PELANGGARAN CP UNTUK BAURAN PARTIKEL $B_{s;d}$ DENGAN MENGGUNAKAN KERANGKA KERJA TEORI PELANGGARAN FLAVOR MINIMAL

Oleh:
Moch Bayu[1] dan Erika Rani[2]

ABSTRAK: Meson merupakan partikel yang disusun oleh satu quark (materi) dan satu anti-quark (anti-materi) yang terikat gaya nuklir kuat. Ada tiga partikel meson yang istimewa: meson B, meson D, dan meson K. Terpisah dari pembahasan meson D dan meson K. Meson B merupakan salah satu bagian dari keluarga partikel hadron yang sampai saat ini masih menjadi teka-teki oleh para fisikawan partikel. Salah satu masalah pada meson B adalah partikel ini mengalami pelanggaran CP pada saat meluruh. Hal ini mengidentifikasikan bahwa massanya mengalami bauran atau lebih tepatnya terdapat nilai asimetri antara keadaan materi dan keadaan antimaterinya. Suatu model atau pendekatan telah dikembangkan oleh para fisikawan untuk menyelidiki sacara teoritis terkait karakteristik partikel elementer, termasuk meson B. Model ini tidak lain dinamakan pelanggaran flavor minimal (MFV), yang mana ide dasarnya mengkaji keadaan suatu materi pada skala energi TeV (Tera electron Volt). Dengan menggunakan metode ini, bentuk operator, bentuk Lagrangian, kehadiran pelanggaran CP, dan bauran untuk partikel Bs;d dalam kerangka kerja teori pelanggaran flavor minimal dapat diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, bentuk operator bauran dapat dikontruksi dari kombinasi kopling Yukawa MFV, sedangkan bentuk Lagrangiannya dapat diperoleh dari bentuk operator bauran yang merupakan kombinasi linier dari konstanta c_i. Jika enam koefisien c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 dan c_6 didapat, maka harga M_{12} akan bisa ditentukan. Dari enam koefisien operator ini akan menyebabkan efek dalam partikel mixing $B_{s,d}$, jika $c_i \neq 0$.Untuk mengetahui ada tidaknya pelanggaran CP pada kasus ini bisa dilihat pada nilai fase, $\xi_B - \xi_s + \xi_b$. Bila terdapat suatu pelanggaran CP, maka nilai fase haruslah $\xi_B - \xi_s + \xi_b \neq 0$. Sebaliknya jika, $\xi_B - \xi_s + \xi_b = 0$, maka tidak akan terjadi pelanggaran CP.

Kata Kunci: Pelanggaran CP, Bauran $B_{s,d}$, Pelanggaran Flavor Minimal.

ABSTRACT: Meson is composed by one quark (matter) and one anti-quark (antimatter), which is bounded by strong force. There are three special particles of meson: B meson, D meson, and K meson. Apart from the discussion of D meson and K meson, B meson is one part of the family hadron particles which still become a particle puzzle for physicists. One of the problems of B mesons decay is the existence of CP violation. It indicates that the mass of Bs;d particle is mixed or more precisely there are the value of asymmetry value between the state of matter and the state of anti-matter. A models or an approach has been developed by physicists to investigate theoretically related to characteristic of elementary particles, including B meson. This model is called by Minimal Flavor Violation (MFV) which fundamental idea reviewing the state of a matter on a TeV (Tera electron Volt) scale energy. By using this method, operator form, lagrangian form, CP violations and mixing of B particle within the framework of the Minimal Flavor Violation Theory can be determined. The result showed that the six operators can be constructed from a combination of the MFV yukawa coupling, and lagrangian form can be obtained from this operators which is derivated via the combination linear of the constant c_i. At the end, if the six coefficients, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 and c_6, acquired, then M_{12} value can be determined. In other words, the coefficient of six operators will generate particles $B_{s,d}$ mixing effects, if ci $c_i \neq 0$. In this case, to knowing the existance of CP violation it can be found on the phase value, $\xi_B - \xi_s + \xi_b$. If there was a CP violation, therefore phase value should be $\xi_B - \xi_s + \xi_b \neq 0$. Contrarily, $\xi_B - \xi_s + \xi_b = 0$the CP violation would never occur.

