

FOTOPRODUKSI MESON-ETA PADA PROTON**Alhidayatuddiniyah T.W.**Program Studi Informatika, Universitas Indraprasta PGRI
alhida.dini@gmail.com**Abstrak**

Telah diinvestigasi reaksi fotoproduksi $\gamma p \rightarrow \eta p$ dengan tujuan menghitung hasil fotoproduksi meson-eta pada proton dengan menggunakan model isobar untuk menghasilkan data numerik yang sesuai dengan data eksperimen. Amplitudo transisi pada kerangka pusat massa dijabarkan ke dalam amplitudo *Chew-Goldberger-Low-Nambu* (CGLN). Amplitudo yang ditinjau melibatkan kanal-s, -t, dan -u pada suku Born dan resonans. Reaksi fotoproduksi $\gamma p \rightarrow \eta p$ dikembangkan dengan model isobar. Kontribusi dari masing-masing kanal berdasarkan formulasi polarisasi foton dan penampang lintang differensial. Parameter model ditentukan melalui *fitting* dengan data eksperimen. Diperoleh hasil, bahwa model ini belum cukup baik dalam menghasilkan data numerik yang sesuai dengan data eksperimen, sehingga diperlukan studi lanjut untuk mem-*fitting* data eksperimen dan memasukkan faktor bentuk ke dalam model agar diperoleh nilai-nilai parameter yang ada di dalam model.

Kata Kunci : fotoproduksi, meson- η , amplitudo CGLN, polarisasi, penampang lintang differensial.

Abstract

This research is aimed at calculating the results of eta-meson photoproduction on protons using an isobar model to produce numerical data corresponding to the experimental data by investigating the reaction of photoproduction $\gamma p \rightarrow \eta p$. The amplitude transitions at the center of mass frame are translated into amplitude of Chew-Goldberger-Low-Nambu (CGLN). The amplitude of the terms involving the channel-s, -t, and -u in Born term and Resonans term. The reaction of photoproduction $\gamma p \rightarrow \eta p$ is developed using isobaric models. Formulated also the differential cross section and polarization of photons to see the contribution of each channel. Model parameters are determined by fitting the experimental data. The result is this model is not good enough to produce numerical data in accordance with the experimental data. So, further study is needed to fit the experimental data and substitute the form factor into the model in order to obtain the parameter values present in the model.

Keywords : photoproduction, meson- η , CGLN-amplitude, polarization, differential cross section.

1. PENDAHULUAN**A. Latar Belakang**

Fotoproduksi merupakan reaksi antara foton dengan suatu partikel yang menghasilkan partikel lain diakhir reaksi.

Pada model isobar γ , η , dan proton sudah dianggap partikel elementer tanpa memperhitungkan quark. Model ini merupakan salah satu cara menjelaskan fenomena sub-atomik. Reaksi fotoproduksi η 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 [4].

Penyelidikan fotoproduksi η memberikan kemungkinan pencarian resonansi-resonansi yang hilang (missing resonances), yang tidak dapat diobservasi dalam hamburan πN dan fotoproduksi π pada nukleon. Fotoproduksi η pada proton memberikan sebuah kesempatan unik untuk mempelajari properties dari resonan S_{11} (1535) karena resonan ini memiliki sebuah ratio cabang yang lebar ke dalam kanal ηp . [1].

Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dibatasi pada kajian teori mengenai reaksi fotoproduksi meson η pada proton

dengan menggunakan model isobar dan formalisme amplitudo transversal pada kerangka pusat massa yang dijabarkan ke dalam amplitudo *Chew-Goldberger-Low-Nambu* (CGLN). Dengan menggunakan resonan S_{11} (1535) serta perhitungan observabel yang diteliti yaitu penampang lintang differensial dan polarisasi foton dengan energi foton Lab. yang digunakan 875 MeV, 925 MeV, 975 MeV, dan 1025 MeV.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu menghitung hasil fotoproduksi meson-eta pada proton dengan menggunakan model isobar untuk menghasilkan data numerik yang sesuai dengan data eksperimen.

C. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini, yaitu mendapatkan hasil keakurasian model yang digunakan dalam memproduksi data secara teoritik (model isobar) terhadap data hasil eksperimen dan formulasi yang sesuai, dengan menjabarkan amplitudo transisi pada kerangka P.M. ke dalam amplitudo CGLN.

D. Kajian Teori

1. Model Standar

Model standar mencakup pembahasan partikel elementer pembentuk materi, yaitu quark dan lepton. Quark selalu berada bersama dengan sebuah antiquark sehingga membentuk meson atau bersama dengan quark lainnya membentuk baryon[7].

