

DISTRIBUSI KONSENTRASI RADIONUKLIDA ^{137}CS DAN ^{90}SR DI UDARA SEBAGAI DAMPAK KECELAKAAN REAKTOR KARTINI

Hanifah Nur Syafitri¹, Suharyana¹, Diah Hidayanti²

¹ Program Studi Fisika Universitas Sebelas Maret

² Badan Pengawas Tenaga Nuklir

hanursya@yahoo.com

ABSTRAK

DISTRIBUSI KONSENTRASI RADIONUKLIDA ^{137}CS DAN ^{90}SR DI UDARA SEBAGAI DAMPAK KECELAKAAN REAKTOR KARTINI. Telah dilakukan simulasi kecelakaan reaktor Kartini dengan *software* PC-COSYMA. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui dampak yang terjadi pada reaktor Kartini ditinjau dari distribusi konsentrasi radionuklida ^{137}Cs dan ^{90}Sr di udara dan dosis efektif radiasi. Kecelakaan ini disimulasikan dengan melelehnya sejumlah bahan bakar yaitu 6, 16, 34, 57, dan 69 elemen bakar. Pada proses menggunakan ORIGEN2, reaktor dioperasikan selama 897 hari, dengan total 69 elemen bakar, daya maksimum 250 kW. Setelah diperoleh nilai radioaktivitas dari ORIGEN2 lalu dilakukan simulasi kecelakaan reaktor dengan PC-COSYMA. Data yang diperlukan berupa kecepatan udara 5,28 m/s, stabilitas atmosfer saat keadaan sangat tidak stabil, arah angin 135° , radius 10 km, dan kepadatan penduduk sebanyak 1902 jiwa/km². Hasil simulasi pada variasi 69 pada radius 0,25 km elemen bakar menunjukkan nilai konsentrasi tertinggi. Nilai tersebut melebihi batas yang diijinkan. Kata kunci: radioaktivitas, konsentrasi udara, deterministik, dampak radiologi

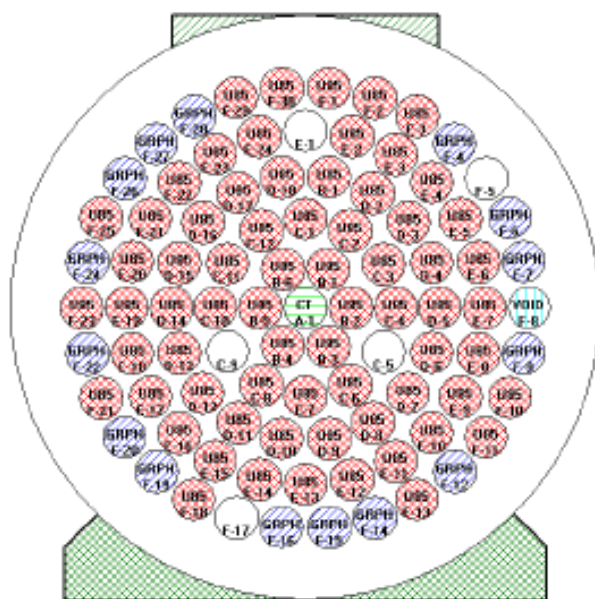
ABSTRACT

DISTRIBUTION RADIONUCLIDE CONCENTRATION ^{137}CS DAN ^{90}SR IN THE AIR AS EFFECT KARTINI REACTOR ACCIDENT. Simulation about accident nuclear of Kartini reactor already done by used PCCOSYMA. This simulation aims to knows the possible impact that can happen in Kartini reactor reviewed from distribution radionuclide concentration of ^{137}Cs dan ^{90}Sr in the air and effective radiation dose. Accident nuclear simulation with melted fuel element for 5 variations its 6, 16, 34, 57, and 69 fuel elements. On process with ORIGEN, reactor operating during 897 day, the total fuel element that 69 fuel element, the maximum power is 250 kW. After having data about radioactivity from ORIGEN2 then doing simulation about reactor accident by PCCOSYMA. Its need data about wind speed 5,28 m/s, stability atmosfer on extremely unstable, wind direction used 135° , the radii is 10 km, and population density is 1902 soul/km². The result from simulation on variation 69 fuel elements on radii 0,25 km shows the highest concentration. That value is more highest that permitted limit.

