

## STUDI PEMBANGKITAN TAMPANG LINTANG KELOMPOK UNTUK PERHITUNGAN REAKTOR

Tegas Sutondo

Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta - Badan Tenaga Atom Nasional

### ABSTRAK

STUDI PEMBANGKITAN TAMPANG LINTANG KELOMPOK UNTUK PERHITUNGAN REAKTOR. Dipelajari salah satu cara untuk membangkitkan pustaka tampang lintang kelompok dari arsip data yang paling dasar (ENDF/B atau JEF). Tujuannya untuk menyiapkan data masukan pada beberapa program perhitungan reaktor seperti ANISN, CITATION dan sebagainya. Beberapa program pemroses terpenting yang digunakan dalam studi ini, adalah NJOY, Miler, AMPX-II dan Scale-3. Disimpulkan bahwa program-program tersebut di atas memberikan hasil yang baik dalam menyiapkan pustaka tampang lintang kelompok untuk berbagai jenis reaktor.

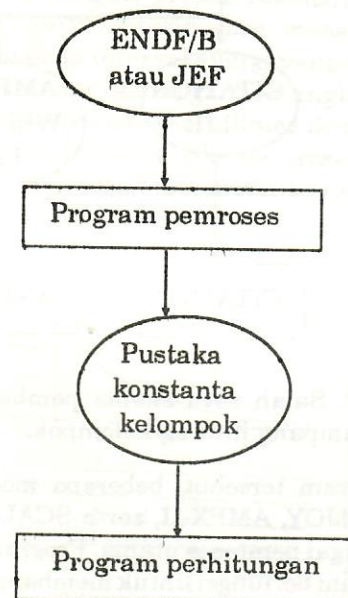
### ABSTRACT

STUDY OF GENERATING 'GROUP CROSS SECTION LIBRARIES' FOR REACTOR CALCULATIONS. An alternative method for generating group cross section libraries from the basic data file (ENDF/B or JEF) was studied. The aim of the study is to prepare input data for several core calculating codes such as ANISN, CITATION, etc. Several important processing codes used in this study were NJOY, MILLER, AMPX-II and SCALE-3. It is concluded that, the above codes provide a good performance in preparing group cross section libraries for various reactor types.

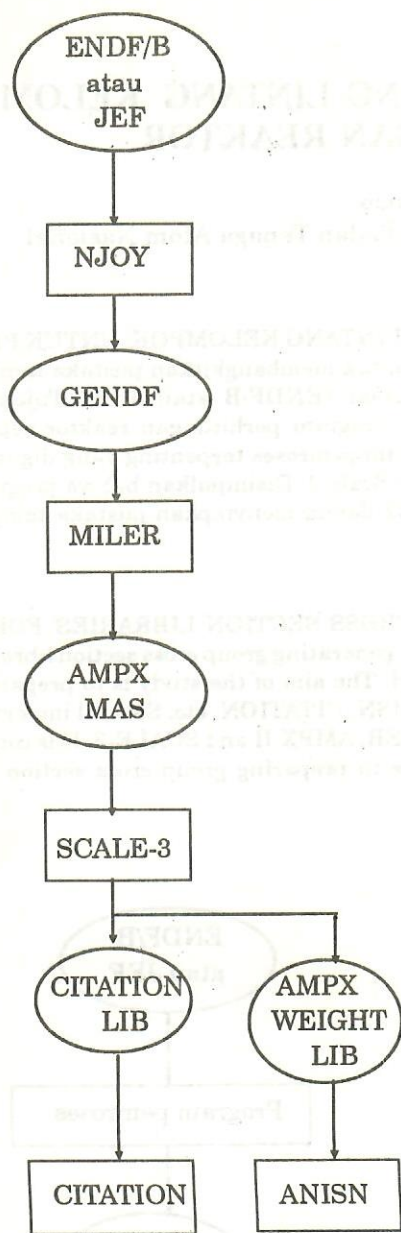
### PENDAHULUAN

Penggunaan paket-paket program untuk perhitungan dan analisis reaktor umumnya membutuhkan data tampang lintang mikroskopik dari unsur-unsur penyusun reaktor yang ditinjau. Data tampang lintang tersebut disiapkan pada satu atau beberapa arsip data yang lazim disebut sebagai pustaka tampang lintang mikroskopik. Data tampang lintang tersebut mencakup seluruh interval energi dari *fission* hingga *thermal*, yang sudah tereduksi menjadi beberapa kelompok energi (sesuai dengan kebutuhan), dan terkoreksi dengan berbagai faktor seperti faktor suhu (Doppler broadening effect), heterogenetas dari kondisi teras reaktor yang ditinjau dan sebagainya. Selanjutnya data ini menjadi bagian dari data yang diperlukan pada arsip masukan dari program yang digunakan.

