

**PENENTUAN LEVEL DENSITY UNTUK Th-230 (n,f)**

Yudha Satya Perkasa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> KK Fisika Nuklir Jurusan Fisika

Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Gunung Djati Bandung

2ysatyap99@yahoo.com

**Abstrak**

*Fisibilitas suatu nuklida dapat ditentukan melalui proses penentuan penampang lintang fisi dengan melibatkan parameter struktur inti seperti level density dan fission barrier. Level density sangat berperan penting dalam penentuan parameter koefisien transmisi dan populasi dari inti yang akan melakukan fisi. Di dalam paper ini, penentuan level density akan dilakukan dengan menggunakan pendekatan temperatur konstan dari Gilbert-Cameron dengan memanfaatkan formulasi Ignatyuk untuk menentukan parameter level density (LDP) yang bergantung pada energi eksitasi. Setelah melalui proses perbandingan dengan data ENDF ternyata hasil perhitungan penampang lintang fisi total untuk Th-230 masih memiliki ketidaksesuaian pada daerah energi yang cukup lebar. Ketidaksesuaian ini sebagian besar diakibatkan oleh ketidakhadiran beberapa parameter penting yang harus dilibatkan di dalam proses perhitungan. Parameter-parameter tersebut mewakili keadaan sebenarnya dari mekanisme reaksi Th-230(n,f). Hasil perhitungan level density dan LDP dari dua buah inti residual Th-230 dan Th-231 menunjukkan signifikansi dari karakteristik masing-masing inti tersebut.*

**A. Pendahuluan**

Pemanfaatan energi nuklir sebagai energi alternatif sudah menjadi salah satu kebutuhan primer mengingat ketersediaan energi fosil bagi kehidupan masyarakat dunia sudah hampir mencapai titik batas kapasitas bumi sebagai sumber dari bahan-bahan penghasil energi. Untuk menghasilkan energi nuklir yang efisien dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang berkesinambungan, maka diperlukan pengembangan teknologi reaktor nuklir komersial sebagai salah satu bentuk entitas penghasil energi nuklir. Pengembangan teknologi reaktor nuklir ini tidak terlepas dari kebutuhan akan data-data nuklir yang dihasilkan dari

eksperimen maupun dari hasil prediksi teoritik. Data-data nuklir tersebut antara lain : Penampang lintang fisi, penampang lintang total, produksi nuklida residual, level density, produksi foton, produksi gamma, spektrum neutron, dan beberapa fungsi eksitasi. Data-data nuklir ini akan digunakan di dalam penentuan beberapa aspek kritis reaktor nuklir seperti burn-up, fuel cycle, dan beberapa aspek lain yang mengarah pada desain reaktor nuklir.

Salah satu parameter penting yang dapat menentukan tingkat fisibilitas dari suatu nuklida adalah level density yang menggambarkan penentuan probabilitas populasi fisi dan juga tingkat penetrabilitas nukleon dan partikel

terhadap fission barrier di dalam inti. Di dalam paper ini, level density dari Th-230 (n,f) akan ditentukan melalui model pendekatan temperatur konstan (Constant Temperature Model) dari Gilbert-Cameron dengan menggunakan formulasi parameter level density yang bergantung pada energi eksitasi dari Ignatyuk. Level density yang dihasilkan kemudian akan digunakan untuk menentukan beberapa data nuklir yang esensial seperti penampang lintang fisi agar dapat dibandingkan hasilnya dengan ENDF (Evaluated Nuclear Data File) dan juga untuk melihat validitas model CTM pada nuklida Th-230 untuk kisaran energi antara 1 MeV dan 10 MeV.

