

METODE PENYESUAIAN PUSTAKA ORIGEN2 UNTUK RSG-GAS

Mohammad Dhandhang Purwadi

ABSTRAK

MODIFIKASI ORIGEN2 UNTUK RSG-GAS. Penggunaan paket program komputer ORIGEN2 untuk menganalisis sifat material nuklir pasca iradiasi telah menjadi suatu kebutuhan pokok di PRSG dan pusat penelitian lain di lingkungan BATAN. Untuk mendapatkan hasil analisis yang akurat diperlukan penyesuaian pada pustaka nuklir dari paket program ini terhadap kondisi iradiasi, dan sedikit perubahan pada source programnya. Untuk memodifikasi ORIGEN2 telah dilakukan penelitian tahap pertama, yaitu penelitian terhadap struktur pustaka ORIGEN2 dan metodologi pembangkitan pustaka data nuklir yang sesuai dengan model reaktor GA. Siwabessy (RSG-GAS). Dari penelitian ini diperoleh metodologi serta perangkat lunak yang dibutuhkan untuk memodifikasi ORIGEN2.

Kata kunci: Siklus bahan bakar, Peluruhan radioaktif, Aktifasi neutron, Komposisi material, Panas peluruhan, point depletion, model simulasi RSG-GAS

ABSTRACT

MODIFICATION OF ORIGEN2 FOR RSG-GAS. Utilizations of ORIGEN2 for analyzing properties of irradiated material have been major demand in PRSG and other institutions in BATAN. To achieve appreciated accuracy of the analysis, modifications of nuclear data libraries and some source program according to irradiation condition are needed. For supporting the modifications, first step of research has been carried out. The research involving studies of the nuclear libraries structure of ORIGEN2 and the nuclear data generation method which match to the GA. Siwabessy reactor (RSG-GAS) model. From the research, the appropriate methods and softwares that required to modify ORIGEN2 are found.

Keywords: Fuel cycle, Radioactive decay, Neutron activation, Material komposisi, Decay heat, Point depletion, RSG-Gas simulation model

PENDAHULUAN

ORIGEN2 adalah paket program komputer fisika reaktor yang dapat menghitung karakteristik (komposisi, daya termal dlsb.) nuklida pada material nuklir dengan format yang baik. Selain ORIGEN2 tersedia beragam paket program lain yang cukup canggih dan

mempunyai kemampuan untuk memperhitungkan pengaruh tampang-lintang dan spektrum neutron untuk kelompok energi yang banyak. Tetapi paket program ini kebanyakan didisain untuk suatu kepentingan tertentu seperti analisis perpindahan panas, manajemen bahan bakar, dan canggih sehingga pengoperasiannya cukup rumit. Paket

program ORIGEN2, selain pengoprasiannya yang mudah, dapat mensimulasikan ragam siklus bahan bakar yang luas, dan mengolah data sesuai dengan standar dari paket program komputer fisika reaktor yang lebih canggih, misalnya format input yang bebas, format output yang dapat dikendalikan secara luwes. ORIGEN2 sangat intensif digunakan untuk menganalisis karakteristik bahan bakar bekas dan limbah nuklir yang merupakan kebutuhan utama dalam mendisain serta mempelajari sistem pengolahan bahan bakar bekas dan alat pengangkutnya.

ORIGEN2 dengan karakteristiknya seperti tersebut di atas, menjadikan paket program ini disenangi dan dipakai sangat luas secara internasional, termasuk pula di lingkungan BATAN. Karena itu pustakanya (tampang lintang) secara intensif telah dimodifikasi dan diverifikasi untuk beberapa tipe reaktor konvensional seperti PWR, BWR, LMFBR, dan CANDU. Sejak tahun 1988 ORIGEN2 telah diinstalasikan pada *main-frame* VAX-8550 milik BATAN dan dipakai di PRSG, kemudian meluas ke pusat-pusat yang lain di lingkungan BATAN. Kini ORIGEN2 telah tersedia pada komputer mikro (*PC: Personal Computer*) dan menjadi alat pendukung utama dalam program pengendalian bahan-bahan nuklir (*nuclear material safeguard*) di PRSG. Walaupun demikian hingga kini pustaka pada ORIGEN2 belum disesuaikan dengan kondisi reaktor-reaktor yang ada di BATAN, terutama reaktor GA. Siwabessy.

