

PENENTUAN NILAI PARAMETER PADA KODE ALICE-91 UNTUK PREDIKSI TAMPANG LINTANG REAKSI NEUTRON 14 MeV

Silakhuddin, Kasmudin

Pusat Pengembangan Sistem Reaktor Maju (P2SRM)-BATAN

ABSTRAK

PENENTUAN NILAI PARAMETER PADA KODE ALICE-91 UNTUK PREDIKSI TAMPANG LINTANG REAKSI NEUTRON 14 MeV. Nilai parameter potensial optik yang dalam kode ALICE-91 digunakan untuk menghitung tampang lintang reaksi parsial antara neutron 14 MeV dengan nuklida-nuklida bernomor massa 20 hingga 40 telah ditentukan. Parameter-parameter dimaksud adalah parameter radius real volume dan parameter diffusivitas real volume. Dengan nilai parameter-parameter yang diperoleh tersebut, perhitungan tampang lintang reaksi menggunakan kode ALICE menjadi lebih tepat. Dalam hal ini, beda rata-rata antara hasil perhitungan dengan data referensi dicapai pada harga minimum sebesar 8%. Selanjutnya, data tampang lintang dari nuklida-nuklida lain yang belum ada data referensinya telah diprediksi menggunakan kode ALICE ini.

ABSTRACT

DETERMINATION OF PARAMETERS VALUE ON CODE ALICE-91 FOR PREDICTION OF 14 MeV NEUTRON REACTION CROSS-SECTIONS. *The optical potential parameters value in the code ALICE-91 which are used to calculate partial reaction cross-section between 14 MeV neutron and nuclides of mass numbers of 20 until 40 have been determined. The mentioned parameters are volume real radius and volume real diffusivity parameters. Using these obtained parameters the calculation results of reaction cross-section using code ALICE become more accurate. Hence, the average difference between calculation result and data of references has been achieved on a minimum value of 8%. Further, by using the ALICE code the reaction cross-section of other nuclides that no reference datas have been predicted.*

PENDAHULUAN

Neutron cepat 14 MeV adalah tipikal dihasilkan oleh suatu generator neutron yang menggunakan reaksi D-T. Aplikasi yang sudah cukup luas adalah untuk analisis aktivasi neutron cepat di samping dapat juga digunakan untuk eksperimen lainnya, misalnya studi perisai neutron dan penentuan koefisien *buckling* reaktor. Dalam aplikasi yang lebih maju, suatu generator neutron dapat digunakan sebagai sumber neutron terkendali bagi suatu reaktor subkritik. Di bidang industri, aplikasi generator neutron untuk logging eksplorasi minyak bumi juga sudah cukup berkembang. Bagian terbesar dari aplikasi-aplikasi tersebut melalui suatu proses aktivasi neutron cepat.

Pemakaian yang cukup luas tersebut memerlukan data parameter aktivasi yang tujuannya antara lain agar dapat dipilih material yang bila terkena tumbukan neutron cepat akan menghasilkan radioaktivitas yang minimum. Salah satunya adalah parameter tampang lintang reaksi neutron energi 14 MeV dengan nuklida-nuklida material. Data tersebut dapat diperoleh dengan mengakses dari beberapa sumber seperti pustaka dan data nuklir di IAEA. Sumber-sumber tersebut merupakan kompilasi dari hasil-hasil eksperimen dan perhitungan secara teori melalui kode-kode komputer. Namun data-data tersebut belum sepenuhnya mencakup semua nuklida sehingga suatu cara mendapatkan data tampang lintang reaksi melalui komputasi masih cukup relevan dilakukan. ALICE merupakan salah satu kode komputer yang dapat dipakai untuk menentukan data tampang lintang reaksi parsial.

Kode ALICE ini tidak serta merta akan dapat langsung digunakan untuk menghitung tampang lintang reaksi. Hal ini karena formulasi tampang lintang reaksi itu bergantung pada besaran-besaran inti nuklir yang juga bergantung terhadap daerah energi proyektil dan daerah nomor massa inti sasaran. Besaran-besaran tersebut dalam program perhitungan disebut parameter perhitungan. Jadi agar kode ALICE ini dapat digunakan untuk menghitung tampang lintang reaksi neutron 14 MeV, terlebih dahulu perlu dilakukan eksperimen komputasi untuk menentukan parameter yang sesuai untuk neutron 14 MeV dan daerah nomor massa inti-inti sasaran yang dikehendaki.

Eksperimen komputasi ini dibatasi pada nuklida-nuklida bernomor massa dari 20 hingga 40. Jangkauan tersebut dipilih karena cukup tersedia data referensi untuk validasinya. Hasil dari penelitian komputasi ini bukan secara sepenuhnya ditujukan untuk memberi sumbangan pada data nuklir baru tetapi diharapkan lebih pada sumbangan alternatif cara untuk memprediksi harga tampang lintang reaksi.