## B. Constant Temperature Model

Model *Constant Temperature* dari Gilbert-Cameron [7] membagi energi eksitasi ke dalam dua bagian, yaitu daerah energi dibawah *matching point*  $E_M$  dan daerah energi diatas *matching point*  $E_M$ . Formulasi level density diatas energi  $E_M$  diturunkan dengan menggunakan model gas Fermi sedangkan untuk daerah dibawah energi  $E_M$  digunakan hukum temperatur konstan (Constant Temperature Law). Formulasi level density model CTM dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho(E_x, J, \Pi) &= \frac{1}{2} R_F(E_x, J) \rho_T^{tot}(E_x), & E_x \leq E_M \\ &= \rho_F(E_x, J, \Pi), & E_x \geq E_M\end{aligned}\quad (1)$$

Sedangkan bentuk persamaan untuk level density totalnya adalah :

$$\begin{aligned}\rho^{tot}(E_x) &= \rho_T^{tot}(E_x), & E_x \leq E_M \\ &= \rho_F^{tot}(E_x), & E_x \geq E_M\end{aligned}\quad (2)$$

Formulasi level density dari model gas Fermi diturunkan dengan asumsi bahwa proyeksi momentum sudut total terkopel secara acak dan keadaan-keadaan

partikel tunggal terdistribusi dengan jarak yang sama satu sama lain (equally spaced). Formulasi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\rho_F(E_x, J, \Pi) = \frac{1}{2} \frac{2J+1}{2\sqrt{2\pi}\sigma^3} \exp\left[-\frac{(J+1/2)^2}{2\sigma^2}\right] \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{a}U]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (3)$$

dimana  $\sigma^2$  adalah parameter *spin cut off*. Suku  $R_F(E_x, J)$  adalah distribusi spin dari gas Fermi dan didefinisikan sebagai :

$$R_F(E_x, J) = \frac{2J+1}{2\sigma^2} \exp\left[-\frac{(J+1/2)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

Jika persamaan (3) dijumlahkan untuk semua paritas dan spin, maka akan didapat level density total dari gas Fermi.

$$\rho_F^{tot}(E_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{\sqrt{\pi}}{12} \frac{\exp[2\sqrt{a}U]}{a^{1/4}U^{5/4}} \quad (5)$$

Pada daerah energi eksitasi di bawah energi  $E_M$ , formulasi level density diturunkan berdasarkan hukum temperatur konstan yang menyatakan bahwa data eksperimen dari histogram kumulatif

untuk level-level diskrit pertama dapat didekati oleh suatu kurva bentuk eksponensial. Level density ini memiliki bentuk seperti berikut :

$$\rho_T^{tot}(E_x) = \frac{dN(E_x)}{dE_x} = \frac{1}{T} \exp\left(\frac{E_x - E_0}{T}\right) \quad (6)$$

### C. Level Density Parameter

Salah satu parameter penting yang memberikan kontribusi pengaruh energi eksitasi pada level density adalah parameter level density ( $a$ ). Pada awalnya parameter ini tidak bergantung pada energi eksitasi dan lebih menunjukkan sifat dan karakteristik dari

inti. Namun pada perkembangan selanjutnya Ignatyuk [6] menunjukkan bahwa parameter ini dapat dihubungkan dengan energi eksitasi dan parameter koreksi kulit inti (*shell correction factor*) seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini :

$$a = a(E_x) = \tilde{a} \left(1 + \delta W \frac{1 - \exp[-\gamma U]}{U}\right) \quad (7)$$

dimana  $\tilde{a}$  adalah parameter level density asimtotik yang ditentukan pada

saat energi eksitasi mencapai nilai tertinggi dan efek koreksi kulit inti

menjadi diabaikan. Energi  $U$  didefinisikan sebagai hasil pengurangan antara energi eksitasi  $E_x$  dengan energi shift (pairing energy) dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$U = E_x - \Delta \quad (8)$$

Pada persamaan (7) juga terdapat parameter yang menunjukkan hubungan antara parameter level density dengan parameter koreksi kulit makroskopik.

$$M_{LDM} = M_n N + M_H Z + E_{vol} + E_{surf} + E_{coul} + \delta \quad (10)$$

dimana  $E_{vol}$  adalah suku dari efek volume inti,  $E_{surf}$  adalah kontribusi energi dari efek permukaan inti,  $E_{coul}$  adalah energi kontribusi dari efek coulomb, dan  $\delta$  adalah kontribusi dari efek pasangan (pairing effect).