Keywords: radioactivity, air concentration, deterministic, radiology effect.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki tiga reaktor nuklir yaitu berada di Serpong, Bandung dan Yogyakarta. Reaktor yang berada di Yogyakarta sendiri dinamakan reaktor Kartini. Reaktor ini adalah jenis reaktor TRIGA (*Training, Research, and Isotop production from General Atomic*) yang didesain dengan daya maksimal 250 kW. Reaktor ini merupakan reaktor buatan General Atomic yang digunakan untuk pelatihan dan aman untuk penelitian baik pengendalian proses maupun produksi isotop melalui aktivitas neutron (Rosyid *et al.*, 2013). Reaktor Kartini memiliki teras reaktor yang memuat 69 bahan bakar. Konfigurasi bahan bakar pada teras reaktor dapat dilihat pada Gambar 1. Komposisi bahan bakar reaktor Kartini adalah U-ZrH dengan kandungan uranium 8,5% dengan pengkayaan 20%. Rasio banyaknya Zr dan H adalah 1,65^[1].



Gambar 1. Konfigurasi teras reaktor Kartini

Unsur Cs-137 dan Sr-90 merupakan unsur hasil fisi. Ketiga unsur tersebut apabila terlepas ke udara dan berinteraksi dengan materi lain dapat membahayakan tubuh. Karakteristik Cesium mudah bereaksi dengan air menghasilkan cesium hidroksida yang berbahaya untuk tubuh. Cesium memiliki waktu paruh 30 th sedangkan sr-90 memiliki waktu paruh 27. Keduanya dapat menyebabkan kanker. Radioaktif ini pancaran radiasinya berupa radiasi beta dan gamma^[8].

PC-Cosyma (*Code System of Method for Assessing Radiological Impact of Accident*) adalah paket program untuk estimasi dan kajian terhadap dampak dari lepasan zat radioaktif ke lingkungan akibat terjadi kecelakaan di fasilitas nuklir^[2]. Program ini dapat melakukan perhitungan secara deterministik dan probablistik. Perbedaan keduanya adalah perhitungan deterministik dengan PC-Cosyma bekerja dengan tidak

mempertimbangkan ketidakpastian, sedangkan perhitungan probalistik PC-Cosyma adalah memprediksi distribusi probabilitas dari konsekuensi saat kecelakaan terjadi di berbagai kondisi atmosfer termasuk perubahan dari kondisi selama terbentuknya plume^[3].

Pada PC-COSYMA memerlukan input koefisien dispersi yang berasal dari nilai meteorologi seperti arah angin, kecepatan angin, suhu, stabilitas atmosfer dan data topografi permukaan dataran. Dari perhitungan koefisien dispersi ini berguna untuk menentukan nilai konsentrasi^[4]. Selain itu untuk menghitung konsentrasi memerlukan data inventori pada input *source term*. Pada penelitian ini menggunakan paket ORIGEN.

ORIGEN merupakan kode komputer peluruhan radioaktif yang dikembangkan di Oak Ridge National Laboratory (ORNL). ORIGEN berguna untuk menghitung karakteristik beberapa material nuklir seperti *burn up*, peluruhan dan proses material radioaktif.^[5] ORIGEN juga merupakan paket program yang digunakan untuk menghitung radionuklida yang terbentuk di dalam elemen bahan bakar. Input data untuk ORIGEN berupa daya reaktor, lama operasi reaktor, jumlah elemen bahan bakar yang meleleh. Program ini biasa digunakan untuk input program lain karena output ORIGEN berupa data inventori radionuklida^[6]. Prinsip penggunaan ORIGEN adalah dengan menghitung komposisi radionuklida dan unsur material lain yang berhubungan. Kebanyakan material yang dikarakterisasi berupa penggunaan bahan bakar, limbah radioaktif, aliran gas, dan akhir penggunaan uranium. Ada tiga bagian nuklida pada pustaka ORIGEN yaitu 130 aktinida, 850 produk fisi dan 720 produk aktivasi. Ketiga bagian ini memiliki tiga pustaka yang berbeda seperti data pustaka peluruhan radioaktif, data pustaka tampang lintang dan hasil produk fisi, dan data pustaka foton.^[5]

