan udara kotor dari reaktor. Pada sistem ventilasi reaktor Kartini, terdapat 2 unit mesin *blower* dan penggeraknya berkapasitas 30 kW, yang bekerja secara bergantian. Spesifikasi mesin *blower* I dan II adalah sama yaitu: daya 30 kW, 3 fase, tegangan 380 volt; arus:78,5 ampere; frekuensi 50 Hz; putaran 980 rpm; dan efisiensi 80%. Keandalan sistem diupayakan dengan cara pengoperasian mesin *blower* secara bergantian, dengan satu pesawat mampu beroperasi hingga 8 jam perhari.

Reaktor Kartini menggunakan dua macam saluran pengaliran udara: yaitu sistem pengaliran udara segar yang masuk ke ruangan reaktor dan sistem pengaliran udara kotor yang keluar dari ruangan reaktor. Penghisapan udara dilakukan melalui lubang-lubang masukan udara sehingga penghisapan bisa terbagi merata pada tiap-tiap lubang. Lubang masukan udara tersebut bertemu dalam suatu saluran utama yang keluar dari gedung, dan dilewatkan ke rumah *filter* (*pre filter* dan *absolut filter*) melalui pesawat *blower* dan pada akhirnya dihembuskan melalui cerobong yang berfungsi untuk mengencerkan gas buang – dengan memanfaatkan angin, sebelum dilepaskan ke lingkungan. Cerobong reaktor Kartini terbuat dari beton dengan ketinggian 31,5 meter dengan tujuan untuk bisa menurunkan konsentrasi pengotor udara, sehingga secara keseluruhan masih memenuhi standar keamanan lingkungan.

Faktor lain yang penting adalah tekanan udara di dalam ruang reaktor, yang didisain lebih rendah dari nilai tekanan udara luar ruang reaktor dengan tujuan agar udara di dalam ruang tidak akan bocor keluar tanpa di filter terlebih dahulu, dan untuk menjaga apabila terjadi suatu kecelakaan nuklir maka gas hasil belah yang lepas ke udara tetap terkungkung di dalam ruang reaktor. Selisih tekanan udara di dalam ruang reaktor terhadap udara luar adalah $0,5 \text{ cmH}_2\text{O}^2$.

Spesifikasi teknis dari sistem ventilasi reaktor Kartini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi teknis sistem ventilasi reaktor Kartini

No	Parameter /Nama Komponen	Spesifikasi Teknis
1	<i>Blower</i>	2 unit, kapasitas 30 kWh, rpm = 980 rpm, 3 fase, f = 50 Hz, V= 380 volt, i = 78,5 A, $\eta = 80 \%$
2	<i>Damper</i>	Tersedia
3	Dimensi roda kipas	$\varnothing = 1,20 \text{ m}$, h = 1,2 m
4	Dimensi <i>Pulley</i>	$\varnothing_1 = 0,26 \text{ m}$, $l_1 = 0,085 \text{ m}$, $\varnothing_2 = 0,34 \text{ m}$, $l_2 = 0,085 \text{ m}$
5	Dimensi <i>V-belt</i>	p = 2,06 m
6	Tekanan udara filter	$P_{in \text{ of filter}} = 0,35 \text{ inch H}_2\text{O}$, $P_{out \text{ of filter}} = 2,05 \text{ inch H}_2\text{O}$
7	Tipe <i>filter</i> udara	Jenis P15/500 merk VILAIR, jenis PA/500 merk VILAIR, HEPA jenis LUWA tipe N
8	Volume ruang	4.418,94 m ³
9	Dimensi saluran pengaliran udara	1,693 m ²
10	<i>Filter charcoal</i>	Tersedia
11	Perbedaan tekanan udara dalam ruangan reaktor dan udara luar ruangan reaktor	$\Delta p \leq 0,2 \text{ cm H}_2\text{O}$
12	Cerobong	h = 31,5 m

2.1. FAKTOR METEOROLOGI

Atmosfir adalah media transportasi bagi pelepasan radiaktif dari cerobong sistem ventilasi reaktor. Dalam rangka memperkirakan penyebaran pelepasan produk fisi ke lingkungan, yang berpotensi radiologis ke pekerja dan masyarakat, sehingga diperlukan informasi atmosfer berupa faktor meteorologi yang berpengaruh pada besarnya konsentrasi produk fisi yang terlepas ke lingkungan.

Model sederhana yang digunakan dalam penghitungan produk fisi pada penelitian ini adalah Metode Pasquill-Gifford, yang membagi kestabilan atmosfer menjadi enam kelas, kelas A hingga kelas F. Dengan kelas A mengindikasikan kelas yang sangat tidak stabil (*extremely unstable*) hingga kelas F yang cukup stabil (*moderately stable*)³. Dalam metode ini, diasumsikan bahwa

karakter penyebaran ke atmosfer bersifat homogen, sumber berupa sumber titik (point source) dan penyebaran gas berasal dari sumber tetap. Kontaminan didistribusikan secara normal di sekeliling sumbu pusat kisi, dengan kestabilan atmosfer dan kecepatan angin menentukan karakteristik penyebaran atmosfer dari kontaminan tersebut, yang searah dengan arah angin.

