# FOTOPRODUKSI η-MESON PADA NUKLEON DENGAN MODEL ISOBAR

# Maya Puspitasari Izaak<sup>1</sup>, Agus Salam<sup>1</sup>

## <sup>1</sup>Departemen Fisika, FMIPA-UI, Kampus UI Depok 16424

## mayaizaak@yahoo.co.id , agussalam@yahoo.com

#### Abstrak

Telah dipelajari dan dikembangkan sebuah model sederhana untuk reaksi fotoproduksi  $\Box$  pada nukleon yaitu model isobar dengan menggunakan formalism amplitudo transversal pada kerangka pusat massa. Fotoproduksi dianalisis pada energi foton Lab. antara 0.8-1.2 GeV. Reaksi fotoproduksinya adalah  $\Box N \rightarrow \Box \Box N$ . Amplitudo yang ditinjau melibatkan kanal-s, kanal-t dan kanal-u pada suku Born dan resonan. Perhitungan observable yang ditinjau adalah penampang lintang differensial, penampang lintang total, dan polarisasi foton. Hasil penelitian ini menunjukkan seberapa besar kontribusi dari amplitudo transisi pada kanals dan kanal-u dari suku Born dan resonan pada proses perhitungan data observable.

## Abstract

A simple model for  $\Box$  photoproduction have been studied and developed in this research named isobaric model using transversal amplitudes formalism in the center of mass system. Photoproduction is analyzed in foton Lab. energy 0.8-1.2 GeV. The considered reaction is  $\Box N \rightarrow \Box N$ . Amplitudes consist of s channel, t channel and u channel in Born term and resonance term. Observable that we consider are differential cross section, total cross section and photon polarization. The result of this research is to show how large the contribution of transition amplitudes in channel-s, channel-t and channel-u from Born term and resonance term in the calculation of the observable data.

Keywords: Fotoproduksi n, isobaric model, transversal amplitudes.

# **1. PENDAHULUAN**

Para ilmuwan fisika telah dan masih melakukan eksperimen untuk meneliti inti dalam gambaran hadron-hadron yang berinteraksi menurut kerangka teori interaksi efektif. Salah satu bentuk eksperimen tersebut adalah eksperimen fotoproduksi yang dilakukan pada skala energi rendah dan menengah [Sumowidagdo 2001].

Fotoproduksi merupakan reaksi antara foton dengan suatu partikel yang menghasilkan partikel lain diakhir reaksi. Fotoproduksi adalah kasus khusus dari elektroproduksi dimana foton pada fotoproduksi merupakan foton real sedangkan pada elektroproduksi digunakan hamburan elektron yang dapat bertindak sebagai foon virtual.

Meson  $\eta$  adalah salah satu anggota meson nonet fundamental, yang juga memberikan banyak motivasi dari ekstensifikasi fotoproduksi pion dalam beberapa dekade terakhir. Reaksi fotoproduksi  $\eta$  meson adalah salah satu contoh fotoproduksi untuk spektroskopi baryon dengan isospin 0. Reaksi ini menghasilkan sebuah "*isospin filter*" pada spektrum resonan baryon. Filter isospin ini mengeliminasi banyak state sehingga membuat tingkat eksitasi nukleon lebih sederhana untuk reaksi ini dibandingkan dengan reaksi  $\pi N$ . Salah satu hal yang membedakan fotoproduksi  $\eta$  dari fotoproduksi pion atau kaon adalah  $\eta$  adalah meson non strangeness tapi memiliki konten quark s. Perbedaan ini dapat membantu menentukan peran quark s dalam propertis model quark nukleon. Selanjutnya, selektifitas isospin dari  $\eta$  meson memberikan sebuah alat untuk menguraikan spektrum resonance nukleon untuk pemisahan resonansi nucleon *N*\* yang lebih baik [M.Dugger.2001].

Penyelidikan fotoproduksi η memberikan kemungkinan pencarian resonansiresonansi yang hilang (*missing resonaces*), yang tidak dapat diobservasi dalam hamburan  $\pi N$  dan fotoproduksi  $\eta$ pada nukleon. Fotoproduksi n pada nucleon memberikan sebuah kesempatan unik untuk mempelajari properties dari resonan S11 (1535) karena resonan ini memiliki sebuah ratio cabang yang lebar ke dalam kanal  $\pi$ N, tidak seperti resonan yang lain walaupun dengan massa yang hampir sama seperti D13(1520), S11(1650), D15 (1675) dan F15 (1680) [I.G.Aznauryan.2003].