Selain formulasi massa liquid drop dari Myers-Swiatecki terdapat pula jenis formulasi massa liquid drop yang lain yang melibatkan kontribusi dari kurvatur permukaan inti serta bergantung pada parameter-parameter deformasi orde pertama di dalam kerangka model makroskopik-mikroskopik. Model ini

$$M(Z, N; def) = ZM_H + NM_n - b_{elec} Z^{2.39} + b_{vol} (1 - \kappa_{vol} I^2) A + b_{surf} (1 - \kappa_{surf} I^2) A^{2/3} B_{surf}(def) + b_{cur} (1 - \kappa_{cur} I^2) A^{1/3} B_{cur}(def) + b_{coul} \frac{Z^2}{A^{1/3}} B_{coul}(def) + C_4 \frac{Z^2}{A} + E_{micr}(Z, N; def) + E_{cong}(Z, N) \quad (11)$$

Koreksi kulit makroskopik ini didefinisikan sebagai hasil pengurangan antara massa inti eksperimental dengan massa inti yang dihasilkan dari model Liquid Drop, atau dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\delta W = M_{exp} - M_{LDM} \quad (9)$$

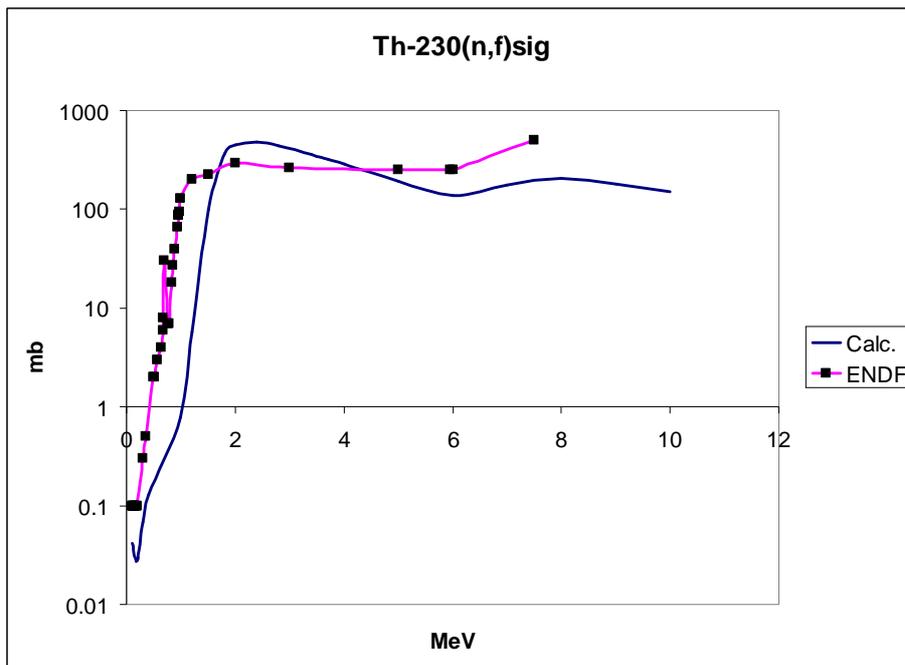
Massa inti liquid drop yang akan dipakai di dalam perhitungan adalah massa inti dari Myers-Swiatecki yang memiliki bentuk :

menyatakan bahwa massa inti merupakan hasil dari kontribusi dua bagian besar, yaitu kontribusi makroskopik yang terdiri dari massa inti liquid drop dengan beberapa parameter deformasi yang bergantung pada parameterisasi inti serta kontribusi mikroskopik yang terdiri dari koreksi kulit mikroskopik (microscopic shell correction) dan energi dari efek pasangan (pairing effect). Formulasi massa yang melibatkan suku kurvatur permukaan inti ini disebut sebagai massa LSD (Lublin Strassbourg Drop) [4,5] dan memiliki bentuk sebagai berikut :