Dalam penelitian, ada dua penghitungan yang dilakukan, yaitu penghitungan konsentrasi produk fisi yang terlepas ke lingkungan $\chi(x,y)$, menggunakan persamaan (1) dan penghitungan tinggi cerobong efektif, H dengan persamaan (2)⁴.

Persamaan Pasquill-Gifford untuk menghitung konsentrasi produk fisi $\chi(x,y)$:

$$\chi(x,y) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z\mu} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{H^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \dots (1)$$

dengan

- $\chi(x,y)$ = konsentrasi di atas tanah dalam rad per meter kubik pada titik x, y.
- x = jarak arah angin pada garis pusat kisi, meter
- y = jarak tentang angin, meter
- Q = aktivitas produk fisi atau paparan radiasi, rad per detik
- σ_y, σ_z = standar deviasi horizontal dan vertikal dari konsentrasi kontaminan dalam kisi, meter
- μ = kecepatan angin rerata pada tingkat garis pusat kisi, meter per detik
- H = tinggi cerobong efektif, meter

Persamaan untuk menghitung tinggi cerobong efektif, H

$$H = h + d\left(\frac{v}{\mu}\right)^{1.4} \left(1 + \frac{\Delta T}{T}\right) \dots (2)$$

dengan:

- h = tinggi cerobong sebenarnya, meter
- d = diameter pipa keluar cerobong, meter
- v = kecepatan buang gas, meter per detik
- μ = kecepatan angin rerata, meter per detik
- ΔT = perbedaan antara suhu gas buang dan suhu gas ambien (K)
- T = suhu absolut gas buang (K)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada bulan Januari 2007 - Maret 2009, dengan obyek

penelitian di gedung reaktor dan sistem ventilasi reaktor Kartini Yogyakarta. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data dan kemudian dianalisis.

Data dikumpulkan dengan cara melakukan:

- pengukuran data aktivitas produk fisi yang terlepas dari cerobong dengan menggunakan spektrometer *gamma* detektor
- pengukuran kecepatan gas buang dari cerobong dan temperatur absolut gas buang
- Pengambilan data meteorologi, yang meliputi temperatur, kecepatan angin, arah angin dan tekanan udara.

Adapun metode analisis yang digunakan adalah:

- Kelas stabilitas Pasquill untuk menentukan kestabilan angin
- Model stabilitas atmosfer Pasquill-Gifford untuk menghitung tinggi cerobong efektif dan konsentrasi gas buang yang terlepas ke lingkungan melalui cerobong.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penghitungan dengan menggunakan model Pasquill-Gifford dipilih dengan pertimbangan tidak adanya turbulensi dan asumsi bahwa penyebaran pelepasan gas berasal dari sumber yang tetap.

Dengan menggunakan model Pasquill-Gifford, dapat ditentukan nilai aktivitas produk fisi yang terlepas melalui cerobong ke lingkungan, Q, seperti tampak pada Tabel 2. Dalam hal ini ada dua nilai yang dihasilkan yaitu pengukuran langsung pada ujung cerobong yang menghasilkan nilai rata-rata 2.33×10^{-9} rad per detik. Dan penghitungan konsentrasi produk fisi di atas tanah yang menghasilkan nilai seperti terlihat pada Tabel 3. Hasil perhitungan ini ditampilkan juga dalam grafik pada Gambar 2, dengan catatan data yang ditampilkan adalah penghitungan menggunakan data bulan Maret 2009.

Dengan membandingkan nilai aktivitas produk fisi melalui cerobong (Tabel 2) sebesar 2.33×10^{-9} rad per detik dengan ketentuan BAPETEN sebesar $1,61 \times 10^{-8}$ rad/detik⁵, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas produk fisi yang terlepas dan diterima oleh pekerja dan masyarakat secara langsung masih dalam nilai yang aman.

Model yang umum digunakan dalam menggambarkan pola penyebaran gas ke atmosfer adalah dengan menghitung nilai σ_y dan σ_z (standar deviasi horizontal dan vertikal dari konsentrasi kontaminan dalam kisi) dan nilai tinggi efektif H. Model penyebaran atmosfer yang digambarkan berpusat pada titik lokasi cerobong sebagai titik 0,

dengan increment 100 m dari jarak 0-5000 m, kemudian dihitung nilai konsentrasi produk fisi χ sebagaimana terlihat pada Tabel 3. Gambar 2 menunjukkan pola rise plume, dengan kuantitas pelepasan produk fisi sebagai fungsi dari jarak.