Sebuah laporan eksperimen pertama tentang baryon eksotik yang dikenal dengan □+ dari LESP

collaboration, terdapat sebuah angka besar dari relasi antara kerja eksperimen dan kerja teoritis. Diantaranya, penemuan sebuah nucleon resonan baru seperti yang dilaporkan oleh GRAAL, yaitu N\*(1675) dari fotoproduksi . Data mereka menunjukkan adanya puncak sempit dari suatu luasan yang meluruh di sekitar 40MeV. Luasan sempit ini adalah sebuah fitur khas dari baryon pentaguarkyang eksotik. Ditambah lagi, sebagian besar proses fotoproduksi N\*(1675) bergantung pada tingkat isospin target nukleon. Barubaru ini, LNS Tohoku dan CBELSA melaporkan fotoproduksi n dari target deuteron menunjukkan perilaku yang sama. Meskipun n-MAID telah mengasumsikan JP = 1/2+ sebagaimana yang disarankan oleh  $\chi$  QSM, data dari eksperimen sebelumnya telah menunjukkan bahwa JP = 1/2sama-sama mungkin dalam perbandingan dengan data eksperimen [Kim 2008]. Meski demikian data fotoproduksi untuk meson ini masih sangat jarang. Fasilitas-fasilitas untuk menyediakan sumber informasi yang berharga masih belum memadai sehingga sangat relevan untuk mempelajari dan menelitinya.



*Gambar 1:* Diagram Feynman untuk reaksi fotoproduksi η pada Nukleon

### 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, kinematika relativistik digunakan dalam proses perhitungan pada reaksi fotoproduksi, karena energi yang digunakan jauh lebih besar dibandingkan dengan massa partikel yang saling berinteraksi ( $E \gg m$ ). Persamaan reaksi umum yang bersesuaian dengan penelitian pada tesis ini adalah

$$\gamma(k) + N(p_1) \rightarrow \eta(q) + N(p_2)$$
 (1)  
Momentum-4 pada kerangka Lab. dapat ditulis  
sebagai berikut

$$k^{\mu} = \left(\tilde{k}_{0}, \overline{\tilde{k}}\right), \tilde{p}_{1}^{\mu} = (m_{N}, 0), q^{\mu} = \left(\tilde{q}_{0}, \overline{\tilde{q}}\right), \tilde{p}_{2}^{\mu} = \left(E_{2}, \overline{\tilde{k}} - \overline{\tilde{q}}\right)$$
(2)

Sedangkan pada kerangka P.M sebagai berikut  $k^{\mu} = (k_0, \vec{k}), p_1^{\mu} = (E_1, -\vec{k}), q_{\eta}^{\mu} = (q_0, \vec{q}), p_2^{\mu} = (E_2, -\vec{q})$  (3)

Tanda tilde digunakan untuk membedakan momentum-4 di kerangka Lab. dengan momentum-4 di kerangka P.M.



**Gambar 2:** Kinematika Proses Fotoproduksi η pada kerangka Lab. dan kerangka P.M

Variabel Mandelstam yang bersesuaian untuk penelitian ini bersesuaian dengan persamaan (1) adalah

(4)  $s = (k + p_1)^2 = (q + p_2)^2$ (5)  $t = (q - k)^2 = (p_1 - p_2)$ (6)  $u = (k - p_2)^2 = (p_1 - q)^2$ 

untuk kerangka P.M adalah sebagai berikut  $s = (k_0 + E_1) = W^2$ 

(8)

$$t = k^{2} + m_{\eta}^{2} - 2q_{0}k_{0} + 2|\vec{q}||\vec{k}|cos(\gamma,\eta)$$

$$u = k^{2} + m_{N}^{2} - 2k_{0}E_{2} - 2|\vec{q}||\vec{k}|cos(\gamma,\eta)$$
(9)

Dalam fisika partikel, energi ambang untuk produksi sebuah partikel adalah energy kinetic minimum pasangan partikel yang dimiliki ketika mereka bertumbukan. energy ambang foton pada kerangka P.M sebagai berikut

$$\vec{k}\big|^{th} = \frac{m_{\eta}^2 + 2m_{\eta}m_N}{2(m_{\eta} + m_N)} \tag{10}$$

