

**PROGRAM APLIKASI BERBASIS *GRAPHIC USER INTERFACE*
UNTUK TRANSFORMASI DATUM TIGA DIMENSI**

Tesis
untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-2

Program Studi Teknik Geomatika
Kelompok Bidang Ilmu Teknik



Diajukan oleh:

ROMI FADLY
11/326527/PTK/07933

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2014**

TESIS
PROGRAM APLIKASI BERBASIS *GRAPHIC USER INTERFACE*
UNTUK TRANSFORMASI DATUM 3 DIMENSI

yang dipersiapkan dan disusun oleh :

ROMI FADLY
11/326527/PTK/07933

telah dipertahankan di depan Dewan penguji
pada tanggal 2014

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama

Anggota Dewan Penguji

Ir. Nurrohmat Widjajanti, M.T., Ph.D. **Leni Sophia Heliani, S.T., M.Sc., D.Sc.**

Pembimbing Pendamping

Ir. Djawahir, M.Sc.

Abdul Basith, S.T., M.Si., Ph.D.

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Master
Tanggal.....

Pengelola Program Studi S-2 Teknik Geomatika

Ir. Nurrohmat Widjajanti, M.T., Ph.D.
NIP. 19691021 199403 2003

Mengetahui:
Wakil Penanggung Jawab Program Studi S-2 Teknik Geomatika

Ir. Djurdjani, M.SP., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19580820 198502 1001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 2014
Penulis

Romi Fadly

PERSEMBAHAN

Awal yang berat saat melangkah meninggalkan keluarga kecilku terutama anak yang masih perlu perhatian, untuk menggapai harapan yang lebih baik kedepannya, kini terbayar sudah... Alhamdulillah Hirobbil Alamin, terima kasih ya rob atas rahmatmu...

*Jika anda menginginkan kebahagiaan satu jam, silakan tidur siang;
Jika anda menginginkan kebahagiaan hari ini, pergilah bertamasya;
Jika anda menginginkan kebahagiaan satu minggu, pergilah berlibur;
Jika anda menginginkan kebahagiaan satu bulan, menikahlah;
Jika anda menginginkan kebahagiaan satu tahun, dapatkan warisan kekayaan;
Jika anda menginginkan kebahagiaan seumur hidup, belajarlai **MENCINTAI** pekerjaan anda dengan ikhlas karena Allah SWT.*

*Dengan ridho Allah SWT,
Ku persembahkan karya kecilku ini kepada mereka :*
***Kedua Orang Tuaku dan mertuaku Tercinta,
Anakku Tersayang "Nazwa Alisha",
Istriku Tercinta "Citra Dewi",
Keluarga besarku,
Dan Sahabat-sahabatku***

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, hanya dengan ridho dan segala kemudahan yang dilimpahkan oleh-Nya penelitian dengan judul "Program Aplikasi Berbasis *Graphic User Interface* untuk Transformasi Datum Tiga Dimensi" dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian yang dibuat merupakan syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata Dua Teknik Geomatika, Program Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karenanya, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Djurdjani, M.SP., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
2. Ibu Ir. Nurrohmat Widjajanti, MT, Ph.D, selaku Ketua Program Studi S-2 dan S-3 Teknik Geomatika Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, dan selaku pembimbing utama, atas arahan, saran, bantuan, dan motivasi selama penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Ir. Djawahir, M.Sc., selaku pembimbing pendamping yang juga telah memberikan arahan, saran, bantuan dan motivasi selama penyelesaian tesis ini.
4. Ibu Leni Sophia Heliani, S.T, M.Sc., D.Sc dan Bapak Abdul Basith, S.T., M.Si., Ph.D., selaku tim penguji yang telah banyak memberikan saran untuk perbaikan penelitian.
5. Seluruh Staf Pengajar dan Karyawan di Jurusan Teknik Geodesi Universitas Gadjah Mada, atas ilmu, pengalaman, dan bantuannya selama mengikuti pendidikan.
6. Bapak Ir. Yohannes, M.T., selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Survei dan Pemetaan Universitas Lampung.