Dengan semakin intensifnya pemakaian paket program ORIGEN2 di PRSG dan pusat-pusat lain di lingkungan BATAN, penyesuaian pustaka dan beberapa bagian *source program* ORIGEN2 dengan kondisi reaktor GA. Siwabessy pada khususnya serta verifikasi telah menjadi suatu

kebutuhan yang mendesak. Desakan kebutuhan akan modifikasi ORIGEN2 semakin tinggi sesuai dengan tuntutan terhadap ketelitian hasil perhitungannya yang sangat diperlukan dalam analisis untuk menunjang pelaksanaan program-program BATAN.

Untuk melakukan penyesuaian pustaka dan beberapa bagian *source program* ORIGEN2 diperlukan studi intensif mengenai metodologi penyesuaian ORIGEN2 yang seksama. Disamping itu pemilihan perangkat lunak pembangkit pustaka nuklir juga menentukan hasil penyesuaian ORIGEN2. Dalam tulisan ini akan dibahas tentang tata cara atau metodologi penyesuaian ORIGEN2 yang telah diperoleh dari penelitian ini dan karakteristik beberapa perangkat lunak yang dipilih secara singkat. Penelitian tentang modifikasi ORIGEN2 direncanakan akan berlangsung selama dua tahun. Tahun pertama bertujuan untuk menentukan metodologi penyesuaian yang seksama dan memilih perangkat lunak yang memadai. Pembangkitan data dan mencangkokkan ke pustaka ORIGEN2 serta penyesuaian *source program* akan menjadi kegiatan utama di tahun berikutnya. Dari hasil penelitian ini telah dipilih dan diperoleh perangkat lunak pembangkit data nuklir yang memadai untuk modifikasi pustaka ORIGEN2, yaitu: JENDL-3.2, ENDF/B6, NJOY-97, CITATION LDI-2. Seluruh perangkat lunak yang telah diperoleh adalah versi PC.

TEORI

Untuk memodifikasi pustaka data nuklir dalam ORIGEN2 diperlukan informasi mengenai struktur dan komposisi pustaka ORIGEN2, model RSG-GAS yang seksama, dan sumber data nuklir yang memadai serta perangkat lunak pembangkit dan pengolah data nuklir. Berikut ini akan dijelaskan secara rinci tentang bagian-bagian penting tersebut.

Pustaka ORIGEN2

ORIGEN2 adalah paket program komputer fisika reaktor yang dapat menghitung karakteristik (komposisi, daya termal dlsb.) nuklida pada material nuklir pasca iradiasi dengan format yang baik. Dalam perhitungan, ORIGEN2 menggunakan model reaktor yang sederhana yaitu model reaktor titik dengan energi neutron satu kelompok. Karena itu pengoperasiannya sederhana dan mudah, akan tetapi tetap dapat mensimulasikan ragam siklus bahan bakar yang luas dengan hasil yang memadai, dan mengolah data sesuai dengan standar

pada paket program komputer fisika reaktor yang lebih canggih seperti format input yang bebas, format output yang dapat dikendalikan secara luwes dan lain sebagainya. Pustaka data nuklir dalam ORIGEN2 terdiri atas tampang lintang neutron, data peluruhan dan rendemen (*yield*) reaksi fisi, rendemen foton gamma. Dari sudut pandang nuklida, data tersebut dapat digolongkan atas aktinida, hasil fisi dan hasil aktivasi. Masing-masing berjumlah 130, 850 dan 720, total nuklida 1700 nuklida. Nuklida tersebut dapat dikelompokkan sebagai terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Pustaka Data Nuklir dalam ORIGEN2