Eta termasuk golongan meson karena merupakan gabungan dari sebuah quark dan antiquark. Dengan massa diamnya $547.862 \pm 0.018 \text{ MeV}/c^2$.

Flavour	Simbol	Massa (MeV/c ²)	J ^P	B'	Q	I _z	C	S	T	B
up	u	1.7-3.1	+½ +½	+½	+⅔	+½	0	0	0	0
down	d	4.1-5.7	+½ +½	-½	-⅓	-½	0	0	0	0
charm	c	1290 ⁺⁵⁰ ₋₁₁₀	+½ +½	+½	+⅔	0	+1	0	0	0
strange	s	100 ⁺³⁰ ₋₂₀	+½ +½	-½	-⅓	0	0	-1	0	0
top	t	172900±600±900	+½ +½	+½	+⅔	0	0	0	+1	0
bottom	b	4190 ⁺¹⁸⁰ ₋₆₀	+½ +½	-½	-⅓	0	0	0	0	-1

Gambar 1. Enam generasi quark beserta sifat-sifatnya. Keterangan J^P: momentum angular total, B': bilangan baryon, Q: muatan listrik, I_z: isospin, C: charm, S: strangeness, T: topness, B: bottomness. Data ini berdasarkan Particle Data Group [9]

2. Kinematika Relativistik

a. Momentum-4 dan Variabel Mandelstam

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

$$\gamma(k) + p(p_1) \rightarrow \eta(q) + p(p_2) \quad (1)$$

Momentum-4 dari partikel yang saling bereaksi dituliskan sebagai berikut:

$$k = \{E_\gamma, \vec{k}\} = \{k_0, \vec{k}\} \quad (2)$$

$$P_1 = \{E_1, \vec{P}_1\} \quad (3)$$

$$q = \{E_\eta, \vec{q}\} \quad (4)$$

$$P_2 = \{E_2, \vec{P}_2\} \quad (5)$$

dan momentum-4 pada kerangka Lab-nya, yaitu:

$$k = \{\tilde{E}_\gamma, \vec{\tilde{k}}\} = \{\tilde{k}_0, \vec{\tilde{k}}\} \quad (6)$$

$$P_1 = \{m_p, 0\} \quad (7)$$

$$q = \{\tilde{E}_\eta, \vec{\tilde{q}}\} \quad (8)$$

$$P_2 = \{\tilde{E}_2, \vec{\tilde{P}}_2\} \quad (9)$$

Sedangkan pada kerangka P.M. sebagai berikut:

$$k = \{E_\gamma, \vec{k}\} = \{k_0, \vec{k}\} \quad (10)$$

$$P_1 = \{E_1, -\vec{k}\} \quad (11)$$

$$q = \{E_\eta, \vec{q}\} \quad (12)$$

$$P_2 = \{E_2, -\vec{q}\} \quad (13)$$

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

b. Momentum-3 dalam Kerangka Pusat Massa

Momentum partikel foton dalam kerangka pusat massa, yaitu:

$$|\vec{P}_\gamma| = |\vec{k}| = \sqrt{\frac{[W^2 - (m_\gamma + m_p)^2][W^2 - (m_\gamma - m_p)^2]}{4W^2}} \quad (14)$$

Sedangkan momentum partikel η dalam kerangka pusat massa, yaitu:

$$|\vec{P}_\eta| = \sqrt{\frac{[W^2 - (m_\eta + m_p)^2][W^2 - (m_\eta - m_p)^2]}{4W^2}} \quad (15)$$

c. Energi Ambang

Energi ambang foton pada kerangka Lab. yaitu:

$$E_\gamma = |\tilde{k}|^{th} = \frac{W^2 - m_p^2}{2m_p} \quad (16)$$

dan energi ambang foton pada kerangka P.M., yaitu:

$$|\tilde{k}|^{th} = \frac{m_\eta^2 + 2m_\eta m_p}{2(m_\eta + m_p)} \quad (17)$$

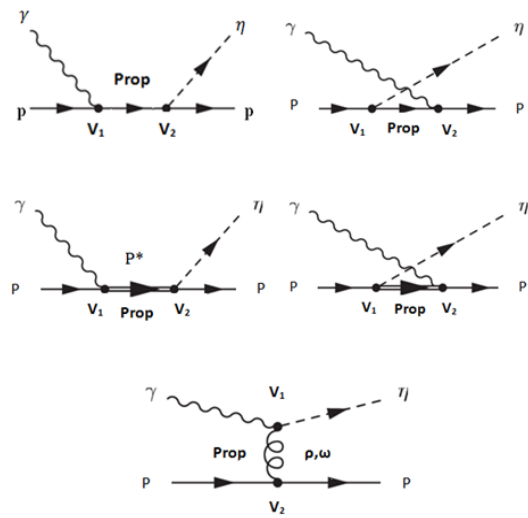
dengan mensubstitusikan, $m_\eta = 547.3$ MeV dan $m_p = 938.272$ MeV, maka energi ambang fotonnya adalah : $|\tilde{k}|^{th} = 706,92$ MeV.