Proses penyusunan pustaka tampang lintang kelompok (group cross section library) tersebut umumnya dimulai dari arsip data yang paling dasar (ENDF atau JEF). Kemudian dilakukan pemrosesan dengan menggunakan beberapa paket program sehingga diperoleh pustaka data yang dikehendaki. Secara skematik proses penyiapan data untuk perhitungan reaktor adalah seperti berikut:



Dalam makalah ini diberikan salah satu skema cara pembuatan pustaka tampang lintang untuk digunakan pada beberapa paket program seperti ANISN, DOT, CITATION dan sebagainya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



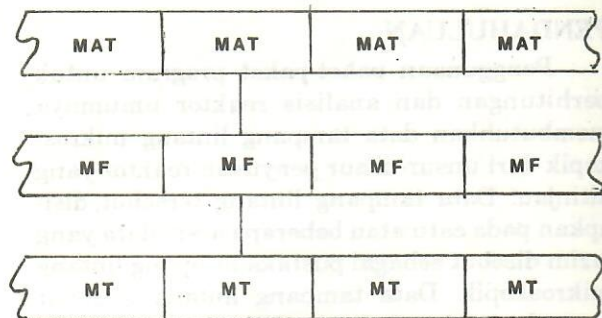
Gambar 2. Salah satu skema pembangkitan pustaka tampang lintang kelompok.

Pada diagram tersebut, beberapa modul dari program NJOY, AMPX-II, serta SCALE-3 berperan sebagai pemroses utama. Program NJOY dalam hal ini berfungsi untuk membangun tampang lintang kelompok halus (GENDF) atau JEF sedang AMPX-11 ataupun SCALE-3 memproses GENDF lebih lanjut sehingga terbentuk pustaka tampang lintang kelompok untuk reaktor yang ditinjau.

### SEKILAS TENTANG ENDF DAN JEF

Evaluasi *Nuclear Data File* (ENDF) dan *Joint Evaluated File* (JEF) adalah arsip pustaka yang memuat informasi data mengenai antara lain tampang lintang mikroskopik untuk berbagai jenis reaksi dari seluruh nuklida. Data-data ini diperoleh berdasarkan hasil evaluasi antara hasil perhitungan teoritis dan yang diperoleh dari hasil eksperimen.

Baik ENDF maupun JEF telah mengalami revisi baik oleh karena terjadi perubahan terhadap nilai data yang telah ada, penambahan data baru maupun perubahan format dari struktur di dalam arsip tersebut. ENDF/B adalah sebutan untuk ENDF-3 hingga ENDF-6 (yang terbaru), sedang JEF yang merupakan hasil kerjasama antara JEPANG dan negara-negara Eropa-Barat sudah diperbaharui dengan versi yang ke-2 (JEF-2). Di dalam arsip ENDF atau JEF data tampang lintang tersedia untuk jangkau energi yang cukup lebar ( $10^{-5}$  eV - 20 MeV), dalam bentuk tampang lintang titik (pointwise cross sections). Struktur data di dalam pita ENDF/B ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur data di dalam pita ENDF/B atau JEF

Pada struktur tersebut data dari material diklasifikasikan menurut:

**Nomor Material (MAT)** yang memuat informasi data untuk suatu unsur atau isotop (sebagai contoh, 1276 adalah MAT untuk Oksigen-16).

**Nomor Arsip (MF)** berisi jenis data tertentu dari MAT tersebut (contoh: MF=3 adalah arsip untuk tampang lintang versus energi, sedang MF=2 adalah arsip untuk parameter-parameter resonansi).

**Nomor bagian (MT)** menunjukkan jenis reaksi (contoh: MT=1 adalah tampang lintang hamburan elastik). Data di dalam ENDF

tersedia dalam dua bentuk/mode yaitu bentuk biner dan karakter (BCD). Untuk menggunakan data tersebut umumnya diperlukan program pemroses, yang sudah banyak dikembangkan untuk berbagai tujuan.

