

PENENTUAN KLAS KEDARURATAN RSG-GAS AKIBAT MELELEHNYA 5 ELEMEN BAKAR DAN 1 ELEMEN KENDALI

*Kadarusmanto, Suhartono
Pusat Reaktor Serba Guna, BATAN
Email : kadar@batan.go.id*

ABSTRAK

PENENTUAN KLAS KEDARURATAN RSG-GAS AKIBAT MELELEHNYA 5 ELEMEN BAKAR DAN 1 ELEMEN KENDALI. Saat ini RSG-GAS beroperasi dengan daya 15 MW dengan menggunakan bahan bakar silisida. Dalam Pengoperasian RSG-GAS dapat terjadi kecelakaan yang mengakibatkan kedaruratan. Sumber radiasi yang dapat mengakibatkan kecelakaan di RSG-GAS adalah bahan bakar. Kecelakaan dipostulasikan akibat melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dengan fraksi bakar 60% dan terjadinya kegagalan sistem proteksi reaktor sehingga terjadi lepasan radioaktif ke lingkungan. Makalah ini membahas kecelakaan radiasi disebabkan melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali serta membahas klasifikasi kedaruratan yang harus ditetapkan akibat dari kecelakaan tersebut. Perhitungan lepasan radioaktif dilakukan dengan menggunakan paket program Origen2 dan HotSpot. Dari hasil perhitungan dengan Origen2 diperoleh aktivitas total sebesar $5,352 \times 10^6$ Curie. Hasil perhitungan dengan HotSpot diperoleh bahwa pada jarak 5 km *Total Effective Dose Equivalent* (TEDE) adalah sebesar 200 mSv dan berdampak sampai ke luar tapak. Oleh sebab itu klas kedaruratan RSG-GAS digolongkan sebagai klas Kedaruratan Umum sehingga Pengusaha Instalasi harus menyiapkan tablet yodium untuk pekerja dan penduduk dalam zona perencanaan (UPZ) dan dalam menanggulangi kedaruratan harus melakukan koordinasi dengan instansi luar Batan. Dengan diketahuinya klas kedaruratan, maka RSG-GAS dapat lebih siap apabila terjadi kedaruratan.

Kata Kunci : kedaruratan, elemen bakar, lepasan radioaktif

ABSTRACT

CLASSIFICATION OF NUCLEAR EMERGENCY OF THE GA. SIWABESSY REACTOR DUE FIVE STANDARD FUELS AND ONE CONTROL FUEL MELTING. Currently the GA. Siwabessy fueled using silicide fuel is reactor operated at 15 MW. Fuel itself is considered as radiation source able to cause an accident then emergency measure need to be developed to mitigate the consequences. This paper talk about radiation accident due to five standard fuels and 1 control fuel having burn up of 60% melting and it discusses of emergency classification should be determined due that accident. Calculation of radiation release to the environment is carried out using ORIGEN2 computer code and HotSpot. Result from ORIGEN2 is obtained that total activities is $5,352 \times 10^6$ Curie. Meanwhile, HotSpot provides Total Effective Dose

Equivalent (TEDE) of 200 mSv at a distance of 5 km This radiation release having effect to the environment. Therefore the nuclear emergency of the GA Siwabessy reactor is determined as General Emergency at which Installation Authority should provide yodium tablet to workforce and nearby resident (UPZ). Emergency management have to coordinate with external body. Recognizing nuclear emergency class is important to effectively manage activities.

Key words: Emergency, fuel element, radiation release

PENDAHULUAN

RSG-GAS merupakan reaktor riset dengan daya nominal 30 MW, pengoperasian RSG-GAS menggunakan 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali dengan pengayaan 19,75%^[1], setiap kali pergantian teras dilakukan penggantian 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali. Pada awalnya RSG-GAS menggunakan elemen bakar jenis oksida, saat ini RSG-GAS beroperasi dengan menggunakan elemen bakar silisida dan dioperasikan pada daya 15 MW.

Selama pengoperasian RSG-GAS dapat terjadi kedaruratan berupa kecelakaan akibat lepasan radioaktif ke lingkungan melalui cerobong. Untuk menentukan klas kedaruratan, kecelakaan dipostulasikan dengan melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali serta terjadinya kegagalan sistem proteksi reaktor sehingga terjadi lepasan radioaktif ke lingkungan.

Makalah ini membahas kecelakaan radiasi disebabkan melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali serta membahas klasifikasi kedaruratan yang harus ditetapkan akibat dari kecelakaan tersebut. Perhitungan lepasan radioaktif ke lingkungan dilakukan dengan menggunakan paket program Origen2 dan HotSpot perhitungan aktivitas radionuklida dilakukan menggunakan paket program Origen2, sedangkan untuk menghitung penyebaran gas atau partikel radionuklida yang terlepas ke atmosfer digunakan Paket Program HotSpot. Hasil perhitungan digunakan untuk mengklasifikasi tingkat kedaruratan nuklir yang perlu disiapkan.