Notasi penampang lintang differensial yang sesuai dengan persamaan (2.6) menurut [Aitchison-Hey. 1989] dapat dituliskan sebagai berikut

$$d\sigma = \frac{|M|^2}{4[(k.p_1)^2 - m_\gamma^2 m_N^2]^{1/2}} dLips$$
(11)

dimana

$$dLips = \frac{1}{(4\pi)^2} \delta^4 (q + p_2 - k - p_1) \frac{d^3 q}{q_0} \frac{d^3 p_2}{E_2}$$
(12)

untuk kerangka P.M

$$d\sigma = \frac{|M|^2}{4[(k.p_1)^2 - m_{\gamma}^2 m_N^2]^{1/2}} \frac{1}{(4\pi)^2} d\Omega \frac{|q|}{w} = \frac{|M|^2}{4|k|(k_0 + E_1)} \frac{1}{(4\pi)^2} d\Omega \frac{|q|}{w}$$
$$= \frac{|M|^2}{64\pi^2 s} \frac{|q|}{|k|} d\Omega$$
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|M|^2}{64\pi^2 s} \frac{|q|}{|k|} \qquad (13)$$

Penampang lintang total diperoleh dengan mengintegrasikan nilai penampang lintang differensial terhadap  $d\Omega$ .

$$\sigma_{total} = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} \sin \theta \, d\theta d\phi \tag{14}$$

Dalam teori medan kuantum, matriks- S menghubungkan keadaan awal dan keadaan akhir dari sebuah proses hamburan. Elemen matriks-S yang sesuai dengan proses pada persamaan (1) dapat ditulis sebagai berikut

$$\begin{aligned} \langle f | \delta | l \rangle \\ &= \delta_{fi} - \left\langle f \left| i \int d^4 x_1 \mathcal{H}(x_1) \right| i \right\rangle \\ &+ \left\langle f \left| \frac{(-i)^2}{2!} \int d^4 x_1 d^4 x_2 T \{ \mathcal{H}(x_1) \mathcal{H}(x_2) \} \right| i \right\rangle + \cdots \end{aligned}$$

(15)

dimana T adalah operator urutan waktu dari operator medan partikel. Matriks-S juga dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut

$$\langle f|\mathcal{S}|i\rangle = \delta_{fi} - i2\pi^4 \delta^4 ((p_f - p_i)\mathcal{M}_{fi} \prod_{i=i,f} \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^3 2E_i}}$$
(16)

dengan  $\mathcal{M}_{fi}$  adalah amplitudo transisi yang invarian terhadap transformasi Lorentz.

Matriks-S ini dapat diinterpretasikan sebagai matriks evolusi untuk nilai amplitudo dari keadaan awal ke keadaan akhir. Selain itu, ketika suku ke-2 dikuadratkan maka nilai yang diperoleh dapat diinterpretasikan sebagai probabilitas dari transisi yang muncul dari keadaan awal ke keadaan akhir. Fungsi delta pada suku ke-2 memastikan bahwa momentum-4 pada sistem yang ditinjau terkonservasi [Kumeri cki 2001, Salam 2002]. Dimana  $\gamma$ , N dan  $\eta$  masing-masing adalah foton, nukleon, dan  $\eta$  meson. Sedangkan e,  $\kappa_N$  dan  $M_h$  adalah muatan, momen magnetik dan massa hadron. Konstanta kopling resonan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan model potensial Nijmegen tersaji pada tabel dibawah ini

<b>Tabel I.</b> Konstanta Kopling Resonan										
	$g^v_{ ho NN}$	$g^t_{ ho NN}$								
$g_{\eta NN}$			$g^{v}_{\omega NN}$	$g^t_{\omega NN}$	$g_{ ho\eta\gamma}$	$g_{\omega\eta\gamma}$ -				
0.47	2.97	12.52	10.36	4.20	0.89	0.192				