### PENYIAPAN PUSTAKA TAMPANG LINTANG KELOMPOK

Ada banyak versi/skema yang telah dikembangkan untuk menyiapkan pustaka tampang lintang kelompok dari ENDF/B atau JEF. Salah satu diantaranya adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 2, yang dalam hal ini dimaksudkan untuk menyiapkan pustaka data untuk beberapa program perhitungan reaktor seperti ANISN, CITATION dan sebagainya. dari diagram tersebut, ada 2 proses utama yaitu:

1. Penyiapan tampang lintang kelompok halus (GENDF) dari arsip data ENDF/B atau JEF dengan menggunakan program NJOY.
2. Pemrosesan GENDF lebih lanjut untuk perhitungan resonansi perisai diri dan konstanta sel (pembobotan terhadap pengaruh heterogenitas), yang dalam hal ini diproses oleh program SCALE-3.

#### Penyiapan GENDF menggunakan NJOY

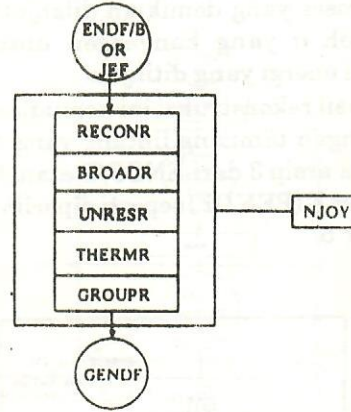
NJOY diakui sebagai suatu sistem pemroses ENDF/B yang cukup baik untuk menghasilkan tampang lintang titik multigrup. Sejak dikembangkan tahun 1974 hingga kini telah mengalami penyempurnaan berulang kali. Versi terakhir adalah NJOY-89 (diterbitkan pada bulan Mei 1989) dimaksudkan untuk memproses ENDF-6. NJOY-89 ini ternyata untuk persoalan tertentu masih belum bisa berfungsi sebagaimana mestinya dan akan disempurnakan lebih lanjut. Dalam studi ini digunakan NJOY-87 yang masih cukup baik untuk menyiapkan GENDF dari ENDF-4&5 atau JEF yang melibatkan beberapa modul dengan urutan seperti pada Gambar 3.

Keterangan masing-masing modul adalah sebagai berikut:

#### RECONR:

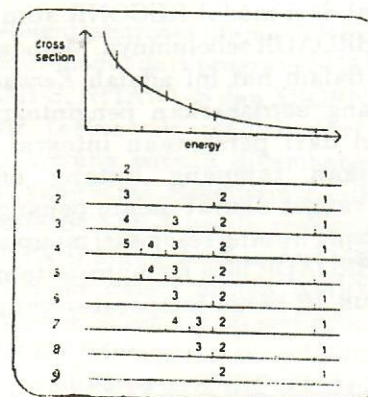
Berfungsi untuk merekonstruksi tampang lintang ( $\sigma$ ) resonansi dari parameter-parameter resonansi yang tersedia pada arsip 2 dalam ENDF/B atau JEF dan tampang-tampang lintang lainnya yang diperoleh berdasarkan interpolasi *nonlinear*. Sebagai contoh,  $\sigma$  scattering diinterpolasi secara linier untuk menyatakan suatu konstanta, sedangkan  $\sigma$  tangkapan radiatif dan fisi diinterpolasi secara log-log

BEBERAPA MODULE YANG TERLIBAT



Gambar 3. Beberapa Modul NJOY yang terlibat dalam penyiapan GENDF

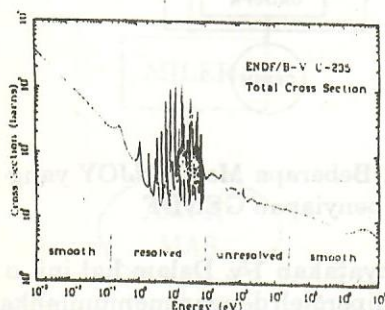
untuk menyatakan  $1/v$ . Dalam hal ini,  $\sigma$  total tidak bisa diperoleh dengan menjumlahkan ketiga komponen  $\sigma$  tersebut di atas begitu saja, kecuali bila jarak antar titik-titik sangat berdekatan. Untuk itu perlu dilakukan apa yang dinamakan dengan proses rekonstruksi dan linierisasi yaitu dengan cara menambahkan energi kisi pada interval energi yang telah ada, sedemikian rupa sehingga memungkinkan dilakukan interpolasi secara linier dengan tingkat toleransi tertentu. Skema proses rekonstruksi dan linierisasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema proses rekonstruksi dan linierisasi pada RECONR