No	Jenis Pustaka Data Nuklir
1	Tampang lintang mikroskopis efektif satu kelompok (n, γ), ($n,2n$), ($n,3n$), (n,p), (n,f), (n, α) - Produk aktivasi dan bahan struktur - Aktinida - Produk fisi
2	Data peluruhan dan rendemen reaksi fisi
3	Spektrum foton gamma (18 kelompok)

Pustaka Data Nuklir Terevaluasi

Kini terdapat banyak sumber data nuklir yang telah diorganisir dengan format yang baik dan direkam dalam berkas magnetik untuk dibaca dengan komputer. Data tersebut dikumpulkan dengan eksperimen secara diferensial maupun integral dan kemudian dievaluasi dengan model-model perhitungan tertentu untuk memperoleh data nuklir terevaluasi. Dari sudut pandang representasi data nuklir (terutama data tampang lintang neutron), pustaka data nuklir terevaluasi dapat digolongkan menjadi dua golongan yaitu, pustaka yang menampilkan tampang lintang bersama parameter resonansi secara langsung (seperti:

ENDF/B, JENDL, SOKRATOR) dan pustaka yang menampilkan tampang lintang dalam bentuk tabel bersama kaidah interpolasi antara titik data dalam tabel (seperti: KEDAK, JEF, UKNDL, ENDL).

Dalam penelitian ini akan digunakan pustaka data nuklir terevaluasi golongan pertama, yaitu ENDF/B6 dan JENDL3.2. Kedua pustaka ini merepresentasikan data nuklir dengan format struktur sebagai berikut:

1. Interaksi neutron
 - a. Tabel tampang lintang pada energi rendah

- b. Tabel parameter resonansi teratur (*resolved resonance*) dan tampang lintang *background*
 - c. Tabel parameter resonansi tak-teratur (*unresolved resonance*) dan tampang lintang *background*
 - d. Tabel tampang lintang pada energi tinggi
2. Produksi foton karena interaksi neutron
 3. Interaksi foton
 4. Produksi partikel bermuatan karena interaksi neutron
 5. Produksi *Effect* seperti panas (KERMA) dan pergeseran (DPA)

Pembangkitan Pustaka Data Nuklir

Pembangkitan pustaka data nuklir dalam memodifikasi ORIGEN2 dimulai dari proses pengolahan terhadap data nuklir terevaluasi (ENDF/B6 dan JENDL-3.2). Data nuklir dalam pustaka data terevaluasi tersedia dalam bentuk tabel dari titik pengukuran yang diperoleh dari eksperimen di lapangan dan telah

melewati suatu proses evaluasi dengan model perhitungan tertentu.

Data ini kemudian diolah dengan suatu perangkat lunak menjadi pustaka data nuklir kelompok energi (*nuclear group constant*). Struktur kelompok energi biasanya dibuat sehalus mungkin (*fine nuclear group constant*) sesuai dengan kebutuhan terhadap ketelitian analisis. Hasil struktur data inilah yang kemudian diacu sebagai pustaka data nuklir banyak-kelompok, dan sering dipakai dalam analisis perhitungan neutronik statis teras reaktor nuklir.