Keywords: CP violation, $B_{s;d}$ mixing, Minimal Flavor Violation.

[1 2] Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang

PENDAHULUAN

Meson merupakan partikel subatomik yang disusun oleh satu quark (materi) dan satu anti-quark (anti-materi) yang terikat gaya nuklir kuat. Partikel meson termasuk keluarga hadron yang memiliki spin bulat. Meson tidak bermuatan disebut juga sebagai boson. Oleh karena meson berspin bulat, prinsip larangan Pauli tidak dapat diterapkan. Semua meson bersifat tidak stabil, hal ini dikarenakan quark dan anti-quark akan saling memusnahkan saat interaksi. Ada tiga partikel meson yang istimewa, yaitu: meson B, meson D, dan meson K. Meson B tersusun dari kombinasi quark b dan anti-quark q, meson D tersusun dari kombinasi quark d dan antiquark q, dan mesonK tersusun atas kombinasi quark s dan anti-quark q. Ketiga partikel ini dikatakan istimewa dikarenakan terdapat keasimetrian (tidak simetri) pada saat meluruh, yang kemudian dikatakan bahwa terdapat suatu anomali. Anomali itu tidak lain adalah pelanggaran CP (Charge Parity) atau pelanggaran muatan dan paritas (pembalik koordinat) saat meluruh.

Terpisah dari pembahasan meson D dan meson K. Meson B merupakan salah satu bagian dari keluarga partikel hadron yang sampai saat ini masih menjadi tekateki fisika partikel. Selain itu juga partikel ini menjadi salah satu ajang topik yang sangat menarik dan menantang bagi para ahli teoretis maupun eksperimental dalam upaya menjelaskan penyusun dasar dari suatu materi (the building bloks of matter).

Meson B secara alamiah muncul sebagai hasil suatu kehidupan singkat (shortlived products) dari dunia partikel elementer yang tersusun atas quark-quark. Partikel elementer ini tidak dapat tercipta dari proses peluruhan radioaktif, akan tetapi dapat diketahui dari interksi materi pada energi yang sangat tinggi, interkasi kuat (strong interaction). Oleh karena meson termasuk keluarga hadron, partikel yang tersusun oleh kombinasi quark-quark maka ia juga dapat mengalami interaksi kuat dan lemah. Sedangkan dalam skala Lab, partikel elementer ini juga bisa terbentuk melalui hasil tumbukan antara proton dan anti-proton. Fakta eksperimen menunjukkan bahwa partikel B memiliki karakteristik sebagai berikut [6]

Tabel 0.1: Massa dan waktu hidup dari meson B.

Meson	Kombinasi quark	Massa (MeV)	Waktu hidup (10^{-12}s)
B_s	bs	5369.6 ± 2.4	1.61 ± 0.05
B_d	bd	5279.8 ± 1.6	1.56 ± 0.06

Mengingat meson B mengalami pelanggaran CP saat meluruh, ini mengidentifikasikan bahwa massanya mengalami bauran atau lebih tepatnya terdapat nilai asimetri antara keadaan materi dan keadaan anti-materinya.

Dalam upaya untuk mengkaji sifat-sifat suatu partikel dasar yang masih menjadi problematika fisika partikel. Suatu model atau pendekatan telah dikembangkan oleh para fisikawan untuk menyelidiki sacara teoritis terkait karakteristik partikel elementer, termasuk meson B. Model ini tidak lain dinamakan pelanggaran flavor minimal, yang mana ide dasarnya mengkaji keadaan suatu materi pada skala energy TeV (Tera electron Volt).