Penelitian ini penting untuk dilakukan karena untuk mengetahui dampak yang akan terjadi apabila terjadi kecelakaan mengingat daya reaktor Kartini lebih kecil dari reaktor Indonesia yang lain dengan daya maksimal 250 kW. Letak Reaktor yang dekat dengan UNS yaitu berjarak 10 km membuat penelitian ini penting untuk dilakukan. Alasan berikutnya adalah penting dilakukan karena penelitian ini menggunakan 5 variasi elemen bakar baik dari ring pertama 6 elemen bakar hingga semua bahan bakar meleleh sehingga dapat dilihat konsentrasi yang tersebar berdasarkan jumlah bahan bakar yang meleleh.

Pada PERKA BAPETEN tentang batas nilai radioaktif dilingkungan menyatakan nilai untuk Cs-137 sebesar $1,3 \times 10^1$ Bq/m³ dan untuk Sr-90 sebesar $3,9 \times 10^1$ Bq/m³.

METODOLOGI

ORIGEN

Perangkat lunak digunakan untuk menentukan nilai radioaktivitas dari hasil reaksi fisi Reaktor Kartini. Perangkat ini dimulai dengan membuat input dalam *notepad*. Guna mendapatkan nilai radioaktivitas dari hasil fisi maka diperlukan perintah untuk melakukan proses *burn-up*.

Adapun data yang diperlukan untuk pembuatan *input* ini berupa waktu operasi reaktor, daya yang digunakan, jumlah total elemen bahan bakar, dan massa tiap variasi elemen bakar yang meleleh. Waktu operasi yang digunakan diasumsikan pada hari kerja dalam 10 tahun yaitu 897 hari. Daya yang digunakan adalah daya maksimum 250 kW. Total elemen bahan bakar yang digunakan sebanyak 69 elemen bakar. Massa dari masing-masing variasi ini dihitung secara manual sebelum menggunakan *software*.

Setelah pembuatan *input* lalu dilakukan *running*. Hasil output ORIGEN 2.2 yaitu nilai radioaktivitas digunakan sebagai input perangkat lunak PC-COSYMA2 yaitu data inventori. Nilai radioaktivitas yang dihasilkan ORIGEN memiliki satuan Curie sedangkan pada PCCOSYMA yang digunakan satuan Bq sehingga perlu dilakukan konversi dengan mengalikan nilai tersebut dengan $3,7 \times 10^{10}$.

PC-COSYMA

Setelah didapatkan nilai radioaktivitas dari masing-masing elemen bakar yang meleleh lalu dilakukan proses simulasi kecelakaan reaktor dengan PC-COSYMA. Simulasi ini menggunakan beberapa tahapan yaitu pembuatan *input input interface*, perhitungan dan tampilan hasil.

Pembuatan *input interface* memerlukan beberapa data meteorologi seperti kecepatan angin, arah angin, stabilitas atmosfer, struktur permukaan dataran, radionuklida yang dianalisis, jarak, data kepadatan penduduk, Dari data meteorologi didapatkan kecepatan angin 5,28 m/s, arah angin berasal dari Tenggara menuju Barat Laut dinyatakan dalam 135° , stabilitas atmosfer dikategorikan pada kondisi sangat tidak stabil dengan nilai *mixing depth layer* 1100 m. Nilai stabilitas ini didasarkan pada pengkategorian Pasquille. Permukaan yang digunakan pada penelitian ini adalah permukaan kasar. Jarak yang digunakan pada penelitian ini sejauh 10 km dari pusat kecelakaan reaktor. Beberapa kota yang termasuk pada radius ini adalah Magelang, Yogyakarta, Klaten, Surakarta, Boyolali, Sukoharjo dan Purworejo, daerah-daerah ini kepadatan pendudukannya 1902 jiwa/km². Radionuklida yang digunakan pada penelitian ini adalah Cs-137 dan Sr-90.