Pustaka data nuklir banyak kelompok yang halus mempunyai jumlah kelompok energi yang cukup banyak, dalam suatu analisis terhadap teras reaktor nuklir, karena suatu alasan, jumlah kelompok kadang-kadang harus dikurangi dengan cara menjadikan beberapa kelompok energi menjadi satu kelompok energi (*group collapsing*). Untuk mengurangi jumlah kelompok energi dapat digunakan persamaan berikut.

$$\langle \Sigma_i \rangle_g = \frac{\int_g^{g+1} \Sigma_i(E) \phi(E) dE}{\int_g^{g+1} \phi(E) dE} \quad (1)$$

$\langle \Sigma_i \rangle_g$: Tampang lintang makroskopis efektif dari interaksi i untuk kelompok energi g

$\Sigma_i(E)$: Tampang lintang makroskopis dari interaksi i sebagai fungsi energi neutron

$\phi(E)$: Spektrum neutron efektif pada tempat iradiasi terjadi (sebagai pembobot)

g : Subkrip yang menunjukkan satu kelompok energi neutron

Model Simulasi RSG-GAS

Dari persamaan (1) dapat dilihat bahwa untuk menyusutkan jumlah kelompok energi diperlukan spektrum neutron efektif, $\phi(E)$, pada tempat iradiasi berlangsung. Untuk iradiasi yang dilakukan di dalam teras suatu reaktor, maka spektrum neutron pada teras tersebut harus diketahui apabila

penyusutan kelompok energi neutron akan dilakukan dalam teras tersebut.

Dari persamaan (1) dapat disimpulkan bahwa tampang lintang efektif dalam teras reaktor sangat bergantung pada kondisi teras reaktor, $\phi(E)$. Perubahan sekecil apapun dapat menjadi penyebab perubahan spektrum neutron teras, dan tampang lintang

neutron efektifnya juga akan berubah. Di sinilah letak pentingnya perhitungan spektrum neutron dalam menetapkan pustaka data nuklir yang sesuai. Dalam memodifikasi pustaka ORIGEN2 yang disesuaikan dengan kondisi RSG-GAS, penyusutan kelompok energi pustaka data nuklir mutlak untuk dilakukan karena dalam analisis ORIGEN2 menggunakan pustaka data nuklir satu kelompok energi neutron. Untuk mendukung proses penyusutan kelompok energi diperlukan model simulasi RSG-GAS yang seksama. Dengan model ini diharapkan akan diperoleh spektrum neutron yang dapat mewakili kondisi RSG-GAS dalam rentang yang cukup luas. Sesuai dengan struktur dan bentuk teras RSG-GAS, dalam analisis teras model simulasi RSG-GAS biasanya dilakukan pemodelan sebagai berikut:

- Perhitungan sel: Satu sel diwakili oleh satu elemen bakar dengan model sebagai kumpulan banyak lempeng (*multi-plate*) dengan masing-masing lempeng diandaikan sebagai bentuk slab semi-infinit. Jumlah slab sama dengan jumlah lempeng pada elemen bakar yang sesungguhnya.
- Perhitungan teras: Teras dimodelkan sebagai bentuk balok, analisis dapat dilakukan dengan menggunakan teori difusi neutron dua dimensi. Variasi aksial dapat diperoleh dengan perhitungan *buckling*. Untuk menambah ketelitian dapat digunakan difusi tiga dimensi.
- Perhitungan derajat bakar: Derajat bakar akan mempengaruhi komposisi material dalam teras reaktor, dan berkaitan dengan itu spektrum neutron juga akan terpengaruh olehnya. Penentuan derajat bakar akan mengalami kesulitan karena derajat bakar akan berubah dari waktu ke waktu selama reaktor beroperasi. Karena itu perlu ditentukan suatu nilai

derajat bakar yang dapat mewakili kondisi derajat bakar teras dengan rentang yang cukup luas.

Perangkat Lunak Pembangkit Data Nuklir

Untuk mendukung proses modifikasi pustaka ORIGEN2, diperlukan perangkat lunak yang memadai. Dalam memilih perangkat lunak yang akan digunakan perlu dipertimbangkan beberapa hal tentang format dan jenis sumber pustaka dan data fisis RSG-GAS. Selain itu perlu pula dipertimbangkan ketersediaan perangkat keras yang akan digunakan untuk mengeksekusi perangkat lunak tersebut.