d. Fotoproduksi Eta Pada Proton

Fotoproduksi eta pada proton didefinisikan sebagai reaksi antara foton dan proton yang menghasilkan eta serta proton, $\gamma p \rightarrow \eta p$, yang dalam hal ini dengan menggunakan model isobar. Model isobar merupakan model yang dibangun berdasarkan diagram Feynman untuk masing-masing kanal-s, kanal-t, dan kanal-u, baik untuk suku born ataupun resonans. Model isobar memperlakukan setiap partikel yang terlibat seperti partikel titik, dimana tidak mempertimbangkan komposisi quark yang membentuk partikel tersebut.

Salah satu kelemahan model isobarik adalah pada umumnya amplitudo hamburan menjadi besar sekali (divergen) pada energi yang makin besar. Pada umumnya teknik yang digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah memasukkan faktor bentuk hadronik pada verteks hadronik dari diagram Feynman [10].

Berikut ini diagram feynman yang digunakan pada fotoproduksi eta meson pada proton:



Gambar 2. Diagram feynman fotoproduksi eta meson pada proton

Verteks dan propagator yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

Verteks	Kopling
ηpp	$g_{\eta pp} \gamma^5$
$\eta pp^*(\frac{1}{2}^+)$	$g_{\eta pp^*} \gamma^5$
$\eta pp^*(\frac{1}{2}^-)$	$-ig_{\eta pp^*} \gamma^5$

Gambar 3. Konstanta kopling hadron

Verteks	Propagator
spin 0	$\frac{i}{q^2 - m^2 + im\Gamma}$
spin $\frac{1}{2}$	$\frac{i(\not{q} + m)}{q^2 - m^2 + im\Gamma}$
spin 1	$\frac{i}{q^2 - m^2 + im\Gamma} (-g_{\mu\nu} + \frac{q_\mu q_\nu}{m^2})$

Gambar 4. Propagator untuk partikel dengan momentum q dan massa m

Verteks	Kopling
PPγ	$e(-iQ_p \not{q} + \mu_p \sigma^{\mu\nu} \varepsilon_\mu k_\nu)$
ηηγ	$-iQ_\eta (2q_\eta - k) \cdot \varepsilon$

Gambar 5. Faktor verteks elektromagnetik

e. Matriks Transisi

Amplitudo transisi dari reaksi fotoproduksi dituliskan dalam bentuk:

$$\mathcal{M} = \mathcal{M}_{(Born)} + \mathcal{M}_{(Resonans)} + \mathcal{M}_{(Orde \text{ yang lebih tinggi})} \tag{18}$$

Dalam penelitian ini, perhitungan amplitudo transisi dibatasi sampai pada suku resonans untuk spin 1/2 paritas positif dan negatif. Dimana,

$$\mathcal{M}_{(born)} = \sum_{i=s,t,u} \mathcal{M}_i \tag{19}$$

dan

$$\mathcal{M}_{(resonans)} = \sum_{i=s,u} \mathcal{M}_i \tag{20}$$

Matriks transisi pada masing-masing kanal, yaitu:

$$\mathcal{M}_s = \bar{u}_p(p_2) g_{\eta PP} \gamma^5 \left(\frac{k + p_1 + m_p}{(k + p_1)^2 - m_p^2} \right) (-iQ_p \varepsilon + \mu_p \sigma^{\mu\nu} \varepsilon_\mu k_\nu) \varepsilon_\mu(\gamma) u_p(p_1) \tag{21}$$

$$\mathcal{M}_u = \bar{u}_p(p_2) (-iQ_p \varepsilon + \mu_p \sigma^{\mu\nu} \varepsilon_\mu k_\nu) \varepsilon_\mu(\gamma) \left(\frac{p_2 - k + m_p}{(p_2 - k)^2 - m_p^2} \right) g_{\eta PP} \gamma^5 u_p(p_1) \tag{22}$$

