

Model Korespondensi Spinor-Skalar

Albertus H. Panuluh, Istikomah, Fika Fauzi, Mirza Satriawan

Jurusan Fisika Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
Sekip Utara Bulaksumur, Yogyakarta 55281
a_hariwangsa@yahoo.com

Abstrak – Model pengembangan dari model standar dengan prinsip korespondensi spinor-skalar telah dibangun. Diperkenalkan enam buah medan skalar baru sebagai partikel korespondensi bagi spinor model standar. Terdapat beberapa konsekuensi dari model baru ini yaitu adanya proses peluruhan nukleon (proton dan neutron) yang berbeda dengan model standar dan diperantarai oleh leptoquark. Dengan menggunakan metode analisis dimensi diperoleh massa leptoquark h_ξ dan h_ω masing-masing $10^{15} \sim 10^{16}$ GeV dan 10^{15} GeV.

Kata kunci: Model Standar, Peluruhan Nukleon, Peluruhan Proton, Leptoquark, Supersimetri

Abstract – The extension of standard model with spinor-scalar correspondence principle has been proposed. We introduce six new scalar fields as standard model spinor corresponding particle. As a consequence, in this model we found nucleon (proton and neutron) decay processes with leptoquark as propagator which are not observed. By using dimensional analysis method, the leptoquark h_ξ and h_ω masses are $10^{15} \sim 10^{16}$ GeV and 10^{15} GeV respectively.

Keywords: Standard Model, Nucleon Decay, Proton Decay, Leptoquark, Supersymmetry

I. PENDAHULUAN

Fisika partikel merupakan salah satu cabang ilmu fisika yang berusaha mempelajari perilaku partikel-partikel elementer penyusun alam semesta. Salah satu keberhasilan fisikawan partikel adalah membangun suatu model yang cocok secara eksperimen. Model ini sering disebut sebagai Model Standar (MS) fisika partikel. Terdapat empat jenis interaksi di alam semesta, yaitu : interaksi kuat, lemah, elektromagnetika, dan gravitasi. MS berhasil menjelaskan tiga jenis interaksi (kecuali gravitasi). Selain itu MS memperkenalkan suatu boson yang bermuatan netral dan memiliki peran dalam membangkitkan partikel-partikel elementer yang biasa disebut partikel Higgs. Hampir selama lima dekade para fisikawan partikel berusaha mencari keberadaan partikel Higgs. Akhirnya pada tahun 2012 sebuah partikel yang diduga merupakan partikel Higgs berhasil ditemukan. [1].

Meski berhasil dalam menjelaskan banyak hal, SM dikatakan belum lengkap karena tidak mampu menjelaskan beberapa hal di antaranya: osilasi neutrino [2], masalah hirarki [3], ketaksimetrian baryon di alam semesta [4], dan keberadaan materi gelap [5]. Oleh karena itu para fisikawan berusaha memperluas SM supaya dapat menjawab beberapa hal yang tidak mampu dijelaskan SM.

Salah satu model pengembangan SM yang terkenal adalah supersimetri (SUSY) [6]. Supersimetri adalah suatu simetri antara boson dan fermion sehingga setiap partikel dalam model standar memiliki pasangan-super (*superpartner*) nya, yaitu setiap boson memiliki pasangan fermion dan setiap fermion memiliki pasangan boson. Motivasi awal diperkenalkannya SUSY adalah untuk menjawab masalah hirarki [7,8]. Pada perkembangannya terkini, SUSY mampu menjelaskan banyak hal di antaranya: masalah hirarki, momen magnet muon, penyatuan kopling ketiga interaksi pada energi tinggi

(*Grand Unified Theory*), dan partikel SUSY yang paling ringan (*Lightest Supersymmetric Particle*) diduga mampu menjadi kandidat materi gelap [9]. Namun hingga saat ini hasil-hasil eksperimen belum menunjukkan tanda-tanda adanya partikel SUSY.

