

PENGARUH TINGKAT KONTAMINASI PERMUKAAN TERHADAP FAKTOR PINDAH PADA METODE TES USAP

Anung Muharini *)

ABSTRACT

Monitoring of surface radioactive contamination levels (CL) using a smear test method on a nuclear facility, requires the data of the removal factor (RF) from the surface to the smear paper. If the RF is not always constant, the data of the CL from the smear test method will be wrong. The purpose of this research is to determine the influence of contamination levels on RF values. This research is done by contaminating a P-32 contaminant solution over a $10 \times 10 \text{ cm}^2$ area of a porcelain surface, and dropping the contaminant of the same amount directly to a plancet as a standard. The smear test is done by wiping a smear paper with circular motion on the contaminated porcelain. The radioactive contaminant attached on the smear paper and the standard are counted by the Geiger Muller detector. The RF is counted from the ratio between the smear paper counts and the standard counts. On surfaces which have a low total contamination level, or are contaminated with only a P-32 solution, that are not contaminated with other non active chemical substances, for the surface contamination level (CL) = $0,0126 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^2$ to $15,222 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^2$, RF values range from 20,37% to 36,48%, which are not influenced by the surface contamination level. On the surface with a very low radioactive contamination level that is $0,0056 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^2$, RF values are very high. They range from 33,37% to 55,20%, with an average value of 45,7%. On surfaces which have a high total contamination levels, or are contaminated with other non active materials besides the P-32 solution (NaCl in this research), for CL = $5 \cdot 10^{-4} \text{ gram/cm}^2$ RF = 26,89%-28,42%, for CL = $2 \cdot 10^{-3} \text{ gram/cm}^2$ RF = 24,65%-29,97%, and for the higher CL = $3 \cdot 10^{-3} \text{ gram/cm}^2$, RF values decrease to 11,91%-15,98%.

PENGANTAR

Zat radioaktif dalam dosis tertentu berbahaya bagi manusia. Pada dasarnya fasilitas nuklir dirancang untuk tidak melepaskan bahan radioaktif ke lingkungan. Walaupun begitu ada kemungkinan bagi sumber radiasi terbuka dalam bentuk gas, cairan, dan serbuk terbebas ke lingkungan karena kecelakaan-kecelakaan kecil. Zat-zat radioaktif tersebut akan menimbulkan kontaminasi pada daerah kerja. Oleh karena itu pada setiap instalasi nuklir harus dipantau secara berkala untuk mengetahui sedini mungkin adanya kontaminasi. Salah satu kegiatan pemantauan tingkat kontaminasi pada suatu fasilitas nuklir adalah pemantauan tingkat kontaminasi permukaan dengan metode tes usap. Tes usap digunakan untuk menentukan tingkat kontaminasi radioaktif permukaan pada daerah kerja, baik untuk mendeteksi tingkat kontaminasi yang sangat rendah maupun untuk memonitor kontaminasi dalam suatu daerah yang cacah latarnya tinggi.

Penentuan tingkat kontaminasi dengan metode ini memerlukan data harga Faktor Pindah (FP) dari

permukaan yang dipantau ke kertas usap. Faktor Pindah cukup sulit ditentukan. Harga ini tergantung pada banyak parameter seperti sifat fisika dan kimia kontaminan, sifat alami bahan permukaan, dan tekanan pengusapan. Dalam kasus-kasus kontaminasi yang dapat pindah (*removable contamination*) harga FP diambil 100%. Kasus-kasus lainnya umumnya diambil 10%. (Martin, 1972). Menurut Poerwanto (1989) dan Darojad (1995), untuk tingkat kontaminasi yang tetap pada beberapa bahan permukaan dengan jenis kontaminan tertentu harga FP relatif konstan.

