

# Penelitian Resonans Nukleon dan Fisika Nuklir Hiper dengan Menggunakan Fotoproduksi Kaon

T. Mart

*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia*

Sejak ditemukannya bilangan “keanehan” oleh Gell-Mann dan Nishijima lebih dari lima dekade lalu, minat fisikawan untuk meneliti derajat kebebasannya di dalam nukleus tetap bertahan hingga sekarang. Di bidang fisika nuklir bilangan “keanehan” ini memberi jalan bagi para eksperimentalis untuk memasuki semua tingkat nuklir tanpa mengindahkan larangan Pauli. Hal ini tidak berlaku pada nuklir konvensional, karena proton dan neutron yang menyusun suatu nukleus merupakan fermion yang selalu patuh pada aturan Pauli. Aturan ini melarang dua partikel untuk berada pada bilangan kuantum yang sama pada waktu yang sama. Dengan demikian, nukleus-nukleus hiper memiliki tingkat-tingkat energi yang berbeda dibandingkan dengan nukleus konvensional.

Nukleus hiper dapat diproduksi dengan cara hadronik, yaitu melalui reaksi penangkapan kaon. Disamping itu, nukleus hiper dapat juga diproduksi secara elektromagnetik, yaitu dengan menggunakan foton ril (sinar  $\gamma$ ) atau foton virtual (foton yang diinduksikan dalam hamburan elektron). Reaksi elektromagnetik lebih menguntungkan dibandingkan dengan reaksi hadronik karena interaksi foton dan kaon dengan nukleus cukup lemah, sehingga proses interaksi dapat terjadi jauh di dalam interior nuklir. Di samping itu, reaksi elektromagnetik jauh lebih dipahami dibandingkan dengan reaksi hadronik karena informasi tentang interaksi kuat yang dibawa oleh hadron masih sangat terbatas.

Untuk memahami proses yang terjadi di dalam nukleus, pengetahuan tentang proses yang terjadi pada sebuah nukleon (penyusun suatu nukleus) merupakan syarat mutlak. Proses elektromagnetik yang terjadi pada sebuah nukleon (dalam hal ini proton) lazimnya dijelaskan dengan diagram Feynman seperti terlihat pada Gambar 1. Pada proses tersebut foton diserap oleh proton yang selanjutnya merambat menjadi partikel virtual sebelum meluruh menjadi kaon ( $K$ ) dan hiperon ( $\Lambda$ ). Foton juga dapat berinteraksi dengan hiperon (atau kaon) setelah proton terlebih dahulu meluruh menjadi

kaon dan hiperon. Secara teoretis, formula yang didapat dari diagram Feynman yang digambarkan pada Gambar 1 disebut sebagai operator elementer.

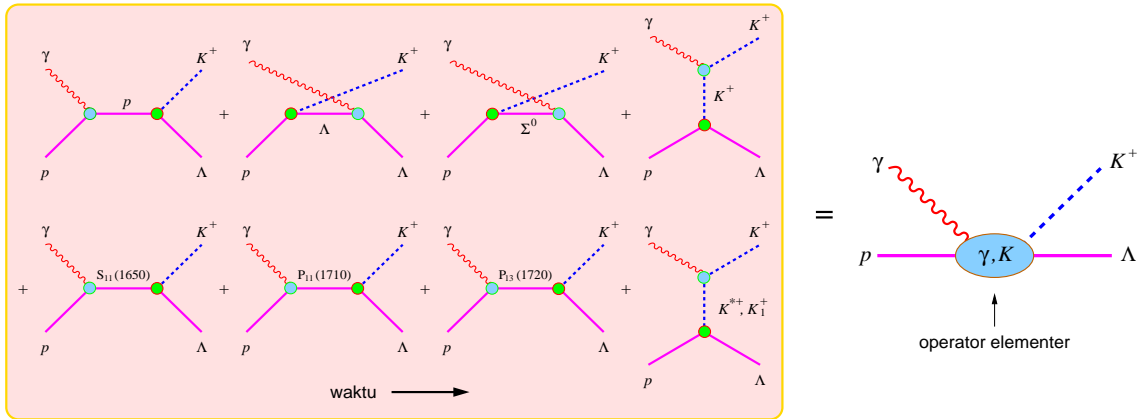
Operator elementer mengandung cukup banyak parameter yang secara teoretis tidak diketahui. Parameter-parameter ini dapat diekstraksi dari penampang lintang serta beberapa observabel hasil eksperimen. Saat ini eksperimen dilakukan dengan menggunakan akselerator-akselerator generasi baru yang bernama ELSA di Bonn (Jerman), CEBAF (sekarang Jefferson Lab) di Newport News (USA), GRAAL di Grenoble (Perancis), dan SPRING8 di Osaka (Jepang). Dengan menggunakan data eksperimen ini, hampir semua parameter yang dibutuhkan dapat diketahui, sehingga operator elementer pada prinsipnya dapat meramalkan penampang lintang serta observabel untuk semua kasus.