Hasil studi mengenai meson B pada akhir dekade ini, telah mengumumkan bahwa mekanisme CKM (Cabibbo-Kobayashi-Maskawa) flavor dan pelanggaran CP juga dapat diperoleh dari tiga sudut baur (mixing) dan satu fase. Hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh (Grossman dkk, 2007)[4] dengan judul ”Probing Minimal Flavor Violation at the LHC”, menyimpulkan bahwa jika LHC menemukan partikel baru, maka pemahaman tentang fisika flavor akan meningkat khususnya terkait meson B. Sebagai gantinya hipotesis Pelanggaran Flavor Minimal akan bisa menjawab teka-teki fisika flavor yang belum terjawab sampai saat ini. Dilain pihak penelitian yang telah dilakukan (Guadagnoli, 2013)[5], dengan judul ”The Minimal Flavor Violating MSSM: application to meson mixings”. Secara garis besar hanya membahas kontribusi matrik CKM pada MFV. Hasil penelitiannya didapat bahwa segitiga uniter dapat dicari melalui proses tree-level yang teramati dan perhitungan sudutnya.

Akan tetapi secara prakteknya masih memunculkan pertanyaan, pada skala energy berapa efek dari flavor baru dan pelanggaran CP di dalam sistem B dapat teramati. Salah satu kandidat untuk menjawabnya adalah pada kerangka kerja pelanggaran flavor minimal, MFV (Minimal Flavor Violation) yaitu pada skala energi TeV. Dan dari sinilah ide studi dari penulis muncul, bagaimana untuk merumuskan persoalan pelanggaran CP meson B di dalam kerangka kerja pelanggaran flavor minimal.

KAJIAN TEORI

Formulasi Pelanggaran Flavor Minimal Partikel fermion di dalam Model Standar terdiri dari tiga keluarga, yaitu dua $SU(2)_L$ doublet (Q_L , L_L) dan tiga $SU(2)_L$ singlet (U_R ,D_R , dan E_R) (D’Ambrosio, 2002)[3]. Ketidakhadiran dari interaksi Yukawa memberikan simetri flavor maksimal global $U(3)_5$ yang komut dengan grup gauge MS, yang dikomposisikan dengan

$$\mathrm{G_F} \equiv \mathrm{SU(3)_q^3} \otimes \mathrm{U(1)_B} \otimes \mathrm{U(1)_L} \otimes \mathrm{U(1)_Y} \otimes \mathrm{U(1)_{PQ}} \otimes \mathrm{U(1)_{E_R}} \tag{1}$$

Dengan

$$\mathrm{SU(3)_q^3} = \mathrm{SU(3)_{Q_L}} \otimes \mathrm{SU(3)_{U_n}} \otimes \mathrm{SU(3)_{D_n}}$$
$$\mathrm{SU(3)_l^2} = \mathrm{SU(3)_{L_L}} \otimes \mathrm{SU(3)_{E_n}} \tag{2}$$

Dimana lima simetri U(1) berhubungan dengan bilangan barion B, bilangan lepton L, hypercharge (Y), simetri Peccei-Quinn (PC) dari model dua doublet Higgs, dan rotasi global satu singlet SU(2)L. Sedangkan simetri SU(3) berhubungan dengan simetri bauran flavor dan perbedaan antara keluarga kuark dengan keluarga lepton.

Simetri pers.(1) diatas secara formal dapat diungkapkan kembali dengan memperkenalkan matrik Y_U, Y_D, dan Y_E dari medan pelengkap (tidak berdimensi) yang bertransformasikan dibawah simetri $\mathrm{SU(3)_q^3} \otimes \mathrm{SU(3)_l^2}$, yakni

$$Y_U \sim (3, \tilde{3}, 1)_{SU(3)_q^3}, \quad Y_D \sim (3, 1, \tilde{3})_{SU(3)_q^3}, \quad Y_E \sim (3, \tilde{3})_{SU(3)_l^2} \tag{3}$$

