

LAPORAN AKHIR\*\*  
HIBAH PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI  
(HIBAH PEKERTI)



STUDI NEUTRINO DAN PARTIKEL ELEMENTER DI ALAM SEMESTA

Tahun Ke-2 dari Rencana 2 Tahun

TIM PENGUSUL DAN MITRA

MUHAMMAD YUSUF, S.Si, M.Si.  
NIDN 0011037503

TASRIEF SURUNGAN, M.Sc, Ph.D  
NIDN 0022026702

UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO  
OKTOBER 2014

HALAMAN PENGESAHAN

**Judul Kegiatan** : Studi Neutrino dan Partikel Elementer di Alam Semesta  
**Peneliti / Pelaksana**  
**Nama Lengkap** : MUHAMMAD YUSUF S.Si, M.Si  
**NIDN** : 0011037503  
**Jabatan Fungsional** :  
**Program Studi** : Pendidikan Fisika  
**Nomor HP** : 081210404176  
**Surel (e-mail)** : my@ung.ac.id  
**Institusi Mitra (jika ada)**  
**Nama Institusi Mitra** :  
**Alamat** :  
**Penanggung Jawab** :  
**Tahun Pelaksanaan** : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun  
**Biaya Tahun Berjalan** : Rp. 47.000.000,00  
**Biaya Keseluruhan** : Rp. 98.800.000,00

Mengetahui  
Dekan FMIPA,

(Prof. Dr. Hj. Evi Hulkati, M.Pd)  
NIP/NIK 196005031986032001

Gorontalo, 2 - 10 - 2014,  
Ketua Peneliti,

  
(MUHAMMAD YUSUF S.Si, M.Si)  
NIP/NIK197503111999031002

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian,

(Dr. Fitryane Lihawa, M.Si)  
NIP/NIK 196912091993032001

## RINGKASAN

Neutrino adalah partikel yang paling melimpah di alam semesta dan memiliki dampak pada berbagai aspek kosmologi, dari leptogenesis pada awal alam semesta, dan nukleosintesis big bang, untuk pembentukan struktur ruang-waktu. Pada penelitian ini akan di telaah beberapa aspek umum neutrino kosmologi dengan penekanan khusus pada masalah yang relevan dengan batas kosmologis pada neutrino bermassa. Model standar pembentukan alam semesta memprediksi keberadaan dari neutrino. Pengukuran kosmologi standar memberikan hasil yang baik dalam fisika neutrino, dalam beberapa tahun terakhir perhatian besar dikhususkan pada fenomena neutrino secara teoritis. Penelitian ini dimulai dengan telah interaksi Hamiltonian leptonik dan medan operator melalui matriks Dirac dan teori medan kuantum pada dark energy. Tujuan penelitian ini adalah mencari formulasi eksak dari neutrino mixing dan Flavor Operator dengan pendekatan Pontokervo dan osilasi neutrino dalam mekanika kuantum. Dalam penelitian ini akan di telaah khusus pada Majorana Neutrino, Dirac Neutrino, dan Osilasi Neutrino dalam Mekanika Kuantum. Saat pakar fisika mempelajari dunia yang sangat kecil, para pakar kosmologi mempelajari sejarah kosmos dan kembali kemikrodetik pertama setelah terjadinya big bang. Pengamatan atas kejadian tumbukan dua partikel di dalam akselator sangat penting dalam melakukan rekonstruksi saat-saat awal dari sejarah kosmik. Oleh karena alasan inilah maka kunci untuk memahami awal alam semesta terletak pada pemahaman neutrino dan partikel elementer. Para pakar kosmologi dan Fisikawan sekarang menyadari bahwa mereka memiliki banyak sasaran yang sama dan bersama-sama berusaha memahami dunia fisis hingga ketinggian yang paling fundamental. Pemahaman kita mengenai fisika pada jarak dekat masih sangat rendah. Fisika partikel masih memiliki segudang pertanyaan yang belum terjawab dan untuk dikerjakan dalam penelitian ini mengapa di alam semesta ini hanya terdapat sedikit anti materi, apakah mungkin bagi kita mengabungkan teori gaya kuat dan gaya listik-lemah dengan cara yang konsisten dan logis dalam neutrino dan partikel elementer, mengapa lepton dan quark sama-sama membentuk tiga keluarga yang serupa tapi memiliki keunikan masing-masing, apakah selain perbedaan massanya, moun dan elektron sama, apakah moun dan elektron memiliki perbedaan-perbedaan lain yang belum diketahui, mengapa sebagian partikel bermuatan dan sebagian netral, mengapa quark membawa muatan kecil, apa yang menentukan massa dari penyusun-penyusun materi, adakah quark yang terisolasi. Pertanyaan penting yang masih belum terjawab adalah apakah lepton dan quark memiliki struktur yang lebih kecil lagi. Jika ya, mungkin masih ada tingkatan-tingkatan struktur lebih dalam dengan jumlah yang tak terhingga didalam lepton dan quark.

Kata Kunci: Neutrino, Partikel Elementer, Kosmologi, Alam Semesta.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT atas segala karunia-Nya sehingga penelitian tahap pertama berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah Studi Neutrino dan Partikel Elementer di Alam Semesta.

Selanjutnya kami berterima kasih pada Direktorat Pendidikan Tinggi melalui proyek Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi yang telah memberikan bantuan kepada kami untuk melakukan penelitian ini. Kami juga berterima kasih pada Lembaga Penelitian dan Pimpinan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo atas dukungan dan bantuan dalam penelitian ini.