Diharapkan dengan mengakui tingkat kedaruratan manajemen dapat menyiapkan infrastruktur dan menyiapkan komunikasi dengan pihak luar PRSG dengan efektif.

METODOLOGI

Sesuai dengan Perka Bapeten No. 1 tahun 2010^[2], dalam menetapkan program kesiapsiagaan nuklir perlu dilakukan kajian potensi bahaya radiologi dari RSG-GAS sesuai dengan kategori bahaya radiologi. Sumber radiasi RSG-GAS yang dapat mengakibatkan terjadinya dampak radiologi bila terjadi kecelakaan terparah adalah bahan bakar. Kecelakaan terparah dipostulasikan akibat 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dengan fraksi bakar maksimum (fraksi bakar maksimum yang diizinkan oleh Bapeten untuk pengoperasian RSG-GAS adalah 59,59%) meleleh dan terjadinya kegagalan sistem proteksi reaktor, sehingga terjadi lepasan radioaktif ke lingkungan. Untuk menghitung aktivitas radionuklida akibat melelehnya bahan bakar dilakukan dengan menggunakan paket program Origen2, sedangkan perhitungan TEDE (*Total Effective Dose Equivalent*), radioaktivitas udara, kontaminasi permukaan dan laju dosis dilakukan dengan menggunakan paket program HotSpot.

Paket Program Origen2

Paket Program Origen2 yang dikembangkan oleh Radiation Shielding Information Centre, Oak Ridge National Laboratory (RSIC-ORNL) pada dasarnya merupakan paket

program untuk menghitung penyusutan dan pembentukan radionuklida yang berada di dalam teras reaktor akibat adanya reaksi dengan neutron, selain itu Origen2 dapat juga digunakan untuk menghitung komposisi nuklida, aktivitas nuklida, panas peluruhan dll. Secara teoritis jumlah suatu radionuklida dalam reaktor selalu berubah sebagai fungsi waktu sebagai akibat dari proses penyusutan karena pembelahan, proses aktivasi maupun peluruhan. Secara matematis perubahan tersebut dinyatakan dalam bentuk persamaan^[3] :

$$\frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^N l_{ij} \lambda_j X_j + \Phi \sum_{k=1}^N f_{ik} \sigma_k X_k - (\lambda_i + \Phi \sigma_i) X_i \quad (i = 1, \dots, N) \quad (1)$$

dengan :

X_i = konsentrasi nuklida- i

l_{ij} = fraksi peluruhan dari nuklida- j ke nuklida- i

λ_j = konstanta peluruhan nuklida- j

X_j = konsentrasi nuklida- j

Φ = fluks neutron rerata

f_{ik} = fraksi absorpsi neutron dari nuklida- k yang membentuk nuklida- i

σ_k = tampang lintang absorpsi mikroskopis nuklida- k pada neutron rerata

X_k = konsentrasi nuklida- k

σ_i = tampang lintang absorpsi mikroskopis nuklida- i pada neutron rerata

Dengan menggunakan persamaan (1) dapat dihitung aktivitas suatu nuklida. Dalam melakukan perhitungan aktivitas melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dilakukan dengan asumsi :

1. Berat U-235 untuk elemen bakar : 250 gram
2. Berat U-235 untuk elemen kendali : 178,5 gram
3. Pengayaan : 19,75%
4. Fraksi Bakar : 60%
5. Operasi Reaktor : 15 MW
6. Elemen Bakar yang meleleh : 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali

Aktivitas 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dengan fraksi bakar 60% hasil perhitungan Origen2 menjadi salah satu data inputan untuk program HotSpot.

Paket Program HotSpot

Paket Program Hotspot yang dikembangkan National Atmospheric Release Advisory Center merupakan paket program yang dapat digunakan untuk simulasi bila terjadi kecelakaan di instalasi nuklir. Penyebaran gas atau partikel radionuklida yang terlepas ke atmosfer dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin. Atmosfir umumnya mengalami turbulensi, dan material yang terlepas mengalami difusi selama penyebaran. Konsentrasi radionuklida di atmosfer dihitung dengan persamaan Gaussian model :

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad (2)$$

dengan :

C = konsentrasi radionuklida di atmosfer pada koordinat (x,y,z), Ci/m³

Q = Source term (Ci) = Aktivitas (hasil perhitungan Origen2)

λ = tetapan peluruhan (s)

H = tinggi pelepasan efektif (m)

x = jarak downwind (m)

y = jarak crosswind (m)

z = ketinggian sumbu vertikal (m)

u =kecepatan angin rata-rata pada ketinggian lepasan (m/s)