Persamaan (3) disebut sebagai ”spurion”. Spurion diartikan bahwa matrik Yukawa dianggap sebagai medan yang bertransformasi dibawah simetri flavor, dan bentuk Lagrangiannya harus dibangun dari medan M_S, Y_U, Y_D, dan Y_E yang memenuhi invarian flavor $SU(3)^3_q$ Interaksi Yukawa pada Lagrangian MS setelah pecah, menjadi

$$\mathcal{L} = \bar{Q}_L Y_D D_R H + \bar{Q}_L Y_U U_R H_c + \bar{L}_L Y_E E_R H + h.c \tag{4}$$

dengan definisi medan Higgs

$$H_e = i\,\tau_2 H^* \tag{5}$$

Dimana $\langle H^\dagger | H \rangle = \frac{v^2}{2}$, $Q_L = (U_L, D_L)^T$ adalah left handed singlet $SU(2)_L$, U_R dan D_R keduanya adalah right handed singlet $SU(2)_L$. Dimana U = (u, c, t) dan D = (d, s, b).

Menggunakan kesimetrian $SU(3)^3_q \otimes SU(3)^2_l$, dapat didefinisikan

$$Y_D = \lambda_D,\ Y_U = V^\dagger \lambda_u\ ,\ Y_L = \lambda_l \tag{6}$$

dimana $\lambda_{d,u,l}$ merupakan matrik diagonal dari kopling yukawa, yakni

$$\lambda_d = \begin{pmatrix} y_d & 0 & 0 \\ 0 & y_s & 0 \\ 0 & 0 & y_b \end{pmatrix},\quad \lambda_u = \begin{pmatrix} y_u & 0 & 0 \\ 0 & y_c & 0 \\ 0 & 0 & y_t \end{pmatrix},\ \lambda_t = \begin{pmatrix} y_e & 0 & 0 \\ 0 & y_\mu & 0 \\ 0 & 0 & y_\tau \end{pmatrix} \tag{7}$$

dan V adalah matrik CKM.

Model Minimal Flavour Violation akan dipenuhi, jika semua operator-operator transisi dibangun dari medan MS dan spurion Y yang secara formal invarian terhadap pers.(1) (Bigi, 2009)[2]. Didefinisikan juga, bahwa teori efektif akan memenuhi criteria Minimal Flavour Violation jika semua operator dimensi-tinggi dibangun dari medan MS dan spurion Y yang secara formal invarian terhadap simetri CP dan simetri pers.(1).

Dengan demikian, dinamika MFV dapat diketahui dari pola kopling Yukawa-nya dan pelanggaran CP-nya dapat dilihat dari fase matrik CKM.

Kontruksi Operator bauran

Secara teoretik, operator 4-fermion yang memenuhi untuk aplikasi bauran meson $B_{s,d}$ berbentuk

$$O = (\bar{b}\Gamma q)(\bar{b}\Gamma' q) \tag{8}$$

dimana Γ adalah kontraksi Lorentz dan q = s, d. Untuk menjadikan O berkontribusi pada bauran $B_{s,d}$, maka kriteria O yang harus dipenuhi adalah:

1. O harus melanggar CP
2. O harus mengandung transisi $\Delta F = 2$
3. O harus berkontribusi untuk bauran $B_{s;d}$
4. O diperantarai oleh partikel yang memiliki massa lebih berat dibandingkan dengan m_B
5. O adalah skalar Lorentz local
6. dan nilai kopling Yukawa di dalam O bernilai minimum.

Untuk menentukan semua struktur Lorentz dan color yang mungkin, mula-mula dapat diambil Q dan D sebagai left-handed and right-handed dari quark-down. Dari kriteria-kriteria diatas serta merujuk referensi (Batell, 2010)[1], maka operator pelanggaran CP efektif dituliskan dengan