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	(i)
RINGKASAN	(ii)
PRAKATA	(iii)
DAFTAR ISI	(iv)
DAFTAR TABEL	(v)
BAB 1 PENDAHULUAN	(1)
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	(4)
BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	(8)
BAB 4 METODE PENELITIAN	(9)
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN	(10)
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	(16)
DAFTAR PUSTAKA	(17)

## DAFTAR TABEL

- Tabel 1. Model standard neutrino dan fluks neutrino cross section  
berdasarkan eksperimen (7)
- Tabel 2. Parameter dan fenomenologi massa neutrino seperti dalam data  
atmosfer dan eksperimen LND (7)

## Bab 1 Pendahuluan

Sebelum dikembangkan teori quark, empat gaya fundamental di alam dikenal sebagai gaya nuklir, gaya elektromagnetik, gaya lemah, dan gaya gravitasi (Slosar, 2006). Seluruh interaksi gaya-gaya ini dimediasi oleh partikel-partikel medan. Interaksi elektromagnetik dimediasi oleh boson  $W^\pm$  dan boson  $Z^0$ ; interaksi gravitasi dimediasi oleh graviton; interaksi nuklir dimediasi oleh gluon. Suatu partikel bermuatan dan anti partikelnya memiliki massa yang sama, tetapi muatannya berlawanan (Serway dan Jewett, 2004). Sifat-sifat lainnya juga akan memiliki nilai yang berlawanan, misalnya bilangan lepton dan bilangan baryon. Pasangan partikel-anti partikel dapat diproduksi dalam reaksi nuklir apabila energi yang tersedia lebih dari  $2mc^2$ , dimana  $m$  adalah massa partikel atau massa antipartikel (Schechter and Shahid, 2012). Partikel-partikel selain partikel medan di golongan sebagai hadron dan lepton (Efrosisin, 2012). Hadron berinteraksi melalui keempat gaya fundamental. Hadron memiliki ukuran dan struktur jadi bukan merupakan partikel elementer. Hadron terbagi lagi menjadi menjadi dua jenis baryon dan meson (Lepe *et al*, 2003). Secara umum, baryon adalah partikel-partikel yang berukuran paling besar, memiliki bilangan baryon yang bukan nol, serta spin  $1/2$  atau  $3/2$ . Meson memiliki bilangan baryon nol serta spin yang nol atau bilangan bulat. Lepton tidak memiliki struktur atau ukuran dan dianggap sebagai partikel yang benar-benar elementer. Lepton hanya berinteraksi melalui gaya lemah, gravitasi dan elektromagnetik (Fujji, 2012). Enam jenis lepton yang diketahui adalah: elektron  $e^-$ , muon  $\mu^-$ , tau  $\tau^-$ ; dan neutrino-neutrinonya  $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$ , dan  $\nu_\tau$ . (Efrosinin, 2011). Dalam seluruh reaksi dan peluruhan, besaran seperti energi, momentum linear, momentum sudut, muatan listrik, bilangan baryon, dan bilangan lepton bersifat kekal (Gouvea and Murayama, 2012). Partikel-partikel tertentu memiliki sifat yang disebut keasingan dan charm (Aparici, 2012). Sifat-sifat yang tidak umum ini bersifat

kekal dalam peluruhan atau reaksi nuklir, tetapi tidak bersifat kekal saat berinteraksi melalui gaya lemah. Para ahli teori fisika partikel elementer telah mendalikan bahwa semua hadron terdiri atas unit-unit kecil yang disebut quark. Bukti-bukti eksperimental menunjukkan kebenaran model ini.

Quark mengandung muatan listrik pecahan, dan terbagi menjadi enam flavor yaitu *up (u)*, *down (d)*, *strange(s)*, *charmed (c)*, *top (t)* dan *bottom (b)*. Setiap baryon mengandung tiga quark, sedangkan setiap meson mengandung satu quark dan satu antiquark. Mekanisme *mixing neutrino* merupakan energi gelap dalam kosmologis (Capolupo, et. al, 2007).

Dalam penelitian ini akan mempelajari bagaimana menyajikan secara teoritis sifat standar dan non-standar dari neutrino dan kemungkinan adanya partikel cahaya baru, bebas *streaming* atau berinteraksi, di antara partikel elementer atau dengan neutrino, bahwa partikel tak bermassa ekstra memiliki kelimpahan unsur di alam semesta dengan analitik dan komputasi sebagai efek kosmologis (Cirelli et al, 2006).

Menurut teori quantum chromodynamics, quark memiliki sifat yang disebut warna. Gaya diantara quark disebut sebagai gaya kuat dan gaya warna. Saat ini gaya kuat telah dianggap sebagai gaya fundamental. Gaya nuklir yang semula dianggap sebagai gaya fundamental, saat ini di golongan sebagai gaya sampingan dari gaya kuat yang terjadi karena pertukaran gluon antara hadron-hadron (Bravo et al, 2003).

Gaya elektromagnetik dan gaya lemah sekarang di anggap sebagai manifestasi dari suatu gaya tunggal yang di sebut sebagai gaya listrik lemah. Gabungan antara QCD dan teori listrik lemah disebut model standar. Radiasi gelombang mikro latar yang ditemukan oleh Penzias dan Wilson dengan jelas menunjukkan bahwa alam semesta tercipta dari Big Bag sekitar 11 sampai 20 miliaran tahun yag lalu. Radiasi latar ekuivalen dengan radiasi benda hitam

bersuhu 3K (Mangano, 2006). Berbagai percobaan astronomi yang telah dilakukan telah menunjukkan bahwa alam semesta mengembang.