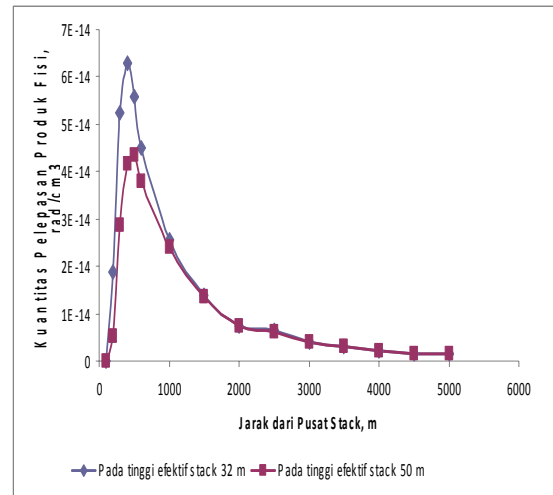
Tabel 2. Nilai Aktivitas produk fisi melalui cerobong, Q

No	Aktivitas produk fisi (rad per detik)
1	2.33E-9
2	2.29E-9
3	2.26E-9
4	2.40E-9
5	2.38E-9
6	2.33E-9
7	2.29E-9
8	2.27E-9
9	2.30E-9
10	2.26E-9
11	2.35E-9
12	2.35E-9
13	2.44E-9
Rata-rata	2.33E-9

Tabel 3. Konsentrasi Produk Fisi Maret 2009

x (m)	y (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	H	χ (Rad/m ³)
100	32	12	8	38.55	9.73E-19
100	50	12	8	38.55	5.78E-21
200	32	24	16	38.55	1.89E-14
200	50	24	16	38.55	5.26E-15
300	32	35	22	38.55	5.25E-14
300	50	35	22	38.55	2.88E-14
400	32	42	28	38.55	6.30E-14
400	50	42	28	38.55	4.15E-14
500	32	55	36	38.55	5.57E-14
500	50	55	36	38.55	4.36E-14
600	32	65	42	38.55	4.51E-14
600	50	65	42	38.55	3.79E-14
1000	32	105	65	38.55	2.56E-14
1000	50	105	65	38.55	2.39E-14
1500	32	150	90	38.55	1.40E-14
1500	50	150	90	38.55	1.35E-14
2000	32	200	125	38.55	7.55E-15
2000	50	200	125	38.55	7.41E-15
2500	32	250	150	38.55	6.32E-15
2500	50	250	150	38.55	6.25E-15
3000	32	300	175	38.55	4.03E-15
3000	50	300	175	38.55	4.00E-15
3500	32	350	200	38.55	2.96E-15
3500	50	350	200	38.55	2.94E-15
4000	32	400	220	38.55	2.24E-15
4000	50	400	220	38.55	2.23E-15
4500	32	450	240	38.55	1.69E-15

4500	50	450	240	38.55	1.68E-15
5000	32	480	250	38.55	1.60E-15
5000	50	480	250	38.55	1.60E-15



Gambar 2. Pelepasan produk fisi dari cerobong pada bulan Maret 2009

Untuk penelitian keselamatan pelepasan produk fisi dikemudian hari direncanakan untuk memasukkan faktor demografi penduduk, yang meliputi kepadatan penduduk, distribusi penduduk, rasio penduduk dan jenis fasilitas yang ada di sekitar reaktor. Selain itu direncanakan pula untuk membandingkannya dengan model penyebaran atmosfer lainnya.

5. KESIMPULAN

Hasil pengukuran langsung aktivitas produk fisi dari cerobong menghasilkan nilai paparan 2.33×10^{-9} rad per detik, sedangkan hasil penghitungan menunjukkan nilai $1,74 \times 10^{-14}$ rad per m³, yang keduanya masih berada di bawah ambang batas ketentuan nasional yang dipersyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa dari segi keselamatan nuklir untuk pelepasan produk fisi ke lingkungan, reaktor Kartini cukup aman bagi masyarakat, pekerja dan lingkungan di sekitar reaktor terhadap risiko radiasi.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan sejalan dengan program IAEA *Coordination Research Project* CRP No. 13772-R1 tahun pertama. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Dr. Djoko Hari Nugroho, serta rekan di PTRKN dan PTAPB atas dukungan pengerjaan kegiatan IAEA CRP sejak awal.

7. DAFTAR PUSTAKA

- ¹ Badan Tenaga Nuklir Nasional, 1996, *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini*, Dok. 08/BR-LAK/96/Rev.3.
- ² Kusuma M. Hadi, 2005, Evaluasi Keselamatan Sistem Ventilasi reaktor Kartini, *Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir X*, P2TKN-BATAN, 15-17 Februari.
- ³ International Atomic Energy Agency, Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting, *Safety Series No. 50-SG-S3*, IAEA, Vienna, 1980.
- ⁴ Cember Herman, *Introduction to Health Physics*, Northwestern University, Second Edition-Revised and Enlarged, 1983.
- ⁵ Badan Pengawas Tenaga Nuklir, *SK No. 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi*, 1999.

TANYA JAWAB