

ANALISIS PERBANDINGAN PARAMETER TRANSFORMASI ANTAR ITRF HASIL HITUNGAN KUADRAT TERKECIL MODEL HELMERT 14-PARAMETER DENGAN PARAMETER STANDAR IERS

Romi Fadly¹⁾
Citra Dewi¹⁾

Abstract

This research aims to compare the 14 transformation parameters between ITRF from computation result using the Helmert 14-parameter models with IERS standard parameters. The transformation parameters are calculated from the coordinates and velocities of ITRF05 to ITRF00 epoch 2000.00, and from ITRF08 to ITRF05 epoch 2005.00 for respectively transformation models. The transformation parameters are compared to the IERS standard parameters, then tested the significance of the differences. The transformation parameters are used to reversly transform to obtain the common points coordinates ITRF00 and ITRF05 system. The value of 14-parameters are also used to transform the check points coordinates on the ITRF00 and ITRF05 coordinate system. The results show that the RMSe difference of the coordinates of the reverse transformation result with Helmert model using computed transformation parameters and the IERS standar parameters are 0.1 mm (for ITRF00) and 0.8 mm (for ITRF05). The results of significance test of 14 parameters to IERS standard parameters are only scale factor (ds) on the transformation from ITRF05 to ITRF00 statistically significant difference. However RMSE values of the coordinate transformation of the check points (Helmert model) using calculated and IERS standar parameters are not difference. It can be concluded that the results of the transformation parameter of 14-parameter Helmert model with the least squares computation is not much different with IERS standard parameters

Keywords: Transformation parameters, Helmert 14-parameter, ITRF.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan membandingkan 14 parameter transformasi antar kerangka acuan global ITRF hasil hitungan menggunakan model Helmert 14-parameter dengan parameter standar IERS. Parameter transformasi dihitung dari koordinat ITRF05 ke ITRF00 epok 2000.00, dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005.00. Parameter transformasi hasil hitungan dibandingkan dengan parameter standar IERS kemudian dilakukan uji signifikansi perbedaannya. Parameter hitungan yang diperoleh digunakan untuk transformasi balik guna mendapatkan koordinat titik sekutu ITRF00 dan ITRF05. Empatbelas parameter digunakan juga untuk mentransformasi koordinat titik uji guna mendapatkan koordinat ITRF00 dan ITRF05. Hasil analisis menunjukkan ada perbedaan nilai RMSe koordinat hasil transformasi balik titik sekutu model Helmert 14-parameter menggunakan parameter hitungan dan parameter standar IERS sebesar 0,1 mm untuk ITRF00 dan 0,8 mm untuk ITRF05. Hasil uji signifikansi 14 parameter transformasi hasil hitungan menggunakan model Helmert 14-parameter terhadap parameter standar IERS hanya faktor skala (ds) hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 yang berbeda signifikan secara statistik. Tetapi nilai RMSe koordinat hasil transformasi titik uji model Helmert 14-parameter menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter standar IERS tidak terdapat perbedaan nilai RMSe-nya. Dapat disimpulkan bahwa hasil hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter dengan hitung kuadrat terkecil metode kombinasi tidak berbeda jauh dengan parameter standar IERS.

Kata kunci: Parameter transformasi, Helmert 14-parameter, ITRF.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung. (surel: romgd2002@yahoo.com)

1. PENDAHULUAN

Tiga model standar transformasi datum yang umum digunakan diantaranya adalah model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan model Veis (Thomson, 1976). Ketiga model tersebut tidak memperhitungkan kecepatan pergerakan 7-parameternya akibat adanya fenomena deformasi kerak Bumi, pergerakan lempeng, dan fenomena fisik Bumi lainnya. Selain transformasi datum tiga dimensi 7-parameter, ada juga model transformasi datum Helmert 14-parameter yang memperhitungkan kecepatan pergerakan parameter translasi, skala, dan sudut rotasi.

Metode hitungan untuk mendapatkan empatbelas parameter transformasi yang dikeluarkan oleh IERS (*International Earth Rotation and Reference*) tidak diketahui walaupun model yang digunakan adalah pengembangan model Helmert 7-parameter. Oleh karena itu akan dicoba melakukan hitungan untuk mendapatkan 14-parameter transformasi antar ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) menggunakan model Helmert 14-parameter dengan hitung kuadrat terkecil metode kombinasi dan hasilnya dibandingkan dengan parameter standar IERS.