$$
\begin{aligned}
O_1 &= i\left(\bar{Q}_L^k Y_u^2 Y_d D_R^k\right)\left(\bar{D}_R^l Y_d [Y_d^2, Y_u^2] Q_L^l\right) + h.c \\
O_2 &= i\left(\bar{Q}_L^k Y_u^2 Y_d D_R^l\right)\left(\bar{D}_R^l Y_d [Y_d^2, Y_u^2] Q_L^k\right) + h.c \\
O_3 &= i\left(\bar{D}_R^k Y_d\ [Y_d^2, Y_u^2] Y_d \gamma^\mu D_R^k\right)\left(\bar{Q}_L^l Y_u^2 \gamma_\mu Q_L^l\right) + h.c \\
O_4 &= i\left(\bar{D}_R^k Y_d\ [Y_d^2, Y_u^2] Y_d \gamma^\mu D_R^l\right)\left(\bar{Q}_L^l Y_u^2 \gamma_\mu Q_L^k\right) + h.c \\
O_5 &= i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^k\right)\left(\bar{Q}_L^l [Y_d^2, Y_u^2] \gamma_\mu Q_L^l\right) + h.c \\
O_6 &= i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^l\right)\left(\bar{Q}_L^l [Y_d^2, Y_u^2] \gamma_\mu Q_L^k\right) + h.c
\end{aligned} \tag{9}
$$

dimana tanda [;] melambangkan komutator didalam ruang flavor dan tanda superscrip k; l menunjukkan kontraksi dari indeks color SU(3). Dari enam operator bauran diatas, hanya hubungan anti-komutasi yang akan tetap mengandung transisi ΔF = 2 sedangkan hubungan komutasi akan melenyapkan transisi ΔF = 2, dengan kata lain O = 0.

Kontruksi Lagrangian

Dengan mengambil kostanta Fermi $\frac{G_F}{\sqrt{2}}$, dan mengkombinasikan enam operator bauran kedalam Lagrangian CP-odd efektif, maka Lagrangian secara umumnya dituliskan dengan

$$\mathcal{L}^{CP} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \sum_{i=1,\dots,6} c_i O_i \tag{10}$$

dimana c_i adalah koefisien tidak berdimensi.

Secara lengkap, hasil kombinasi antara ke enam operator dengan persamaan (10) dan karena medan quark U, bentuk $(\bar{d}d)(\bar{d}d), (\bar{s}s)(\bar{s}s),$ serta $(\bar{b}b)(\bar{b}b)$ tidak memberikan arti fisis apa-apa pada kasus ΔF = 2, sebagai gantinya hanya kombinasi dari medan quark D untuk dua-flavor saja yang akan tetap eksis, sehingga persamaan diatas ditulis sebagai

$$
\begin{aligned}
&\mathcal{L}^{CP}_{\Delta F=2} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \sum_{i=1,\dots,6} c_i O_i \\
&= \frac{G_F}{\sqrt{2}} \{c_1 O_1 + c_2 O_2 + c_3 O_3 + c_4 O_4 + c_5 O_5 + c_6 O_6\} \\
&= \frac{G_F}{\sqrt{2}} \{c_1 \left[i\left(\bar{D}_L^k Y_u^2 Y_d D_R^k\right)\left(\bar{D}_R^l Y_d Y_d^2 Y_u^2 D_L^l\right) + h.c\right] \\
&+c_1 \left[i\left(\bar{D}_L^k Y_u^2 Y_d D_R^k\right)\left(\bar{D}_R^l Y_d Y_u^2 Y_d^2 D_L^l\right) + h.c\right] \\
&+c_2 \left[i\left(\bar{D}_L^k Y_u^2 Y_d D_R^l\right)\left(\bar{D}_R^l Y_d Y_d^2 Y_u^2 D_L^k\right) + h.c\right] \\
&+c_2 \left[i\left(\bar{D}_L^k Y_u^2 Y_d D_R^l\right)\left(\bar{D}_R^l Y_d Y_u^2 Y_d^2 D_L^k\right) + h.c\right] \\
&+c_3 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_d^2 Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^k\right)\left(\bar{D}_L^l Y_u^2 \gamma_\mu D_L^l\right) + h.c\right] \\
&+c_3 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d^2 Y_d \gamma^\mu D_R^k\right)\left(\bar{D}_L^l Y_u^2 \gamma_\mu D_L^l\right) + h.c\right] \\
&+c_4 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_d^2 Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^l\right)\left(D_L^l Y_u^2 \gamma_\mu D_L^k\right) + h.c\right] \\
&+c_4 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d^2 Y_d \gamma^\mu D_R^l\right)\left(D_L^l Y_u^2 \gamma_\mu D_L^k\right) + h.c\right] \\
&+c_5 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^k\right)\left(D_L^l Y_d^2 Y_u^2 \gamma_\mu D_L^l\right) + h.c\right] \\
&+c_5 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^k\right)\left(D_L^l Y_u^2 Y_d^2 \gamma_\mu D_L^l\right) + h.c\right] \\
&+c_6 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^l\right)\left(D_L^l Y_d^2 Y_u^2 \gamma_\mu D_L^k\right) + h.c\right] \\
&+c_6 \left[i\left(\bar{D}_R^k Y_d Y_u^2 Y_d \gamma^\mu D_R^l\right)\left(D_L^l Y_u^2 Y_d^2 \gamma_\mu D_L^k\right) + h.c\right]
\end{aligned} \tag{11}
$$