Dengan banyaknya masalah MS yang bisa dijelaskan SUSY, akan menarik bila dapat dibangun suatu model yang mirip SUSY tetapi menghindari permasalahan yang muncul dalam SUSY. Karena partikel SUSY yang paling ringan, yaitu neutralino, belum ditemukan, maka boleh diduga neutralino dan semua gaugino sebenarnya tidak ada. Bila hal ini benar berarti untuk bagian partikel medan tera, simetri SUSY tidak berlaku. Tetapi bila hal ini benar maka seluruh aljabar SUSY harus dirombak agar tidak mengikutsertakan partikel medan tera. Membuat model semacam ini tampaknya masih sulit, tetapi prinsip dasar SUSY yang hanya diterapkan pada sektor spinor dan skalar merupakan ide yang menarik untuk ditelusuri. Karena itu kami mengusulkan suatu model yang memakai sebagian prinsip SUSY tanpa melewati aljabar SUSY, yaitu kami mengusulkan adanya Korespondensi antara partikel spinor dan partikel skalar. Setiap partikel spinor dengan bilangan quantum tera tertentu akan memiliki pasangan korespondensi skalarnya, demikian sebaliknya. Model Korespondensi Spinor-Skalar (KSS) ini mirip dengan SUSY dari segi adanya pasangan antara medan boson dan fermion. Namun korespondensi dalam KSS tidak terkait bentuk transformasi tertentu sedangkan SUSY menggunakan transformasi SUSY, selain itu dalam KSS boson tera tidak memiliki pasangan korespondensi sedangkan dalam SUSY terdapat partikel *gaugino* sebagai pasangan dari boson tera.

II. PENGENALAN MODEL KSS

Model KSS memperkenalkan enam buah medan skalar yang merupakan pasangan dari medan spinor. Tabel 1 menunjukkan isi partikel dalam model KSS, dengan $l_L = \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$ dublet lepton $SU(2)_L$ dan $q_L = \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}_L$ dublet quark. Tambahan medan skalar menyebabkan potensial skalar dalam model KSS berbeda dengan model standar. Bentuk potensial skalar dalam model KSS ditunjukkan dalam persamaan (1).

$$\begin{aligned}
 V = & -\mu_1^2 |\phi|^2 - \mu_2^2 |\rho|^2 - \mu_3^2 |\eta|^2 - \mu_4^2 |\xi|^2 - \mu_5^2 |\chi|^2 \\
 & - \mu_6^2 |\omega|^2 + \lambda_1 |\phi|^4 + \lambda_2 |\rho|^4 + \lambda_3 |\eta|^4 + \lambda_4 |\xi|^4 \\
 & + \lambda_5 |\chi|^4 + \lambda_6 |\omega|^4 + \alpha_1 |\phi|^2 |\rho|^2 + \alpha_2 |\phi|^2 |\eta|^2 \\
 & + \alpha_3 |\phi|^2 |\xi|^2 + \alpha_4 |\phi|^2 |\chi|^2 + \alpha_5 |\phi|^2 |\omega|^2 \\
 & + \beta_1 |\rho|^2 |\eta|^2 + \beta_2 |\rho|^2 |\xi|^2 + \beta_3 |\rho|^2 |\chi|^2 \\
 & + \beta_4 |\rho|^2 |\omega|^2 + \varrho_1 |\eta|^2 |\xi|^2 + \varrho_2 |\eta|^2 |\chi|^2 \\
 & + \varrho_3 |\eta|^2 |\omega|^2 + \epsilon_1 |\xi|^2 |\chi|^2 + \epsilon_2 |\xi|^2 |\omega|^2 \\
 & + \varphi |\chi|^2 |\omega|^2 + \delta_1
 \end{aligned} \quad (1)$$

dengan simbol Yunani selain medan partikel (μ_1, \dots, δ_4) adalah tetapan.

Tabel 1. Medan spinor dan medan skalar disertai dimensi wakilan dan bilangan kuantum dalam model KSS

Medan Spinor	Medan Skalar	$SU(3)_C \otimes SU(2)_L \otimes U(1)_Y$
l_L	ϕ	1,2,-1
e_R	ρ	1,2,-2
ν_R	η	1,1,0
d_R	ξ	3,1,-2/3
q_L	χ	3,2,1/3
u_R	ω	3,1,4/3