- - - --

Dari persamaan diatas diperoleh definisi faktorverteks yang dibutuhkan untuk menghitung amplitudo<u>p</u> transisi. Faktor verteks yang digunakan dalam<u>n</u> penelitian ini adalah, <u>n</u>

$$\Gamma_{\eta NN} = g_{\eta NN} \gamma^5$$

 $\Gamma_{NN\gamma} = -iQ_N \gamma^\mu \epsilon_\mu + \mu_N \sigma^{\mu\nu} \epsilon_\mu k_\nu$ 

Amplitudo transisi untuk masing-masing kanal yaitu  $\mathcal{M}_s$ 

$$= \bar{u}_{N}(p_{2})g_{\eta NN}\gamma^{5} \left(\frac{\gamma^{\mu}k_{\mu} + \gamma^{\mu}p_{1\mu} + m_{N}}{(k+p_{1})^{2} - m_{N}^{2}}\right) \left(-iQ_{N}\gamma^{\mu}\varepsilon_{\mu} + \mu_{N}\sigma^{\mu\nu}\varepsilon_{\mu}k_{\nu}\right) u_{N}(p_{2})$$

$$\mathcal{M}_{u} = \bar{u}_{N}(p_{2})\left(-iQ_{N}\gamma^{\mu}\varepsilon_{\mu} + \mu_{N}\sigma^{\mu\nu}\varepsilon_{\mu}k_{\nu}\right)$$
$$\left(\frac{\gamma^{\mu}p_{2\mu} - \gamma^{\mu}k_{\mu} + +m_{N}}{(p_{2}-k)^{2} - m_{N}^{2}}\right)g_{\eta NN}\gamma^{5}u_{N}(p_{2})$$

$$\begin{split} M_{t} &= \frac{-ieg_{\gamma\eta\nu}F_{t}^{\nu}\varepsilon_{\mu\nu\sigma\rho}}{M_{\eta}(t-M_{\nu}^{2})}\bar{u}(p_{2})k^{\mu}\varepsilon^{\nu}(k-q)^{\sigma} \left[g_{\nu NN}^{\upsilon}\gamma^{\rho} + \frac{g_{\nu NN}^{t}}{4M_{N}}\left[\gamma_{\mu}q^{\mu}\gamma^{\rho} - \gamma^{\rho}(\gamma_{\mu}k^{\mu} - \gamma_{\mu}p_{1}^{\mu})\right]\right]u_{N}(p_{1}) \\ M_{s*}^{1/2} &= \frac{e\mu_{\gamma NN*}g_{\eta NN*}F_{s}^{N*}}{(M_{N}+M_{N*})[s-M_{N*}^{2}-iM_{N*}\Gamma_{N*}]}\bar{u}(p_{2})\gamma^{5}\Gamma_{5}^{a}(\gamma_{\mu}k^{\mu} + \gamma_{\mu}p_{1}^{\mu} + M_{N*})\Gamma_{5}^{a}\gamma_{\mu}\varepsilon^{\mu}\gamma_{\mu}k^{\mu}u_{N}(p_{1}) \\ M_{u*}^{1/2} \\ &= \frac{e\mu_{\gamma NN*}g_{\eta NN*}F_{u}^{N*}}{(M_{N}+M_{N*})[u-M_{N*}^{2}-iM_{N*}\Gamma_{N*}]}\bar{u}(p_{2})\Gamma_{5}^{a}\gamma_{\mu}\varepsilon^{\mu}\gamma_{\mu}k^{\mu}(\gamma_{\mu}q^{\mu} + \gamma_{\mu}p_{1}^{\mu} + M_{N*})\gamma^{5}\Gamma_{5}^{s}u_{N}(p_{1}) \\ &\quad (18) \end{split}$$

 $\mathcal{M}_s \ \mathcal{M}_u, \mathcal{M}_t, \mathcal{M}_{s*}, \mathcal{M}_{u*}$ dan masing-masing adalah amplitudo transisi untuk kanal-s, kanal-u, kanal-t, resonan N\* untuk kanal-s spin ½ dan resonan N\* untuk kanal-u spin ½ .  $\Gamma_5^a$  adalah matriks paritas resonan dengan nilai

Paritas Positif:  $\Gamma_5^a = I_{4 \times 4}$ 

Paritas Negatif :  $\Gamma_5^a = \gamma^5$ 

Sedangkan  $\bar{u}_N(p_2)$  dan  $u_N(p_2)$  adalah spinor Dirac nukleon.