$$\mathcal{M}_t = \frac{-ie g_{\gamma\eta V} F_t^V}{m_\eta(t - m_\eta^2)} \varepsilon_{\mu\nu\sigma\rho} \bar{u} k^\mu \varepsilon^\nu(k - q)^\sigma \left[g_{VPP}^V \gamma^\rho + \frac{g_{VPP}^t}{4m_p} (q\gamma^\rho - \gamma^\rho(k - p_1)) \right] u \tag{23}$$

$$\mathcal{M}_{s^*}^{1/2} = \frac{e\mu_{\gamma PP^*} g_{\gamma PP^*} F_s^{P^*}}{(m_p + m_{p^*})(s - m_{p^*}^2 - im_{p^*}\Gamma_{p^*})} \bar{u} \gamma^5 \Gamma_5^a(k + p_1 + m_{p^*}) \Gamma_5^a \varepsilon k u \tag{24}$$

$$\mathcal{M}_{u^*}^{1/2} = \frac{e\mu_{\gamma PP^*} g_{\gamma PP^*} F_u^{P^*}}{(m_p + m_{p^*})(u - m_{p^*}^2 - im_{p^*}\Gamma_{p^*})} \bar{u} \Gamma_5^a \varepsilon k(q + p_1 + m_{p^*}) \gamma^5 \Gamma_5^a u \tag{25}$$

f. Amplitudo CGLN

Amplitudo CGLN merupakan formalisme perumusan amplitudo proses fotoproduksi yang bersifat invarian Lorentz dan mudah untuk menghitung observabel reaksi elementer [10].

Sehingga pembahasan disini akan dibatasi untuk kasus fotoproduksi dan observabel yang tersedia data eksperimennya.

Berdasarkan referensi [6], maka bentuk metode amplitudo CGLN (*Chew-Goldberger-Low-Nambu*) berupa,

$$\mathcal{M} = \vec{j} \cdot \vec{\varepsilon} \tag{26}$$

dengan nilai \vec{j}

$$\vec{j} = f_1 \vec{\sigma} + \frac{f_2}{|\vec{q}||\vec{k}|} (\vec{\sigma} \cdot \vec{q})(\vec{k} \times \vec{\sigma}) + \frac{f_3}{|\vec{q}||\vec{k}|} \vec{\sigma} \cdot \vec{k} \vec{q} + \frac{f_4}{|\vec{q}|^2} \vec{\sigma} \cdot \vec{q} \vec{q} \tag{27}$$

dimana \vec{k} adalah momentum awal foton dan \vec{q} adalah momentum akhir dari η pada kerangka pusat massa.

Bentuk umum CGLN akan menjadi

$$\vec{j} \cdot \vec{\epsilon} = f_1 \vec{\sigma} \cdot \vec{\epsilon} + \frac{f_2}{|\vec{q}||\vec{k}|} (\vec{\sigma} \cdot \vec{q})(\vec{k} \times \vec{\sigma}) \cdot \vec{\epsilon} + \frac{f_3}{|\vec{q}||\vec{k}|} \vec{\sigma} \cdot \vec{k} \vec{q} \cdot \vec{\epsilon} + \frac{f_4}{|\vec{q}|^2} \vec{\sigma} \cdot \vec{q} \vec{q} \cdot \vec{\epsilon} \tag{28}$$

g. Observabel yang Ditinjau

1) Penampang Lintang Differensial

Penampang lintang differensial pada kerangka pusat massa, yaitu:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|\mathcal{M}|^2 |\vec{q}|}{64\pi^2 s |\vec{k}|} \tag{29}$$

Kuadrat amplitudo transisi dalam bentuk CGLN, yaitu:

$$|\mathcal{M}|^2 = Re\{|f_1|^2 + |f_2|^2 - 2 \cos \theta f_2 f_2^* + \frac{\sin^2 \theta}{2} [|f_3|^2 + |f_4|^2 + 2f_4 f_1^* + 2f_3 f_2^* + 2 \cos \theta f_4 f_3^*]\} \tag{30}$$

2) Polarisasi Foton

Dengan menggunakan notasi standar dari Babacan [2], polarisasi foton dapat dihitung lewat persamaan:

$$\sum = \left[\frac{d\sigma}{d\Omega_{\parallel}} - \frac{d\sigma}{d\Omega_{\perp}} \right] \times \left[\frac{d\sigma}{d\Omega_{\parallel}} + \frac{d\sigma}{d\Omega_{\perp}} \right]^{-1} \tag{31}$$