Dari skema tersebut, baris ke 1 menunjukkan 2 titik awal. Pada baris ke dua, di tengahnya ditambahkan 1 titik, dan setelah dihitung ternyata belum konvergen, demikian seterusnya hingga pada baris ke 4 mulai konvergen. Proses yang demikian dilanjutkan hingga diperoleh  $\sigma$  yang konvergen untuk seluruh interval energi yang ditinjau.

Hasil rekonstruksi ini kemudian digabungkan dengan tampang lintang yang telah tersedia pada arsip 3 dari ENDF/B atau JEF, berupa tabel  $\sigma$  vs E (PENDF) seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil rekonstruksi salah satu tampang lintang dari ENDF/B menggunakan modul RECONR

**BROADR:**

Berfungsi mengoreksi pengaruh suhu (efek Doppler) terhadap tampang-tampang lintang pada energi ambang rendah. Termasuk daerah ambang rendah yaitu tampang lintang pada daerah resonansi yang terpisahkan (lihat Gambar 5). Sebagai masukan digunakan  $\sigma$  yang berasal dari modul RECONR atau hasil run modul BROADR sebelumnya. Metoda yang digunakan dalam hal ini adalah *Kernel broadening*, yang berdasarkan pengintegrasian secara rinci dari persamaan integral yang mendefinisikan tampang lintang efektif. Metoda ini sangat akurat dalam penanganan semua tampang lintang resonansi maupun non resonansi. BROADR bisa memproses tampang lintang untuk 10 harga temperatur yang berbeda.

**UNRESR:**

Berfungsi menghitung  $\sigma$  efektif pada daerah resonansi yang tak terpisahkan. Dalam hal ini digunakan metode perhitungan analitik yang berdasarkan rerata dari parameter-parameter

resonansi dan distribusi statistik yang diperoleh dari arsip 2 pada ENDF/B. Untuk isotop-isotop dengan nomor massa menengah dan ringan penanganan untuk daerah *unresolved* ini bisa ditiadakan.

**THERMR:**

Berfungsi untuk menghitung tampang lintang hamburan pada daerah energi termal [ $\sigma_s$ (th)], dimana pengaruh ikatan atom-atom penghambur di dalam bahan/senyawa maupun gerakan atom-atom di dalam gas menjadi penting untuk diperhitungkan. Perhitungan  $\sigma_s$  ini meliputi hamburan elastik koheren, yang biasa terjadi pada bahan jenis kristal seperti grafit, Be, dan BeO, hamburan elastik inheren yang biasa terjadi di dalam senyawa-senyawa hidrogen seperti polietilen dan ZrH dan hamburan tak elastik inkoheren. Data parameter-parameter yang diperlukan untuk beberapa nuklida dalam bentuk ikatan tersedia pada arsip 7 (MF=7) dari ENDF/B. Kemudian hasil perhitungan ditambahkan pada PENDF yang telah ada dengan menggunakan nomor reaksi (MT) antara 221 hingga 250. Contoh MT untuk hamburan termal dari beberapa unsur/senyawa