Gaya elektromagnetik dan gaya lemah sekarang di anggap sebagai manifestasi dari suatu gaya tunggal yang di sebut sebagai gaya listrik lemah. Gabungan antara QCD dan teori listrik lemah disebut model standar. Radiasi gelombang mikro latar yang ditemukan oleh Penzias dan Wilson dengan jelas menunjukkan bahwa alam semesta tercipta dari Big Bag sekitar 11 sampai 20 miliaran tahun yag lalu. Radiasi latar ekuivalen dengan radiasi benda hitam bersuhu 3K (Mangano, 2006). Berbagai percobaan astronomi yang telah dilakukan telah menunjukkan bahwa alam semesta mengembang.

## Bab 2 Tinjauan Pustaka

Neutrino merupakan partikel elementer yang perjalanannya mendekati kecepatan cahaya (Thomas *et al*, 2010) tetapi sulit di deteksi karena tidak bermuatan listrik, dalam setiap detik ribuan milyar neutrino melewati tubuh kita dan kita tidak akan merasa apa-apa. Menurut Model standar fisika partikel neutrino tak bermassa harus seperti foton yang membentuk cahaya tetapi kenyataannya neutrino memiliki massa yang sangat kecil (Serra *et al*, 2007). Kosmologi dan neutrino dengan penekanan khusus pada efek Nukleosintesis big bang, struktur skala besar dari alam semesta dan pengukuran Latar Belakang Microwave Radiasi Kosmis (Pisanti *et al*, 2005) sedangkan sektor neutrino (Efrosinin, 2011). Masalah ketidakpastian statistik dalam estimasi parameter osilasi neutrino (Hannestad, 2005), menganalisis proses produksi kinematik neutrino (Baranov, 2003).

Tinjauan fundamental neutrino dan kosmologi, dan keberadaan neutrino terhadap efek gelombang mikro latar belakang kosmik dan struktur skala besar. Penekanan khusus diletakkan pada pengukuran massa neutrino dan kosmologi (S. Hannestad, 2005) Estimasi parameter kosmologis dan tiga neutrino standar memiliki degenerasi massa, yang bertentangan dengan pengukuran terestrial terbaru dari perbedaan massa neutrino.

Latar belakang gelombang mikro kosmik (CMB), spektrum CMB dan potensial lensing gravitasi menemukan bahwa, dengan asumsi  $um_{23}^2 \approx 2.5 \times 10^{-3} eV^2$  dan pengukuran berpusat di bumi pada osilasi neutrino atmosfer, serta koreksi *non-degenerasi* dan ketepatan nilai numerik yang tidak terdeteksi dalam CMB (Mangano, 2006). Untuk model eksotis dengan signifikan neutrino non-degenerasi dapat menjadi bagian penting dalam kosmologi dan fisika partikel (Slosar, 2006) dan menunjukkan bahwa kekosongan kondensat disebabkan oleh *mixing neutrino* dalam teori medan kuantum dan memberikan kontribusi untuk energi gelap alam semesta yang

menimbulkan perilaku percepatan aliran kosmik (Kuchiev and Flambaum, 2003). Dalam penelitian ini akan ditelaah Metrik non diagonal (Legourouges and Pastor, 2006) dengan eliminasi dua derajat bebas didefinisikan

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu = a^2(t) \left[ (1 + 2w) dt^2 - (1 - 2\mathcal{E}) u_{ij} dx^i dx^j \right] \quad (2.1)$$

Dengan tensor energi momentum ( Legourouges and Pastor, 2006)

$$uT_i^0 = (\bar{\rho} + \bar{p})v_i^{\prime\prime}, \quad uT_j^i = -u\rho u_j^i + \sum_j^{\prime\prime\prime}, \quad \ddot{v}_i \equiv \sum_i \partial_i v_i = \nabla^2 \tilde{v} \quad (2.2)$$

$$(\bar{\rho} + \bar{p})\nabla^2 \ddot{v} \equiv -\sum_{i,j} (\partial_i \partial_j - \frac{1}{3} \nabla^2 u_{ij}) \sum_j^{\prime\prime\prime} = -\frac{2}{3} \nabla^4 \ddot{v} \quad (2.3)$$

Untuk komponen skalar empat dalam gauge longitudinal dan persamaan Hubble

$$uG_0^0 = 2a^{-2} \left\{ -3 \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 w - 3 \frac{\dot{a}}{a} \mathcal{E} + \nabla^2 \mathcal{E} \right\} = 8f G u_{\dots}, \quad (2.4)$$

Dengan skalar dan persamaan medan Einstein dalam neutrino

$$uG_i^0 = 2a^{-2} \partial_i \left\{ \frac{\dot{a}}{a} w + \mathcal{E} \right\} = 8f G (\bar{\rho} + \bar{p}) v_i, \quad (2.5a)$$

$$uG_j^i = -2a^{-2} = \left\{ \left[ \left( 2 \frac{\ddot{a}}{a} - \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 \right) w + \frac{\dot{a}}{a} (\dot{w} + 2\mathcal{E}) + \mathcal{E} + \frac{1}{3} \nabla^2 (w - \mathcal{E}) \right] \right. \\ \left. \left[ u_j^i - \frac{1}{2} \left( \partial^i \partial_j - \frac{1}{3} \nabla^2 u_j^i \right) (w - \mathcal{E}) \right] \right\} \quad (2.5b) \\ = 8f G (-u\rho u_j^i + \sum_j^{\prime\prime\prime}),$$

Persamaan (2.5b) merupakan ruang Fourier dan Persamaan Euler

$$-k^2 \left( \frac{\dot{a}}{a} w + \mathcal{E} \right) = 4f G a^2 (\bar{\rho} + \bar{p}) \ddot{v}_i, \quad (2.6)$$

$$\left( 2 \frac{\ddot{a}}{a} - \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 \right) w + \frac{\dot{a}}{a} (\dot{w} + 2\mathcal{E}) + \mathcal{E} - \frac{k^2}{3} (w - \mathcal{E}) = 4f G a^2 u \rho, \quad (2.7)$$

$$\ddot{v}_i = \frac{\dot{a}}{a} (3\check{S} - 1) \ddot{v}_i - \frac{\check{S}}{1 + \check{S}} \ddot{v}_i - k^2 \ddot{v}_i - \frac{\check{S}}{1 + \check{S}} k^2 u, \quad (2.8)$$