2. STUDI PUSTAKA

2.1. Datum Geodetik

Datum geodetik adalah sejumlah parameter yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk dan ukuran elipsoid referensi yang digunakan untuk pendefinisian koordinat geodetik, serta kedudukan dan orientasinya dalam ruang terhadap tubuh Bumi yang dalam hal ini direpresentasikan oleh sistem CTS (Abidin, 2001). Ada 8 parameter dari suatu datum geodetik yaitu: Dua parameter yang mendefinisikan bentuk dan ukuran elipsoid referensi, yaitu setengah sumbu panjang (a) dan pengepengan (f); tiga parameter translasi, yaitu (X_0 , Y_0 , Z_0) yang mendefinisikan koordinat titik pusat elipsoid (O_E) terhadap pusat Bumi; tiga parameter rotasi, yaitu (ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z) mendefinisikan arah-arah sumbu X_E , Y_E , dan Z_E elipsoid dalam ruang terhadap sumbu-sumbu Bumi yang diwakili oleh sumbu-sumbu X_T , Y_T , dan Z_T dari sistem CTS (Abidin, 2001).

2.2. Transformasi Datum

Prinsip transformasi antar datum adalah pengamatan pada titik-titik yang sama atau disebut titik sekutu. Titik-titik sekutu mewakili kerangka referensi sebagai datum (Djawahir, 1990). Titik-titik sekutu ini memiliki koordinat, dari koordinat-koordinat ini dapat diketahui hubungan matematik antara datum yang bersangkutan sehingga terdapat besaran-besaran yang menggambarkan hubungan keduanya yang disebut dengan parameter transformasi (Permatahati, dkk, 2012). Titik-titik yang terletak pada elipsoid referensi yang sama berarti terletak pada datum yang sama, sehingga jelas cara kerja dalam melakukan transformasi koordinat datum menunjukkan konsep kerangka referensi sebagai wakil dari satu datum (Widjajanti, 1992). Persamaan [1] merupakan persamaan umum transformasi datum (Widjajanti, 1992).

$$\overline{XI} - \overline{T} + (1+ds).R.\overline{XII} \quad [1]$$

Dalam hal ini, \overline{XI} adalah vektor posisi datum/sistem 1 (X_i^1 , Y_i^1 , Z_i^1), adalah vektor posisi datum/sistem 2 (X_i^2 , Y_i^2 , Z_i^2), (s) adalah faktor skala yaitu $(1+ds)$, \overline{T} adalah vektor translasi (T_x , T_y , T_z), dan R adalah matriks rotasi (R_x , R_y , R_z) terhadap tiga sumbu koordinat X, Y, Z .

2.3. Transformasi Datum Model Helmert 14-Parameter

Transformasi datum 14-parameter dapat diaplikasikan untuk transformasi koordinat dari suatu titik pada datum/kerangka referensi global pada waktu t ke datum/kerangka referensi global lainnya pada titik yang sama pada waktu t . Posisi koordinat masing-masing datum dalam sistem koordinat kartesian 3D (*Earth-centered*, *Earth-fixed*). Koordinat-koordinat tersebut diekspresikan sebagai fungsi waktu untuk merefleksikan pergerakan kerak Bumi yang terkait dengan lempeng tektonik, *land subsidence*, aktivitas vulkanologi, *postglacial rebound*, dan lainnya (Soler dan Snay, 2004). Koordinat pada kerangka referensi yy pada epok t_{oy} ditransformasikan ke kerangka referensi xx pada epok t_{ox} menggunakan transformasi Helmert. Transformasi Helmert 14-parameter menggunakan pendekatan model matematik (yang telah menghilangkan bentuk orde dua) sebagai Persamaan [2] untuk mendapatkan parameter T_x , T_y , T_z , ds , R_x , R_y , R_z , dan Persamaan [3] untuk mendapatkan kecepatan masing masing parameter tersebut (Altamimi, dkk, 2011).

$$\vec{X}(t_{ox})_{xx} = T + ds \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + K \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \vec{X}(t_{oy})_{yy} \quad [2]$$

$$\dot{\vec{X}}(t_{ox})_{xx} = \dot{T} + \dot{ds} \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \dot{K} \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \dot{\vec{X}}(t_{oy})_{yy} \quad [3]$$