Tabel 1. Nomor reaksi (MT) untuk hamburan termal

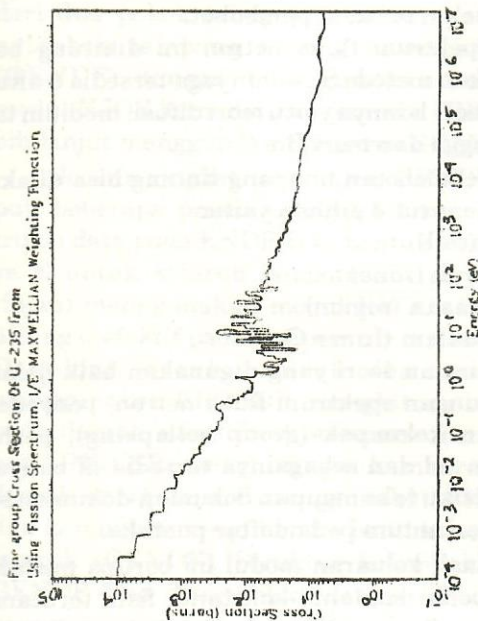
ENDF/B-V	ENDF/B-IV	ISI
221	201	gas bebas
222	202	H dalam H <sub>2</sub> O
223	203	inelastic H dalam CH <sub>2</sub>
224	204	elastic H dalam CH <sub>2</sub>
225	205	inelastic H dalam ZrH
226	206	elastic H dalam ZrH
227	207	benzene
228	208	D dalam D <sub>2</sub> O
229	209	inelastic graphite
230	210	elastic graphite
233	219	inelastic Be
234	220	elastic Be
231	229	inelastic BeO
232	230	elastic BeO
235	-	inelastic Zr dalam ZrH
236	-	elastic Zr dalam ZrH

diberikan pada Tabel 1.

**GROUPR:**

Berfungsi menghitung  $\sigma$  rerata kelompok yang terkoreksi dengan efek pemerisaian diri

(GENDF). Sebagai data masukan berupa PENDF yang telah diproses oleh modul-modul RECONR, BROADR, UNRESR, dan THERMR. Dalam hal ini modul GROUPR menyediakan beberapa pilihan pada arsip masukannya, antara lain: struktur kelompok neutron sebanyak 17 pilihan struktur kelompok gamma sebanyak 10 pilihan dan fungsi pembobot yang akan digunakan sebanyak 13 pilihan. Sebagai contoh hasil keluaran dari modul GROUPR ini (GENDF) ditunjukkan pada Gambar 6 yang dalam hal ini menggunakan struktur kelompok LANL 187 KELOMPOK, dan sebagai fungsi pembobot digunakan FISION SPECTRUM, 1/E dan THERMAL MAXWELLIAN, masing-masing untuk daerah energi cepat/tinggi, daerah resonansi yang terpisahkan dan daerah energi termal.

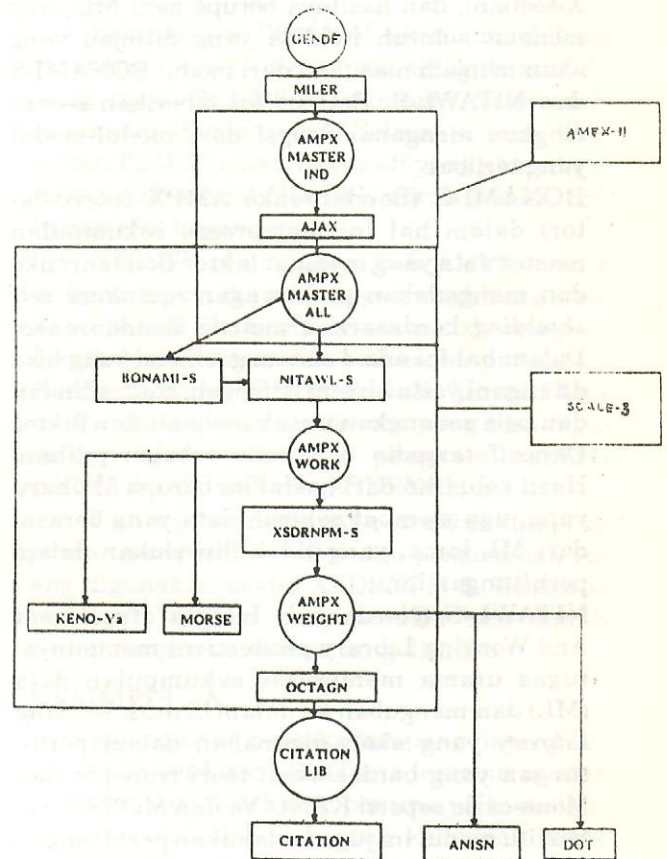


Gambar 6. Bentuk GENDF sebagai hasil keluaran modul GROUPR

**Pemrosesan GENDF menjadi pustaka siap pakai**

Data pada arsip GENDF berupa konstanta kelompok halus masih perlu diproses lebih lanjut untuk menjadi pustaka yang siap digunakan untuk perhitungan reaktor. Pustaka ini berisi konstanta kelompok yang lebih sedikit dan terkoreksi dengan faktor heterogenitas dari reaktor yang ditinjau. Dalam makalah ini disampaikan salah satu skema proses penyedia pustaka untuk beberapa program perhitungan seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

tor yang ditinjau. Dalam makalah ini disampaikan salah satu skema proses penyedia pustaka untuk beberapa program perhitungan seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema pemrosesan GENDF menjadi pustaka siap pakai