Dalam penelitian ini, dengan pertimbangan tersebut di atas, telah dipilih dan diperoleh perangkat lunak pembangkit pustaka data nuklir sebagai berikut.

- ENDF/B6 dan JENDL-3.2. Perangkat lunak ini berisi pustaka data nuklir terevaluasi yang belum diproses. Dalam perangkat lunak ini data nuklir disusun dalam bentuk tabel bersama dengan parameter resonansinya. Untuk mendapatkan data nuklir banyak kelompok dari sumber pustaka data nuklir ini diperlukan suatu pemrosesan lanjut dengan perangkat lunak pemroses data nuklir. ENDF/B6 berisi data nuklir untuk 593.254 nuklida. JENDL-3.2 mempunyai format penulisan data nuklir yang sama dengan ENDF/B6 untuk 370 nuklida.
- NJOY-97. Perangkat lunak sistem pemroses pustaka data nuklir. Perangkat lunak ini dapat memroses sumber pustaka data nuklir dengan format ENDF/B6. Hasil yang diperoleh dapat berbentuk data nuklir banyak-kelompok maupun data titik.

- **WIMS/D4.** Perangkat lunak ini sudah menjadi alat utama di PRSG untuk perhitungan sel, karena itu hasil perhitungan terhadap RSG-GAS dengan menggunakan perangkat lunak ini telah banyak dipublikasikan secara nasional. Metode yang digunakan dalam perangkat lunak ini adalah metode ordinat diskrit untuk menyelesaikan persamaan transport neutron di dalam satu satuan sel.
- **CITATION LDI-2.** Perangkat lunak untuk perhitungan teras dan derajat bakar ini sudah terkenal dan banyak dipakai secara internasional. Perangkat lunak ini termasuk tua usianya, dan telah menjadi standar perangkat lunak perhitungan teras. Metode beda hingga (*FDM: Finite Difference Method*) digunakan dalam perangkat lunak ini untuk menyelesaikan persoalan difusi neutron dua atau tiga dimensi dalam teras reaktor yang telah dihomogenisasi atas susunan sel-sel kisi penyusun teras.

Pada saat ini, perangkat lunak tersebut diatas telah diperoleh dalam versi PC. Dalam penelitian ini pengadaan perangkat lunak membutuhkan waktu yang cukup lama sehingga menghambat jadwal penelitian yang direncanakan. Krisis moneter yang melanda Indonesia menjadi faktor penghambat utama dalam

pengadaan perangkat lunak yang sukar dihindari oleh siapapun di Indonesia.

PEMBAHASAN

Dalam bab teori di muka telah dijelaskan tentang struktur pustaka data ORIGEN2. Pustaka data ORIGEN2 terdiri atas data tampang lintang neutron, data peluruhan dan rendemen fisi, dan rendemen foton gamma. Dari tiga kelompok ini, sesuai dengan persamaan (1), data tampang lintang neutron sangat tergantung dengan model simulasi reaktor. Karena itu dalam memodifikasi pustaka ORIGEN2 agar sesuai dengan kondisi RSG-GAS, data tampang lintang neutron perlu dimodifikasi. Data rendemen reaksi fisi mempunyai keterkaitan dengan material fisil dan fertil yang digunakan di dalam reaktor. Karena RSG-GAS memakai reaktor dengan bahan fisil dan fertil yang sama dengan model reaktor yang pustakanya ada dalam ORIGEN2, maka data rendemen fisi tidak perlu dilakukan penyesuaian. Penyesuaian untuk data ini baru diperlukan bila di teras RSG-GAS digunakan bahan fisil dan fertil lain dari yang ada dalam pustaka ORIGEN2 (misal thorium, plutonium). Data foton gamma merupakan data karakteristik nuklida yang tidak mempunyai ketergantungan dengan model reaktor, karena itu tidak perlu dimodifikasi. Jenis pustaka data ORIGEN2 yang perlu dimodifikasi dapat diringkas sebagai tabel berikut ini.