Bentuk uraian suku demi suku dari persamaan diatas, secara lengkap kombinasinya memberikan

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}^{CP}_{\Delta F=2} = \frac{iG_F}{\sqrt{2}}\{2c_1[&y_u^4 y_d^3 y_s V_{us}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_L^k s_R^k)(\bar{d}_R^l s_L^l) + y_u^4 y_d^3 y_b V_{ub}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_L^k b_R^k)(\bar{d}_R^l b_L^l) \\
&+ y_c^4 y_s^3 y_d V_{cd}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_L^k d_R^k)(\bar{s}_R^l d_L^l) + y_c^4 y_s^3 y_b V_{cb}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_L^k b_R^k)(\bar{s}_R^l b_L^l) \\
&+ y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_L^k d_R^k)(\bar{b}_R^l d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_L^k s_R^k)(\bar{b}_R^l s_L^l) \\
&+ 2c_2[y_u^4 y_d^3 y_s V_{us}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_L^k s_R^k)(\bar{d}_R^l s_L^k) + y_u^4 y_d^3 y_b V_{ub}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_L^k b_R^k)(\bar{d}_R^l b_L^k) \\
&+ y_c^4 y_s^3 y_d V_{cd}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_L^k d_R^l)(\bar{s}_R^l d_L^k) + y_c^4 y_s^3 y_b V_{cb}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_L^k b_R^l)(\bar{s}_R^l b_L^k) \\
&+ y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_L^k d_R^l)(\bar{b}_R^l d_L^k) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_L^k s_R^l)(\bar{b}_R^l s_L^k) \\
&+2c_3[y_u^4 y_d^3 y_s V_{us}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu s_L^l) + y_u^4 y_d^3 y_b V_{ub}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu b_R^k)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu b_L^l) \\
&+ y_c^4 y_s^3 y_d V_{cd}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu d_R^k)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_c^4 y_s^3 y_b V_{cb}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu b_R^k)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu b_L^l) \\
&+ y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{b}_R^l \gamma_\mu s_L^l) \\
&+2c_4[y_u^4 y_d^3 y_s V_{us}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu s_R^l)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu s_L^l) + y_u^4 y_d^3 y_b V_{ub}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu b_R^k)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu b_L^k) \\
&+ y_c^4 y_s^3 y_d V_{cd}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu d_R^l)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_c^4 y_s^3 y_b V_{cb}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu b_R^k)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu b_L^k) \\
&+ y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^l)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{b}_R^l \gamma_\mu s_L^k) \\
&+2c_5[y_u^4 y_d^3 y_s V_{us}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu s_L^l) + y_u^4 y_d^3 y_b V_{ub}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu b_R^k)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu b_L^l) \\
&+ y_c^4 y_s^3 y_d V_{cd}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu d_R^k)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_c^4 y_s^3 y_b V_{cb}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu b_R^k)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu b_L^l) \\
&+ y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{b}_R^l \gamma_\mu s_L^l) \\
&+2c_6[y_u^4 y_d^3 y_s V_{us}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu s_R^l)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu s_L^k) + y_u^4 y_d^3 y_b V_{ub}^2 V_{ud}^2 (\bar{d}_R^k \gamma^\mu b_R^l)(\bar{d}_L^l \gamma_\mu b_L^k) \\
&+ y_c^4 y_s^3 y_d V_{cd}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu d_R^l)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu d_L^k) + y_c^4 y_s^3 y_b V_{cb}^2 V_{cs}^2 (\bar{s}_R^k \gamma^\mu b_R^l)(\bar{s}_L^l \gamma_\mu b_L^k) \\
&+ y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^l)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^k) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^l)(\bar{b}_R^l \gamma_\mu s_L^k)
\end{aligned} \quad (13)$$