Sebagai pemroses utama dalam hal ini adalah modul-modul dari program SCALE-3, yaitu BONAMI-S, NITAWL-S dan XSDRNPM-S yang aslinya termasuk modul dari program AMPX-11, yang pernah dikembangkan untuk maksud yang sama. Sekalipun demikian format data pada SCALE-3 masih menggunakan sistem AMPX-II untuk itu data dari GENDF perlu dikonversi ke dalam format AMPX-II Master Library yang dalam hal ini menggunakan program MILER (Master Interface Library Maker). Karena umumnya GENDF disiapkan untuk nuklida individu maka ML yang dihasilkan masih berdiri sendiri-sendiri. Selain itu bila GENDF dibuat untuk beberapa harga temperatur maka MILER juga akan menghasilkan

faktor Bondanrenko yang akan digunakan pada modul BONAMI-S untuk memperoleh *temperature dependent data*. Selanjutnya masing-masing ML ini perlu disatukan menggunakan modul AJAX (Automatic Joining of AMPX-II X-section), dan hasilnya berupa satu ML yang memuat seluruh nuklida yang ditinjau yang akan menjadi masukan dari modul BONAMI-S dan NITAWL-S. Berikut ini diberikan secara ringkas mengenai fungsi dari modul-modul yang terlibat:

**BONAMI-S** (Bondanrenko AMPX Interpolator) dalam hal ini memproses sekumpulan master data yang memuat faktor Bondanrenko dan mengadakan perhitungan *resonance self shielding* berdasarkan metode Bondanrenko. Dalam hal ini ada 4 sistem geometri yang bisa ditangani yaitu sistem homogen, *slab*, silinder, dan bola sedangkan untuk menentukan faktor Dancoff tersedia 8 metode sebagai pilihan. Hasil keluaran dari modul ini berupa ML baru yang juga memuat seluruh data yang berasal dari ML lama, yang tidak diperlukan dalam perhitungan ini.

**NITAWL-S** (Nordheim's Integral Treatment And Working Library production) mempunyai tugas utama memproses sekumpulan data (ML) dan mengubah ke dalam bentuk *Working Library* yang akan digunakan dalam perhitungan yang berdasarkan teori transpor dan Montecarlo seperti KENO-Va dan MORSE. Selain itu modul ini juga melakukan perhitungan *resonance self shielding* berdasarkan metode integrasi Nordheim untuk nuklida-nuklida yang mempunyai parameter-parameter resonansi ( di dalam ENDF/B).

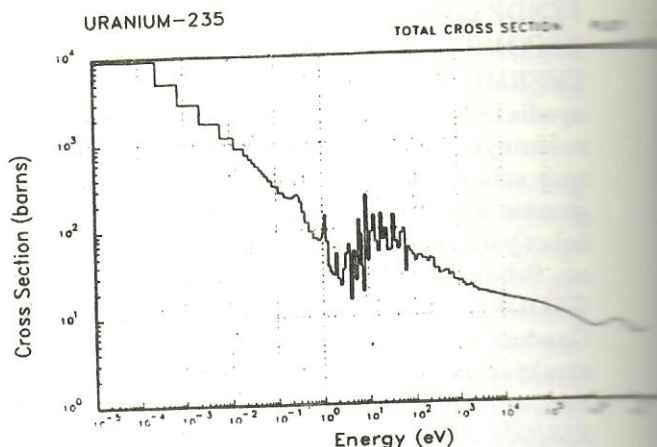
Dalam metode ini  $\phi(E)$  yang digunakan sebagai pembobot diperoleh dari penyelesaian persamaan rapat tumbukan (collision density).