TATA KERJA

Model Perhitungan

Untuk menghitung tampang lintang reaksi neutron 14 MeV kode ALICE menggunakan teori reaksi nuklir evaporasi Weisskopf yang formulasinya ⁽¹⁾:

$$\frac{d\sigma_v(\epsilon)}{d\epsilon} = \frac{\sigma_R \cdot (2s_v + 1) \mu_v \epsilon \sigma_v(\epsilon) \rho(u) d\epsilon}{\sum_v \int_0^{\epsilon_{\max}} (2s_v + 1) \mu_v \epsilon \sigma_v(\epsilon) \rho(u) d\epsilon}$$

di mana $\frac{d\sigma_v(\varepsilon)}{d\varepsilon}$ tampang lintang per unit energi untuk memancarkan partikel jenis v (n, p, α, \dots) dengan spin intrinsik s_v , μ_v massa tereduksi, ε energi $\sigma_v(\varepsilon)$ tampang lintang reaksi *inverse*, dan $\rho(u)$ rapat *level* inti residu pada energi eksitasi U . Tampang lintang reaksi untuk menghasilkan inti majemuk pada energi eksitasi dinyatakan dengan σ_R , yang juga adalah tampang lintang reaksi total.

Besar σ_R dihitung dengan memperhitungkan energi potensial nuklir yang berperan pada interaksi nuklir antara penembak dan inti target. Di dalam model potensial optik, energi potensial tersebut bergantung pada pilihan harga-harga parameter potensial optik yaitu ⁽²⁾:

- r_v parameter radius real volume
- r_w parameter radius imajiner permukaan
- r_{so} parameter radius spin-orbit
- a_v parameter diffusivitas real volume
- a_w parameter diffusivitas imajiner permukaan

Besar parameter tersebut bukan harga yang pasti tetapi merupakan variasi terhadap energi penembak dan nomor massa inti target.

Dari eksperimen sebelum ini ⁽³⁾, telah diperoleh data (parameter) yang cukup berarti dalam memberikan perubahan pada harga σ_R yaitu parameter radius real volume (r_v) dan parameter diffusivitas real volume (a_v). Kedua parameter ini akan dicari sehingga diperoleh harga tampang lintang reaksi parsial sedemikian sehingga hasil-hasil komputasi mempunyai beda yang minimum terhadap harga-harga referensi untuk beberapa nuklida.

Kode ALICE-91

ALICE-91 merupakan versi terbaru dari kode ALICE yang dibuat oleh grup LANL. Dengan kode ini dapat dihitung tampang lintang reaksi parsial dengan masukan tampang lintang reaksi total dan kerapatan level inti-inti residu, selain besaran-besaran partikel proyektil dan inti target. Eksekusi program memerlukan *input file* (ALICE.IN) dan menghasilkan *output file* (ALICE.OUT). Hasil perhitungan ditentukan oleh harga-harga parameter pada *source program* (ALICE.FOR) dan besaran-besaran pada *file input*. Parameter-parameter potensial reaksi nuklir diubah-ubah pada *source*

program. Adapun data *input* pada *input file* yang diperlukan dalam proses komputasi adalah:

- Nomor atom dan nomor massa proyektil dan sasaran
2. Jumlah nuklida-nuklida hasil yang terbentuk untuk nomor atom (Z) yang sama (maksimum sampai 22)
3. Jumlah nomor atom (Z) nuklida-nuklida yang terbentuk (maksimum sampai 9)
4. Jenis partikel yang diemisikan, dengan opsi-opsi:
 - hanya neutron
 - hanya neutron dan proton
 - neutron, proton, deuteron dan alpha.
5. Besar energi proyektil dalam MeV (maksimum 300 MeV) dan maksimum 20 titik energi
6. Opsi untuk distribusi sudut partikel eyektal

Metode Pencarian Parameter

Dalam perhitungan tampang lintang reaksi dengan ALICE, perlu dilakukan penelitian (eksperimen) untuk mencari parameter-parameter inti nuklir yang cocok dengan energi proyektil dan daerah nomor massa inti sasaran. Objek penelitian ini adalah reaksi (n,p) antara neutron 14 MeV dengan inti sasaran bernomor massa 20 sampai 40.

Penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut

- Pertama kali, dilakukan perhitungan tampang lintang reaksi (n, p) antara neutron 14 MeV dan inti sasaran nomor massa 20 sampai 40 dengan mengambil beberapa nuklida saja sebagai wakil, dalam hal ini digunakan parameter-parameter asli. Selanjutnya tampang lintang ini disebut tampang lintang ALICE, σ_{Alice} .
2. Masing-masing tampang lintang ALICE pada langkah 1 diselisihkan dengan tampang lintang reaksi referensi ($\sigma_{\text{Referensi}}$). Kemudian selisih tampang lintang reaksi tersebut dirata-rata dan untuk selanjutnya disebut rata-rata beda tampang lintang reaksi ($\Delta\sigma_{\text{rata-rata}}$)
 3. Mengubah harga parameter r_v , diperbesar atau diperkecil sampai diperoleh $\Delta\sigma_{\text{rata-rata}}$ sekecil mungkin.
 4. Kemudian hal yang sama seperti pada langkah 3 dilakukan untuk parameter a_v .

5. Parameter-parameter besaran inti nuklir yang didapat pada langkah 3 dan 4, kemudian dicobakan untuk menghitung tampang lintang seluruh nuklida-nuklida yang ada data referensinya dalam rentang daerah nomor massa seperti pada langkah 1.
6. Jika beda rata-rata tampang lintang reaksi nuklida-nuklida yang lain pada butir 5 juga kecil, berarti parameter-parameter besaran inti nuklir yang dipakai pada butir 5 dipandang sebagai parameter-parameter besaran inti nuklir yang cocok untuk perhitungan tampang lintang reaksi (n, p) pada energi 14 MeV dan daerah nomor massa inti sasaran 20 – 40.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah tampang lintang reaksi (n,p) antara neutron 14 MeV dengan beberapa nuklida dengan nomor massa antara 20 sampai 40 hasil perhitungan dengan program ALICE parameter asli dan perbandingannya dengan tampang lintang referensi

Tabel 1. Data tampang lintang reaksi (n, p) untuk $r_v = 1,2$ ($\Delta r_v = 0\%$)

No.	Nuklida	$\sigma_{\text{Alice}} (r_v = 1,2)$	$\sigma_{\text{Referensi}}^{(4)}$	$\Delta\sigma (\%)$
1	Ne-20	102	92	10,87
2	Mg-24	207	181	14,36
3	Si-28	247	226	9,29
4	P-31	92	83	10,84
5	S-34	127	85,2	49,06
6	Cl-37	42,4	33,4	26,95
				$\Delta\sigma_{\text{rata-rata}} = 20,23$

Ada dua hal penting yang perlu ditindaklanjuti dari isi tabel tersebut yaitu:

1. Nilai $\Delta\sigma_{\text{rata-rata}}$ sebesar 20,23 % yang masih terlampau besar bagi suatu data sehingga perlu dilakukan perubahan pada harga parameter asli
2. Masing-masing σ_{Alice} dari keenam nuklida di atas lebih besar dari $\sigma_{\text{Referensi}}$, maka (berdasarkan penelitian terdahulu) parameter r_v diperkecil sampai diperoleh $\Delta\sigma_{\text{rata-rata}}$ sekecil mungkin

Hasil-hasil perubahan $\Delta\sigma_{\text{rata-rata}}$ atas perubahan r_v yang diperkecil menjadi r_v' ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perubahan $\Delta\sigma_{rata-rata}$ atas perubahan r_v

Δr_v (%) $\{(r_v-r_v')/r_v\}$	r_v'	$\Delta\sigma_{rata-rata}$ (%)
0	1,20	20,23
-5	1,11	13,63
-10	1,08	12,18
-15	1,02	11,56
-20	0,96	9,47
-25	0,90	7,86
-30	0,84	9,84

Dari Tabel 2 diperoleh nilai optimum pada parameter $r_v'=0,9$. Selanjutnya dengan $r_v'=0,9$ ini dikombinasikan dengan perubahan parameter a_v , hasilnya pada Tabel 3

Tabel 3. Variasi $\Delta\sigma_{rata-rata}$ oleh perubahan a_v dengan $r_v=0,9$

Δa_v (%) $\{(a_v-a_v')/a_v\}$	a_v'	$\Delta\sigma_{rata-rata}$
0	0,60	7,86
-2,5	0,58	7,72
-5	0,57	7,98
-10	0,54	8,95
-15	0,51	9,85

Tabel 4. Tampang lintang reaksi nuklida bernomor massa 20 hingga 40

No.	Nuklida	σ dengan Alice	σ referensi	$\Delta\sigma$ (%)
1	Ne-20	92,2	92	0,22
2	Mg-24	179	181	1,1
3	Mg-26	50	39	28,2
4	Al-27	78,2	81	3,45
5	Si-28	209	226	7,52
6	Si-29	91,5	100	8,5
7	P-31	82,2	83	0,96
8	S-32	245	254	3,54
9	S-33	200	190	5,26
10	S-34	104	85,2	22,07
11	S-36	50,9	50	1,8
12	Cl-35	101	110	8,18
13	Cl-37	38,2	33,4	14,37
14	Ar-38	107	100	7
			Rata-rata	