7. Seluruh staf pengajar dan administrasi Program Studi D3 Teknik Survei dan Pemetaan Universitas Lampung.
8. Seluruh teman-teman S-2 di Program Studi Teknik Geomatika Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada angkatan 13 (Pak Handaru, Wayan, Heri Risdiyanto, Fauzi Janu, Sri Rezki, dan Hidayat Panuntun) dan angkatan 14 (Dinar, Farid, Bagus, Dias, Bagus, Jali, Isna, dan Nisa) atas kebersamaannya selama mengikuti perkuliahan.
9. Keluarga, atas segala dukungannya baik materil maupun moril demi keberhasilan studi penulis.
10. Segenap karyawan sekretariat, laboratorium, dan perpustakaan atas segala bantuan dalam urusan akademis, kemahasiswaan, praktikum, dan studi litaretur.
11. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas semua bantuan dan dukungannya.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal ibadah dan diterima Allah SWT. Amin. Segala kritik dan saran diharapkan penulis karena kekurangan yang disadari dalam penelitian ini. Semoga tulisan ini bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan pemikiran demi perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR ISTILAH	xv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.1.1. Perumusan masalah	4
I.1.2. Lingkup studi.....	6
I.1.3. Keaslian penelitian	7
I.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian	10
I.2.1. Tujuan penelitian	10
I.2.2. Manfaat penelitian.....	11
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	12
II.1 Penelitian Terdahulu	12
II.2. Landasan Teori.....	15
II.2.1. Datum geodetik.....	15
II.2.2. Transformasi antar datum	17
II.2.2.1 Transformasi datum dengan model Bursa-Wolf	19
II.2.2.2 Transformasi datum dengan model Molodensky-Badekas	21
II.2.2.3 Transformasi datum 14-parameter	22
II.2.3. Hitung kuadrat terkecil (HKT)	24
II.2.4. Hitung kuadrat terkecil metode kombinasi	25
II.2.5. Penyelesaian model matematik Bursa-Wolf	26
II.2.6. Penyelesaian model matematik Molodensky-Badekas	29
II.2.7. Penyelesaian model matematik 14-parameter.....	32
II.2.8. Bobot Pengukuran.....	38
II.2.9. Uji global	40
II.2.10. Uji blunder	42
II.2.11. Uji signifikansi parameter.....	43
II.2.12. Hitungan koordinat geodetik dari koordinat kartesian.....	43

II.2.13. Hitungan nilai RMS koordinat.....	44
II.2.14. Uji signifikansi beda dua parameter.....	45
II.2.15. Pemrograman berbasis <i>graphic user interface</i> (GUI).....	46
II.2.15.1. <i>Visual design</i>	46
II.2.15.2. <i>Event-driven programming</i>	48
BAB III. METODE PENELITIAN	49
III.1. Bahan dan Alat Penelitian.....	49
III.1.1 Bahan penelitian	49
III.1.2 Alat penelitian.....	49
III.2. Tahapan Penelitian.....	50
III.2.1 Tahap persiapan	51
III.2.2 Desain hitungan	51
III.2.2.1. Desain hitungan parameter transformasi antar datum.....	52
III.2.2.2. Desain hitungan untuk transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan.....	59
III.2.3 Desain <i>interface</i>	61
III.2.4 Integrasi dengan pemrograman berbasis GUI	63
III.2.5 Analisis hasil hitungan program aplikasi.....	63
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	66
IV.1. Tampilan Program Aplikasi.....	66
IV.1.1. Jendela <i>loading</i> program.....	66
IV.1.2. Jendela utama.....	66
IV.1.3. Jendela teks	67
IV.1.4. Jendela hitungan parameter transformasi model Bursa-Wolf/Molodensky-Badekas.....	68
IV.1.5. Jendela hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter.	69
IV.1.6. Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan.	70
IV.2. Hasil hitungan program aplikasi	73
IV.2.1. Hasil hitungan 7-parameter transformasi model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas.....	73
IV.2.1.1. Tujuh parameter transformasi	73
IV.2.1.2. Residu.....	74
IV.2.1.3. Uji global dengan <i>chi-square</i> (χ^2)	77
IV.2.1.4. Deteksi blunder dengan uji F	77
IV.2.1.5. Uji signifikansi parameter dengan uji t	80
IV.2.2. Hasil hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter	82
IV.2.2.1. 14-parameter transformasi.....	82
IV.2.2.2. Residu.....	82
IV.2.2.3. Uji global dengan <i>chi-square</i> (χ^2).	84
IV.2.2.4. Deteksi blunder dengan uji F.....	85
IV.2.2.5. Uji signifikansi parameter dengan uji t	87