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini dimulai dengan menghitung nilai dari amplitudo transversal pada kerangka P.M pada masing-masing kanal-s, kanal-t dan kanal-u dari suku Born dan kanal-s dan kanal-u resonan secara analitik. Nilai amplitudo transversal yang diperoleh kemudian digunakan pada proses perhitungan numerik untuk memperoleh data dari beberapa observable yang bersesuaian dengan tujuan penelitian dalam hal ini adalah penampang lintang differensial dan penampang lintang total.

**Table 2.** Properti dari partikel yang ditinjau pada penelitian ini. Q,  $\kappa$ , S, J, P, dan I masing-masing adalah bilangan dari muatan, momen magnetik, spin, spin total, paritas dan isospin

Nama Partikel	Q	к	S	$J^P$	Ι	Massa (MeV)
	1	2.79	0	1/2 +	1/2	938.272046
	0	-1.91	1/2	$\frac{1}{2}^{+}$	- <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	939.565379
	0	-	0	0-	0	547.853

#### Particle Data Group 2012

(17)

Tahap selanjutnya adalah pembuatan program numerik untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Persamaan matematika yang digunakan untuk perhitungan numerik adalah pers.(13) untuk perhitungan penampang lintang differensial dan integrasi Gauss kuadratur untuk perhitungan penampang lintang total.

Dengan pertimbangan energi ambang dari  $\eta$  yang nilainya adalah 707,59 MeV, maka energi foton yang

Sumber:

digunakan pada perhitungan numerik adalah 800 MeV, 1000 MeV, dan 1200 MeV. Hasil yang diperoleh pada perhitungan numerik ditampilkan pada lampiran. Seluruh hasil yang diperoleh didasarkan pada amplitude transisi dari suku Born dan resonan yang dihitung dengan memanfaatkan diagram Feynman tingkat tiga. Oleh karena Nukleon terdiri dari proton dan neutron, maka penulis membagi hasil penelitian ini menjadi dua, yaitu fotoproduksi eta pada proton dan fotoproduksi eta pada neutron. Pada grafik penampang lintang differensial, sumbu-x merepresentasikan besaran dari sudut hamburan dengan satuan deg (derajat) pada rentang nilai  $0 \le \theta \le$ 180, sedangkan sumbu-y merepresentasikan besaran dari penampang lintang diferensial dengan satuan  $\mu$ b/sr. Dari plot grafik yang diperoleh menunjukkan kontribusi kanal-s membuat besaran bahwa penampang lintang differensial memiliki puncak pada sudut arah depan (forward peaking). Hal ini dapat dilihat pada variasi tingkat energi pola grafiknya sama walaupun berbeda nilai  $d\sigma/d\Omega$  nya. Pada saat energi diperbesar, nilai penampang lintang differensial pun semakin kecil.

Pada saat energi diperbesar ternyata pola yang dihasilkan tetap memiliki trend yang sama, namun dengan besaran penampang lintang differensial yang semakin besar. Khusus untuk kanal-u, kontribusinya membuat besaran penampang lintang differensial menjadi besar pada sudut arah belakang (backward angle). Sedangkan untuk kanal-t kontribusinya sangat kecil sehingga tidakmembuat perubahan besaran yang berarti. Terlihat bahwa resonan memberikan kontribusi yang sangat besar untuk besaran  $d\sigma/d\Omega$ . Pada grafik sebelumnya puncak besaran  $d \Box / d \Box \Box$  hanya berkisar di orde  $10^{-3}$ . Dengan ditambahkan suku resonan puncaknya memiliki orde  $10^{1}$ .

Pola pada grafik neutron memiliki puncak pada arah belakang. Pada tingkat energi 800 MeV di sudut nol derajat terlihat eta terhambur sebanyak hampir  $0.00001 \ \mu b$ . Lebih banyak dari tingkat energi 1000 MeV yang hanya sebesar 0.000001 µb dan 1200 MeV yang hanya sebesar 0.0000003 µb. Terlihat pula bahwa semakin besar sudut hamburan semakin banyak pula eta yang terhambur. Dari grafik diatas, sekali lagi terlihat kontribusi terhadap penampang lintang diferensial yang didominasi oleh kanal-u. Seperti pada grafik proton, pada neutron pun kanal-u memberikan pengaruh yang signifikan. Dengan pola grafik yang hampir sama untuk tiap tingkat energi, terlihat bahwa semakin besar energi foton semakin besar pula besaran penampang lintang diferensialnya. Pada grafik diatas, sudut nol derajat eta terhambur lebih banyak pada energi foton 800 MeV dibandingkan dengan pada energi 1000 MeV dan 1200 MeV. Namun pada puncaknya di sudut 180 derajat eta justru terhambur lebih banyak pada tingkat energi 1200 MeV.