Kontruksi Lagrangian Partikel Baur $B_{s,d}$.

Sedangkan hasil dari persamaan (13) untuk kontribusi ΔB = 2 saja, diperoleh

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}^{CP}_{\Delta B=2} = i\frac{G_F}{\sqrt{2}}\{2c_1&\left[y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_l^k d_R^k)(\bar{b}_R^l d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_L^k s_R^k)(\bar{b}_R^l s_L^L) + h.c\right] \\
+2c_2&\left[y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_l^k d_R^l)(\bar{b}_R^l d_L^k) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_L^k s_R^l)(\bar{b}_R^l s_L^k) + h.c\right] \\
+2c_3&\left[y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu s_L^L) + h.c\right] \\
+2c_4&\left[y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^l)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu s_L^k) + h.c\right] \\
+2c_5&\left[y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^l) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^k)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu s_L^L) + h.c\right] \\
+2c_6&\left[y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu d_R^l)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu d_L^k) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}_R^k \gamma^\mu s_R^l)(\bar{b}_L^l \gamma_\mu s_L^k) + h.c\right]
\end{aligned} \quad (14)$$

Bauran Massa Bs,d

Setelah bentuk Lagrangiannya didapat, maka bauran massa partikel B dapat diselidiki dari hasil hubungan Lagrangian dengan elemen matriknya, yakni

$$\begin{aligned}
M_{12} &= \frac{\langle \bar{B} | \mathcal{H}^{CP}_{\Delta B=2} | B \rangle}{2m_B} \\
&\equiv \frac{\langle B | \mathcal{L}^{CP}_{\Delta B=2} | B \rangle}{2m_B} \\
&= \frac{1}{2m_B} \langle B | i\frac{G_F}{\sqrt{2}}\{2c_1\left[y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}d)(\bar{b}d) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}s)(\bar{b}s)\right]
\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&+ 2c_2\left[y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 \left(\bar{b}d\right)\left(\bar{b}d\right) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}s)(\bar{b}s)\right] \\
&+c_3\left[y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 \left(\bar{b}\gamma^\mu d\right)\left(\bar{b}\gamma_\mu d\right) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}\gamma^\mu s)(\bar{b}\gamma_\mu s)\right] \\
&+c_4\left[y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 \left(\bar{b}\gamma^\mu d\right)\left(\bar{b}\gamma_\mu d\right) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}\gamma^\mu s)(\bar{b}\gamma_\mu s)\right] \\
&+c_5\left[y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 \left(\bar{b}\gamma^\mu d\right)\left(\bar{b}\gamma_\mu d\right) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}\gamma^\mu s)(\bar{b}\gamma_\mu s)\right] \\
&+c_6\left[y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 \left(\bar{b}\gamma^\mu d\right)\left(\bar{b}\gamma_\mu d\right) + y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 (\bar{b}\gamma^\mu s)(\bar{b}\gamma_\mu s)\right]|B\rangle \\
&= \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_1 y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_d-\xi_b)} \left(-1 + \frac{m_B^2}{(m_b+m_d)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_1 y_t^4 y_b^3 V_{ts}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_s-\xi_b)} \left(-1 + \frac{m_B^2}{(m_b+m_s)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_2 y_t^4 y_b^3 V_{td}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_d-\xi_b)} \left(-1 + \frac{m_B^2}{(m_b+m_d)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_2 y_t^4 y_b^3 V_{ts}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_s-\xi_b)} \left(-1 + \frac{m_B^2}{(m_b+m_s)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_3 y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_d-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_d)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_3 y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_s-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_s)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_4 y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_d-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_d)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_4 y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_s-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_s)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_5 y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_d-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_d)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_5 y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_s-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_s)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_6 y_t^4 y_b^3 y_d V_{td}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_d-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_d)^2}\right) \\
&+ \frac{iG_F f_B^2}{12\sqrt{2}} c_6 y_t^4 y_b^3 y_s V_{ts}^2 V_{tb}^2 e^{i(\xi_B+\xi_s-\xi_b)} \left(-1 - 2\frac{m_B^2}{(m_b+m_s)^2}\right) \qquad (15)
\end{aligned}
$$