Dalam hal ini, \vec{T}, \dot{T} adalah vektor translasi dan kecepatannya antara pusat sistem kerangka acuan xx dan yy , $(1+ds)$ dan \dot{ds} adalah faktor skala dan kecepatannya dimana ds adalah perbedaan skala antara kedua sistem xx dan yy , $\vec{X}(t_{ox})_{xx}$ dan $\dot{\vec{X}}(t_{ox})_{xx}$ adalah vektor posisi dan kecepatan kerangka referensi xx ($X_{xx}, Y_{xx}, Z_{xx}, \dot{X}_{xx}, \dot{Y}_{xx}, \dot{Z}_{xx}$), $\vec{X}(t_{oy})_{yy}$ dan $\dot{\vec{X}}(t_{oy})_{yy}$ adalah vektor posisi dan kecepatan kerangka referensi yy ($X_{yy}, Y_{yy}, Z_{yy}, \dot{X}_{yy}, \dot{Y}_{yy}, \dot{Z}_{yy}$), $K(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$,

$\dot{K}(\dot{\theta}_x, \dot{\theta}_y, \dot{\theta}_z)$ adalah matriks rotasi dan kecepatannya, t_{ox} dan t_{oy} adalah epok referensi koordinat kerangka referensi xx dan yy dalam satuan tahun.

Diasumsikan bahwa antara kedua sistem koordinat membentuk sudut kecil ($< 10''$), sehingga sudut rotasinya pun kecil (Abidin, 2001). Dengan demikian untuk sudut-sudut rotasi kecil ($< 10''$), matriks rotasi dan kecepatannya masing-masing dapat dituliskan sebagai Persamaan [4] dan [5] (Soler dan Marshall, 2003).

$$K(\theta_x, \theta_y, \theta_z) = \begin{bmatrix} 0 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \quad [4]$$

$$\dot{K}(\dot{\theta}_x, \dot{\theta}_y, \dot{\theta}_z) = \begin{bmatrix} 0 & \dot{\theta}_z & -\dot{\theta}_y \\ -\dot{\theta}_z & 0 & \dot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_y & -\dot{\theta}_x & 0 \end{bmatrix} \quad [5]$$

Model matematik untuk transformasi koordinat antar datum/kerangka referensi menggunakan 14-parameter transformasi pada suatu kerangka referensi yy epok t_{oy} ke kerangka referensi xx epok t dapat dirumuskan sebagai Persamaan [6] (Altamimi, dkk, 2008).

$$\vec{X}(t)_{xx} = \vec{T} + ds \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + K \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} (t - t_{oy}) [\vec{T} + \dot{ds} \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \dot{K} \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy}] (t - t_{ox}) \quad [6]$$

Transformasi koordinat kerangka referensi yy dari epok referensi (t_{oy}) ke epok referensi (t) dapat dirumuskan sebagai Persamaan [7].

$$\vec{X}(t)_{yy} = \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \vec{\dot{X}}(t_{oy})_{yy}(t - t_{oy}) \quad [7]$$

Dalam hal ini, $\vec{X}(t)_{xx}$ adalah vektor posisi kerangka referensi xx pada epok t, t_{ox} adalah epok acuan dari kerangka referensi xx, $\vec{X}(t)_{yy}$ adalah vektor posisi kerangka referensi yy pada epok t, $\vec{\dot{X}}(t_{oy})_{yy}$ dan $\vec{\ddot{X}}(t_{oy})_{yy}$ adalah vektor posisi dan kecepatan kerangka referensi yy pada epok referensi t_{oy} , $\vec{T}, ds, K, \vec{\dot{T}}, ds, \dot{K}$ adalah 14-parameter transformasi antar kerangka referensi yy epok acuan t_o dan xx epok acuan t_o (epok acuan t_o masing-masing kerangka referensi dapat berbeda).

2.4. Hitung Kuadrat Terkecil Metode Kombinasi

Hitung kuadrat terkecil (HKT) metode kombinasi merupakan gabungan dari metode parameter dan kondisi. Parameter yang akan dicari harganya tidak dihitung secara langsung, penyelesaiannya berdasarkan persamaan yang terdiri dari besaran ukuran. Pengukurannya sendiri merupakan fungsi parameter, besaran ukuran tidak bebas satu sama lain, tetapi harus memenuhi syarat geometris dan matematik tertentu (Widjajanti, 1992). Persamaan pengamatan HKT metode kombinasi dapat ditulis sebagai Persamaan [8] sampai dengan Persamaan [13] (Abidin, dkk, 2002).