L =ketinggian lapisan inversi (m)

Data yang diperlukan dalam perhitungan dengan menggunakan paket program HotSpot adalah :

1. Tinggi cerobong : 56 m
2. Diameter cerobong : 1,5 m
3. Laju alir udara dari cerobong : 3,4 m/s
4. Temperatur udara : 29,1⁰C
5. Temperatur udara dalam cerobong : 28⁰C
6. Kecepatan angin : 1 m/s
7. Arah angin : Timur (rata-rata)
8. Stabilitas Udara : D (stabil)

Data no. 1 s/d 5 diperoleh dari data desain RSG-GAS^[1], sedangkan data no. 6 s/d 8 diperoleh dari data BMKG^[4]. Dengan memasukkan aktivitas hasil perhitungan Origen2 dan data di atas akan diperoleh hasil :

1. TEDE (*Total Effective Dose Equivalent*)
2. Radioaktivitas udara
3. Kontaminasi permukaan
4. Laju dosis

Berdasarkan Perka Bapeten No. 1 tahun 2010^[2], Kategori Bahaya Radiologi RSG-GAS masuk dalam Kategori II, sehingga Zona Tindakan Pencegahan (*Precautionary Action*

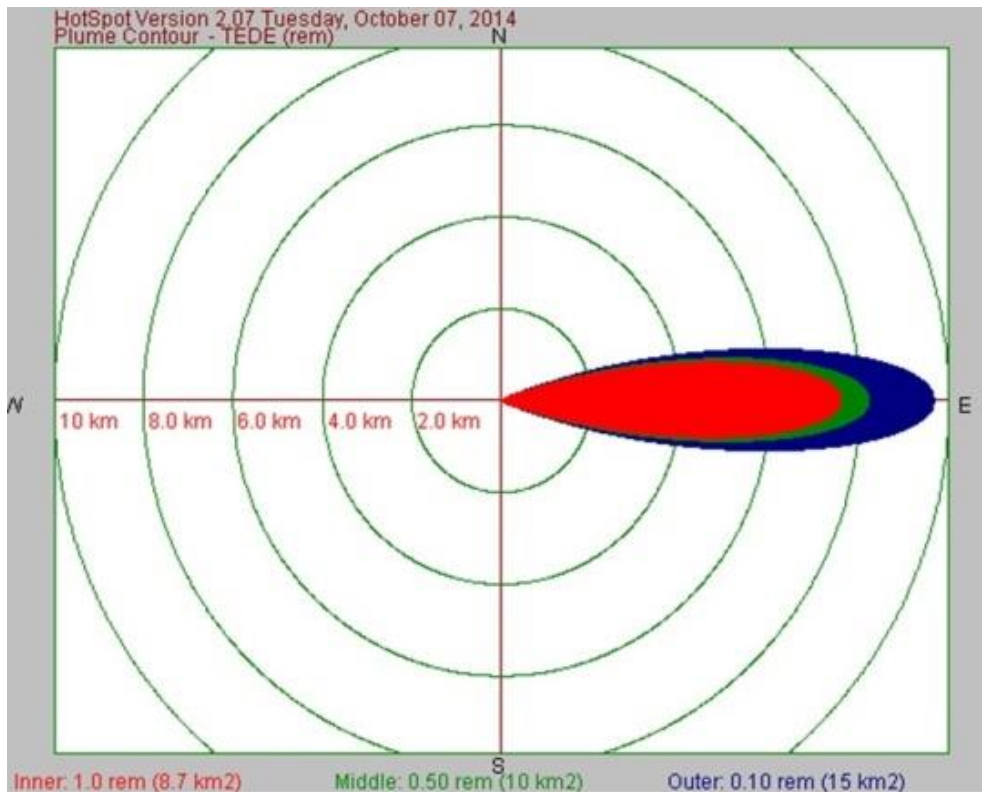
Zone, PAZ), Zona Perencanaan (*Urgent Protective Action Planning Zone, UPZ*) dan Zona Pengawasan Bahan Pangan (*Food Restriction Planning Radius, FRPR*) seperti diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1.Zona kedaruratan nuklir RSG-GAS

No.	Daerah	Radius [km]
1.	Zona Tindakan Pencegahan (<i>Precautionary Action Zone, PAZ</i>)	0 – 0,5
2.	Zona Perencanaan (<i>Urgent Protective Action Planning Zone, UPZ</i>)	0,5 – 5
3.	Zona Pengawasan Bahan Pangan (<i>Food Restriction Planning Radius, FRPR</i>)	5 – 50

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan aktivitas akibat melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dengan burn-up 60% dengan menggunakan Origen2 diperlihatkan pada tabel 1.