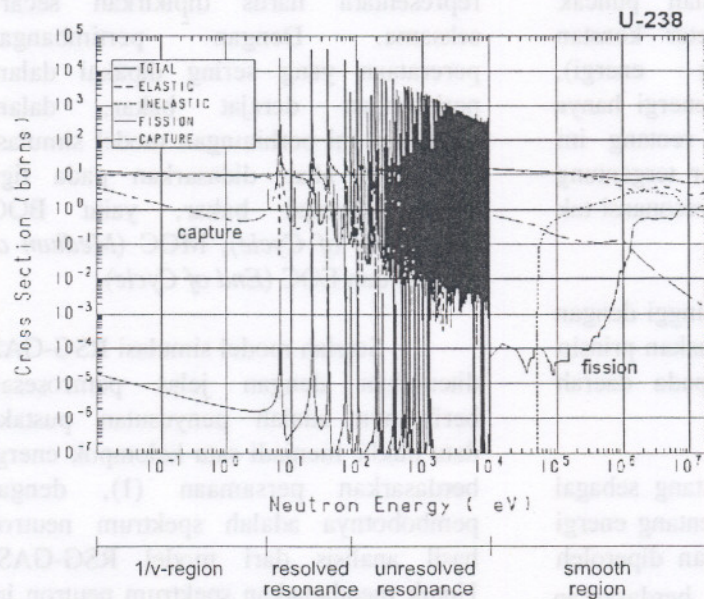
Tabel 2. Pustaka ORIGIN2 Yang Perlu Dimodifikasi

No.	Pustaka Data	Penyesuaian
1.	Tampang lintang mikroskopis (*) satu grup, yaitu (n, γ_0) , $(n, 2n)$, $(n, 3n)$, (n, p) , (n, f) , (n, ∞) untuk nuklida: - produk aktivasi dan bahan struktur - aktinida - produk fisi	perlu
2.	Data peluruhan dan rendemen fisi	tidak perlu
3.	Spektrum foton gamma (18 kelompok)	tidak perlu

Dalam memodifikasi pustaka ORIGIN2, sesuai dengan penjelasan sebelumnya, penyesuaian tidak dapat dilakukan terhadap pustaka asli yang ada dalam ORIGIN2. Karena itu dalam modifikasi ini diperlukan sumber data nuklir dari pustaka data nuklir terevaluasi. Pada penelitian ini pustaka data nuklir terevaluasi yang akan digunakan adalah ENDF/B6 dari Pusat Data Nuklir Nasional Amerika dan JENDL-3.2 dari Institut Penelitian Tenaga Atom Jepang. Pada kedua sumber pustaka data nuklir Gambar 1.

terevaluasi ini data disusun dalam bentuk tabulasi bersama dengan parameter resonansi, atau sebagai alternatif data disusun dalam bentuk tabulasi data titik.

Pada data dari sumber pustaka data nuklir terevaluasi di atas harus dilakukan pemrosesan khusus agar diperoleh data nuklir banyak-kelompok yang halus. Pemrosesan tersebut berbeda-beda menurut pembagian daerah energi tipikal pada spektrumnya, lihat



Gambar 1. Pembagian daerah pemrosesanampang lintang tipikal dalam ENDF/B6 dan JENDL-3.2