Masalahnya, apakah harga FP akan tetap konstan untuk tingkat kontaminasi permukaan yang tidak sama. Jika harga FP tidak selalu konstan, maka akan didapatkan harga tingkat kontaminasi permukaan yang tidak benar dari metode tes usap. Pada perpindahan massa ada suatu kejenuhan atau kapasitas maksimum dari massa yang dapat berpindah ke fase kedua. Secara umum proses perpindahan massa antara dua fasa dapat dirumuskan :

$$JA = k CA$$

*) Ir. Anung Muharini, Staf Pengajar Jurusan Teknik Nuklir, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, saat ini sedang tugas belajar S-2 di ITB

dimana JA adalah banyaknya massa komponen A yang berpindah, CA adalah perbedaan konsentrasi komponen A dalam kedua fasa. Faktor k merupakan tetapan yang besarnya tergantung pada banyak hal, antara lain: proses yang terjadi, sifat kedua fasa dan zat A tersebut, komponen lain yang dikandungnya, dan konsentrasi (C). Harga maksimum massa yang dapat berpindah juga bergantung kepada faktor-faktor tersebut. Pada beberapa keadaan dengan rentang konsentrasi tertentu harga k konstan.

Jika harga FP konstan untuk tingkat kontaminasi rendah tetapi ada suatu tingkat kontaminasi permukaan tertentu dimana harga FP menurun karena banyaknya kontaminan yang dapat berpindah sudah maksimum, sehingga ada suatu batas dimana metode tes usap masih dapat digunakan. Untuk itu perlu diketahui pengaruh tingkat kontaminasi permukaan terhadap harga FP.

Dengan penelitian ini dapat diketahui apakah harga faktor pindah selalu konstan untuk harga tingkat kontaminasi permukaan yang berbeda. Dari sini dapat diketahui sampai sejauh mana harga yang didapatkan dari metode tes usap dapat dipercaya.

CARA PENELITIAN

Larutan kontaminan dibuat dengan pengenceran larutan P-32 induk. Satu mililiter larutan kontaminan ditetaskan secara merata pada porselin seluas 10 cm x 10 cm, kemudian dидiamkan 2 hari untuk mendapatkan efek pengeringan alami. Larutan kontaminan dengan jumlah yang sama ditetaskan langsung pada plancet, ini digunakan sebagai standar. Setelah 2 hari terhadap porselin yang terkontaminasi dilakukan tes usap dengan cara mengusapkan kertas usap ke porselin dengan gerakan melingkar, kemudian kertas usap diletakkan pada plancet lain. Plancet yang berisi standar dan plancet yang berisi kertas usap dicacah dengan detektor Geiger Muller. Langkah di atas dilakukan untuk beberapa aktivitas kontaminan, dan untuk campuran kontaminan larutan P-32 dan bahan kimia non aktif. Faktor Pindah didapatkan dari perbandingan antara laju cacah kontaminan pada kertas usap dan laju cacah standar setelah laju cacah tersebut dikoreksi dengan waktu mati detektor dan laju cacah latar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Harga-harga FP dari penelitian ini adalah :

Tabel I. Harga-harga FP untuk kontaminan larutan P-32:

Tingkat Kontaminasi (TK) ($\times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)	Faktor Pindah (FP) (%)
15,222	22,88 ± 0,12
	21,04 ± 0,12
	20,37 ± 0,11
	23,67 ± 0,12
	22,18 ± 0,12
0,808	33,91 ± 0,69
	31,20 ± 0,67
	30,75 ± 0,66
	27,65 ± 0,63
	32,98 ± 0,69
0,238	33,85 ± 1,03
	35,74 ± 1,06
	36,48 ± 1,07
	32,02 ± 1,02
0,0455	21,41 ± 2,65
	21,04 ± 2,55
	24,62 ± 2,74
	27,25 ± 2,72
	26,31 ± 2,76
0,0126	31,37 ± 7,25
	32,46 ± 7,13
	29,06 ± 7,32
	29,61 ± 7,31
	30,83 ± 7,26
0,0056	35,52 ± 11,69
	33,37 ± 11,56
	55,20 ± 12,61
	49,36 ± 12,39
	55,05 ± 12,57

