

ANALISIS DETERMINISTIK DAMPAK KECELAKAAN REAKTOR KARTINI TERHADAP KONSENTRASI RADIONUKLIDA DI TANAH MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PC-COSYMA

Desintha Fachrunnisa¹, Diah Hidayanti², Suharyana³

¹Universitas Sebelas Maret Surakarta

²Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.

desinthaasintaa@gmail.com

ABSTRAK

ANALISIS DETERMINISTIK DAMPAK RADIOLOGI KECELAKAAN REAKTOR KARTINI TERHADAP KONSENTRASI RADIONUKLIDA DI TANAH MENGGUNAKAN *SOFTWARE* PC-COSYMA. Nuklir merupakan sumber energi alternatif yang baik untukantisipasi kelangkaan energi di masa yang akan datang. Teknologi nuklir diibaratkan seperti dua buah mata pancing, apabila dioperasikan dengan prosedur yang benar akan mendatangkan manfaat, namun jika dioperasikan dengan cara yang salah maka akan mendatangkan bahaya untuk lingkungan. Konsekuensi yang timbul dari pemanfaatan energi nuklir melalui PLTN adalah konsekuensi radiologis adanya pelepasan zat radioaktif sebagai hasil belah bahan bakar uranium. Dalam kondisi operasi normal dan apalagi dalam kondisi kecelakaan, ada proses pelepasan zat radioaktif keluar dari bahan bakar atau dari sistem dan komponen lain yang dapat mencapai ke ruang pengungkung dan juga dapat lepas keluar dari pengungkung. Tetapi jumlah pelepasan ini dibatasi dengan mengimplementasikan persyaratan keselamatan ke dalam desain sehingga diperoleh bahwa konsekuensi radiologis cukup kecil dengan harga dosis dan paparan radiasi di lingkungan masih di bawah batas harga yang diijinkan. Penelitian ini akan dibuat simulasi kecelakaan reaktor Kartini yang dioperasikan pada daya maksimum 250 kW dengan menggunakan software Pc-Cosyma. Sebelum melakukan simulasi dilakukan perhitungan elemen bahan bakar terlebih dahulu menggunakan program Origen2.1 untuk menghitung suku sumber yang akan dijadikan data inventori pada input *source term*. Simulasi dilakukan pada kondisi semua elemen bahan bakar meleleh yaitu 69 elemen bahan bakar. Kecelakaan reaktor diasumsikan terjadi pada bulan Juni 2017, sehingga didapat data kecepatan angin sebesar 5,28 m/s dan arah angin sebesar 135 °. Dari hasil simulasi yang dibuat, akan diketahui nilai konsentrasi nuklida yang terdeposisi ke tanah.

Kata Kunci : Reaktor Kartini, Deterministik, Dampak Radiologi, Origen2.1, dan Pc-Cosyma

ABSTRACT

DETERMINISTIC ANALYSIS IMPACT OF KARTINI'S REACTOR ACCIDENT RADIOLOGY OF RADIONUCLIDE CONCENTRATION IN LAND USING PC-COSYMA SOFTWARE. Nuclear is a good alternative energy source to anticipate the scarcity of energy in the future. Nuclear technology is like two eyes, if operated with the correct procedure will bring benefits, but if operated in the wrong way it will bring danger for environment. The Consequences arising from the utilization of nuclear energy through PLTN is a radiological consequence of the release of radioactive material as a result of uranium fuel. Under normal operating conditions and especially in accident conditions, there is a process of releasing radioactive substances out of fuel or from systems and other components that can reach into the confinement space and can also escape out of containment. But the amount of discharge is limited by implementing safety requirements into the design so that it is obtained that the radiological consequences are quite small with the dose price and the radiation exposure in the environment is still below the allowable price limit. This research will be made simulation of Kartini reactor accident which operated at maximum power of 250 kW by using Pc-Cosyma software. Before performing the simulation, the fuel element calculation first uses Origen2.1 program to calculate the source term that will be the inventory data in the input source term. Simulation does on condition all of fuel element are melt, that is 69 element fuel. The reactor accidents are assumed to occur in Juni 2017, to obtain wind speed data of 5.28 m / s and wind direction of 135 °. From the simulation result, we will know the value of nuclide concentration deposition to the soil.