$$AX + BV + W = 0 \quad [8]$$

$$X = - (A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1} (A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} W) \quad [9]$$

$$V = - P^{-1} B^T (BP^{-1} B^T)^{-1} (AX + W) \quad [10]$$

$$\Sigma_x = \hat{\sigma}_o^2 (A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1} \quad [11]$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = V^T P V / (n - u) \quad [12]$$

$$\Sigma_v = \hat{\sigma}_o^2 \{ P^{-1} B^T (BP^{-1} B^T)^{-1} (BQ - A(A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1} A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} BQ) \} \quad [13]$$

Dalam hal ini, n adalah jumlah pengukuran, u jumlah parameter yang dicari, X adalah matriks parameter, A adalah matriks koefisien parameter, V adalah matriks residu pengukuran, B adalah matriks koefisien pengukuran, W adalah matriks pengukuran, P adalah matriks bobot pengukuran, Q adalah matriks kofaktor pengukuran, $\hat{\sigma}_o^2$ adalah varian aposteori, Σ_x adalah varian kovarian parameter, dan Σ_v adalah varian kovarian residu.

2.5. Uji Signifikansi Beda Dua Parameter

Uji signifikansi beda dua parameter dilakukan untuk mengetahui signifikansi perbedaan dua parameter. Uji beda dalam hal ini digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan 14 parameter transformasi antar ITRF hasil hitungan kuadrat terkecil dengan parameter standar yang dipublikasikan oleh IERS. Uji signifikansi perbedaan tersebut menggunakan uji-t (*student*) seperti Persamaan [14] dan [15] (Widjajanti, 2010).

$$t = \frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{\sigma_{X1}^2 + \sigma_{X2}^2}} \quad [14]$$

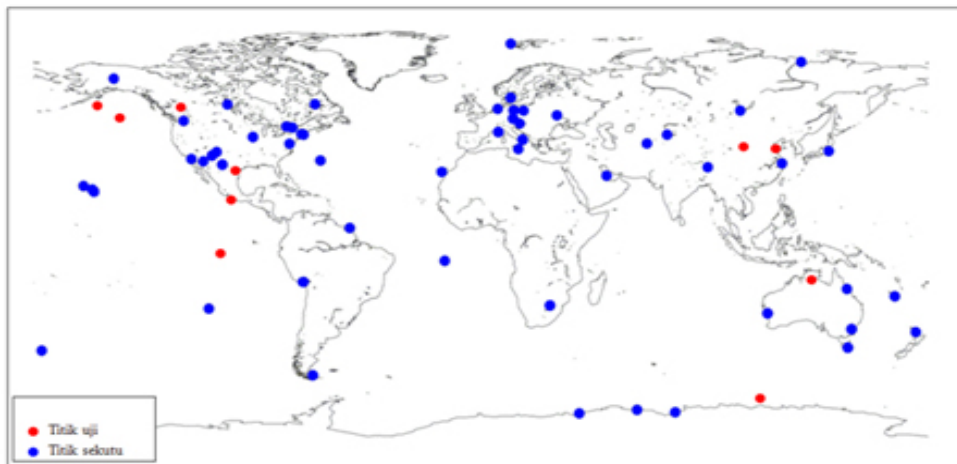
$$|t| \leq t_{\alpha/2, df} \quad [15]$$

Dalam hal ini, t adalah nilai t -hitung, X_1 adalah parameter transformasi antar ITRF hasil hitungan kuadrat terkecil, X_2 adalah parameter transformasi antar ITRF yang dipublikasikan oleh IERS, σ_{X1}^2 adalah varian parameter transformasi hasil hitungan kuadrat terkecil, σ_{X2}^2 adalah varian parameter transformasi standar IERS, dan df adalah derajat kebebasan.

3. METODE PENELITIAN

3.a. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah koordinat dan kecepatan pergeseran titik sekutu dan titik uji yang digunakan untuk pengujian program aplikasi. Koordinat tersebut adalah: koordinat ITRF (ITRF00, ITRF05, dan ITRF08) dan kecepatan pergeserannya, serta standar deviasi koordinat dan kecepatan pergeserannya. Koordinat ITRF berbagai versi tersebut diunduh dari *website* http://itrf.ensg.ign.fr/TRF_solutions/index.php. Lokasi titik-titik sekutu dan titik-titik uji dapat dilihat pada gambar 1. Nilai 14-parameter transformasi standar IERS dari ITRF2005 ke ITRF2000 epok acuan 2000, dan empat belas parameter transformasi standar IERS dari ITRF2008 ke ITRF2005 epok acuan 2005. Parameter transformasi standar IERS antar ITRF tersebut masing-masing memiliki nilai standar deviasi. Parameter transformasi standar IERS tersebut diunduh dari *website* http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php.