Setelah data-data tersebut dimasukkan pada *softwar*, proses selanjutnya adalah *running*. Perhitungan dilakukan dengan metode dispersi atmosfer. Model ini umum dipakai untuk menghitung banyaknya konsentrasi

gas atau radionuklida yang sampai ke permukaan bumi. Hasil *running* PCCOSYMA berupa nilai konsentrasi radionuklida Cs-137 dan Sr-90 yang disajikan dalam tabel dan grafik dalam satuan Bq s/m³.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Massa Bahan Bakar UZrH

Perhitungan untuk setiap massa dari bahan bakar UZrH dilakukan sebelum menjalankan *software* ORIGEN. Perhitungan massa ini digunakan sebagai salah satu input pada ORIGEN2 yaitu pada komposisi bahan bakar. Hasil perhitungan massa untuk setiap variasi elemen bahan bakar yang meleleh dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Massa tiap Variasi Elemen Bakar Reaktor Kartini

Jumlah Selongsong Bahan bakar	massa U235 (gram)	massa U238 (gram)	massa Zr (gram)	massa H (gram)
6	228	912	12190,05	81,19
16	108	2432	32506,80	216,50
34	1292	5168	69076,96	410,07
57	2166	8664	115805,49	771,30
69	2622	10488	140185,59	933,68

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan elemen bakar maka massa untuk masing-masing elemen bahan bakar semakin besar baik pada uranium-235, uranium-238, zirkonium dan hidrida. Hal ini dikarenakan jumlah elemen bakar ketika ditambahkan semakin banyak. Hal ini akan mempengaruhi konsentrasi radionuklida yang tersebar.

Hasil Perhitungan ORIGEN

Data awal yang digunakan pada *software* ini meliputi data waktu operasi reaktor yaitu 897 hari, daya reaktor yaitu 250 kW, data jumlah total bahan bakar pada Reaktor Kartini yaitu 69 elemen bahan bakar. Pada ORIGEN proses yang terjadi adalah *software* melakukan *burn-up* dengan waktu operasi reaktor yang telah ditentukan dan setelah dilakukan *burn-up* komposisi material dianalisis dari kondisi material bahan bakar masih baru hingga setelah melakukan *burn-up*. Hasil dari output ORIGEN berupa data aktivasi berupa nilai radioaktivitas dalam satuan Curie dan data konsentrasi dalam gram. Data output perhitungan ORIGEN2 tersebut menampilkan semua radionuklida hasil reaksi fisi yang terjadi. Dari data yang telah didapat, dipilih radionuklida yang akan digunakan sebagai input PC-Cosyma. Setelah dilakukan seleksi didapatkan nilai radioaktivitas sebagai berikut

Tabel 2. Nilai Radioaktivitas (Bq)

Nuklida	Nilai Radioaktivitas (Ci)				
	6	16	34	57	69
Cs-137	$6,14 \times 10^1$	$1,64 \times 10^2$	$3,48 \times 10^2$	$5,84 \times 10^2$	$7,05 \times 10^2$
Sr-90	$5,96 \times 10^1$	$1,59 \times 10^2$	$3,37 \times 10^2$	$5,66 \times 10^2$	$6,83 \times 10^2$

Hasil diatas menunjukkan nilai radioaktivitas dari suatu nuklida yang semakin besar dari 6 selongsong sampai 69 selongsong. Hal ini dipengaruhi jumlah bahan bakar yang meleleh semakin banyak massa di dalamnya maka semakin tinggi pula nilai radioaktivitasnya. Dalam satu elemen bahan bakar yang meleleh mengandung komposisi material elemen bahan bakar yaitu massa uranium-235, uranium -238, zirkonium dan unsur hidrida. Sehingga, apabila komposisi kandungan elemen bahan bakar pada selongsong semakin banyak maka nilai radioaktivitas yang dihasilkan semakin tinggi. Nilai ini akan berpengaruh terhadap konsentrasi nuklida di udara.