Keyword : Kartini's Reactor, Deterministic, Radiology Impact, Origen2.1, and Pc-Cosyma

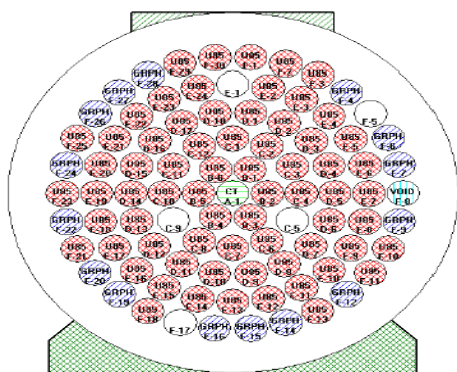
PENDAHULUAN

Nuklir merupakan sumber energi alternatif yang dinilai bersih bagi lingkungan karena tidak berpotensi menyebabkan kenaikan pemanasan global, namun nuklir diibaratkan seperti dua buah mata pancing bila dioperasikan dengan baik akan mendatangkan kebaikan bagi manusia, sebaliknya jika mengalami gangguan atau kebocoran maka akan mendatangkan musibah yang dapat membahayakan

manusia dan lingkungan sekitar. Pemanfaatan teknologi nuklir untuk peningkatan energi memberikan sumbangan sebesar 17% untuk kebutuhan listrik dunia^[1].

Perkembangan teknologi nuklir di Dunia terus dikembangkan karena didasarkan oleh kecelakaan reaktor nuklir yang sangat merugikan dunia beberapa puluh tahun yang lalu. Terdapat beberapa kecelakaan nuklir terbesar yang menjadi sorotan masyarakat

dunia, yaitu kecelakaan pada PLTN di pulau Three Mile Island, kebocoran gas di Bhopal, kecelakaan PLTN di Chernobyl dan kecelakaan PLTN di Fukushima Jepang. Kecelakaan reaktor terjadi karena penggunaan yang menyalahkan prosedur dan melebihi batas waktu operasi reaktor. Kecelakaan reaktor nuklir merupakan salah satu tragedi yang berbahaya. Mengacu pada kecelakaan PLTN di Chernobyl pada tahun 1986. Kecelakaan tersebut terjadi karena kritikalitas teras reaktor yang tidak terkendali dalam waktu yang sangat singkat, sehingga mengalami reaksi fisi berantai tanpa kendali [4]. Dilatar belakangi oleh peristiwa tersebut, oleh karena itu pada penelitian kali ini akan dibuat simulasi untuk analisis dampak radiologi terhadap konsentrasi radionuklida di tanah akibat terjadinya kecelakaan reaktor dengan menggunakan *software* Pc-Cosyma. Penelitian dilakukan dengan memvariasi jumlah elemen bahan bakar pada teras reaktor, seperti gambar dibawah ini :



Gambar 1: Konfigurasi teras reaktor Kartini (Rohman, 2009).

Kisi reaktor kartini berbentuk anular yang terdiri atas 91 lubang masing-masing memiliki diameter 3,823 cm. Teras reaktor diisi dengan elemen bahan bakar, batang kendali, tabung iradiasi serta elemen grafit. Teras reaktor memiliki ketinggian 58 cm dan dilingkupi oleh reflektor grafit berbentuk silinder dengan diameter dalam sebesar 45,7 cm. Teras dan reflektor terendam dalam air dengan ketinggian 4,9 m. Dalam konfigurasi ini, teras reaktor Kartini memuat 67 elemen bahan bakar tipe 104 dan 2 elemen bahan bakar tipe 2014 serta 3 buah batang kendali yang terbuat dari serbuk B_4C di dalam kelongsong aluminium yang menempati posisi C5, C9 dan E1 pada konfigurasi teras reaktor. Komposisi elemen bahan bakar kedua tipe ini sama, yaitu $U-ZrH_{1,65}$ dengan kandungan uranium 8.5 % berat dan pengkayaan sebesar 20 % [2].

reaksi fisi merupakan reaksi pembelahan nuklida berat U^{235} dan Pu^{239} dengan menyerap suatu neutron sehingga menghasilkan dua sampai tiga inti baru yang lebih ringan, yang kemudian inti – inti atom tersebut menjadi tidak stabil dan memancarkan radioaktif^[3]. Reaksi fisi yang tidak terkendali akan menyebabkan bahaya seperti meningkatnya suhu atau temperatur pada teras reaktor, yang menyebabkan pendingin gagal berfungsi. Akibatnya bahan bakar

pada reaktor meleleh dan menyebabkan kecelakaan nuklir. Kecelakaan nuklir menyebabkan unsur-unsur radioaktif terlepas ke lingkungan. pada penelitian ini dibuat simulasi tentang kecelakaan reaktor. sebelum dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* Pc-Cosyma, terlebih dahulu dilakukan perhitungan suku sumber yang akan dijadikan data inventori dengan menggunakan program Origen2.1.