Gambar 1. Lokasi titik sekutu ITRF (Sumber: http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/tp_05-00.php)

3.b. Pelaksanaan

Tahap kegiatan penelitian ini, secara garis besar meliputi persiapan, desain hitungan parameter transformasi koordinat antar ITRF dengan hitung kuadrat terkecil menggunakan model Helmert 14-parameter, implementasi hitungan dengan pemrograman. Hitungan parameter transformasi menggunakan prinsip hitung kuadrat terkecil (HKT) metode kombinasi.

Hasil hitungan di analisis dan dibandingkan dengan parameter dan koordinat yang dikeluarkan oleh IERS. Ada beberapa analisis yang dilakukan yaitu:

1. Menganalisis kisaran perbedaan RMSe koordinat ITRF00 dan ITRF05 hasil

transformasi balik menggunakan parameter transformasi hasil hitungan dan parameter standar IERS terhadap koordinat ITRF00 dan ITRF05 yang dikeluarkan oleh IERS yang digunakan dalam hitungan parameter transformasi.

2. Menganalisis Signifikansi perbedaan parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter transformasi standar IERS.
3. Menganalisis kisaran perbedaan dan RMSe koordinat ITRF00 dan ITRF05 titik uji hasil transformasi menggunakan parameter transformasi hasil hitungan dan parameter standar IERS terhadap koordinat ITRF00 dan ITRF05 titik uji yang dikeluarkan oleh IERS.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.a. Analisis koordinat hasil transformasi balik model Helmert 14-parameter

Kisaran perbedaan dan RMS koordinat IRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik menggunakan parameter transformasi hasil hitungan dan parameter standar IERS terhadap koordinat IRF00 dan ITRF05 yang dikeluarkan IERS dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Kisaran perbedaan dan RMS koordinat 70 titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dengan model Helmert14-parameter

Koordinat ITRF00 (Parameter Hasil Hitungan)	Koordinat ITRF00 (Parameter Standar IERS)
Kisaran beda = -0.043 m s.d 0.021 m	Kisaran beda = -0.045 m s.d 0.023 m
RMSx = 0,0067 m	RMSx = 0,0069 m
RMSy = 0,0047 m	RMSy = 0,0048 m
RMSz = 0,0053 m	RMSz = 0,0052 m
RMSe = 0,0098 m	RMSe = 0,0099 m

Tabel 2. Kisaran perbedaan RMS koordinat 60 titik sekutu ITRF05 hasil transformasi balik model Helmert 14-parameter.

Koordinat ITRF05 (Parameter Hasil Hitungan)	Koordinat ITRF05 (Parameter Standar IERS)
Kisaran beda = -0.0005 m s.d 0.0005 m	Kisaran beda = -0.002 m s.d 0.0022 m
RMSx = 0,0003 m	RMSx = 0,0006 m
RMSy = 0,0002 m	RMSy = 0,0008 m
RMSz = 0,0003 m	RMSz = 0,0008 m
RMSe = 0,0005 m	RMSe = 0,0013 m

Tabel 1 menunjukkan kisaran perbedaan koordinat 70 titik sekutu ITRF00 epok 2000.00 hasil transformasi balik dengan model Helmert 14-parameter yaitu antara -0,043 m s.d 0,021 m. Kisaran perbedaan ini tidak berbeda jauh dengan kisaran perbedaan koordinat menggunakan parameter standar IERS yaitu antara 0,045 m s.d 0,023 m. Nilai RMSe koordinat hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan sebesar 9,8 mm. Nilai RMSe tersebut < 0,1 mm dari RMSe koordinat hasil transformasi menggunakan parameter standar IERS yaitu sebesar 9,9 mm.

Tabel 2 menunjukkan kisaran perbedaan koordinat 60 titik sekutu ITRF05 epok 2005.00 hasil transformasi balik dengan model Helmert 14-parameter yaitu antara antara -0,5 mm s.d 0,5 mm. Kisaran perbedaan ini tidak berbeda jauh dengan kisaran perbedaan koordinat menggunakan parameter standar IERS yaitu antara -2 mm s.d 2,2 mm. Nilai RMSe koordinat hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan sebesar 0.5 mm. Nilai RMSe tersebut < 0.8 mm dari RMSe koordinat hasil transformasi menggunakan parameter standar IERS yaitu sebesar 1.3 mm.