Perhitungan PC-COSYMA

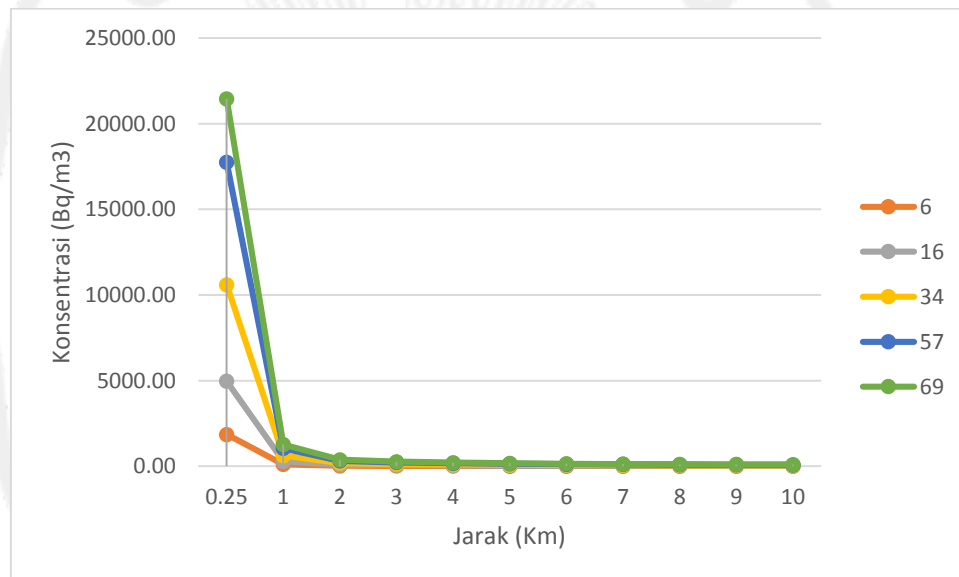
Selain menggunakan ORIGEN2, untuk mendapatkan nilai konsentrasi radionuklida Cs-137 dan Sr-90 di udara dan dosis efektif yang terserap maka diperlukan juga *software* PC-Cosyma. *Software* ini dapat digunakan untuk mensimulasikan kecelakaan, menghitung konsentrasi nuklida hasil fisi yang tersebar dan menghitung dosis efektif radionuklida yang tersebar dalam jarak tertentu. Pada software ini dilakukan variasi jarak 10 km.. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3 Nilai Konsentrasi Cs-137 di Udara pada Jarak 10 km