Program Origen2.1

Origen merupakan suatu sistem kode komputer untuk menghitung penambahan, peluruhan dan proses dari suatu material radioaktif. Metode yang digunakan pada *software* Origen2.1 adalah metode *point depletion* dalam satu kelompok energi neutron dengan pustaka reaksi inti yang dapat dipilih sesuai dengan reaktornya. Masukan (*input*) pada program Origen2.1 merupakan data rerata flux neutron atau daya rerata yang dihasilkan di dalam elemen bahan bakar dan lama nya waktu reaktor beroperasi. Inputan ini akan dibakukan dari file data-base sejarah iradiasi elemen bahan bakar. Nilai *output* yang dihasilkan dari program Origen2.1 merupakan data radionuklida yang terjadi di dalam elemen bahan bakar yang dikelompokkan dalam kelompok produk aktivasi, produk fisi dan aktinida. Output ini merupakan data-base radionuklida [5]

Software Pc-Cosyma

PC-Cosyma merupakan suatu paket program untuk estimasi dampak radiologi dari lepasan radioaktif ke lingkungan akibat terjadi kecelakaan nuklir. Program ini dapat digunakan untuk perhitungan deterministik dan probabilistik. Perhitungan secara deterministik merupakan perhitungan dengan cara tidak memperhatikan ketidakpastian, sehingga untuk semua nilai parameter dianggap sama, dan kondisi atmosfer tiap perubahan waktu diabaikan. Sedangkan perhitungan secara probabilistik yaitu dengan memperhatikan setiap kebolehjadian yang terjadi pada setiap perubahan atmosfer tiap waktu.

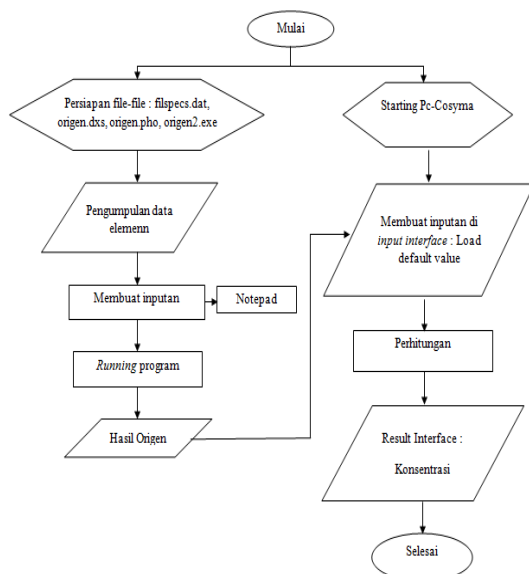
METODE PENELITIAN

Sebelum melakukan simulasi terlebih dahulu dilakukan perhitungan elemen bahan bakar menggunakan *software* Origen2.1 kemudian untuk analisis dampak kecelakaan reaktor menggunakan *software* PC-Cosyma. Untuk membuat input pada origen, salah satu nya membutuhkan data elemen bahan bakar. Seperti tabel di bawah ini :

Tabel 1 : perhitungan elemen bahan bakar yang meleleh

Jumlah Selongsong	Massa ^{235}U (gram)	Massa ^{238}U (gram)	Massa Zr (gram)	Massa H (gram)
69	2622	10488	140185,59	933,68

Pada penelitian ini diasumsikan bahwa reaktor kecelakaan pada kondisi seluruh elemen bahan bakar pada teras reaktor meleleh. kemudian dilakukan simulasi, seperti dibawah ini :



Gambar 2 : Penelitian Analisis Sebaran Dampak Radionuklida Menggunakan *Software* Origen2.1 dan PC-Cosyma

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini berhasil dibuat simulasi untuk menganalisis dampak radiologi kecelakaan reaktor Kartini Yogyakarta terhadap konsentrasi radionuklida di dalam tanah setelah terpapar radiasi menggunakan *software* PC-Cosyma. Sebelum dilakukan simulasi menggunakan *software* Pc-Cosyma, terlebih dahulu melakukan perhitungan untuk mengetahui suku sumber atau data inventori berupa nilai konsentrasi dalam satuan unit gram dan radioaktivitas dalam satuan unit Curie menggunakan program *origen2.1*. didapatkan hasil seperti tabel dibawah ini :