Polarisasi pada proton memiliki puncak dengan nilai yang lebih rendah dari pada neutron pada tingkat

energi 800MeV. Dari grafik proton, polarisasi yang tegak lurus dengan bidang reaksi yang memiliki kontribusi yang sangat dominan. Data proton menunjukkan puncak yang positif di sekitar  $\Box = 90$  dan puncak yang negatif di sekitar  $\Box = 40$ . Data neutron menunjukkan puncak yang positif disekitar  $\Box = 60$  yang mengindikasikan bahwa kopling foton elektrik yang mendominasi. Untuk tingkat energy yang berbeda, semakin tinggi energi puncak puncaknya semakin bergeser ke kiri ke arah sudut yang lebih kecil.

Data numerik dari penelitian ini dibandingkan dengan data eksperimen dari The GRAAL collaboration. Untuk energi 800 MeV, data eksperimen menunjukkan kurva yang landai yang didominasi oleh kanal-s. Demikian pula dengan grafik pada energi 1000 MeV. Pada energi 1200 MeV, terlihat pola grafik dengan trend yang hampir sama antara data numerik dan data eksperimen.

Data ekperimen dan data numerik memiliki pola yang berbeda secara keseluruhan. Data numerik menunjukan grafik memiliki puncak dan lembah sedangkan data eksperimen grafik hanya memiliki sebuah puncak saja. Terlihat pola grafiknya menunjukkan trend yang sama pada daerah disekitar  $\boldsymbol{\theta} = 90 - \boldsymbol{\theta} = 180$  yaitu sama-sama memiliki puncak positif.

Untuk penampang lintang total, sumbu-x merepresentasikan energi foton Lab. yang digunakan dengan satuan MeV pada rentang nilai 800-1200 MeV, sedangkan sumbu-y merepresentasikan besaran dari penampang lintang total dengan satuan  $\mu$ b. Dapat dilihat bahwa penampang lintang total dari proton adalah hampir dua kali lipat dari penampang lintang neutron. Seperti pada penampang lintang differensial, plot grafik penampang lintang total juga menunjukkan bahwa plot grafiknya memiliki *trend* yang mirip, namun dengan nilai penampang lintang total yang berbeda pada proton dan neutron. Puncak penampang lintang total berkisar di 15.38  $\mu$ b untuk proton dan di 5.439  $\mu$ b untuk neutron.

# 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penampang lintang differensial adalah kontribusi kanal-s sangat kecil sedangkan untuk kanal-u terlihat dominan pada arah sudut belakang (backward angle). Hal ini dapat terlihat dengan adanya puncak pada arah sudut belakang (backward peaking) disaat amplitudo kanal u mulai diperhitungkan. Kanal-t kurang mendominasi dilihat dari trend grafik yang tidak berubah ketika kanal-t ikut diperhitungkan. Kontribusi resonan sangat mendominasi pola grafik yang dihasilkan sehingga menaikan besaran penampang lintang diferensialnya. Hasil ini kemudian mengimbas pada grafik penampang lintang total, terlihat bahwa kontribusi dari resonan lebih dominan dibandingkan dengan kanal-kanal born term sehingga secara umum dapat disimpulkan bahwa pada perhitungan penampang lintang differensial dan penampang lintang total, resonan memiliki kontribusi yang lebih besar dibandingkan dengan kanal-kanal born term.