Dari keenam medan skalar dipilih hanya medan skalar yang memiliki muatan elektromagnetik netral yaitu ϕ dan η yang mempunyai nilai harap vakum (*Vacuum Expectation Value (VEV)*) yang tak nol. Pemberian VEV kepada medan skalar yang memiliki muatan listrik dan *color* netral supaya setelah perusakan simetri secara spontan (*spontaneous symmetry breaking*) foton dan gluon tetap tak bermassa sesuai dengan hasil eksperimen saat ini. Bentuk VEV bagi medan ϕ dan η ditunjukkan dalam persamaan (2)

$$\langle \phi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} v_\phi \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \langle \eta \rangle = v_\eta \quad (2)$$

dengan v_ϕ dan v_η adalah VEV bagi medan skalar ϕ dan η berturut-turut. Dengan melakukan substitusi persamaan (2) ke (1), diperoleh potensial skalar setelah perusakan simetri secara spontan

$$\begin{aligned}
 V = & -\frac{1}{2} \mu_1^2 v_\phi^2 - \mu_2^2 v_\eta^2 + \frac{1}{4} \lambda_1 v_\phi^4 + \lambda_3 v_\eta^4 \\
 & + \frac{1}{2} \alpha_2 v_\phi^2 v_\eta^2
 \end{aligned} \quad (3)$$

Dari persamaan (3) dapat diperoleh nilai ekstremumnya dan dapat diperoleh nilai VEV bagi masing-masing medan skalar

$$v_\phi = \pm \sqrt{\frac{\mu_1^2 - \alpha_2 v_\eta^2}{\lambda_1}}, \quad v_\eta = \pm \sqrt{\frac{2\mu_2^2 - \alpha_2 v_\phi^2}{4\lambda_3}} \quad (4)$$

III. PEMBANGKITAN MASSA

A. Massa Partikel Skalar

Massa keenam partikel skalar dalam model KSS dapat dibangkitkan dengan cara melakukan ekspansi di sekitar VEV setiap medan skalar. Bentuk ekspansinya ditunjukkan sebagai

$$\begin{aligned}
 \phi &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} v_\phi + h_\phi \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \eta = v_\eta + h_\eta, \quad \rho = h_\rho \\
 \xi &= h_\xi, \quad \chi = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} h_{\chi u} \\ h_{\chi d} \end{pmatrix}, \quad \omega = h_\omega
 \end{aligned} \quad (5)$$

Persamaan (5) disubstitusikan ke persamaan (1), kemudian setelah dilakukan penjabaran dan suku campuran diabaikan, maka massa bagi keenam medan skalar diperoleh

$$\begin{aligned}
 m_\phi &\approx \sqrt{2\lambda_1 v_\phi^2} \\
 m_\eta &\approx \sqrt{8\lambda_3 v_\eta^2} \\
 m_\rho &\approx \sqrt{\frac{1}{2} \alpha_1 v_\phi^2 + \beta_1 v_\eta^2 - \mu_2^2} \\
 m_\xi &\approx \sqrt{\frac{1}{2} \alpha_3 v_\phi^2 + \varrho_1 v_\eta^2 - \mu_4^2} \\
 m_\chi &\approx \sqrt{\frac{1}{4} \alpha_4 v_\phi^2 + \frac{1}{2} \varrho_2 v_\eta^2 - \frac{1}{2} \mu_5^2} \\
 m_\omega &\approx \sqrt{\frac{1}{2} \alpha_5 v_\phi^2 + \varrho_3 v_\eta^2 - \mu_6^2}
 \end{aligned} \quad (6)$$

B. Lagrangian Yukawa dan massa elektron, up dan down quark

Massa elektron, *up* quark, dan *down* quark dapat dibangkitkan dengan membangun Lagrangian Yukawa yang paling umum dalam model KSS. Dengan meninjau dalam satu generasi saja, bentuk Lagrangian Yukawa yang paling umum disajikan seperti pada persamaan (7).