Tabel 2 : Nilai Radioaktivitas dalam satuan Becquerel (Bq)

Nuklida	Jumlah selongsong yang meleleh
	69 elemen
Kr-088	4,085E+12
Rb-088	4,122E+12
Sr-090	3,683E+11
Ru-106	3,573E+11
Rh-105	1,143E+12
Te-132	4,743E+12
I-131	3,172E+12
I-132	4,762E+12
I-133	7,604E+12
I-135	7,108E+12
Xe-133	7,604E+12
Xe-135	7,367E+12
Cs-134	1,776E+08
Cs-137	3,793E+11
Ce-144	5,428E+12
Pu-241	1,1505E+04

Tahap awal dilakukan nya simulasi yaitu mempersiapkan data data awal seperti data meteorologi, keadaan atmosfer, data inventori hasil dari program Origen2.1. Setelah semua terkumpul, dibuat simulasi dengan asumsi kecelakaan reaktor terjadi pada bulan Juni 2017, dengan kestabilan atmosfer disekitar reaktor Kartini sangat ekstrim sehingga menurut *Pasquill* untuk kondisi seperti itu bernilai A atau 1. Kecepatan dan arah angin diambil pada bulan Juni 2017 sehingga masing-masing bernilai 5.28 m/s dan 135° (angin bergerak dari tenggara). Berdasarkan hasil Pc-Cosyma, radionuklida yang menjadi fokus pembahasan yaitu Stronsium-90, Cesium-137 dan Iodium-131, dikarenakan efek yang ditimbulkan oleh nuklida tersebut sangat berbahaya untuk lingkungan dan kesehatan. Ketiga nuklida tersebut memiliki organ kritis, yang apabila terkena organ tersebut akan secara cepat diserap. Penelitian ini diasumsikan kecelakaan reaktor terdeteksi hingga radius 10 km dari pusat ledakan.

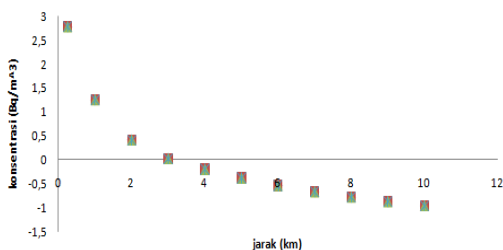
Setelah data input inventory selesai, kemudian dibuat input Pc-Cosyma pada *main menu Input Interface*, setelah selesai dibuat input selanjut nya klik *Calculating* dan hasil akan terbaca di *result interface* berupa nilai konsentrasi di tanah. Dapat dilihat pada tabel dibawah ini merupakan nilai konsentrasi Sr-90 :

Tabel 3 : Nilai Konsentrasi Sr-90 dalam satuan Bq/m³

Jarak (km)	Konsentrasi
0,25	624,8
1	18,1
2	2,61
3	1,06
4	0,627
5	0,410
6	0,287
7	0,212
8	0,163
9	0,130
10	0,108

Dari tabel diatas, dapat dibuat grafik hubungan konsentrasi terhadap jarak, terlebih dahulu data diubah dalam fungsi Logaritma agar mudah dibaca. Seperti dibawah ini :

Grafik Hubungan Konsentrasi Nuklida Sr-90 Terhadap Jarak



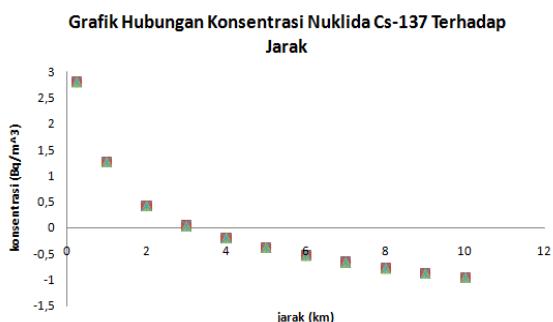
Gambar 3 : Grafik hubungan Konsentrasi Sr-90 terhadap jarak

dibawah ini merupakan tabel hasil konsentrasi dari nuklida Cs-137 :

tabel 4 : Nilai Konsentrasi Cs-137 dalam satuan Bq/m³

Jarak (km)	Konsentrasi
0,25	643,5
1	18,64
2	2,687
3	1,092
4	0,646
5	0,422
6	0,296
7	0,218
8	0,168
9	0,134
10	0,111