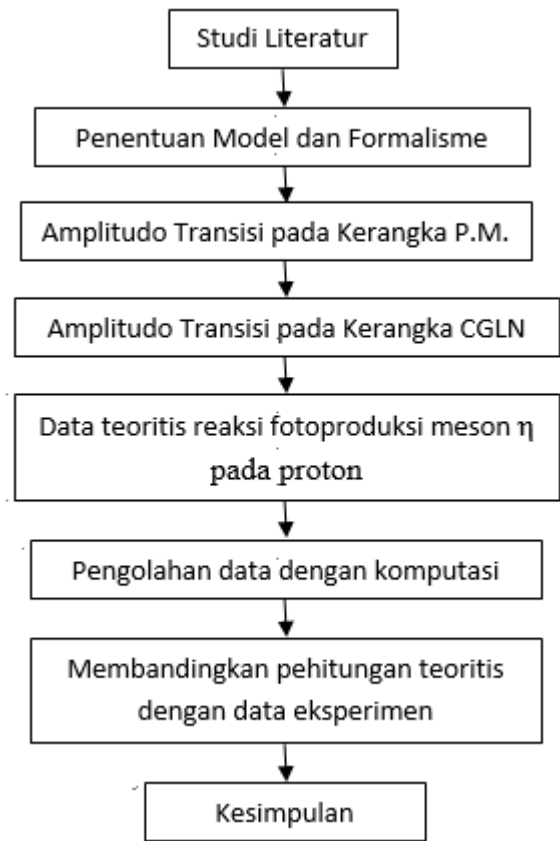
dimana masing-masing adalah penampang lintang differensial yang dipicu oleh polarisasi yang sejajar dan yang tegak lurus terhadap bidang reaksi.

Polarisasi foton dalam bentuk CGLN, yaitu:

$$\sum = \frac{-|\vec{q}| \sin^2 \theta}{|\vec{k}|} [|f_3|^2 + |f_4|^2 + 2 \operatorname{Re}(f_2 \cdot f_3^* + f_1 \cdot f_4^* + f_3 \cdot f_4^* \cos \theta)] \tag{32}$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai mekanisme produksi untuk menentukan model dan formulasi yang sesuai, menjabarkan amplitudo transisi pada kerangka P.M. ke dalam amplitudo CGLN, yang selanjutnya digunakan untuk menghasilkan data secara teoritis pada proses reaksi fotoproduksi meson η pada proton yang akan dikerjakan dengan proses komputasi. Terakhir membandingkan data hasil perhitungan secara teoritis dengan data hasil eksperimen untuk melihat akurasi dari model yang digunakan dalam memproduksi data secara teoritik.



Gambar 6. Metode penelitian

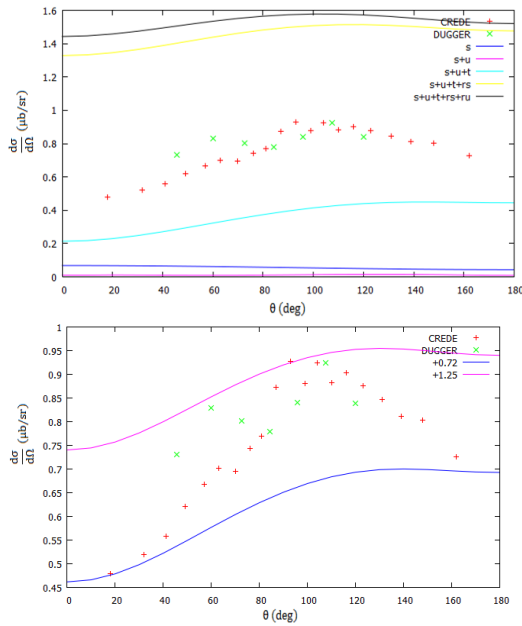
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan energi ambang foton yang nilainya 706.92 MeV, maka energi foton yang digunakan pada perhitungan numerik berkisar 800 MeV hingga 1.200 MeV. Hasil perhitungan numerik yang diperoleh

berdasarkan amplitudo transisi dari suku born dan resonans yang dihitung dengan memanfaatkan diagram Feynman tingkat tiga disajikan sebagai berikut:

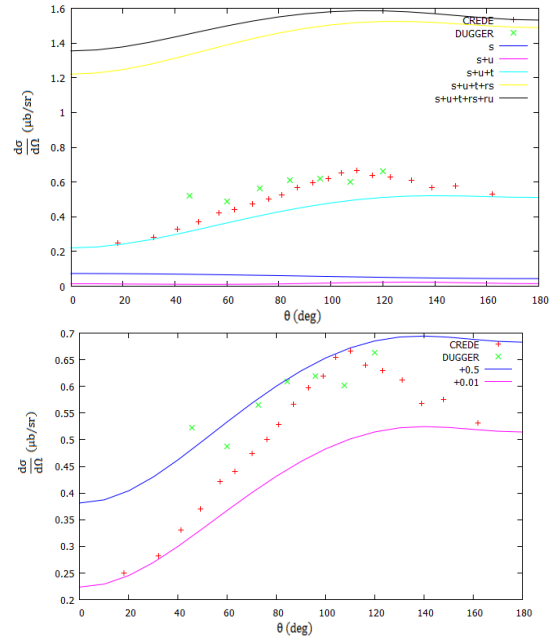
A. Penampang Lintang Differensial
a. Perbandingan Penampang Lintang Differensial pada Energi 875 MeV



Gambar 7. Perbandingan data numerik dengan data eksperimen pada skala energi 875 MeV dengan penyesuaian konstanta kopling (kanan) dan tanpa penyesuaian konstanta kopling (kiri). Data perbandingan berdasarkan referensi [5] dan [11].

Berdasarkan grafik tersebut, konstanta kopling yang penulis gunakan pada grafik tanpa penyesuaian konstanta kopling berdasarkan referensi [8]. Terlihat bahwa hasil numerik masih jauh dari hasil eksperimen. Pada sudut 0° hingga 100° data eksperimen menunjukkan kenaikan nilai penampang lintang differensial, namun pada sudut 100° hingga 180° data eksperimen menunjukkan penurunan. Agar hasil numerik bisa mendekati hasil eksperimen, maka dicarilah konstanta kopling resonans yang tepat, yaitu 0.72 dan 1.25.

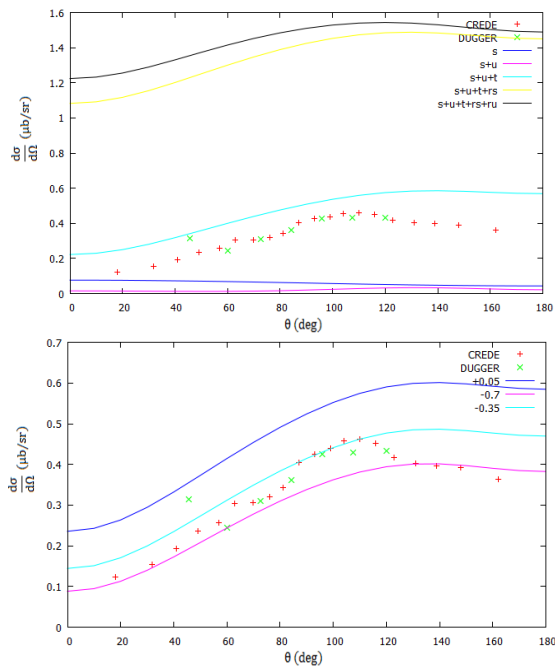
b. Perbandingan Penampang Lintang Differensial pada Energi 925 MeV



Gambar 8. Perbandingan data numerik dengan data eksperimen pada skala energi 925 MeV dengan penyesuaian konstanta kopling (kanan) dan tanpa penyesuaian konstanta kopling (kiri). Data perbandingan berdasarkan referensi [5] dan [11].

Berdasarkan grafik tersebut, konstanta kopling yang penulis gunakan pada grafik tanpa penyesuaian konstanta kopling berdasarkan referensi [8]. Namun hasil numerik masih jauh dari hasil eksperimen. Pada sudut 0° hingga 110° data eksperimen menunjukkan kenaikan nilai penampang lintang differensial, namun pada sudut 110° hingga 180° data eksperimen menunjukkan penurunan. Adapun pada perbandingan dengan penyesuaian konstanta kopling yang digunakan yaitu konstanta kopling resonans dengan nilai sebesar 0.5 dan 0.01.