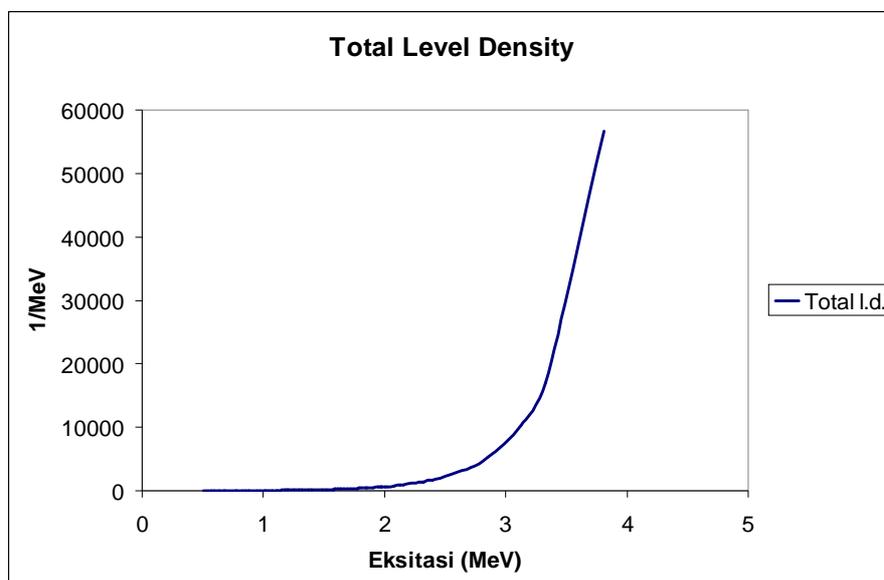
**D. Hasil Perhitungan Dan Analisis**

Penentuan parameter level density dari Th-230 (n,f) ini menggunakan salah satu kode program untuk simulasi reaksi nuklir yang banyak dipakai secara global untuk kepentingan riset. Kode program

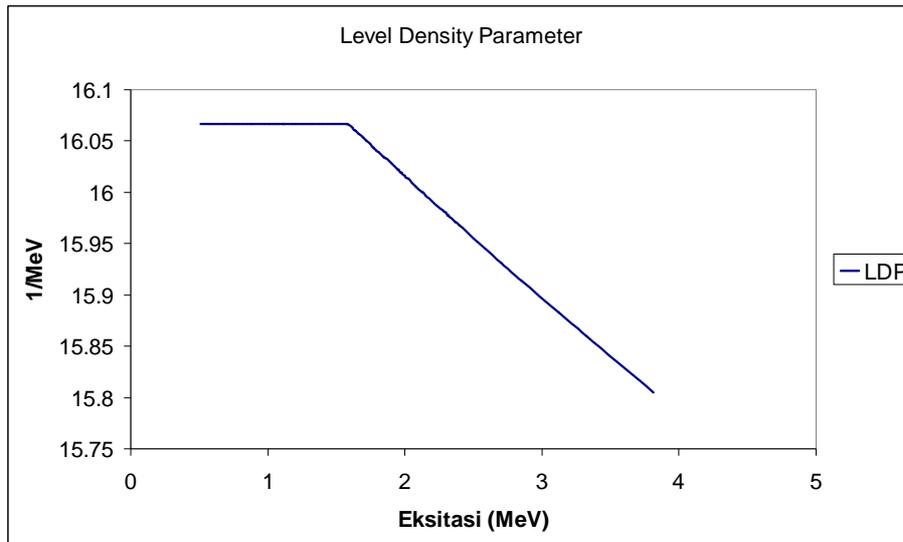
tersebut adalah TALYS [1,2,3] nuclear reaction code. Di dalam perhitungan ini, model level density yang akan dipakai adalah model dari Gilbert-Cameron dengan level density parameter yang dihasilkan dari formulasi Ignatyuk.