Dengan asumsi fluida dan diagonal isotropic dalam tekanan

$$T^{-\nu} = -\rho g^{-\nu} + (\dots + p)U^{-}U^{\nu}, T^{-\nu} = -\rho g^{-\nu} + (\dots + p)U^{-}U^{\nu}, \quad (2.9a)$$

$$U^{-} = (a^{-1}[1-w], a^{-1}v^i), \text{ dan } T_0^0 = \dots, T_0^i = v^i, T_i^i = -\rho, uT_0^0 = u_{\dots r} + u_{\dots m}, \quad (2.9b)$$

$$\partial(uT_0^i) = (\dots_r + \bar{\rho}_r)_{,m} + \dots_{m,m} = \frac{4}{3}\bar{\rho}_{r,r} + \bar{\rho}_{m,m}, \text{ dan } uT_i^i = -u_{\dots r} = -\frac{1}{3}u_{\dots r}, \quad (2.9c)$$

Panjang Jeans dan spasial datar alam semesta Friedmann melalui proses dan propagasi fisis dalam geodesic panjang gelombang (Legurourgue-Pastor, 2006),

$$d(t_i, t) = a(t) \int_{t_i}^t dx = a(t) \int_{t_i}^t \frac{v dt'}{a(t')} \quad (2.10a)$$

$$R_H(t) = \frac{t}{n}, d_H(t \gg t_i) \simeq \frac{t}{1-n}, k_j(t) = \left( \frac{4f G \dots(t) a^2(t)}{c_s^s(t)} \right), \quad (2.10b)$$

$$\} _J(t) = 2f \frac{a(t)}{k_j(t)} = 2f \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{c_s(t)}{H(t)}, \ddot{u} + \frac{\dot{a}}{a} \dot{u} + (k^2 - k_j^2) c_s^2 u = 0, \quad (2.10c)$$

Stabilitas Jeans dan kompresi gravitasi bahwa radiasi mendominasi alam semesta dengan parameter ekspansi serta persamaan kontinu Euler dan Einstein sebagai berikut,

$$\dot{u}_m = \dots_m + 3\dot{w}, \dot{u}_r = \frac{4}{3} \dots_r + 4\dot{w}, \quad (2.11a)$$

$$\dots_m = -\frac{\dot{a}}{a} \dots_m - k^2 w, \dots_r = -\frac{k^2}{4} u_r - k^2 w, \quad (2.11b)$$

$$-3 \frac{\dot{a}}{a} \dot{w} - \left( 3 \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 + k^2 \right) w = 4f G a^2 (\dots_m u_m + \dots_r u_r), \quad (2.11c)$$

$$-k^2 - \left( \dot{w} + \frac{\dot{a}}{a} w \right) = 4f G a^2 (\dots_{m,m} + \frac{4}{3} \dots_{r,r}), \quad (2.11d)$$

$$\ddot{w} + 3 \frac{\dot{a}}{a} \dot{w} + \left( 2 \frac{\ddot{a}}{a} + \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 \right) w = 4f G a^2 \left( \frac{1}{3} \dots_r u_r \right), \quad (2.11e)$$

**Table 2.** Model Standard neutrino dan Fluks neutrino cross section berdasarkan Eksperimen (Bilenky, 1999)

$R$	Fluks $\Phi_r$ ( $cm^{-2}s^{-1}$ )	$\langle \dagger_{Cl} \rangle_r$ ( $10^{-44} cm^2$ )	$S_{Cl}^{(r)}$ ( $SNU$ )	$\langle \dagger_{Ga} \rangle_r$ ( $10^{-44} cm^2$ )	$S_{Cl}^{(r)}$ ( $SNU$ )
Pp	$(5.94 \pm 0.06) \times 10^{10}$	–	–	$0.117 \pm 0.003$	$69.6 \pm 0.7$
Pep	$(1.39 \pm 0.01) \times 10^8$	0.16	0.2	$2.04^{+0.35}_{-0.14}$	2.8
${}^7Be$	$(4.80 \pm 0.43) \times 10^9$	0.024	$1.15 \pm 0.1$	$0.717^{+0.050}_{-0.0021}$	$34.4 \pm 3.1$
${}^8B$	$(5.15^{+0.98}_{-0.72}) \times 10^6$	$1.44 \pm 11$	$5.9^{+1.1}_{-0.8}$	$240^{+77}_{-36}$	$12.4^{+2.4}_{-1.7}$
hep	$2.10 \times 10^3$	390	0.0	$714^{+228}_{-114}$	0.0
${}^{13}N$	$(6.05^{+1.15}_{-0.77}) \times 10^8$	0.017	0.1	$0.604^{+0.036}_{-0.018}$	$3.7^{+0.7}_{-0.5}$
${}^{15}O$	$(5.32^{+1.17}_{-0.80}) \times 10^8$	$0.068 \pm 0.001$	$0.4 \pm 0.1$	$1.137^{+0.136}_{-0.057}$	$6.0^{+1.3}_{-0.9}$
${}^{17}F$	$(6.33^{+0.76}_{-0.70}) \times 10^6$	0.069	0.0	$1.139^{+0.137}_{-0.057}$	0,1
Total		$7.7^{+1.2}_{-1.0}$			$129^{+8}_{-6}$