Pada rentang daerah energi rendah yang memiliki karakteristik hubungan yang linier, yaitu hubungan terbalik dengan energi atau kecepatan neutron (daerah $1/v$), perlu dilakukan pemrosesan interpolasi untuk merekonstruksi tampang lintang sebagai fungsi energi. Proses ini biasa disebut linearisasi. Proses linearisasi pada kedua sumber pustaka data tersebut dapat dilakukan dengan lima macam kombinasi sesuai skala sumbu koordinatnya, yaitu: linear-linear, linear-log, log-linear, log-log dan konstan. Rentang energi resonansi dibagi atas dua daerah, yaitu daerah resonansi teratur (*resolved resonance*) dan resonansi tak teratur (*unresolved resonance*). Rekonstruksi garis pada rentang resonansi teratur dapat digunakan parameter: Breit-Wigner level tunggal, Breit-Wigner level ganda, Reich-Moore, Adler-Adler. Pada daerah resonansi tak teratur, karena keteraturan tidak dapat diperoleh dengan pasti maka perhitungan hanya bisa dilakukan dengan memperhitungkan distribusi puncak sepanjang rentang energi tertentu. Untuk merekonstruksi distribusi dan tinggi puncak pada daerah resonansi tak teratur ini digunakan pendistribusian puncak berdasarkan prinsip parameter konstan (parameter tak-tergantungan energi), parameter tergantung pada energi hanya pada daerah fisi (di luar rentang ini dianggap konstan), parameter tergantung energi untuk seluruh daerah resonansi tak teratur.

Pada daerah energi tinggi dengan garis yang mulus dapat digunakan prinsip rekonstruksi garis seperti pada daerah energi rendah (daerah $1/v$).

Apabila tampang lintang sebagai fungsi energi pada seluruh rentang energi telah dapat direkonstruksi dan diperoleh $\Sigma(E) = N\sigma(E)$, maka berdasarkan persamaan (1), dengan pembobot suku-suku deret Legendre dapat disusun

pustaka data nuklir banyak-kelompok yang halus (biasanya terdiri dari lebih kurang seratus kelompok). Dalam penelitian ini, untuk melakukan pemrosesan terhadap sumber pustaka data nuklir ENDF/B6 dan JENDL-3.2 digunakan perangkat lunak paket program komputer NJOY-97. Dari hasil luaran paket program komputer ini akan diperoleh data pustaka nuklir banyak-kelompok.

Dengan diperolehnya pustaka data nuklir banyak-kelompok, proses dapat beranjak ke proses selanjutnya yaitu penyesuaian terhadap RSG-GAS. Proses ini merupakan inti dari modifikasi pustaka ORIGEN2 terhadap RSG-GAS, karena hasilnya sangat berkaitan dengan model simulasi teras RSG-GAS. Sebelum melakukan proses ini, terlebih dahulu harus ditetapkan model simulasi RSG-GAS. Dalam bab teori telah dibahas mengenai masalah pemodelan RSG-GAS, masalah yang timbul dalam pemodelan adalah penetapan faktor derajat bakar. Perlu diingat bahwa derajat bakar teras reaktor berubah dari waktu ke waktu karena penetapan derajat bakar yang representatif harus dipikirkan secara seksama. Dengan pertimbangan pemerataan yang sering dipakai dalam perhitungan derajat bakar, dalam penelitian ini perhitungan model simulasi RSG-GAS akan didasarkan pada tiga kondisi derajat bakar, yaitu BOC (*Beginning of Cycle*), MOC (*Medium of Cycle*), dan EOC (*End of Cycle*).

Setelah model simulasi RSG-GAS ditentukan dengan jelas pemrosesan berikutnya adalah penyusutan pustaka data nuklir menjadi satu kelompok energi berdasarkan persamaan (1), dengan pembobotnya adalah spektrum neutron hasil analisis dari model RSG-GAS. Untuk mendapatkan spektrum neutron ini perlu dilakukan perhitungan sel, perhitungan teras dan perhitungan derajat

bakar (teras dibakar hingga mencapai kondisi BOC, MOC, EOC). Perhitungan sel akan dilakukan dengan perangkat lunak paket program komputer WIMS/D4, yaitu perhitungan transport neutron dengan metode ordinat diskrit. Dari perhitungan sel akan diperoleh karakteristik dari sel homogen yang akan digunakan untuk merekonstruksi struktur keseluruhan teras pada perhitungan teras.