Kehadiran enam koefisien c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 dan c_6 yang belum diketahui ini, menunjukkan ketidaktentuan hasil aproksimasi pada kombinasi kopling Yukawa dari sektor down-quark. Hal ini dikarenakan, pada hasil eksperimen belum diketahui pada tingkat orde atau skala energi dari enam koefisien tersebut. Jika enam koefisien ini didapat, maka hargaM12 akan bisa tentukan. Oleh karena itu koefisien dari enam operator ini bisa menyebabkan efek bauran partikel Bs;d, jika nilai $c_i \neq 0$. Sedangkan untuk mengetahui ada tidaknya pelanggaran CP, pada kasus ini bisa dilihat pada nilai fase $\xi_B - \xi_s + \xi_b$, yang mana dapat diperoleh dari nilai vakum pada nilai elemen matriknya. Bila partikel Bs;d mengalami suatu pelanggaran CP, maka nilai fase haruslah $\xi_B - \xi_s + \xi_b \neq 0$. Sebaliknya $\xi_B - \xi_s + \xi_b = 0$, tidak akan terjadi pelanggaran CP.

KESIMPULAN

Hasil formalisme secara teoretik mengimplikasikan bahwa, bentuk operator untuk bauran partikel menson Bs;d dapat dikontruksi dari kombinasi kopling Yukawa MFV, sedangkan bentuk Lagrangiannya dapat diperoleh dari bentuk operator baurannya dengan melakukan kombinasi linier dari konstanta ci. Dan hasil akhir menunjukkan bahwa jika enam koefisien c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 dan c_6 dapat diperoleh, maka harga M_{12} akan bisa tentukan. Dengan kata lain koefisien dari enam operator ini, bisa menyebabkan efek dalam bauran partikel $B_{s;d}$, jika nilai$c_i \neq 0$. Sedangkan untuk mengetahui ada tidaknya pelanggaran CP pada kasus ini bisa dilihat pada nilai fase $\xi_B - \xi_s + \xi_b$. Bila terdapat suatu pelanggaran CP, maka nilai fase haruslah$\xi_B - \xi_s + \xi_b \neq 0$ Sebaliknya jika $\xi_B - \xi_s + \xi_b = 0$, tidak akan terjadi pelanggaran CP.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Batell, Brian. dan Pospelov, Maxim. 2010. *Bs Mixing and Electric Dipole Moments in MFV*. arXiv: 1006.2127v2 [hep-ph].

[2] Bigi, I.I. dan Sand, A.I. 2009. *CP Violation. England*: Cambridge University Press.

[3] D'Ambrosio, G. dkk. 2002. *Minimal Flavour Violation: An Effective Field Theory Approach*. arXiv:hep-ph/0207036v2.

[4] Grossman, Y. dkk. 2007. *Probing Minimal Flavor Violation at the LHC*. arXiv:0706.1845v2 [hep-ph].

[5] Guadagnoli, D. 2013. *The Minimal Flavor Violating MSSM: Application To Meson Mixings*. arXiv:0710.2038v1 [hep-ph].

[6] Gustavo, C.B. dan Luis, L. 1999. *CP Violation* . England: Clarendon Press.