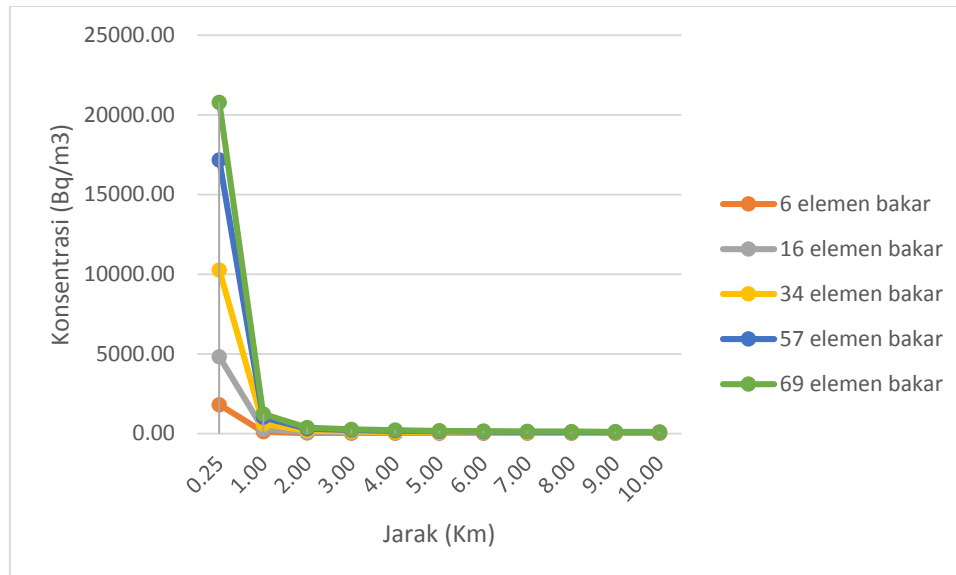
Jarak (km)	Konsentrasi ^{137}Cs (Bq/m ³)				
	6	16	34	57	69
0,25	1865,28	4972,22	10100,00	17747,22	21447,22
1	110,33	294,17	626,94	1050,00	1268,61
2	33,19	88,44	188,58	315,83	381,67
3	23,68	63,08	134,53	225,28	272,19
4	18,63	49,67	105,89	177,31	214,25
5	15,48	41,25	87,97	147,31	177,97
6	13,31	35,47	75,64	126,67	153,06
7	11,73	31,25	66,64	111,58	134,83
8	10,53	28,06	59,81	100,14	121,00
9	9,59	25,55	54,47	91,22	110,22
10	8,85	23,58	50,28	84,17	101,72

Tabel 5. Nilai Konsentrasi Sr-90 di Udara pada Jarak 10 km

Jarak (km)	Konsentrasi sr-90 (Bq/m ³)				
	6	16	34	57	69
0,25	1807,78	4822,22	10272,22	17172,22	20788,89
1	106,94	285,28	107,50	1015,83	1229,72
2	32,17	85,81	182,75	305,56	370,00
3	22,94	61,22	130,36	217,97	263,86
4	18,06	48,19	102,61	171,56	207,67
5	15,00	40,03	85,25	142,53	172,53
6	12,90	34,42	73,31	122,56	148,36
7	11,37	30,33	64,58	107,97	130,69
8	10,20	27,21	57,94	96,89	117,31
9	9,29	24,79	52,78	88,28	106,83
10	8,58	22,88	48,72	81,44	98,61



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Cs-137 terhadap Jarak 10 km



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Sr-90 terhadap Jarak

Dari semua tabel diatas sebagian besar menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah selongsong memiliki nilai konsentrasi di udara semakin banyak. Hal ini dapat dipengaruhi oleh massa dari tiap variasi selongsong yang semakin banyak. Apabila ditinjau dari hubungan jarak terhadap nilai konsentrasi dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jaraknya maka semakin sedikit konsentrasi yang tersebar. Begitu juga sebaliknya yaitu semakin dekat jaraknya maka semakin banyak konsentrasi radioaktif tersebut tersebar. Dapat dilihat pada tabel bahwa nilai konsentrasi pada jarak 0,25 memiliki nilai konsentrasi terbesar.

Hal ini dikarenakan pengaruh angin. Ketika angin bergerak dari pusat reaktor dengan membawa muatan radioaktif, radioaktif yang dibawa angin tersebut ikut jatuh berdasarkan arah gerak angin. Ketika daerah yang dilalui angin tersebut berada didekat pusat kecelakaan reaktor maka konsentrasi yang dijatuhkan masih banyak, namun ketika mulai bergerak semakin jauh maka konsentrasi angin yang dijatuhkan akan semakin sedikit. Hal ini sesuai dengan teori jatuhnya radioaktif yaitu jatuhnya lokal dimana daerah terdekat dengan reaktor memiliki konsentrasi radioaktif di udara paling banyak.