Data proton menunjukkan puncak yang positif di sekitar  $\boldsymbol{\theta} = 120$  dan puncak yang negatif di sekitar  $\boldsymbol{\theta} =$ 40. Dengan bentuk grafik yang mengarah ke bawah berarti nilai polarisasi yang sejajar adalah positif sedangkan nilai polarisari yang tegak lurus adalah negatif. Pada sudut  $\theta = 0$  dan  $\theta = 180$  memiliki nilai yang sama, ini sebut beam symmetry. Sedangkan pada sudut  $\boldsymbol{\theta} = 20$ -  $\boldsymbol{\theta} = 80$  dan  $\boldsymbol{\theta} = 100$ -  $\boldsymbol{\theta} = 160$  memiliki nilai yang tidak sama ini disebut beam asymmetry. Data neutron menunjukkan puncak yang positif disekitar □ □= 60 yang mengindikasikan bahwa kopling foton elektrik yang mendominasi. Pada kenvataannya, data dari proton diproduksi tanpa kontribusi dari resonan baru, demikian pula dengan data neutron. Karena penelitian ini belum melibatkan spin yang lebih tinggi maka perlu dipertimbangkan untuk memasukkan nilai amplitude transisi dari perhitungan pada spin 3/2 dan 5/2 pada penelitian selanjutnya agar kondisi gauge invariance dapat terestorasi dan hasil yang diperoleh dapat lebih baik.

Secara umum disimpulkan bahwa penelitian kali ini belum memperoleh nilai yang optimal, namun demikian hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan studi awal untuk penelitian selanjutnya. Model ini belum bisa mereproduksi data eksperimen untuk diferensial cross section tapi cukup baik untuk polarisasi pada energi 800 MeV. Kami menyarankan untuk mempelajari lebih lanjut penggunaan amplitudo transisi dari suku kontak dengan spin 3/2 dan 5/2 ke dalam proses perhitungan. Dengan adanya penambahan nilai amplitudo transisi tersebut diharapkan penelitian selanjutnya akan menghasilkan model vang lebih baik

# **DAFTAR ACUAN**

- [1] Abramowitz, M., & Stegun, I.A. (1970). Handbook of Mathematical Functions. New York : Dover Publ.Inc.
- [2] Aitchison-Hey. 1989. *Gauge Theories in Particle Physics*. London: Institute of Physics Publishing.
- [3] Aznauryan,I.G. 2003. Resonance Contributions to Dephotoproduction on Photons Found Using Dispersion Relations and an Isobar Model. Phys.Rev
- [4] Babacan, H., & Babacan, T.2003. Associative photoproduction of rop-er resonance and
   □ □ meson. Physical Review C67,055208.
- [5] Bartalini,O. *et al.*[The GRAAL collaboration]. Eur. Phys. J.A.**33**, 169(2007).
- [6] Bjorken, J.D. & Drell, S.D. 1964. *Relativistic Quantum Mechanics*. New York: McGraw-Hill Inc.
- [7] Collin,P.2009.Beam Asymmetry in Eta(547) and Eta(958)Meson Photoproduction. Dissertation. Arizona University.

- [8] Dugger,M.2001.Eta(547) and Eta(958) Meson Photoproduction On The Proton. Dissertation.Arizona State University.
- [9] Halzen, F., & Martin, A.D. 1984. Quarks and Leptons : an Introductory Course in Modern Particle Physics. New York: John Wiley & Sons.
- [10] Choi,K.S., Nam,S. I., Hosaka,A., and Kim,H. -Ch. □ Photoproduction and N\* Resonance. Physical Review 2009.
- [11] Kumericki, K. 2001. *Feynman Diagram for Beginners*. Notes. University of Zagreb. Split.
- [12] Mart, T. 1996. Electromagnetic production of Kaons off the Nucleon and 3He. Dissertation. University of Mainz. Mainz, Germany.
- [13] Particle Data Group. 2012. *Review of Particle Physics*. http://pdg.lbl.gov.
- [14] Salam, A. 2002. Re-scattering Effect and Two Process in Kaon Photoproduction on the Deutron. Dissertation. University of Mainz. Mainz, Germany.
- [15] Sumiwidagdo, S. 2001. Fotoproduksi Kaon pada Daerah Energi Tinggi. Tesis. Universitas Indonesia. Depok.
- [16] Stocks, V.G.J. & Rijken, T.A. 1999. Phys. Rev. C 59,3009



Gambar 3. Penampang lintang differensial proton pada energi foton 800-1200 MeV



Gambar 4. Penampang lintang differensial Neutron pada energi foton 800-1200 MeV



Gambar 5. Perbandingan Polarisasi pada Proton dan Neutron