4.b. Analisis uji signifikansi beda parameter transformasi

Nilai parameter transformasi dari kerangka referensi ITRF05 ke ITRF00 epok 2000 dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005 dibandingkan dengan nilai parameter transformasi

standar IERS yang telah dipublikasikan oleh IERS. Setelah dihitung perbedaannya, selanjutnya diuji signifikansi perbedaan tersebut dengan uji t menggunakan Persamaan [14] dan [15]. Uji-t dilakukan dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) dan derajat kebebasan = ∞ , maka nilai t-tabel-nya adalah 1,96. Hasil hitungan dan uji t disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil uji signifikansi beda 14-parameter transformasi hasil hitungan dengan 14-parameter transformasi standar IERS dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000.00

Parameter	Parameter Stan- dar IERS	Parameter Hasil Hitungan	Selisih	t-hitung	t-tabel $\alpha/2 = 0,025$ df = ∞	Signifikansi
Tx (mm)	$0,1 \pm 0,3$	$0,8 \pm 0,5$	0,7	1,20	1,96	tidak
Ty (mm)	$-0,8 \pm 0,3$	$-1,5 \pm 0,5$	0,7	1,20	1,96	tidak
Tz (mm)	$-5,8 \pm 0,3$	$-5,3 \pm 0,5$	0,5	0,86	1,96	tidak
ds (ppb)	$0,4 \pm 0,05$	$0,12 \pm 0,08$	0,28	2,97	1,96	ya
Rx (mas)	$0 \pm 0,012$	$0,027 \pm 0,021$	0,027	1,12	1,96	tidak
Ry (mas)	$0 \pm 0,012$	$0,019 \pm 0,02$	0,019	0,81	1,96	tidak
Rz (mas)	$0 \pm 0,012$	$-0,008 \pm 0,021$	0,008	0,33	1,96	tidak
\dot{T}_x (mm/th)	$-0,2 \pm 0,3$	$-0,2 \pm 0,5$	0	0,00	1,96	tidak
\dot{T}_y (mm/th)	$0,1 \pm 0,3$	$0,1 \pm 0,5$	0	0,00	1,96	tidak
\dot{T}_z (mm/th)	$-1,8 \pm 0,3$	$-1,8 \pm 0,5$	0	0,00	1,96	tidak
\dot{ds} (ppb/th)	$0,08 \pm 0,05$	$0,08 \pm 0,08$	0	0,00	1,96	tidak
\dot{R}_x (mas/th)	$0 \pm 0,012$	$0,002 \pm 0,021$	0,002	0,08	1,96	tidak
\dot{R}_y (mas/th)	$0 \pm 0,012$	$0 \pm 0,02$	0	0,00	1,96	tidak
\dot{R}_z (mas/th)	$0 \pm 0,012$	$0,003 \pm 0,021$	0,003	0,12	1,96	tidak

Tabel 4. Hasil uji signifikansi beda 14-parameter transformasi hasil hitungan dengan 14-parameter transformasi standar IERS dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005.00

Parameter	Parameter Standar IERS	Parameter Hasil Hitungan	Selisih	t-hitung	t-tabel $\alpha/2 = 0,025$ df = ∞	Signifikansi
Tx (mm)	$-0,5 \pm 0,2$	$-0,42 \pm 0,53$	0,1	0,14	1,96	tidak
Ty (mm)	$-0,9 \pm 0,2$	$-1,1 \pm 0,53$	0,2	0,35	1,96	tidak
Tz (mm)	$-4,7 \pm 0,2$	$-4,2 \pm 0,52$	0,5	0,90	1,96	tidak
ds (ppb)	$0,94 \pm 0,03$	$0,81 \pm 0,08$	0,13	1,51	1,96	tidak
Rx (mas)	$0 \pm 0,008$	$-0,037 \pm 0,02$	0,037	1,72	1,96	tidak
Ry (mas)	$0 \pm 0,008$	$-0,001 \pm 0,02$	0,001	0,05	1,96	tidak
Rz (mas)	$0 \pm 0,008$	$-0,019 \pm 0,021$	0,019	0,85	1,96	tidak
\dot{T}_x (mm/th)	$0,3 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,5$	0	0	1,96	tidak
\dot{T}_y (mm/th)	$0 \pm 0,2$	$0 \pm 0,5$	0	0	1,96	tidak
\dot{T}_z (mm/th)	$0 \pm 0,2$	$0 \pm 0,5$	0	0	1,96	tidak
\dot{ds} (ppb/th)	$0 \pm 0,03$	$-0,02 \pm 0,08$	0,02	0,23	1,96	tidak
\dot{R}_x (mas/th)	$0 \pm 0,008$	$0,003 \pm 0,02$	0,003	0,14	1,96	tidak
\dot{R}_y (mas/th)	$0 \pm 0,008$	$0,001 \pm 0,02$	0,001	0,05	1,96	tidak
\dot{R}_z (mas/th)	$0 \pm 0,008$	$0,002 \pm 0,021$	0,002	0,09	1,96	tidak