Tabel II. Harga-harga FP untuk kontaminan larutan P-32 dan NaCl :

Tingkat Kontaminasi (gram/cm ²)	TK Radioaktif ($\times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$)	Faktor Pindah (FP) (%)
$5 \cdot 10^{-4}$	0,227	26,89 ± 0,99
		28,00 ± 1,01
		28,40 ± 1,02
		28,42 ± 1,01
$2 \cdot 10^{-3}$	0,118	29,97 ± 1,67
		24,65 ± 1,59
		25,69 ± 1,60
		27,24 ± 1,62
$3 \cdot 10^{-3}$	0,678	14,95 ± 0,57
		11,91 ± 0,53
		15,98 ± 0,59
		15,65 ± 0,58

Harga-harga FP tersebut di atas sangat bervariasi. Walaupun begitu untuk satu harga tingkat kontaminasi pada rentang tertentu harga FP relatif tetap. Pada permukaan dengan tingkat kontaminasi total rendah, atau hanya terkontaminasi larutan P-32 saja, untuk tingkat kontaminasi permukaan (TK) = $0,0126 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ sampai dengan $15,222 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ harga FP berkisar antara 20,37% sampai dengan 36,48%. Harga-harga tersebut tidak terpengaruh oleh tingkat kontaminasi permukaan, tetapi jika dilihat tanggal penelitian, harga-harga tersebut bergantung kepada waktu penelitian. Hal ini terjadi karena pada hari yang sama, tekanan pengusapan dapat dipertahankan relatif sama, sedang pada percobaan yang lain tekanan pengusapan tidak bisa sama dengan yang pertama.

Pada tingkat kontaminasi radioaktif rendah, yaitu $0,0056 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, harga FP sangat besar berkisar antara 33,37% sampai dengan 55,20% dengan rata-rata 45,7%. Pada konsentrasi permukaan yang sangat kecil jumlah kontaminan yang dapat berinteraksi dengan kertas usap dan kemudian terbawa lebih banyak. Selain itu laju cacah kontaminan tersebut di bawah laju cacah latar sehingga cukup sulit untuk mendapatkan laju cacah yang benar.

Banyaknya kontaminan yang dapat berpindah bergantung kepada kontaminan total, bukan hanya kontaminan radioaktif saja. Jika jumlah kontaminan sangat banyak, akan mancapai harga maksimum massa yang dapat berpindah atau kapasitas tempat yang tersedia, maka harga FP akan menurun. Dalam penelitian ini, pada permukaan yang tingkat kontaminasi totalnya tinggi, atau terkontaminasi zat non aktif lain selain larutan P-32 untuk TK = $5 \cdot 10^{-4} \text{ gram}/\text{cm}^2$ harga FP = 26,89%-28,42%, untuk TK = $2 \cdot 10^{-3} \text{ gram}/\text{cm}^2$ harga FP = 24,65%-29,97%, dan untuk TK yang lebih tinggi yaitu $3 \cdot 10^{-3} \text{ gram}/\text{cm}^2$ harga FP menurun menjadi 11,91%-15,98%.

Peristiwa dalam tes usap cukup kompleks, dipengaruhi oleh banyak sekali peubah. Antara kontaminan dengan permukaan sendiri dapat terjadi adsorpsi yang dapat berupa adsorpsi kimia atau fisika (adhesi), maupun absorpsi. Jika permukaan menghadap ke atas dan antara bahan permukaan dan kontaminan tidak dapat berinteraksi, maka kontaminan hanya terletak di permukaan karena gaya grafitasi.