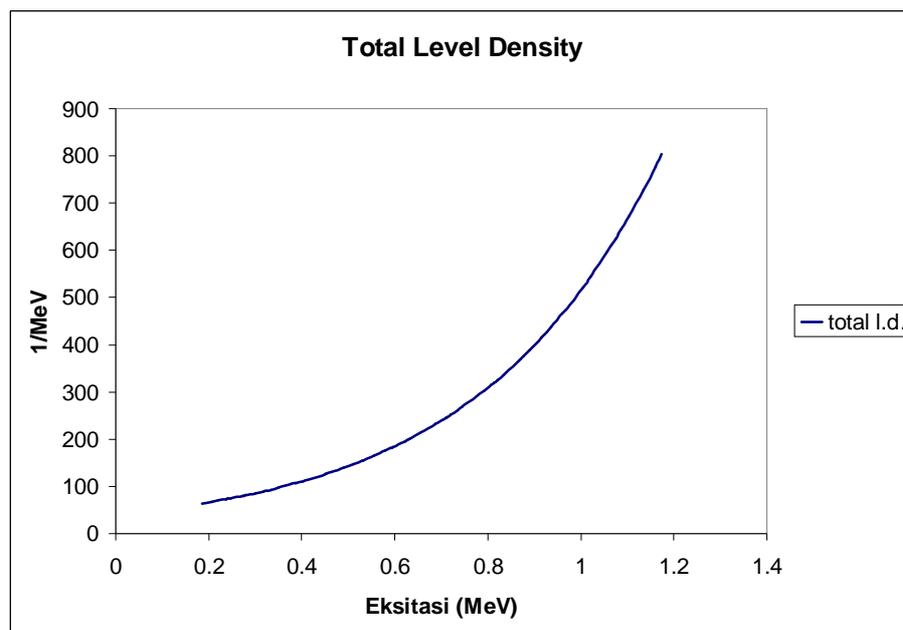
**Gambar 1. Penampang lintang fisi total dari Th-230(n,f)**



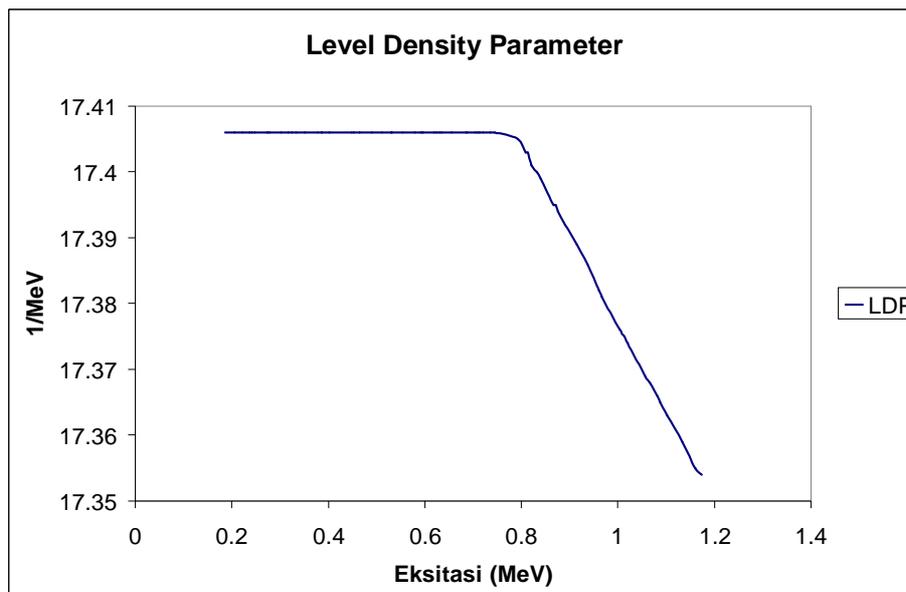
**Gambar 2. Level density total dari Th-230**