Tabel 3 menunjukkan hanya parameter faktor skala(ds) pada transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 secara statistik berbeda signifikan dengan parameter transformasi standar IERS. Tabel 4 menunjukkan seluruh parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 secara statistik tidak ada yang signifikan perbedaannya. Adanya perbedaan nilai semua parameter hasil hitungan dengan parameter transformasi standar IERS dapat disebabkan karena data koordinat dan kecepatan yang digunakan untuk hitungan mendapatkan parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000.00 tidak sama dengan data

koordinat dan kecepatan yang digunakan untuk menghitung parameter transformasi standar IERS. Kalau dilihat dari tanda + atau - didepan masing masing parameter transformasi hasil hitungan semuanya cenderung sama dengan parameter transformasi standar IERS. Hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa parameter hasil hitungan cenderung sama dengan parameter transformasi standar IERS.

4.c. Analisis koordinat titik uji hasil transformasi

Perbedaan nilai 14-parameter hasil hitungan dengan 14-parameter standar IERS di dianalisis kembali dengan melakukan transformasi koordinat terhadap titik-titik uji. Analisis koordinat hasil transformasi dengan model Helmert 14-parameter dilakukan dengan menghitung perbedaan koordinat ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi koordinat dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000.00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005.00 terhadap koordinat ITRF00 dan ITRF05 yang dikeluarkan oleh IERS, sehingga diketahui kisaran perbedaan dan RMS-nya. Hasil hitungan disajikan pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Kisaran perbedaan Koordinat titik uji ITRF00 dan RMS hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 menggunakan 14-parameter transformasi

Koordinat ITRF00 (Parameter Hasil Hitungan)		Koordinat ITRF00 (Parameter Standar IERS)	
Kisaran beda =	-0.014 m s.d 0.016 m	Kisaran beda =	-0.015 m s.d 0.015 m
RMSx =	0,005 m	RMSx =	0,006 m
RMSy =	0,007 m	RMSy =	0,007 m
RMSz =	0,007 m	RMSz =	0,006 m
RMSe =	0,011 m	RMSe =	0,011 m

Tabel 6. Kisaran perbedaan Koordinat titik uji ITRF05 dan RMS hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 menggunakan 14-parameter transformasi

Koordinat ITRF00 (Parameter Hasil Hitungan)		Koordinat ITRF00 (Parameter Standar IERS)	
Kisaran beda =	-0.0405 m s.d 0.0220 m	Kisaran beda =	-0.0415 m s.d 0.0220 m
RMSx =	0,0069 m	RMSx =	0,0069 m
RMSy =	0,0142 m	RMSy =	0,0138 m
RMSz =	0,0163 m	RMSz =	0,0166 m
RMSe =	0,0227 m	RMSe =	0,0227m

Tabel 5 menunjukkan kisaran perbedaan koordinat ITRF00 dan RMS hasil hitungan dengan koordinat ITRF00 yang dikeluarkan IERS. Kisaran bedanya dalam fraksi sentimeter yaitu antara -1,4 cm s.d 1,6 cm, dengan perbedaan minimum sebesar -0,3 mm dan perbedaan maksimum sebesar 1,6 cm, sedangkan nilai RMSe perbedaannya sebesar 1,1 cm. Kisaran perbedaan koordinat transformasi menggunakan parameter hasil hitungan tidak berbeda jauh dengan kisaran perbedaan koordinat transformasi menggunakan parameter standar IERS yaitu antara -1,5 cm s.d 1,5 cm, sedangkan nilai RMSe-nya sama yaitu sebesar 1,1 cm.