Pada proses adsorpsi, jika konsentrasi kontaminan di permukaan kecil, pada permukaan hanya terjadi adsorpsi monomolekul. Pada proses pengusapan terjadi adsorpsi padat-padat antara fasa permukaan dengan kertas usap. Jika konsentrasi kontaminan di permukaan besar dan ada lapisan multimolekul kontaminan selain adsorpsi monomolekul, terjadi

proses adsorpsi padat-padat antara fasa kertas usap dan fasa kontaminan itu sendiri. Menurut teori Langmuir untuk adsorpsi monomolekul, molekul-molekul zat teradsorpsi hanya dapat diadsorpsi pada tempat-tempat tertentu, sehingga lapisan teradsorpsi hanya dapat setebal satu molekul, sedang jumlah molekul maksimum yang dapat diadsorpsi tidak dapat lebih dari jumlah tempat yang tersedia. Jatah maksimum zat yang dapat diadsorpsi pada satuan luas muka atau luas muka satu satuan massa zat pengadsorpsi dinamakan kapasitas monomolekul $X_{\text{maks}} = b$. Adsorpsi dapat terjadi karena reaksi kimia dan adhesi. Banyaknya zat yang teradsorpsi adalah :

$$X = \frac{ab}{a + \frac{1}{C}}$$

dimana C adalah konsentrasi dan a merupakan suatu tetapan yang besarnya bergantung kepada zat-zat yang terlibat.

Jika konsentrasi (C) kecil, maka harga a dapat diabaikan terhadap $1/C$, sehingga didapatkan $X = abC$ yang merupakan garis lurus, karena faktor ab konstan. Jadi pada rentang konsentrasi yang kecil, perbandingan antara massa yang berpindah dengan massa mula-mula (dalam penelitian ini FP) konstan. Pada penentuan tingkat kontaminasi dengan tes usap jika terjadi adsorpsi pada rentang tingkat kontaminasi total yang rendah, maka harga tingkat kontaminasi yang didapatkan akan benar.

Pada harga C yang sangat besar harga $1/C$ akan sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga didapatkan $X = b$, atau massa yang dapat berpindah mencapai harga maksimum. Untuk C sedang, kurva X-C akan berbentuk parabola. Jika tes usap terjadi dengan adsorpsi pada daerah ini, maka akan didapatkan harga tingkat kontaminasi permukaan yang salah.

Pada adsorpsi multimolekul, setelah adsorpsi monomolekul terjadi lapisan-lapisan zat-zat teradsorpsi. Lapisan tersebut terjadi karena kohesi antar molekul-molekul kontaminan. Pada tes usap, apakah proses yang terjadi adsorpsi atau yang lainnya, apakah hanya terjadi adsorpsi monomolekul atau multimolekul, berapa harga b dan a, jika terjadi multimolekul berapa banyak lapisan yang dapat terjadi, bergantung kepada bahan-bahan yang terlibat. Selain itu ada faktor yang sulit dikendalikan yaitu tekanan pengusapan, walaupun dilakukan oleh orang yang sama.

Karena peristiwanya cukup kompleks dan bergantung kepada bahan-bahan yang terlibat, maka harga FP yang akan dipakai untuk penentuan tingkat

kontaminasi tidak bisa digunakan secara umum. FP harus ditentukan secara khusus. Dalam penentuan FP untuk standar pada metode tes usap, selain jenis permukaan dan kontaminan radioaktifnya harus sama, harus diusahakan agar kontaminan totalnya mendekati keadaan yang sesungguhnya dari permukaan yang akan diukur. Selain itu pada penentuan standar FP dengan tes usap harus diusahakan agar tekanan pengusapan dan bentuk pengusap sama. Biasanya dalam suatu laboratorium bahan-bahan yang ditangani tertentu, sehingga bisa dipergunakan untuk menduga kontaminan total yang ada. Walaupun tingkat kontaminasi radioaktifnya sangat rendah, jika kontaminasi totalnya tinggi, harga FP akan menurun.