Sistem geometri yang bisa ditangani dalam hal ini juga terdiri dari 4 pilihan yang sama seperti pada modul BONAMI-S dan harga faktor Dancoff diambil dari keluaran BONAMI-S. Pada Gambar 8 ditunjukkan contohampang lintang yang dihasilkan oleh modul NITAWL-S.

**XSDRNPM-S** adalah program perhitungan satu dimensi yang berdasarkan teori transpor. Kegunaan utama yaitu:

1. Untuk perhitungan satu dimensi yang meliputi perhitungan laju reaksi, harga pribadi, dimensi kritik dan sebagainya ( ada 8 jenis pilihan perhitungan).

SYMBOL	MT	SOURCE	MAT
	1	MASTER	492501



Gambar 8. Contoh hasil keluaran modul NITAWL-S ( working library)

2. Untuk membuat konstanta kelompok yang lebih sedikit dengan menggunakan spektrum fluks yang dihasilkan dari perhitungan tersebut sebagai pembobot.

Spektrum fluks netron ini dihitung berdasarkan metode  $S_n$  selain juga tersedia 3 alternatif teori lainnya yaitu teori difusi, medium tak berhingga dan teori Bn.

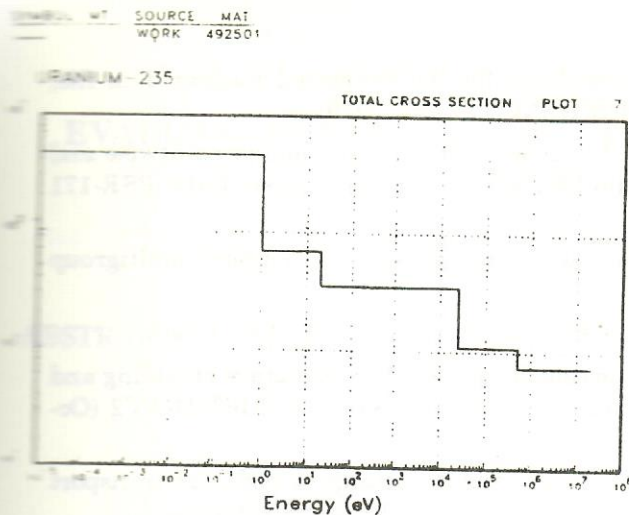
Pembobotanampang lintang bisa dilakukan menurut 4 pilihan yaitu:

1. Sel (cell)
2. Daerah (zone)
3. Kawasan (region)
4. Sel dalam (Inner Cell)

Rincian teori yang digunakan baik dalam perhitungan spektrum fluks netron, penyederhanaan kelompok (group collapsing), perhitungan sel dan sebagainya tersedia di banyak buku-buku teks maupun dokumen-dokumen seperti tercantum pada daftar pustaka.

Hasil keluaran modul ini berupa pustaka yang berisi kontanta-konstanta fisik terutamaampang lintang dalam jumlah kelompok yang lebih sedikit dan terbobot. Data keluaran ini dapat ditulis dalam beberapa format seperti: AMPX *weighted library*, CCCC ISOTXS versi 3 dan format bentuk kartu/BCD maupun binari untuk program ANISN/DOT/MORSE. Contoh bentukampang lintang tersebut diberikan pada Gambar 9.

Agar pustaka ini bisa digunakan sebagai masukan program CITATION yaitu program perhitungan reaktor berdasarkan teori difusi maka perlu diubah ke dalam bentuk *CITATION LIBRARY* menggunakan modul OCTAGN.



Gambar 9. Bentuk keluaran modul XSDRNPM-S (AMPX-II weighted lib.)

### PEMBAHASAN

Penyiapan pustaka tampang lintang kelompok seperti telah diuraikan di atas terdiri dari dua pokok tahap pemrosesan yaitu menyiapkan tampang lintang kelompok halus (GENDF) dengan menggunakan beberapa modul NJOY kemudian memproses GENDF lebih lanjut menggunakan program SCALE-3.