**Tabel 3.** Parameter dan fenomenologi massa neutrino seperti dalam data atmosfer dari Eksperimen LND (Bilenky, 1999)

R	Reaksi	Energi rata-rata neutrino $\langle E \rangle_{\dagger}$ (MeV)	Energi maksimum neutrino (MeV)
Pp	$p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$	0.2668	$0.423 \pm 0.03$
Pep	$p + e^- + p \rightarrow d + \nu_e$	1.445	1.445
${}^7Be$	$e^- + {}^7Be \rightarrow {}^7Li + \nu_e$	0.3855 0.8631	0.3855 0.8631
${}^8B$	${}^8B \rightarrow {}^8Be^* + e^+ + \nu_e$	$6.735 \pm 0.036$	15
hep	${}^3He + p \rightarrow {}^4He + e^+ + \nu_e$	9.628	18.778
${}^{13}N$	${}^{13}N \rightarrow {}^{13}C + e^+ + \nu_e$	0.7063	$1.1982 \pm 0.0003$
${}^{15}O$	${}^{15}O \rightarrow {}^{15}N + e^+ + \nu_e$	0.9964	$1.7317 \pm 0.0005$
${}^{17}F$	${}^{17}F \rightarrow {}^{17}O + e^+ + \nu_e$	0.9977	$1.7364 \pm 0.0003$

## Bab 3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

### 3.1 Tujuan

Umumnya neutrino dan partikel elementer merupakan paradigma interaksi lemah dan elektromagnetik, interaksi hadron dalam energi rendah dan interaksi model quark. Dalam Model Standar dan fisika partikel diasumsikan bahwa Neutrino tak bermassa, dan hanya memiliki interaksi lemah dengan materi. Dalam penelitian ini pertama-tama kita harus memperkenalkan interaksi lemah dalam model standar dan kemudian menjelaskan hamburan neutrino elektron dan interaksi neutrino nukleon. Hamburan koheren neutrino dengan materi sebagai osilasi neutrino dalam materi, akan dibahas secara rinci bagaimana kerelatifan umum klasik memandang struktur ruang-waktu sebagai sesuatu yang deterministik dan sangat terdefinisi hingga jarak-jarak yang cukup kecil dari panjang Planck yaitu  $L = (\hbar G / c^3)^{1/2}$  dan akan dilakukan perhitungan nilai panjang Planck dengan pembatasan kuantum menyatakan bahwa setelah big-bang, saat seluruh bagian alam semesta yang teramati saat ini masih berada dalam singularitas berbentuk titik, tidak ada yang dapat teramati sebelum ukurannya lebih besar dari panjang Planck, oleh karena pertumbuhan singularitas tersebut berlangsung dengan kelajuan cahaya, secara teoritis dapat menyimpulkan bahwa tidak mungkin mengamati selang waktu yang diperlukan oleh cahaya untuk menempuh panjang Planck, dan berapa selang waktu tersebut yang dikenal sebagai waktu Planck  $T$  dan dibandingkan nilainya dengan epos ultrapanas yang dijelaskan dalam referensi ilmiah Fisika Partikel dan Kosmologi.

### 3.2 Manfaat

Sebagai bahan referensi ilmiah fisika partikel elementer untuk membahas gaya-gaya fundamental di alam semesta, Meson dan awal fisika partikel, khususnya untuk Higgs boson di LHC.

## Bab 4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian teoritis dan analitik melalui formulasi matematis, numerik dan simulasi fenomena, peneliti mengkaji model standar neutrino dan partikel elementer dengan nukleosintesis primordial big bang, interaksi neutrino Dirac dan Majorana dalam spinor, osilasi neutrino dalam mekanika kuantum.

## Bab 5 Hasil dan Pembahasan

Banyak partikel-partikel yang di temukan pada tahun 1950-an yang berasal dari interaksi antara pion, proton dan neutron dalam atmosfer. Sekelompok partikel antara lain kaon  $K$  lambda  $\Lambda$  dan sigma  $\Sigma$ , membentuk partikel aneh yang di sebut sebagai patikel asing mereka selalu terbentuk secara berpasangan. Saat pion bertumbukan dengan proton, kemungkinan besar akan dihasikan dua partikel asing yang netral  $f^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda^0$ .Keanehan kedua partikel asing adalah bahwa partikel tersebut dihasikan dalam reaksi yang melibatkan interaksi kuat pada laju yang tinggi sehingga partikel-partikel tersebut tidak meluruh menjadi partikel-partikel yang berinteraksi dengan gaya kuat pada laju yang tinggi (Serway dan Jewett, 2004). Sebaliknya, partikel-partikel asing meluruh dengan sangat lambat, yang merupakan ciri dari interaksi lemah. Waktu paruh partikel asing berada dalam kisaran  $10^{-10}$  hingga  $10^{-8}$  s. Sebagian besar partikel lainnya yang berinteraksi dengan gaya kuat memiliki waktu hidup yang lebih pendek, sekitar  $10^{-23}$  s.

Untuk mejelaskan keanehan sifat partikel asing, diperkenalkan bilangan kauntum baru  $S$  yang disebut strangeness atau keasingan. Bilangan keasingan untuk beberapa diperlihatkan pada tabel. Produksi partikel asing yang berpasangan dijelaskan menggunakan  $S = +1$  untuk partikel pertama,  $S = -1$  untuk partikel kedua, dan  $S = 0$  untuk partikel yang bukan partikel asing. Rendahnya tingkat peluruhan partikel asing dapat dijelaskan dengan menggunakan asumsi bahwa interaksi kuat dan interaksi elektromagnetik memenuhi hukum kekekalan keasingan, tetapi interaksi lemah tidak mematuhi hukum tersebut. Oleh karena peluruhan partikel asing melibatkan hilangnya satu partikel asing, maka proses peluruhan tersebut melanggar hukum kekekalan keasingna dan karenanya berlangsung melalui interaksi lemah.