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -G_v \bar{l}_L \phi \nu_R - G_{l\nu} \bar{e}_R \rho \nu_R^c - G_{\nu} \bar{\nu}_R \eta \nu_R^c - G_{d\nu} \bar{d}_R \xi \nu_R^c \\
 & -G_{qv} \bar{q}_L \chi \nu_R - G_{uv} \bar{u}_R \omega \nu_R^c - G_{qu} \bar{q}_L \phi u_R \\
 & -G_{qd} \bar{q}_L \phi^c d_R - G_e \bar{l}_L \phi^c e_R - G_{ul} \bar{u}_R \xi^c e_R^c \\
 & -G_{ld} \bar{l}_L \chi^c d_R - G_{ql} \bar{q}_L \xi^c l_L^c - G_{du} \bar{d}_R \xi^c u_R^c \\
 & -G'_{qd} \bar{d}_R \omega^c d_R^c - G_q \bar{q}_L \xi^c q_L^c - G_l \bar{l}_L \rho^c l_L^c + h.c
 \end{aligned} \quad (7)$$

dengan berbagai koefisien G adalah tetapan kopling interaksi Yukawa.

Persamaan (7) memuat suku yang dapat membangkitkan massa elektron, *up* quark, dan *down*

quark yaitu suku $G_e \bar{l}_L \phi^c e_R, G_{qu} \bar{q}_L \phi u_R$, dan $G_{qd} \bar{q}_L \phi^c d_R$ berturut-turut. Dari ketiga suku tersebut diperoleh

$$\begin{aligned} m_e &= \frac{1}{\sqrt{2}} G_e v_\phi \\ m_u &= \frac{1}{\sqrt{2}} G_{qu} v_\phi \\ m_d &= \frac{1}{\sqrt{2}} G_{qd} v_\phi \end{aligned} \quad (8)$$

yakni berturut-turut massa elektron, *up* quark, dan *down* quark.

IV. KONSEKUENSI MODEL KSS

Lagrangian Yukawa dalam persamaan (7), mengandung suku yang melanggar bilangan lepton dan baryon. Dari suku-suku tersebut dapat diperoleh peluruhan nukleon (proton dan neutron) yang tidak teramati dalam model standar sehingga sebagaimana biasanya, apabila suatu model pemekaran dari model standar menyebabkan peluruhan proton, maka perlu ditinjau lebih jauh.

Suku yang dapat menyebabkan terjadinya peluruhan proton adalah

$$\mathcal{L}_1 = -G_{ql} \bar{q}_L \xi l_L^c - G_q \bar{q}_L \xi^c q_L^c + h.c \quad (9)$$

$$\mathcal{L}_2 = -G_{uv} \bar{u}_R \omega v_R^c - G'_{qd} \bar{d}_R \omega^c d_R^c + h.c \quad (10)$$

yang jika diekspansikan secara eksplisit ke dalam bentuk partikelnya diperoleh suku yang mengandung peluruhan proton yaitu

$$\llbracket \mathcal{L} \rrbracket_{13} = -G_1 q_l (d_1 L) \bar{h}_1 \xi v_1 L^c - G_1 q (u_1 L) \bar{h}_1 \xi^c d_1 L^c + h.c \quad (11)$$

$$\llbracket \mathcal{L} \rrbracket_{14} = -G_1 q_l (u_1 L) \bar{h}_1 \xi e_1 L^c - G_1 q (u_1 L) \bar{h}_1 \xi^c d_1 L^c + h.c \quad (12)$$

$$\llbracket \mathcal{L} \rrbracket_{15} = -G_1 uv (u_1 R) \bar{h}_1 \omega v_1 R^c - \llbracket G' \rrbracket_{1qd} (d_1 R) \bar{h}_1 \omega^c d_1 R^c + h.c \quad (13)$$

Dari persamaan (10), (11), dan (12) dapat diperoleh bentuk peluruhan yang berbeda dengan model standar.

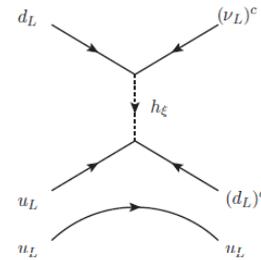
A. Peluruhan nukleon menjadi pion netral dan anti neutrino

Persamaan (11) dan (13) dapat menyebabkan proses peluruhan nukleon menjadi pion netral dan anti neutrino yang diperantarai oleh medan *leptoquark* h_ξ dan h_ω berturut-turut. Karena nukleon adalah proton dan neutron, maka terdapat empat buah diagram Feynman interaksi yang ditunjukkan pada Gambar (1), (2), (3), dan (4).