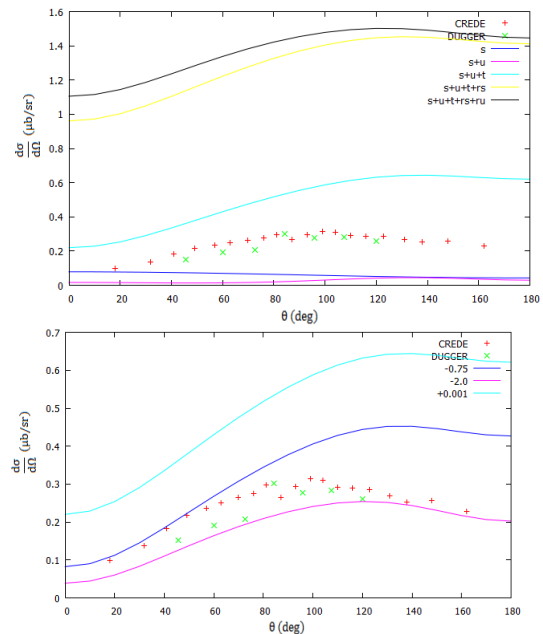
c. Perbandingan Penampang Lintang Differensial pada Energi 975 MeV



Gambar 9. Perbandingan data numerik dengan data eksperimen pada skala energi 975 MeV dengan penyesuaian konstanta kopling (kanan) dan tanpa penyesuaian konstanta kopling (kiri). Data perbandingan berdasarkan referensi [5] dan [11].

Berdasarkan grafik tersebut, konstanta kopling yang penulis gunakan pada grafik tanpa penyesuaian konstanta kopling berdasarkan referensi [8]. Terlihat bahwa hasil numerik masih jauh dari hasil eksperimen. Pada sudut 0° hingga 120° data eksperimen menunjukkan kenaikan nilai penampang lintang dengan hasil yang diikuti data numerik kanal-kanal lainnya selain kanal-s, namun pada sudut 120° hingga 180° data eksperimen menunjukkan penurunan nilai penampang lintang differensial. Adapun pada perbandingan dengan penyesuaian konstanta kopling yang digunakan yaitu konstanta kopling resonans dengan nilai sebesar -0.7 dan -0.35.

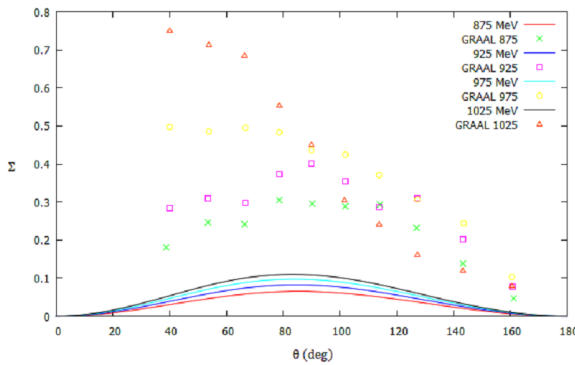
d. Perbandingan Penampang Lintang Differensial pada Energi 1.025 MeV



Gambar 10. Perbandingan data numerik dengan data eksperimen pada skala energi 1.025 MeV dengan penyesuaian konstanta kopling (kanan) dan tanpa penyesuaian konstanta kopling (kiri). Data perbandingan berdasarkan referensi [5] dan [11].

Berdasarkan grafik tersebut, konstanta kopling yang penulis gunakan pada grafik tanpa penyesuaian konstanta kopling berdasarkan referensi [8]. Terlihat bahwa hasil numerik masih jauh dari hasil eksperimen. Pada sudut 0° hingga 120° data eksperimen menunjukkan kenaikan nilai penampang lintang differensial dengan hasil yang diikuti data numerik kanal-kanal lainnya selain kanal-s, namun pada sudut 120° hingga 180° data eksperimen menunjukkan penurunan. Adapun pada perbandingan dengan penyesuaian konstanta kopling yang digunakan yaitu konstanta kopling resonans dengan nilai sebesar -0.75 dan -2.0.

B. Polarisasi Foton



Gambar 11. Perbandingan data numerik reaksi fotoproduksi eta pada proton dengan data eksperimen pada rentang energi 850 – 1.050 MeV. Data perbandingan berdasarkan referensi [3].

Dari grafik perbandingan tersebut, data numerik dan data eksperimen memiliki pola yang berbeda pada energi 975 MeV dengan trend yang hampir berbeda mulai dari sudut 0° hingga 120°. Dan terdapat penurunan nilai polarisasi mulai dari sudut 110° hingga 180°.

Pembahasan

Berdasarkan grafik yang diperoleh dari penampang lintang differensial dapat dikatakan bahwa model dalam penelitian ini menghasilkan penampang lintang differensial yang *backward peaking* (puncak pada arah sudut besar), dimana kontribusi kanal-s 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. Dengan besarnya kontribusi kanal-u maka η lebih banyak terhamburkan pada saat di kanal u. Kontribusi resonan sangat mendominasi pola grafik yang dihasilkan sehingga menaikkan besaran penampang lintang differensialnya.