Informasi yang terdapat dalam tabel mungkin membingungkan sehingga perlu adanya penjelasan yang lebih terperinci. Saat kita mempertanyakan salah satu informasi yang menunjukkan bahwa suatu partikel  $\Sigma^0$  hanya ada selama  $10^{-20} s$  dan memiliki massa  $1192,5 MeV/c^2$ . Bagaimana mungkin mendeteksi suatu partikel yang hanya muncul selama  $10^{-20} s$ . Kebanyakan partikel elementer tidak stabil dan hanya dihasilkan dalam melalui hujan sinar kosmis yang sangat jarang terjadi. Partikel-partikel ini dibuat dalam jumlah besar dengan menumbukan partikel-partikel berenergi tinggi kesasaran yang tepat. Partikel-partikel yang digunakan harus berenergi tinggi, dan dibutuhkan waktu yang sangat lama bagi medan elektromagnetik untuk mempercepat partikel-partikel tersebut agar berenergi tinggi. Sehingga digunakan partikel bermuatan yang stabil, seperti elektron atau proton. Sasaran yang akan di tumbuk harus sederhana dan stabil, sasaran yang paling sederhana adalah hidrogen. Hidrogen dapat digunakan sebagai sasaran (protonnya) maupun detektor.

Kejadian yang umum terjadi dalam kamar gelembung yang berfungsi sebagai sumber sasaran dan juga detektor. Banyak jejak sejajar dari pion negatif yang tampak memasuki foto dari bagian bawah. Salah satu pion menumbuk proton hidrogen yang diam dan menghasilkan dua partikel asing,  $f^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$  kedua partikel asing tidak meninggalkan jejak, tetapi hasil peluruhannya yang berupa partikel bermuatan. Suatu medan magnet yang diarahkan kebidang buku akan menyebabkan jejak masing-masing partikel berbentuk kurva, kita dapat menemukan muatan serta momentum linear dari partikelnya. Jika massa dan momentum partikel diketahui, maka kita dapat menghitung massa, energi kinetik, dan kecepatan partikel yang dihasilkan dengan menggunakan hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi. Menggabungkan kecepatan partikel dengan panjang jejaknya untuk menghitung waktu hidup partikel. Kadangkala kita bahkan dapat

menggunakan teknik penentuan waktu hidup tersebut untuk mencari waktu hidup partikel netral yang tidak meninggalkan jejak. Selama kecepatan partikel sejak awal dan akhir jejak partikel diketahui, kita dapat mendeduksi panjang jejak yang hilang untuk kemudian menentukan waktu hidup partikel netral.

Bagi partikel-partikel dengan waktu hidup pendek, yang dikenal dengan partikel resonansi, kita hanya dapat memperkirakan massa, waktu hidup, dan keberadaan partikel tersebut berdasarkan hasil-hasil peluruhan. Partikel resonansi yang disebut delta plus ( $\Delta^+$ ) yang bermassa  $1231 \text{ MeV}/c^2$  serta waktu hidupnya  $6 \times 10^{-24} \text{ s}$ . Partikel ini di hasilkan dari reaksi

$e^+ + p \rightarrow e^- + \Delta^+$  kemudian meluruh menjadi  $\Delta^+ \rightarrow f^+ + n$  oleh karena umur  $\Delta^+$  sangat singkat, partikel tersebut tidak meninggalkan jejak yang dapat di ukur. Oleh karena itu tampaknya mustahil untuk membedakan reaksi  $e^+ + p \rightarrow e^- + \Delta^+$  dari reaksi  $e^- + p \rightarrow e^- + f^+ + n$  dimana reaktan langsung meluruh menjadi  $e^-, f^+$  dan  $n$  tanpa melalui proses perantara dimana  $\Delta^+$  muncul. Jika partikel  $\Delta^+$  ada maka partikel tersebut memiliki energi diam yang tersendiri, yang harus berasal dari energi kinetik partikel-partikel yaang datang. Jika kita menembakan elektron-elektron ke proton-proton dengan energi kinetik yang terus meningkat, maka pada akhirnya sistem akan memiliki cukup energi untuk menghasilkan partikel  $\Delta^+$ . Hal ini mirip dengan menembakan foton dengan energi yang terus meningkat pada suatu atom sehingga sistem tersebut memiliki cukup energi untuk mengeksitasi atom kekeadaan kuantum yang lebih tinggi. Partikel  $\Delta^+$  merupakan tingkat energi proton yang tereksitasi dan dapat di pahami dengan menggunakan teori quark. Setelah partikel  $\Delta^+$  terbentuk energi diamnya berubah menjadi energi dari pion dan neutron yang dipancarkan. Energi diam partikel  $\Delta^+$  dinyatakan dalam energi kinetik dan momentum linearnya.

$(m_{\Delta^+} c^2)^2 = E_{\Delta^+}^2 - p_{\Delta^+}^2 c^2 = E_{\Delta^+}^2 - (p_{f^+})^2 c^2$  Saat partikel  $\Delta^+$  meluruh menjadi pion dan neutron, kekekalan energi dan kekekalan momentum mensyaratkan bahwa  $E_{\Delta^+} = E_{f^+} + E_n \Rightarrow p_{\Delta^+} = p_{f^+} + p_n$ . Energi diam partikel  $\Delta^+$  dapat dinyatakan dalam energi-energi dan momentum-momentum partikel-partikel yang dihasilkan. Semua ini dapat diukur dalam rekonstruksi komputer kamar hanyut  $(m_{\Delta^+} c^2)^2 = (E_{f^+} + E_n)^2 - (p_{f^+} + p_n)^2 c^2$  energi pion dan neutron yang berasal dari peluruhan  $\Delta^+$  haruslah memiliki energi dan momentum yang digabungkan sehingga menghasilkan energi diam dari partikel dari partikel  $\Delta^+$ . Pion dan neutron akan memiliki bermacam-macam energi dan momentum tanpa adanya pola tertentu karena dalam reaksi ini energi reaktan dapat terbagi dalam banyak cara kedalam tiga partikel hasil.