Perhitungan teras dan derajat bakar dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak paket program komputer CITATION LDI-2, yaitu perhitungan difusi neutron dua dimensi dengan metode beda hingga. Dalam luaran CITATION LDI-2, salah satunya terdapat spektrum neutron teras secara keseluruhan. Spektrum ini disebut juga dengan spektrum efektif dari model simulasi RSG-GAS. Karena itu tampang lintang neutron satu kelompok yang dihasilkan berdasarkan persamaan (1) dengan pembobot spektrum efektif disebut tampang lintang neutron efektif satu kelompok dari model RSG-GAS. Tampang lintang ini kemudian akan dicangkokkan di ORIGEN2 sebagai pengganti pustaka ORIGEN2 yang ada. Secara diskriptif seluruh proses pembangkitan pustaka data nuklir dari awal hingga akhir dapat digambarkan sebagai Gambar 2.

KESIMPULAN

Pada akhir pelaksanaan penelitian tahun pertama ini telah diperoleh pengetahuan yang memadai sebagai dasar untuk memodifikasi pustaka ORIGEN2 agar sesuai dengan kondisi model RSG-GAS. Pekerjaan yang harus dilakukan dalam modifikasi, atau lebih tepat disebut sebagai pembuatan pustaka ORIGEN2 adalah meliputi pembangkitan pustaka data nuklir banyak kelompok yang halus, pembuatan model simulasi RSG-GAS yang representatif, dan penyusutan pustaka data nuklir banyak kelompok halus menjadi pustaka data nuklir satu kelompok energi efektif untuk model RSG-GAS. Pemodelan teras reaktor RSG-GAS merupakan pekerjaan penting yang menentukan tingkat kesesuaian pustaka data nuklir dengan kondisi teras RSG-GAS.

Beberapa perangkat lunak yang sangat diperlukan dalam pembangkitan dan pengolahan data nuklir termasuk sumber pustaka data nuklir terevaluasi yang utama telah diperoleh, perangkat lunak tersebut adalah: JENDL-3.2, ENDF/B6, NJOY-97, WIMS/D4, CITATION LDI-2. Semua perangkat lunak tersebut dapat dieksekusi di PC.

DAFTAR PUSTAKA

1. CROFF, A.G., "A User's Manual for the ORIGEN2 Computer Code", ORNL/TM-7175, Oak Ridge National Laboratory. Tennessee (1980).
2. CROFF, A.G., "Origen2: A Versatile Computer Code for Calculating the Nuclide Composition and Characteristics of Nuclear Materials", Nucl. Technol. Vol.62 (1983).
3. CROFF, A.G. AND BJERKE, M.A., "Revised Uranium-Plutonium Cycle PWR and BWR Models for the ORIGIN Computer Code", ORNL/TM-6051, Oak Ridge National Laboratory (1980).
4. CROFF, A.G. AND BJERKE, M.A., "Alternatif Fuel Cycle PWR models for the ORIGIN Computer Code", ORNL/TM-7005, Oak Ridge National Laboratory (1980).

5. CROFF, A.G. AND BJERKE, M.A., "CANDU Models for the ORIGEN Computer Code", ORNL/TM-7177, Oak Ridge National Laboratory (1980).
6. CROFF, A.G. et al., "LMFBR Models for the ORIGEN2 Computer Code", ORNL/TM-7176, Oak Ridge National Laboratory (1981).
7. DERMOTT E. CULLEN, "Nuclear Cross Section Preparation", CRC Handbook of Nuclear Reactor Calculations Vol.1, CRC Press. Inc. (1986).
8. SUYAMA, K. et al., "Development of Libraries for ORIGEN2 Code Based on JENDL-3.2", Proceedings of The 1997 Symposium on Nuclear Data Nov. 27-28, 1997, JAERI, Tokai Japan (1997).



Gambar 2. Diagram alir proses pembangkitan pustaka data nuklir