Tabel 6 menunjukkan kisaran perbedaan koordinat ITRF05 dan RMS hasil hitungan dengan koordinat ITRF05 yang dikeluarkan IERS. Kisaran bedanya dalam fraksi sentimeter yaitu antara -4,05 cm s.d 2,20 cm, sedangkan nilai RMSe perbedaannya sebesar 2,27 cm. Kisaran perbedaan koordinat transformasi tersebut tidak berbeda jauh dengan kisaran perbedaan koordinat transformasi menggunakan parameter standar IERS yaitu antara -4,15 cm s.d 2,20 cm, sedangkan nilai RMSe-nya sama yaitu sebesar 2,27 cm.

5. SIMPULAN

Dari analisis 14 parameter transformasi hasil hitung kuadrat terkecil metode kombinasi menggunakan model Helmert 14-parameter dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai RMSe perbedaan koordinat ITRF00 dan ITRF05 titik sekutu hasil transformasi balik dengan model Helmert 14-parameter masing-masing sebesar 9,8 mm dan 0,5 mm, nilai ini lebih teliti dibanding RMSe koordinat ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik menggunakan parameter standar IERS yaitu masing-masing sebesar 9,9 mm dan 1,3 mm (ada perbedaan 0.1 mm untuk ITRF00 dan 0.8 mm untuk ITRF05).
2. Hasil uji signifikansi 14-parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 epok referensi 2000 hanya parameter ds secara statistik berbeda signifikan dengan parameter ds standar IERS, sedangkan 14-parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 epok referensi 2005 secara statistik tidak ada yang berbeda signifikan dengan parameter standar IERS.
3. Nilai RMSe perbedaan koordinat ITRF00 dan ITRF05 titik uji hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dengan parameter standar IERS nilainya sama yaitu masing-masing sebesar 1,1 cm dan 2,27 cm.
4. Dari analisis dan pembahasan hasil hitungan 14 parameter transformasi antar ITRF menggunakan model Helmert 14-parameter dengan hitung kuadrat terkecil metode kombinasi, dapat dikatakan hasil hitungan parameternya tidak berbeda jauh dengan parameter standar IERS. Sehingga model Helmert 14-parameter dengan hitung kuadrat terkecil metode kombinasi cukup baik diterapkan untuk menghitung 14 parameter transformasi antar ITRF atau kerangka acuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2001, *Geodesi Satelit*, Edisi I, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Abidin, H. Z., Jones, A., dan Kahar, J. 2002, *Survei dengan GPS*, Edisi II, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Altamimi, Z. Collilieux, X. dan Boucher, C. 2008, *Accuracy Assessment of the ITRF Datum Definition*, VI Hotine-Marussi Symposium on Theoretical and Computational Geodesy, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 132, Springer, Berlin Heidelberg, pp 101–110.
- Altamimi, Z. Collilieux, X. dan Métivier, L. 2011, *ITRF2008: an Improved Solution of the International Terrestrial Reference Frame*, Journal Geodesy, 85:457–473. doi:10.1007/s00190-011-0444-4.
- Djawahir, 1990, *Datum GPS*, Prosiding Seminar GPS-1990, Jurusan Teknik Geodesi ITB, Bandung.
- Permatahati, A. D. Kahar, S. dan Sabri, L. M. 2012, *Transformasi Koordinat pada Peta Lingkungan Laut Nasional dari Datum ID74 Ke WGS84 untuk Keperluan Penentuan Batas Wilayah Laut Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Barat*, Jurnal Geodesi UNDIP, Vol. 1, No. 1.
- Soler, T. dan Marshall, J. 2003, *A Note on Frame Transformations with Applications to Geodetic Datums*, GPS Solution, 7:23–32. doi: 10.1007/s10291-003-0044-8.
- Soler, T. dan Snay, R. A. 2004, *Transforming Positions dan Velocities between the International Terrestrial Reference Frame of 2000 and North American Datum of 1983*, Journal Of Surveying Engineering, Vol. 130, No. 2, May 1, 2004.
- Thomson, D. B. 1976, *Combination of Geodetic Networks*, Technical Report No. 30, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B, Canada.
- Widjajanti, N. 1992, *Modifikasi Hitungan Transformasi Datum Metode Molodensky-*

Badekas, Skripsi, Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
Widjajanti, N. 2010, *Deformation Analysis of Offshore Platform using GPS Technique and its Application in Structural Integrity Assessment*, Disertasi (Ph.D.), Universiti Teknologi Petronas, Malaysia.