Untuk menunjukkan keberadaan partikel  $\Delta^+$ , kita menganalisis sejumlah besar kejadian saat  $f^+$  dan neutron dihasilkan. Kemudian jumlah pada suatu nilai energi tertentu terhadap energi dapat dibuat grafiknya. Jumlah partikel dan resonansi yang telah diamati oleh para ahli fisika partikel juga berjumlah ratusan. Telah banyak dikemukakan sekema klasifikasi pembagian partikel kedalam keluarga-keluarga, salah satunya baryon yang memiliki spin Adan  $\Xi^-$ . Jika kita melihat bilangan keasingan terhadap terhadap muatan baryon dengan menggunakan sistem bilangan miring maka kita dapat mengamati pola yang mengagumkan, enam baryon membentuk segienam, dan dua sisinya berada pada pada pusat segi enam. Sembilan meson dengan spin nol letaknya bersebrangan dengan letak anti partikelnya. Sedangkan  $f^+, f^0, f^-, K^+, K^0, K^-, \eta, \eta'$  dan anti partikel  $K^0$ , bilangan keasingan untuk keluarga ini. Setiap partikel dari batas luar segi enam, letaknya berseberangan dengan letak anti partikelnya, sedangkan tiga lainnya (yang membentuk anti partikel mereka sendiri) berada pada pusat segi enam. Pola-pola ini beserta pola-pola simetris yang serupa

dikembangkan pada tahun 1961 oleh Murray Gell-Mann dan Yuval Ne'eman. Gell-mann menyebut pola-pola ini sebagai pola jalan lipatan delapan. Kelompok-kelompok baryon dan meson dapat digambarkan dalam berbagai polasimetris lain selama masih berada dalam jalan kerangka jalan lipatan delapan. Sembilan partikel yang tersusun dalam pola seperti pin (gada) boling, partikel-partikel  $\Sigma^{*+}, \Sigma^{*0}, \Sigma^{*-}, \Xi^{*+}$  dan  $\Xi^{*-}$  merupakan keadaan-keadaan tereksitasi dari partikel-partikel  $\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^0$  dan  $\Xi^-$ . Dalam tingkat energi tinggi ini, spin dari tiga quark membentuk partikel berada pada posisi lurus sedemikian sehingga spin total partikelnya adalah  $\frac{3}{2}$ . Saat pola ini di kemukakan, terdapat satu titik kosong pada pola ini yang harusnya diisi oleh partikel yang belum pernah diamati. Gell-Mann memperkirakan bahwa partikel tersebut, yang ia sebut sebagai omega minus  $\Omega^-$ , akan memiliki spin  $\frac{3}{2}$ , muatan  $-1$ , keasingan  $-3$ , dan energi diam sekitar  $1680 \text{ MeV}$ .

Prediksi mengenai partikel yang hilang dalam jalan lipatan delapan mirip dengan perkiraan unsur yang hilang dalam tabel periodik. Saat terjadi kekosongan dalam susunan pola informasi yang teratur, para peneliti memiliki panduan mengenai apa yang harus mereka selidiki. Semua hadron terdiri atas dua atau tiga penyusun dasar yang disebut quark. Model tersebut memiliki tiga jenis quark yang diberi simbol  $u$ ,  $d$ , dan  $s$  singkatan dari *up*, *down*, dan *strange*. Jenis-jenis quark lainnya disebut flavors. Keanehan sifat quark adalah bahwa mereka membawa muatan listrik pecahan. Quark  $u$ ,  $d$ , dan  $s$  memiliki muatan  $+2e/3$ ,  $-e/3$ , dan  $-e/3$ , dimana  $e$  adalah muatan elementer. Sifat ini beserta sifat-sifat quark dan anti quark lainnya, quark memiliki spin  $1/2$ , yang berarti bahwa semua quark adalah fermion. Fermion adalah sebagai semua partikel yang memiliki spin setengah bilangan bulat, antiquark dari quark dengan muatan, bilangan baryon, dan keasingan yang berlawanan.

Quark charm memiliki muatan  $+2e/3$  seperti yang dimiliki quark up, tetapi charmnya membedakan quark ini dari quark lainnya. Charm memiliki bilangan kuantum baru yang memiliki charm  $C = +1$ , dan antiquarknya memiliki charm  $C = -1$ , sedangkan quark lainnya memiliki charm  $C = 0$ . Sama halnya dengan keasingan, charm bersifat kekal dalam interaksi elektromagnetik dan interaksi kuat, tetapi tidak kekal dalam interaksi lemah.

Bukti-bukti kuat keberadaan lepton ( $\tau$ ), lepton tersebut merupakan jenis lepton kelima. Para ahli berfikir bahwa ada lebih banyak lagi flavor quark mengingat adanya pendapat mengenai simetri, yang akhirnya memunculkan keberadaan quark charm sebelumnya. Ini menghasilkan model quark yang lebih terperinci dan meramalkan adanya dua quark baru, top (t) dan bottom (b). Untuk membedakan dua quark ini dari yang lainnya, digunakan bilangan quantum yang disebut topness dan bottomness (dengan nilai  $+1, 0, -1$ ) masing-masing untuk quark dan antiquarknya.  $b\bar{b}$  memberikan bukti adanya quark bottom.