Dibuat grafik seperti dibawah ini :



Gambar 4: Grafik hubungan konsentrasi Cs-137 terhadap jarak

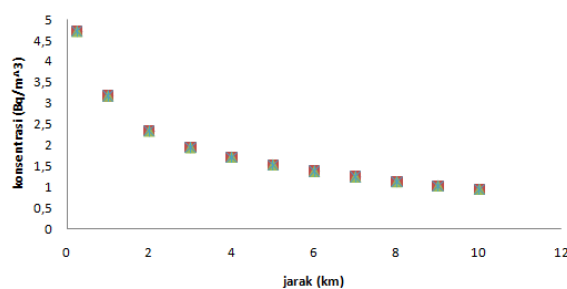
Untuk nuklida Iodium-131 didapatkan nilai konsentrasi yang terdeposisi di tanah sebagai berikut :

Tabel 5 : Nilai Konsentrasi I-131 Bq/m³

Jarak (km)	Konsentrasi
0,25	52910
1	1529
2	220,4
3	89,49
4	52,87
5	34,54
6	24,17
7	17,81
8	13,7
9	10,94
10	9,038

Didapatkan grafik seperti dibawah ini :

Grafik Hubungan Konsentrasi Nuklida I-131 Terhadap Jarak



Gambar 5 : Grafik Konsentrasi I-131 terhadap jarak

Jika dilihat dari hasil diatas, nilai konsentrasi terbesar terdapat pada nuklida Iodium-131, hal ini dipengaruhi oleh besar nya data inventory dari program origen. Besar nya nilai konsentrasi juga dipengaruhi oleh kecepatan angin pada saat terjadinya kecelakaan, atau dispersi di atmosfer dan karakterisasi dari nuklida itu sendiri. Secara umum pengaruh mekanisme deposisi radionuklida sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti curah hujan, distribusi nuklida di atmosfer dan mobilitas kontaminan ke permukaan tanah. Semakin besar konsentrasi radionuklida yang terpapar ke lingkungan maka dampak yang ditimbulkan dalam jangka waktu yang panjang akan sangat berbahaya dan efek untuk kesehatan akan menyebabkan kanker bahkan kematian.

Jika dibandingkan dengan Perka BAPETEN dari ketiga nuklida tersebut, yaitu I-131 sebesar 6,4E+03, Cs-137 sebesar 2,5E+02 dan Sr-090 sebesar 9,4E+03. Jika dilihat dari data yang dihasilkan, nilai konsentrasi yang melebihi Perka BAPETEN yaitu nuklida I-131 dan Cs-137 pada jarak 0 sampai 0,25 km dari pusat kecelakaan. Sedangkan untuk nuklida Sr-090 masih dalam batas aman.

KESIMPULAN

Dari penelitian dilakukan dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai konsentrasi dipengaruhi oleh besarnya jumlah radioaktivitas yang keluar ke lingkungan dan karakterisasi dari nuklida itu tersendiri. Jika dilihat dari hasil simulasi, zona bahaya akibat kecelakaan reaktor yaitu pada jarak 0 km sampai 0,25 km dari pusat ledakan karena pada jarak ini konsentrasi beberapa nuklida masih sangat besar, yaitu Iodium-131 dan Cesium-137 yang dapat menyebabkan Kanker Kelenjar Tiroid dan Kanker Tulang jika terpapar dalam jumlah yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan untuk Bapak Drs. Suharyana M.Si dan Ibu Dr. Diah Hidayanti yang telah membimbing saya dan memberikan informasi baru dalam penyusunan jurnal ini. Dan saya ucapkan terima kasih pula untuk teman-teman Grup Riset Nuklir dan Radiasi Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan dukungan dan motivasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suharno., Tjahjono, Hendro., Sugiyanto. (1996). *Reaktor Nuklir dan Aspek Radiologisnya*. Pusat Penelitian Teknologi dan Keselamatan Reaktor.
- [2] Rohman, Budi. (2009). Verifikasi Perhitungan Temperatur Elemen Bahan Bakar Reaktor Kartini. Prosiding Keselamatan Nuklir-BAPETEN.
- [3] Suharyana., Khakim, Azizul. (2016). *Fisika Reaktor*. Surakarta : UNS Press.
- [4] Hermawan, Nanang Triagus. (2009). *Kecelakaan Reaktor Chernobyl*. MREN-ITB.