Secara singkat penyiapan GENDF meliputi beberapa proses sebagai berikut: rekonstruksi data pada ENDF/B ke bentuk PENDF ( $\sigma$  vs E untuk seluruh jangkauan energi yang ditinjau) menggunakan modul RECONR, menghitung  $\sigma$  efektif pada temperatur tertentu (efek Doppler) untuk daerah *low threshold* menggunakan BROADR, menghitung  $\sigma$  efektif pada daerah *unresolved resonance* menggunakan UNRESR, menghitung  $\sigma$  hamburan pada daerah energi termal menggunakan THERMR dan kemudian mengubah ke bentuk rerata kelompok (GENDF). Struktur kelompok energi GENDF bisa disesuaikan dengan kebutuhan/penggunaan melalui sejumlah pilihan yang tersedia. Dari struktur kelompok yang demikian menunjukkan bahwa GENDF masih bersifat umum untuk berbagai penerapan. Dalam hal GENDF dibuat untuk beberapa harga

### DAFTAR PUSTAKA

1. James, J. Duderstadt & Louis, J. Hamilton, Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sons, Inc. (1976).
2. Reactor Physics Constants, USAEC Document ANL-5800 2<sup>nd</sup> ed. (1963).

temperatur maka program MILER selain berfungsi mengubah ke dalam format AMPX master juga akan menghasilkan faktor Bondanrenko, yang akan diproses oleh modul BONAMI untuk mendapatkan data ketergantungan temperatur.

Selanjutnya BONAMI akan menghitung resonansi perisai diri untuk seluruh nuklida yang pada GENDF mempunyai parameter-parameter Bondanrenko. Selain itu juga dihasilkan TDD dan faktor Dancoff yang akan digunakan oleh modul NITAWL untuk koreksi terhadap efek bayangan.

NITAWL selain mengubah AMPX master ke bentuk pustaka kerja juga menghitung resonansi perisai diri berdasarkan metode integrasi Nordheim bila tersedia parameter-parameter Nordheim pada GENDF. Pustaka kerja ini bisa ditulis dalam beberapa format yang bisa digunakan oleh beberapa program seperti KENO-Va, MORSE dan XSDRNPM-S.

Untuk penyederhanaan struktur energi ke jumlah yang lebih sedikit dan pembobotan ruang digunakan modul XSDRNPM-S. Beberapa jenis pembobotan yang tersedia bisa dipilih sesuai dengan persoalan yang ditinjau.

### KESIMPULAN

1. Pembangkitan pustaka tampang lintang kelompok berdasarkan skema tersebut di atas terdiri dari dua tahap penting yaitu menyiapkan data dalam bentuk kelompok halus (GENDF) kemudian memproses ke bentuk pustaka yang siap dipakai oleh program perhitungan tertentu.
2. Salah satu fungsi dari modul BONAMI-S dan NITAWL-S adalah menghitung perisai diri berdasarkan metode Bondanrenko dan integrasi Nordheim berturut-turut. Untuk itu adalah mungkin untuk menggabungkan fungsi kedua modul tersebut menjadi satu modul sehingga memperringkas proses.
3. Tahap-tahap proses berdasarkan skema tersebut menunjukkan suatu prosedur yang baik dalam menyiapkan pustaka tampang lintang kelompok untuk berbagai jenis reaktor.

3. R.Kinsey, Ed., ENDF-102 data formats and procedures for the evaluated nuclear data file, ENDF, Brookhaven National Laboratory report BNL-NCS-50496 (1979).
4. MacFARLANE, R.E. and MUIR, D.W. NJOY 87, a code system for producing pointwise and multigroup neutron and photon cross section from ENDF/B Evaluated Nuclear Data, PSR-171 (November 1987).
5. Greene, N.M., et.al., AMPX a modular code system for generating coupled multigroup neutron-gamma libraries from ENDF/B, March (1976).
6. Panini, G.C. MILER, Master interface library marker, abstract NEA 1198 (July 1988).
7. Westfall, R.M. et. al., NITAWL-S scale system module for performing resonance shielding and working library production, NUREG/CR-0200 vol. 2, sec. F2, ORNL/NUREG/CSD-2/V2 (October 1982).
8. Green, N.M. et.al., XSDRNPM-S a one-dimensional discrete ordinates code for transport analysis, Nureg/CR-0200 vol. 2, sec. F3, ORNL/NUREG/CSD-2/V2/RI (June 1983).
9. DE LEEGE, P.F.A., NSLINK, NJOY-SCALE-LINK, Delft University of Technology, Interfaculty Reactor Institute, Reactor Physics Departmen, Mekelweg 15, 2629 JB Delft, The Netherlands (May 1991).