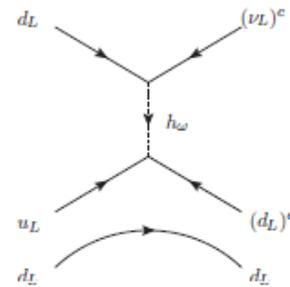
B. Peluruhan nukleon menjadi pion dan positron

Persamaan (12) menunjukkan proses peluruhan nukleon menjadi pion dan positron. Apabila yang meluruh adalah proton maka pion yang dihasilkan adalah pion netral, sedangkan jika yang meluruh adalah netron maka pion yang terhasikan adalah pion negatif. Hal ini supaya kelestarian muatan listrik ruas kiri dan kanan

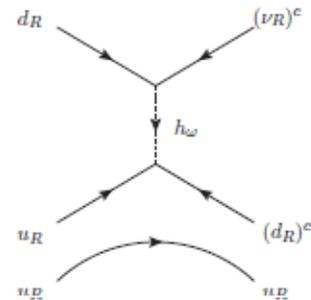
terjamin. Diagram Feynman interaksi untuk proses ini ditunjukkan pada Gambar (5) dan (6).



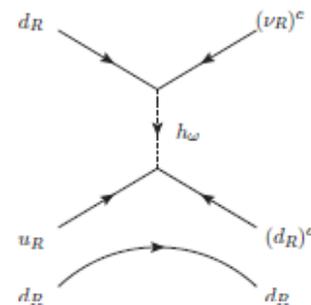
Gambar 1. Diagram Feynman $p \rightarrow \pi^0 + \nu_L^c$ melalui leptoquark h_ξ



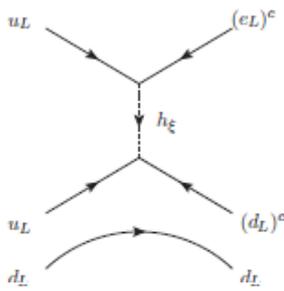
Gambar 2. Diagram Feynman $n \rightarrow \pi^0 + \nu_L^c$ melalui leptoquark h_ω



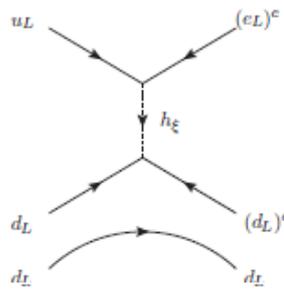
Gambar 3. Diagram Feynman $p \rightarrow \pi^+ + \nu_R^c$ melalui leptoquark h_ω



Gambar 4. Diagram Feynman $n \rightarrow \pi^0 + \nu_R^c$ melalui leptoquark h_ω



Gambar 5. Diagram Feynman $p \rightarrow \pi^0 + e_L^c$ melalui leptoquark h_ξ



Gambar 6. Diagram Feynman $n \rightarrow \pi^0 + e_L^c$ melalui leptoquark

V. PERHITUNGAN

Seperti yang sudah dituliskan di atas peluruhan proton tidak terdeteksi dalam MS. Oleh karena itu massa dari partikel pembawa peluruhan proton haruslah sangat masif. Namun perhitungan diagram Feynman untuk barion, seperti proton dan neutron, sangat sulit. Hal ini karena proton dan neutron tersusun dari partikel quark yang berinteraksi sangat kuat dan tidak dapat dihitung secara analitik. Perhitungan paling sederhana dan dapat dilakukan secara analitik adalah menggunakan analisis dimensi (*dimensional analysis*). Dari Gambar (1)-(6), karena massa proton dan neutron hampir sama dan diasumsikan massa leptoquark h_ξ dan h_ω seorde, maka laju peluruhan nukleon (Γ) adalah

$$\Gamma \approx \frac{m_N^5}{M_l^4} \quad (13)$$

dengan m_N dan M_l adalah massa nukleon (proton dan neutron) dan massa leptoquark (h_ω dan h_ξ) berturut-turut. Waktu hidup (τ) yang terkait adalah

$$\tau \approx \frac{M_l^4}{m_N^5} \quad (14)$$

Dari pustaka [10], batas bawah nilai waktu hidup peluruhan proton menjadi pion dan neutrino adalah 16×10^{30} tahun. Batas bawah waktu hidup peluruhan neutron menjadi pion dan neutrino adalah 112×10^{30} tahun. Batas bawah waktu hidup peluruhan proton menjadi pion dan elektron adalah 2×10^{33} tahun. Batas bawah waktu hidup peluruhan neutron menjadi pion dan elektron

adalah $8,22 \times 10^{33}$ tahun. Nilai konversi dimensi [waktu] dengan [energi] adalah $1 \text{ s} \equiv 1,5 \times 10^{24} \text{ GeV}^{-1}$ [11]. Dengan asumsi 1 tahun adalah 365 hari, maka 1 tahun = $31.536.000 \text{ s} \equiv 4,73 \times 10^{31} \text{ GeV}^{-1}$