## Pencarian partikel resonans

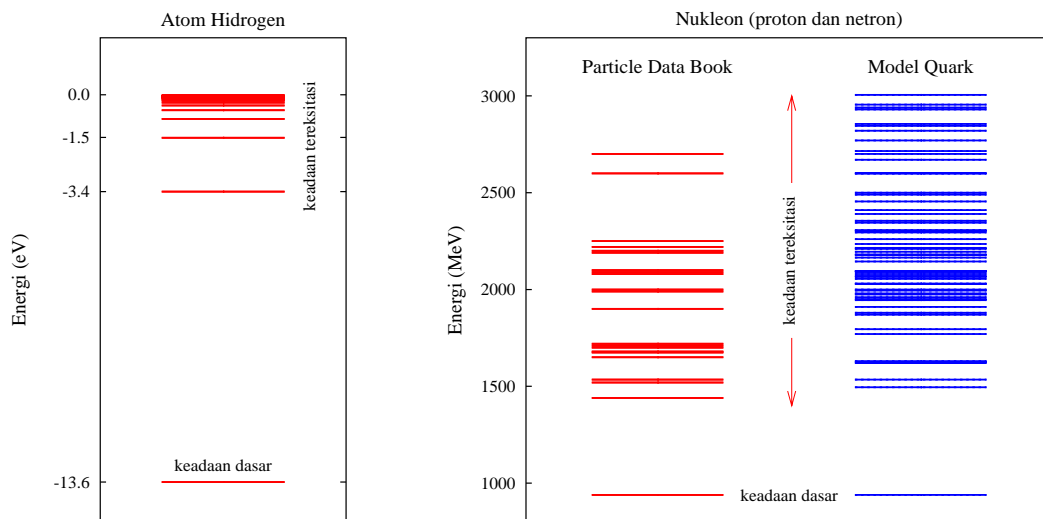
Atom Hidrogen yang terdiri dari elektron dan proton dapat diganggu atau dieksitasi ke keadaan-keadaan yang tidak stabil. Keadaan-keadaan ini dinamakan keadaan-keadaan tereksitasi (*excited states*). Atom-atom Hidrogen yang berada dalam keadaan tereksitasi akan segera kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan foton untuk mematuhi hukum kekekalan energi.

Analog dengan kasus tersebut, sebuah nukleon yang merupakan sistem dengan tiga quark juga dapat dieksitasi. Keadaan tereksitasi pada kasus nukleon disebut keadaan resonans nukleon (singkatnya disebut: resonans nukleon). Nukleon yang berada dalam keadaan resonans akan segera kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan partikel meson untuk mematuhi hukum kekekalan energi.

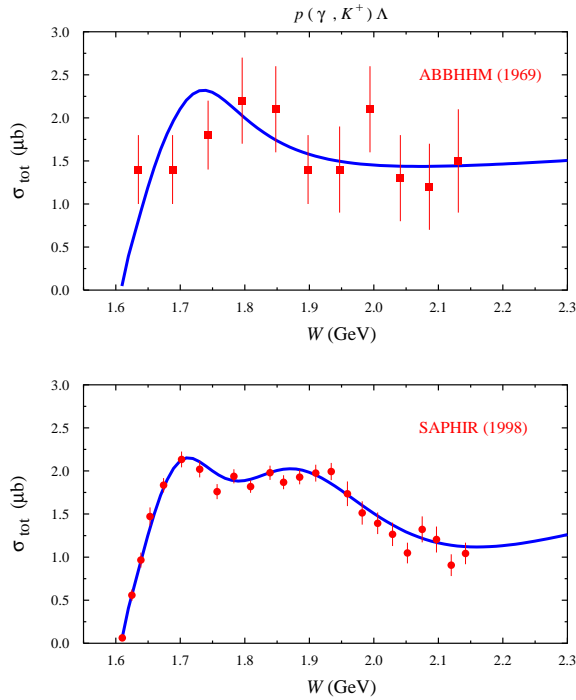
Tingkat-tingkat energi pada kedua kasus di atas dilukiskan pada Gambar 2. Hal yang paling menarik di sini adalah kenyataan bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan model quark [3] memperlihatkan tingkat-tingkat energi yang jauh lebih banyak ketimbang tingkat-tingkat energi yang hingga kini berhasil



Gambar 1: Diagram-diagram Feynman untuk proses produksi kaon pada sebuah proton yang dinyatakan dengan simbol reaksi  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$ . Amplitudo reaksi yang diperoleh dari diagram ini disebut operator elementer, yang sangat berguna dalam penelitian beberapa aspek fenomenologis dari kaon and hiperon.



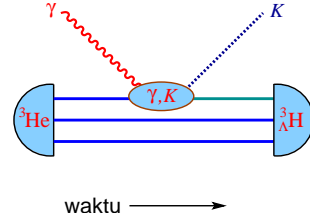
Gambar 2: Seperti atom Hidrogen, keadaan dasar suatu nukleon (berupa proton dan neutron) dapat dieksitasi ke tingkat-tingkat yang lebih tinggi. Namun, jumlah keadaan tereksitasi (resonans nukleon) yang teramati hingga kini oleh Particle Data Book [2] jauh lebih sedikit dibandingkan dengan ramalan Model Quark [3]. Benarkan Particle Data Group telah kehilangan resonans nukleon tersebut?