Dari ketiga radioaktif diatas baik pada Cs-137, I-131, dan Sr-90 baik pada jarak 10 km, cs-137 memiliki konsentrasi yang tersebar paling banyak dibandingkan Sr-90. Cs-137 yang memiliki waktu paruh sekitar 30,07 tahun dan Sr-90 yang memiliki waktu paruh 28,79 tahun. Ketika nuklida tersebut masuk melalui tubuh dengan

umur paruh yang lama nuklida tersebut akan mengendap di tubuh sehingga dapat menyebabkan kanker.

Menurut PERKA BAPETEN tentang batas nilai radioaktif di lingkungan nilai konsentrasi yang tersebar untuk Cs-137 sebesar $1,3 \times 10^1$ Bq/m³ dan untuk Sr-90 sebesar $3,9 \times 10^1$ Bq/m³. Hasil simulasi untuk Cs-137 dan Sr-90 menunjukkan bahwa keduanya melebihi batas yang diijinkan. Karena melebihi bata tersebut maka perlu dilakukan tindakan lebih lanjut.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi kecelakaan Reaktor Kartini pada daya maksimal 250 kW pada 10 km dan variasi jumlah elemen bakar yang meleleh yaitu 6 elemen bakar, 16 elemen bakar, 34 elemen bakar, 57 elemen, dan 69 elemen bakar. Didapatkan hasil nilai konsentrasi radionuklida yang tersebar diudara. Hasil tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi terbesar dari ketiga unsur Cs-137 dan Sr-90 terdapat pada variasi 69 elemen bakar dengan jarak 0,25 km. Hal ini dikarenakan bahwa semakin banyak elemen bahan bakar yang meleleh maka massa yang menyusun elemen bahan bakar tersebut yaitu massa uranium-235, uranium-238, zirkonium, dan hidrida juga semakin banyak massanya sehingga konsentrasi yang didapat juga semakin tinggi. Hasil dari simulasi bahwa konsentrasi cs-137 yang paling banyak menyebar daripada sr-90. Cs-137 memiliki umur paruh yang lama yaitu 30 th. Sehingga, ketika konsentrasi melebihi nilai batas, maka perlu dilakukan penangan

lebih lanjut. Mengingat unsur cesium apabila mengendap dalam tubuh dapat menyebabkan kanker.

DAFTAR ISI

- [1] Budi, R. (2008). Analisis Laju Alir Pendingin Di Teras Reaktor Kartini. Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir Bandung, 5 Nopember 2008.
- [2] Villa, M., Haydn M., Steinhauser, G., Bock, H. (2015) Accident scenarios of the TRIGA MARK II reactor in Vienna. *Journal Nuclear and Design*, 240 (2010) 4091-4095.
- [3] Udiyani, P.M., & Kuntjoro, S. (2015). Pengaruh Kondisi Atmosferik Terhadap Perhitungan Obabilistik Dampak Radiologi Kecelakaan PWR 1000-MW. *Jurnal Teknik Reaktor Nuklir.*, ISSN 1411-240X No: 632/AU3/P2MI-LIPI/03/2015 Vol. 17 No.3 Oktober 2015, Hal. 149-158.
- [4] Zhao Y., Zhang L., Tong J. (2015). Development of rapid atmospheric source term estimation system for AP1000 nuclear power plant. *Progress in Nuclear Energy* 81: 264-275.
- [5] Hadad, K. Nematolahi, M., Golestani A. (2015). VVER-1000 cross-section library generation for ORIGEN-II based on MCNP calculations. *International journal of hydrogen energy*
- [6] Trijono, E., Sardjono, Y., Purwanto, P., Setiawan, W. (2000). Perancangan Sistem Informasi Pengelolaan elemen bahan bakar reaktor kartini. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi ilmiah P3TM-BATAN*, ISSN 0216-3128
- [7] IAEA. (2011). Nuclear Data for Safeguards. Table C-3. Cumulative *Fission Yields*. Thermal neutron *fission*. 5 Maret 2011
- [8] Tolgyessy, T., & Bujdoso, E. (1993). *CRC Handbook of Radioanalytical Chemistry Volume I*, CRC Press Boca Raton