A. Massa leptoquark h_ξ

Leptoquark h_ξ menjadi perantara peluruhan nukleon menjadi pion dan anti neutrino ditunjukkan pada Gambar (1) dan (2) serta menjadi perantara peluruhan nukleon menjadi pion dan positron pada Gambar (5) dan (6).

Dalam perhitungan analisis dimensi yang akan dilihat hanya ordennya saja, sehingga waktu hidup peluruhan proton dan neutron dianggap sama 10^{30} tahun dan massa proton dan neutron dianggap sama yaitu 1 GeV. Maka diperoleh massa leptoquark

$$M_\xi \approx 10^{15} \sim 10^{16} \text{ GeV} \quad (15)$$

B. Massa leptoquark h_ω

Leptoquark h_ω menjadi perantara peluruhan nukleon menjadi pion dan anti neutrino yang diagram Feynmannya ditunjukkan pada Gambar (3) dan (4). Dengan cara analisis dimensi diperoleh massa leptoquark

$$M_\omega \approx 10^{15} \text{ GeV} \quad (16)$$

VI. KESIMPULAN

Model korespondensi spinor-skalar (KSS) merupakan salah satu model yang dapat menjadi alternatif lain dari SUSY yang tidak mengharuskan adanya gaugino. Dalam model ini peluruhan proton yang dimungkinkan dapat ditekan bila massa leptoquark memiliki orde massa 10^{15} GeV.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Atom dan Inti, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada atas segala fasilitas yang diberikan.

PUSTAKA

- [1] The ATLAS Collaboration, Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, *Physics Letter B*, vol. 716, Issue 1, 17 September 2012, pp. 1-29.
- [2] A. Aguilar, *et.al*, Evidence for Neutrino Oscillations from the Observation of Electron Anti-neutrinos in a Muon Anti-Neutrino Beam, *Physical Review D*, vol. 64, no. 112007, 13 November 2001.
- [3] L. Susskind, Dynamics of spontaneous symmetry breaking in the Weinberg-Salam theory, *Physical Review D*, vol. 20, no. 2619, 15 Nopember 1979.
- [4] S. Davidson, M. Losada, A. Riotto, A New perspective on baryogenesis, *Physical Review Letters*, vol. 84, no. 4284, 8 Mei 2000.
- [5] P. Gondolo, G. Gelmini, Compatibility of DAMA dark matter detection with other searchers, *Physical Review D*, vol. 71, no. 123520, 10 Juni 2005.

- [6] J. Wess, B. Zumino, Super gauge transformation in four dimensions, *Nuclear Physics B*, vol. 70, 1974, pp. 39-50.
- [7] R. Barbieri, G.F. Giudice, Upper bounds on supersymmetric particle masses, *Nuclear Physics B*, 306, 63, 1988.
- [8] N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos, G. Dvali, The Hierarchy problem and new dimensions at a millimeter, *Physics Letter B*, 429, 263-272, 1998
- [9] V. Berezinsky, A. Bottino, J. Ellis, N. Fornengo, G. Mignola, S. Scopel, Neutralino dark matter in supersymmetric models with non-universal scalar mass terms, *Astroparticle Physics*, Vol. 5, 1-26, 1996
- [10] K.A Olive, et al, Review of particle physics, *Chin. Phys. C*, 38, 090001, 2014
- [11] D.S Gorbunov, V.A Rubakov, *Introduction to The Theory of The Early Universe Hot Big Bang Theory*, World Scientific, 2011

TANYA JAWAB

R. Tao R.H. (UGM & UKRIM):
? Apa kepanjangan dari h.c.?

Albertus H. Panuluh:
 \surd h.c. = hermitian conjugate.