Gambar 1. Plume Contour TEDE

Dari tabel 3 dan gambar 1 diperoleh pada jarak 5 km dari RSG-GAS :

1. TEDE : 20 Rem (200 mSv)
2. Konsentrasi Udara : 0,27 Ci.det/m³
3. Laju Dosis : 0,2Rem/jam
(2mSv/jam)
4. Arah : Timur

Plume Contour TEDE seperti diperlihatkan pada gambar 1 menunjukkan bahwa dengan TEDE 1,0 Rem mempunyai luas 8,7 km², 0,5 mRem mempunyai luas 10 km² dan 0,1 mRem mempunyai luas 15 km² dengan arah ke timur dan pada jarak 10 km sudah lebih kecil dari 0,1 mRem.

Dari hasil di atas tampak bahwa dampak radiologi akibat melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dengan fraksi bakar 60% serta gagalnya sistem proteksi reaktor mengakibatkan dampak radiologi sampai ke luar tapak, maka kedaruratan yang terjadi masuk dalam klas Kedaruratan Umum, sehingga PI harus melakukan^[2] :

1. Tindakan perlindungan segera berupa : evakuasi, pemberian tempat berlindung sementara dan pemberian tablet yodium segera bagi pekerja di dalam zona tindakan pencegahan

(PAZ) dan masyarakat di dalam zona perencanaan (UPZ)

2. Pemantauan radiologi di dalam Zona Kedaruratan (PAZ, UPZ dan FRPR)
3. Menginstruksikan masyarakat dalam zona perencanaan (UPZ) untuk tetap berada di dalam rumah atau tempat berlindung sementara untuk instruksi lebih lanjut
5. Memberikan rekomendasi larangan mengonsumsi makanan yang berpotensi terkontaminasi dalam radius yang ditetapkan sebagai zona pengawasan bahan pangan (FRPR)
6. Membatasi akses ke zona pencegahan (PAZ)
7. Melakukan pemantauan radiologi terhadap orang yang dievakuasi untuk menentukan tindakan dekontaminasi atau perawatan medis yang diperlukan

Dalam penanggulangan kedaruratan umum Pemegang Izin (PI) berkoordinasi dengan Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN) sebagai pengelola Kawasan Nuklir Serpong (KNS). PPIKSN akan meminta bantuan kepada instansi lain yaitu : Pemerintah Daerah, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), Kepolisian, Dinas Pemadam Kebakaran dan Rumah Sakit. Tempat pengungsian ditetapkan oleh BPBD dengan alternatif gedung Kecamatan Setu dan gedung Dewan Perwakilan Rakyat Daerah (DPRD) Tangsel, dan kompleks Kompi NUBIKA Ciseeng. BPBD dapat meminta bantuan kepada Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) bila penanggulangan kedaruratan nuklir tidak dapat ditanggulangi oleh BPBD^[5].

KESIMPULAN

Dengan melelehnya 5 elemen bakar dan 1 elemen kendali dengan fraksi bakar 60% dan terjadinya kegagalan sistem reaktor mengakibatkan dampak radiologi sampai ke luar tapak sehingga kedaruratan yang terjadi termasuk dalam klas Kedaruratan Umum. PI harus menyiapkan tablet yodium untuk pekerja dan penduduk dalam zona perencanaan (UPZ) agar pekerja dan penduduk yang terkena dampak lepasan zat radoaktif dapat diminimalisir. Dalam penanggulangan Kedaruratan Umum, PI harus berkoordinasi dengan PPIKSN. PPIKSN akan meminta bantuan kepada Pemerintah Daerah, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), Kepolisian, Dinas Pemadam Kebakaran, NUBIKA dan Rumah Sakit. Bila BPBD tidak mampu menanggulangi maka penanggulangan dilakukan oleh BNPB. Dengan diketahuinya klas kedaruratan, maka RSG-GAS dapat lebih siap apabila terjadi kedaruratan nuklir sehingga dampak terhadap masyarakat dan lingkungan disekitar RSG-GAS dapat diminimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

1. **BAPETEN**, “Peraturan Kepala Bapeten No. 1 tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir”, 2010.
2. **KADARUSMANTO dkk**, “Pemanfaatan Paket Program Origen2”, 1990.
3. **PRSG**, “Laporan Analisis Keselamatan RSG - GAS Rev. 10.1”, 2011

4. **BATAN-BMKG**, “Laporan Pemutakhiran Data Meteorologi Kawasan Nuklir Serpong, Data 2006 – 2010”, 2011.
5. **IAEA**, “IAEA-TECDOC-955 Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during A Reactor Accident”, 1997.
6. **BATAN**, “Peraturan Kepala BATAN No. 184/Ka/IX/2012 tahun 2012 tentang Program Kesiapsiagaan Nuklir Kawasan Nuklir Serpong Badan Tenaga Nuklir Nasional”, 2012.