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil optimum dicapai pada nilai-nilai parameter $r_v = 0,9$ (digeser dari 1,2) dan $a_v = 0,58$ (dirubah dari $a_v = 0,60$) dan diperoleh $\Delta\sigma_{rata-rata} = 7,72\%$ yang jauh lebih baik dari nilai awal 20,23%. Hasil nilai parameter-parameter yang optimum ini digunakan untuk menghitung tampang lintang reaksi dari seluruh 14 nuklida yang ada data referensinya, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Hasil Tabel 4 menunjukkan bahwa dengan parameter-parameter baru, beda tampang lintang reaksi (antara perhitungan ALICE dengan referensi) telah diperkecil menjadi 8,01% dibandingkan dengan parameter asli yang masih 20,23%.

Hasil penentuan parameter ini akan bermanfaat untuk memprediksi harga-harga tampang lintang reaksi nuklida-nuklida lain yang belum ada datanya. Sebagai contoh, di antara 24 nuklida stabil bernomor massa dari 20 hingga 40, masih ada 5 nuklida yang belum ada data referensinya. Berikut ini prediksi tampang lintang reaksi 5 nuklida tersebut yang dihitung dengan parameter baru (dalam satuan mb):

Ne-21	: 50,3	Ne-22	: 8,3
	63	Ca-40	325
	311		

Telah juga dicoba dihitung tampang lintang reaksi untuk nuklida-nuklida di bawah nomor massa 20, tetapi hasilnya masih terlampau jauh berbeda dengan data referensi yang ada. Hal ini disebabkan karena:

1. Dari hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggeseran atas parameter r_v dan a_v yang mempengaruhi harga tampang lintang reaksi total, baru dibuktikan untuk nomor massa diatas 20. Untuk nomor massa di bawahnya parameter lainnya mungkin perlu digeser

Komputasi yang dilakukan sekarang menggunakan formulasi kerapatan level inti dari model gas Fermi, sedangkan untuk nuklida-nuklida ringan (di bawah $A=20$) akan lebih sesuai menggunakan formulasi Chadwick

Sekalipun demikian, eksperimen untuk nuklida-nuklida ringan sebenarnya akan sangat penting mengingat aktivasi neutron 14 MeV cukup efektif untuk unsur-unsur ringan sedangkan data tampang lintangnya sangat minim. Hal tersebut perlu dilakukan di masa kemudian

KESIMPULAN

Telah diperoleh parameter-parameter baru dalam kode ALICE menghitung tampang lintang reaksi neutron 14 MeV dengan nuklida-nuklida bernomor massa 20 hingga 40. Dengan parameter baru ini beda tampang lintang reaksi antara perhitungan dengan referensi telah diperbaiki dari sekitar 20% menjadi 8%. Hasil penelitian komputasi ini dapat memberikan sumbangan pada alternatif cara memperoleh data prediksi tampang lintang reaksi.

PUSTAKA

- Marshall Blann, "Recent Progress and Current Status of Preequilibrium Reaction Theories and Computer Code ALICE", Presented in ICTP Workshop March, 1992, Lawrence Livermore National Laboratory.
- O Bersilon, "Optical Model Calculation and Use of the Computer code SCAT2" Workshop on Computation and Analysis of Nuclear Data Relevant to Nuclear Energy and Safety, ICTP 1992.
- Silakhuddin, "Pengembangan Model Potensial Optik Untuk Perhitungan Tampang Lintang Reaksi", Tesis Program Magister Ilmu Fisika, Universitas Indonesia 1995.
- "Handbook on Nuclear Activation Data", Technical Reports Series No. 273, IAEA 1987.

DISKUSI:

PERTANYAAN : Tegas Sutondo P3TM-BATAN

- Apakah fungsi kode ini sama dengan ENDF yaitu *men-generate* tampang lintang reaksi.
- Apakah kode ini dapat dipakai untuk menghitung tampang lintang reaksi fisi.

JAWABAN: Silakhuddin P2SRM-BATAN

- Kode ini bukan men generate tetapi menghitung tampang lintang reaksi. Jadi kode ini berguna untuk menentukan data tampang lintang reaksi yang belum ada data referensinya atau memberikan data alternatif bila data-data referensi meragukan.*
- Kode ini dapat juga dipakai untuk menghitung tampang lintang reaksi fisi dengan suatu setting parameter yang berbeda dari yang sudah ditentukan dalam hasil penelitian ini.*