Tes usap merupakan metode kualitatif, untuk menentukan ada tidaknya kontaminan lepas, atau paling baik merupakan metode semikuantitatif untuk memperkirakan tingkat kontaminasi permukaan. Pada tingkat-tingkat kontaminasi total kecil, walaupun tingkat kontaminasi radioaktifnya besar, harga FP akan konstan sehingga metode tes usap bisa digunakan untuk menentukan tingkat kontaminasi secara kuantitatif, asalkan faktor-faktor lain yang berpengaruh dapat dibuat tetap. Seperti pada penelitian ini dari tingkat kontaminasi permukaan (TK) = $0,0126 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ sampai dengan $15,222 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ harga-harga FP tidak terpengaruh oleh tingkat kontaminasi permukaan. Harga TK = $15,222 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ sudah di atas batas TK yang diijinkan untuk daerah aktif yaitu $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$.

KESIMPULAN

1. Pada permukaan yang tingkat kontaminasi totalnya rendah, atau hanya terkontaminasi larutan P-32 saja (tidak terkontaminasi zat kimia non aktif lainnya), untuk tingkat kontaminasi permukaan (TK) = $0,0126 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ sampai dengan $15,222 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ harga FP berkisar antara 20,37% sampai dengan 36,48% tidak terpengaruh oleh tingkat kontaminasi permukaan.
2. Pada tingkat kontaminasi radioaktif yang sangat rendah yaitu $0,0056 \cdot 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$, harga FP sangat besar berkisar antara 33,37% sampai dengan 55,20% dengan rata-rata 45,7%.
3. Pada permukaan yang tingkat kontaminasi totalnya tinggi, atau terkontaminasi zat non aktif lain selain larutan P-32 (dalam penelitian ini NaCl) untuk TK = $5 \cdot 10^{-4} \text{ gram}/\text{cm}^2$ harga FP = 26,89%-28,42%, untuk TK = $2 \cdot 10^{-3} \text{ gram}/\text{cm}^2$

harga FP = 24,65%-29,97%, dan untuk TK yang lebih tinggi yaitu $3 \cdot 10^{-3} \text{ gram}/\text{cm}^2$ harga FP menurun menjadi 11,91%-15,98%.

4. Harga FP dipengaruhi oleh sifat bahan permukaan, bahan pengusap, tekanan pengusapan, kontaminan total yang ada, dan konsentrasi kontaminan tersebut. FP yang akan dipakai untuk penentuan tingkat kontaminasi tidak bisa digunakan secara umum. FP harus ditentukan secara khusus. Dalam penentuan FP untuk standar pada metode tes usap, selain jenis permukaan, kontaminan radioaktif, dan tekanan pengusapannya harus sama, harus diusahakan agar kontaminan totalnya mendekati keadaan yang sesungguhnya (permukaan yang akan diukur).

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dekan Fakultas Teknik UGM, Bapak Ketua Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM, Segenap anggota BPPF Teknik UGM, Bapak Dr.-Ing.Kusnanto selaku pembimbing, Ibu Ir. Ester Wijayanti selaku Kepala Laboratorium Kimia Nuklir, Ibu Ir. Siti Syamsiah, Ph.D. dan Bapak Ir. Sarto, M.Sc. dari Teknik Kimia UGM, Bapak Widodo sebagai pembantu peneliti, dan semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BATAN, 1983 dan 1989, *Ketentuan-ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi*, Jakarta.
- Cember, H., 1983, *Introduction to Health Physics*, Pergamon Press, New York.
- Darojad, N., 1995, *Penentuan Faktor Pindah Berbagai Kertas Lokal Untuk Mencari Alternatif Pengganti Kertas Usap Model Rad wipe Smear 500*, skripsi, Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM, Yogyakarta.
- Johannes, H., 1973, *Kimia Koloid dan Permukaan*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Knoll, G.F., 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Willey and Son, New York.
- Martin, A., and Harbison, S., 1972, *An Introduction to Radiation Protection*, second edition, John Willey and Son, New York.
- Poerwanto, D.D., 1989, *Pemantauan Kontaminasi Radioaktif Permukaan di Fasilitas Nuklir PPNY BATAN Yogyakarta Dengan Metode Tes Usap*, skripsi, Jurusan Teknik Nuklir FT-UGM, Yogyakarta.