**Gambar 3. Parameter level density dari Th-230**



**Gambar 3. Level density total dari Th-231**



**Gambar 3. Parameter level density dari Th-231**

Penampang lintang fisi total dari Th-230(n,f) pada gambar (1) diatas menunjukkan hasil yang hampir mendekati dengan data hasil kompilasi ENDF. Faktor utama yang memberikan ketidaksesuaian pada hasil perhitungan penampang lintang antara lain adalah banyaknya parameter-parameter fisi yang tidak dilibatkan di dalam perhitungan. Parameter-parameter tersebut antara lain adalah : ketinggian dan lebar dari *fission barrier*, efek dari vibrasi dan rotasi inti pada level density maupun pada parameter yang lain, keterlibatan efek dari kemunculan fenomena keadaan *class 2* pada *fission barrier*, pemilihan parameter level density (eksperimen ataupun sistematis dengan menggunakan formulasi Ignatyuk), Penentuan parameter *matching energy*,

dan beberapa parameter yang terkait dengan model level density Gilbert-Cameron. Jika digunakan model level density yang lain (Generalized superfluid model ataupun Backshifted Fermi), maka perlu dilibatkan juga parameter-parameter yang terkait dengan kedua model tersebut.

Pemilihan parameter-parameter fisi tersebut diatas dapat diinterpretasikan sebagai representasi dari keadaan mekanisme reaksi Th-230(n,f) yang sebenarnya.

Level density total dan level density parameter (LDP) yang didapatkan dari hasil perhitungan melibatkan dua buah nuklida residu yang terbentuk selama proses fisi, yaitu Th-230 dan Th-231. Dari gambar (2) dan (4) dapat dilihat bahwa harga level density total memiliki

karakteristik eksponensial dan memiliki harga sekitar 56000 pada energi eksitasi inti  $\pm 3.8$  MeV untuk Th-230 serta memiliki harga sekitar 800 pada eksitasi  $\pm 1.185$  MeV untuk Th-231. Berbeda dengan harga level density parameter (LDP) yang cenderung konstan pada energi eksitasi dibawah 1.6 MeV (Th-230) dan dibawah 0.789 MeV (Th-231). Diatas energi eksitasi tersebut, harga LDP cenderung menurun dengan gradien  $\pm 5$  MeV untuk Th-230 dan  $\pm 8$  MeV untuk Th-231 seiring dengan penambahan energi eksitasi.

#### E. Referensi

- A.J. Koning, S. Hilaire and M.C. Duijvestijn, .TALYS-1.0., *Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology - ND2007*, May 22 - 27, 2007, Nice, France, EDP Sciences, 2008, p. 211-214.
- A.J. Koning, S. Hilaire and M.C. Duijvestijn, .TALYS: Comprehensive nuclear reaction modeling, *Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology - ND2004*, AIP vol. 769, Sep. 26 - Oct.1, 2004, Santa Fe, USA, p. 1154 (2005).
- A.J. Koning, S. Hilaire and M.C. Duijvestijn, .Predicting nuclear reactions with TALYS., *Proceedings of the Workshop on Neutron Measurements, Evaluations and Applications - 2*, October 20-23, 2004 Bucharest, Romania (2006), ed. A. Plompen.
- K. Pomorski, and J. Dudek, *Physical Review C***67**, 044316 (2003)
- A. Dobrowolski, B. Nerlo-Pomorska, K. Pomorski, Vol. 40 (2009) *Acta Physica Polonica B* No 3.
- A.V. Ignatyuk, G.N. Smirenkin and A.S. Tishin, *Sov. J. Nucl. Phys.* 21, no. 3, 255 (1975).
- A. Gilbert and A.G.W. Cameron, *Can. J. Phys.* 43, 1446 (1965).