Berdasarkan plot hasil perbandingan data eksperimen dengan hasil perhitungan secara teoritis, diperoleh bahwa hasil data teoritis belum akurat. Dari grafik perbandingan tersebut, data eksperimen

dan data numerik secara keseluruhan memiliki data yang berbeda. Data eksperimen menunjukkan grafik memiliki puncak dan lembah sedangkan pada data numerik grafik memiliki sebuah puncak pada sudut besar. Meskipun demikian, tendensinya sudah sesuai.

Model ini belum cukup baik dalam menghasilkan data numerik yang sesuai dengan data eksperimen untuk penampang lintang differensial mulai dari sudut 100° hingga 180°. Konstanta kopling yang digunakan pada penampang lintang differensial berdasarkan referensi [8], yaitu konstanta kopling pada suku Born 0,47 dan pada suku resonans 2,2. Namun, dicari pula konstanta kopling resonans yang nilainya mendekati eksperimen, yaitu:

Tabel 1: Konstanta kopling pada fotoproduksi $\gamma p \rightarrow \eta p$

Energi	Konstanta kopling suku born	Konstanta kopling resonans
875 MeV	0.47	+1.25 dan +0.72
925 MeV	0.47	+0.5 dan +0.01
975 MeV	0.47	-0.7 dan -0.35
1025 MeV	0.47	-0.75 dan -2.0

Perbandingan data numerik polarisasi foton dengan data eksperimen dari GRAAL diperoleh bahwa pada energi 875 MeV, data numerik menunjukkan kurva yang dengan trend yang mirip dengan data eksperimen. Demikian pula dengan grafik pada energi 925 MeV. Namun, pada energi 975 MeV, terlihat pola grafik dengan trend yang hampir berbeda antara data numerik dan data eksperimen mulai dari sudut 0° hingga 120°.

4. SIMPULAN

Model dalam penelitian ini menghasilkan penampang lintang differensial yang *backward peaking* (puncak pada arah sudut besar) dan memiliki kontribusi dari kanal-u

yang lebih dominan dibandingkan kanal-s, sehingga penampang lintang differensial menjadi *backward peaking*. Kontribusi resonans sangat mendominasi pada perhitungan penampang lintang differensial dimana resonans lebih berkontribusi dibandingkan dengan kanal-kanal born term, walaupun demikian tendensinya sudah sesuai. Secara keseluruhan, model ini belum cukup baik dalam menghasilkan data numerik yang sesuai dengan data eksperimen, sehingga diperlukan studi lanjut untuk mem-*fitting* data eksperimen dan memasukkan faktor bentuk ke dalam model agar diperoleh nilai-nilai parameter yang ada di dalam model.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih saya haturkan kepada bapak Dr. Agus Salam selaku dosen Pascasarjana Fisika Murni dan Terapan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia atas bimbingan dan koreksinya pada penelitian ini, serta teman-teman fisika teoritik yang telah membagi ilmunya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aznauryan, I.G. Resonance Contributions to Photoproduction on Photons Found Using Dispersion Relations and Isobar Model. *Phys Rev C* 67 015209. (2003).
- [2] Babacan, H., dan Babacan, T. *Associative Photoproduction of Rop-er Resonance and ω meson*. *Phys. Rev. C* 67, 055208 (2003).
- [3] Bartalini. *GRAAL Collaboration*. *Phys. Rev. Lett.* 10439-9 (2007).
- [4] Dugger, M. *Eta (547) and Eta (958) Meson Photoproduction On The Proton*. Dissertation. Arizona State University (2001).
- [5] Dugger, M. *J-LAB Collaboration (Class)*. *Phys. Rev. Lett.* 88, 222002 (2002).
- [6] G. F. Chew, M. L. Goldberger, F. E. Low, dan Y. Nambu. *Phys. Rev.* 106, 1345 (1975).
- [7] Halzen, F., dan Martin, A. D. *Quarks and Leptons: an Introductory Course in Modern Particle Physics*. New York: John Wiley and Sons (1984).
- [8] K.S. Choi, S. I. Nam, A. Hosaka, dan H. -Ch. Kim. *Photoproduction and N^* Resonance*. *Phys. Rev.* (2009).
- [9] Particle Data Group. *Review of Particle Physics*, *Phys. Rev. D* 86, 010001 (2012).
- [10] Sumowidagdo, S. *Fotoproduksi Kaon pada Daerah Energi Tinggi*. Tesis. Universitas Indonesia. Depok (2001).
- [11] V. Crede et al. *CB-ELSA Collaboration*. *Phys. Rev. Lett.* 94, 012004 (2005).