Gambar 3: Perbandingan antara data lama dan data baru untuk reaksi  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$ . Jika pada data lama [5] tidak terlihat suatu struktur, data baru SAPHIR [6] menunjukkan suatu “tonjolan” pada  $W = 1.9$  GeV. Referensi [4] mengusulkan bahwa “tonjolan” tersebut merupakan indikasi salah satu resonans nukleon yang hilang. Kurva merupakan hasil perhitungan teori.

diamati melalui reaksi  $\pi N \rightarrow \pi N$  dan dilaporkan oleh Particle Data Group [2]. Salah satu jawaban untuk masalah ini menyangkut resolusi eksperimen. Mungkin, untuk memecahkan masalah ini kita membutuhkan eksperimen dengan akurasi tinggi karena tidak mustahil resonans-resonans yang “hilang” tersebut tersembunyi dibalik sebuah resonans dominan. Namun model quark mengusulkan bahwa resonans-resonans yang “hilang” tadi boleh jadi terikat kuat pada reaksi lain yang melibatkan partikel-partikel  $K$ ,  $\Lambda$ , atau  $\Sigma$ . Dengan demikian proses-proses  $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda$ ,  $\gamma p \rightarrow K^+ \Sigma^0$ , dan  $\gamma p \rightarrow K^0 \Sigma^+$  merupakan reaksi yang tepat untuk memecahkan masalah ini.

Salah satu indikasi dari resonans nukleon yang “hilang” diperlihatkan pada Gambar 3. Dengan bantuan data baru hasil eksperimen kolaborasi SAPHIR, sebuah resonans dapat diidentifikasi pada energi 1895 MeV yang dinyatakan dengan adanya tonjolan (*peak*) pada energi tersebut. “Partikel” resonans ini kemudian dina-



Gambar 4: Deskripsi proses produksi sebuah hipertriton dengan menggunakan inti helium yang dibombardir dengan sinar  $\gamma$ .

makan  $D_{13}(1895)$  yang berarti keadaan resonans nukleon dengan momentum angular orbital  $L = 2\hbar$ , momentum angular spin  $\frac{3}{2}\hbar$ , bilangan kuantum isospin  $\frac{1}{2}$ , dan massa 1895 MeV [4].

Saat ini, program berburu resonans yang “hilang” bukan semata-mata dilakukan pada reaksi produksi kaon. Beberapa peneliti juga mencoba untuk menemukan resonans tersebut pada reaksi produksi meson vektor. Sebuah organisasi yang dinamakan BRAG (Baryon Resonance Analysis Group) telah dibentuk di Amerika untuk membantu para peneliti bidang ini serta mengoptimalkan data-data yang telah tersedia.

## Produksi Hipertriton

Produksi elektromagnetik kaon dapat juga dilakukan pada helion (inti atom Helium dengan 3 nukleon) sebagai target. Proses yang terjadi digambarkan secara skematis pada Gambar 4. Pada proses ini salah satu proton di dalam helion akan menyerap foton dan bertransformasi menjadi partikel kaon dan  $\Lambda$  melalui reaksi elementer yang dijelaskan pada Gambar 1. Setelah proses elementer terjadi, kaon akan keluar dari nukleus sedangkan partikel  $\Lambda$  akan terikat dengan proton dan neutron membentuk nukleus baru yang disebut hipertriton.

Hipertriton merupakan nukleus hiper terkecil yang mungkin dibentuk karena partikel  $\Lambda$  tidak dapat mengikat sebuah nukleon. Dengan demikian, peranan hipertriton di dalam fisika nuklir hiper akan sama pentingnya seperti peranan deuteron dalam fisika nuklir konvensional. Studi teoretis untuk reaksi ini pernah dilakukan dengan menggunakan fungsi-fungsi gelombang Helium dan hipertriton realistik yang diperoleh dari penyelesaian persamaan Faddeev dengan menggunakan potensial modern Nijmegen [7]. Eksperimen untuk menghasilkan hipertriton dengan menggunakan proses tersebut kini sedang dilakukan di Laboratorium Jeferson di Virginia, USA.

Jika reaksi yang sama digunakan untuk nukleus-

nukleus yang lebih berat, maka kita dapat meneliti spektrum-spektrum seluruh nukleus hiper yang dapat eksis. Studi dengan menggunakan produksi elektromagnetik diharapkan dapat menjadi penelitian komplementer dari produksi hadronik (produksi melalui reaksi tumbukan dengan partikel).

## Referensi

- [1] T. Mart *dkk.*, Physical Review C **51**, R1074 (1995).
- [2] K. Hagiwara *dkk.*, Physical Review D **66**, 010001 (2002).
- [3] S. Capstick dan W. Roberts, Physical Review D **49**, 4570 (1994).
- [4] T. Mart dan C. Bennhold, Physical Review C **61**, 012201 (2000).
- [5] ABBHHM-Collaboration, Physical Review **188**, 2060 (1969).
- [6] M. Q. Tran *dkk.*, Physics Letters B **445** (1998).
- [7] T. Mart *dkk.*, Nuclear Physics **A640**, 235 (1998).