Partikel elementer dialam terdiri atas enam quark dan enam lepton lengkap dengan anti partikelnya masing-masing serta empat partikel medan. Quark secara permanen terkungkung dalam partikel biasa karena adanya gaya yang sangat kuat sehingga mencegah quark terlepas dari partikel. Gaya ini dikenal dengan gaya kuat, gaya ini mengikat seiring dengan membesarnya jarak pemisahan, sama halnya dengan gaya yang dihasilkan oleh pegas yang terentang. Saat ini telah dilakukan upaya untuk membentuk plasma quark-gluon, suatu keadaan materi diman quark-quarknya terbebas dari neutron dan proton, Lagrangian dan Neutrino Dirac untuk elektron, (Zhi-Zhong Xing dan Shun Zho, 2010), merupakan flavor ruang hampa untuk bosons netral dan medan boson kompleks .

## Bab 6 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan studi teoritis maka di peroleh bahwa lepton tidak memiliki struktur atau ukuran dan dianggap sebagai partikel yang benar-benar elementer. Lepton hanya berinteraksi melalui gaya lemah, gravitasi dan elektromagnetik, ada enam lepton diurutkan sebagai berikut elektron, muon, tau dan neutrino-neutrinonya (neutrino elektron, neutrino muon, neutrino tau). Berdasarkan studi teoritis fisika fundamental bahwa hadron terdiri dari bagian terkecil (quark) dan quark mengandung enam flavor dengan baryon, dan setiap baryon mengandung satu quark dan satu anti quark. Gaya elektromagnetik dan gaya lemah dianggap sebagai suatu gaya tunggal (gaya listrik lemah), gabungan antara QCD dan teori listrik lemah dikenal dengan model standar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aparici, Alberto et al. 2012. On the nature of the fourth generation neutrino and its implications. arXiv:1204.1021v1 [hep-ph] 4 Apr 2012
- [2] Baranov, S. P., et al. 2003. Heavy quark production at hera with bfk1 and ccfm dynamics. Arxiv:hep-ph/0301017v1 5 jan 2003
- [3] Bilenky, S. M,. 1999. Phenomenology of Neutrino Oscillations. Arxiv:hep-ph/98123v
- [4] Capolupo, Antonio. 2004. Aspects of particle mixing in Quantum Field Theory. arXiv:hep-th/0408228v2 6 Sep 2004.
- [5] Capolupo, A., 2007. Neutrino mixing as a source of dark energy. arXiv:astro-ph/0602467v4 5 Apr 2007
- [6] Cirelli, Marco and Alessandro Strumia. 2006. Cosmology of neutrinos and extra light particles after WMAP3. arXiv:astro-ph/0607086v2 7 Dec 2006.
- [7] Efrosinin, V. P., 2011. Neutrino elementary particles or phantoms. Arxiv:1112.1948v1 [hep-ph] 8 Dec 2011
- [8] Fujii, Kazuyuki. 2012. Superluminal Group Velocity of Neutrinos : Review, Development and Problems. arXiv:1203.6425v2 [physics.gen-ph] 5 Apr 2012
- [9] Giunti, C,. 2000. Quantum Mechanics of Neutrino Oscillations: hep-ph/001074
- [10] Gouvea , Andre and Hitoshi Murayama. 2012. Neutrino Mixing Anarchy: Alive and Kicking. arXiv:1204.1249v1 [hep-ph] 5 Apr 2012
- [11] Hannestad, S,. 2005. Neutrinos in cosmology. arXiv:astro-ph/0511595v1 19 Nov 2005
- [12] Kuchiev, M.Yu. and V.V. Flambaum. 2003. Scattering of scalar particles by a black hole. arXiv:gr-qc/0312065v1 12 Dec 2003

- [13] Lepe, Samuel, et al. 2003. Fermions scattering in a three dimensional extreme black hole background. arXiv:hep-th/0302035v2 17 Apr 2003
- [14] Lesgourgues, Julien and Sergio Pastor. 2006. Massive neutrinos and cosmology. arXiv:astro-ph/0603494v2 29 May 2006
- [15] Mangano, S.,. 2006. Cosmological constraints on Neutrino – Dark Matter interactions. arXiv:astro-ph/0611887v1 29 Nov 2006
- [16] Serra, Paolo et al. 2007. Massive neutrinos and dark energy. arXiv:astro-ph/0701690v1 24 Jan 2007.
- [17] Zhi-Zhong Xing dan Shun Zho, 2010. Neutrinos in Particle Physics, Astronomy and Cosmology, Springer.
- [18] Schechter, Joseph and M. Naeem Shahid. 2012. Absolute neutrino masses. arXiv:1204.0582v1 [hep-ph] 3 Apr 2012
- [19] Slosar, Anze. 2006. Detecting neutrino mass difference with cosmology. arXiv:astro-ph/0602133v2 5 May 2006
- [20] Pisanti, Ofelia., Pasquale D. Serpico. 2005. Neutrinos and Cosmology: an update. arXiv:astro-ph/0507346v1 14 Jul 2005
- [21] Serway dan Jewett., 2004. Physics for Scientists and Engineers, Thomson Brooks/Cole, USA.
- [22] Peter W. Higgs (1964). "Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons". Physical Review Letters **13** (16): 508–509.
- [23] G. S. Guralnik, C. R. Hagen, and T. W. B. Kibble (1964). "Global Conservation Laws and Massless Particles". Physical Review Letters **13** (20): 585–587.
- [24] F. Englert and R. Brout (1964). "Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons". Physical Review Letters **13** (9): 321–323.