IV.3. Analisis Hasil Hitungan Program Aplikasi.....	88
IV.3.1. Matriks invers	88
IV.3.2. Analisis koordinat hasil transformasi balik	88
IV.3.2.1. Transformasi balik dengan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas.....	89
IV.3.2.2. Transformasi balik dengan model Helmert 14-parameter.....	92
IV.3.3. Analisis koordinat titik uji hasil transformasi.....	95
IV.3.4. Analisis uji signifikansi beda parameter transformasi.....	98
 BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	 103
V.1. Kesimpulan.....	103
V.2. Saran	104
 DAFTAR PUSTAKA	 106
 LAMPIRAN	 109

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel I.1. Perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu...	7
Tabel II.1. Nilai distribusi F (<i>Fisher</i>).....	42
Tabel IV.1. 7-parameter transformasi hasil hitungan.....	74
Tabel IV.2. Hasil uji global.....	77
Tabel IV.3. Hasil uji signifikansi 7-parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00	77
Tabel IV.4. Hasil uji signifikansi 7-parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05	78
Tabel IV.5. 14-parameter transformasi	82
Tabel IV.6. Hasil uji global model Helmert 14-parameter	85
Tabel IV.7. Hasil uji signifikansi 14-parameter transformasi.....	87
Tabel IV.8. RMS koordinat titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas.....	90
Tabel IV.9. RMS koordinat titik sekutu ITRF05 hasil transformasi balik dari ITRF08 ke ITRF05 model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas.....	91
Tabel IV.10. RMS koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Helmert 14- parameter	90
Tabel IV.11. RMS koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Helmert 14- parameter	91
Tabel IV.12 Koordinat titik uji ITRF00 hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 menggunakan 14 parameter transformasi dengan model Helmert 14-parameter.....	93
Tabel IV.13. Koordinat titik uji ITRF05 hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 menggunakan 14 parameter transformasi dengan model Helmert 14-parameter.....	98
Tabel IV.14 Hasil uji signifikansi perbedaan nilai parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000	99
Tabel IV.15. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global	100
Tabel IV.16 Hasil uji signifikansi perbedaan nilai parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005	101
Tabel IV.17. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global.....	101

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1 Hubungan antara sistem CTS dengan elipsoid referensi, dalam pendefinisian datum geodetik (modifikasi dari Abidin, 2001).....	16
Gambar II.2 Contoh parameter datum geodetik pendekatan toposentrik (modifikasi dari Abidin, 2001)	16
Gambar II.3. Transformasi datum model Bursa-Wolf (modifikasi dari R.E. Deakin, 2006)	20
Gambar II.4. Transformasi datum model Molodensky-Badekas (modifikasi dari R.E. Deakin, 2006)	22
Gambar II.5. Hubungan antara <i>object</i> dengan <i>property</i> , <i>method</i> dan <i>event</i>	47
Gambar III.1. Diagram alir penelitian.....	51
Gambar III.2. Diagram alir hitungan parameter transformasi datum.....	53
Gambar III.3. Diagram alir hitungan transformasi koordinat antar datum/ kerangka acuan	59
Gambar III.4. Desain <i>interface</i> program aplikasi.....	61
Gambar IV.1 <i>Loading</i> program TransDat V.1.0	66
Gambar IV.2 Jendela utama	67
Gambar IV.3 Jendela teks	67
Gambar IV.4 Jendela hitungan parameter transformasi model Bursa-Wolf/ Molodensky-Badekas	68
Gambar IV.5 Jendela hitungan parameter model Helmert 14-parameter	70
Gambar IV.6 Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/ kerangka acuan.....	71
Gambar IV.7 Tab basis data 7-parameter transformasi	71
Gambar IV.8. Tab basis data 14-parameter transformasi	72
Gambar IV.9 Residu pengukuran hasil HKT model Bursa-Wolf dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu	75
Gambar IV.10 Residu pengukuran hasil HKT model Molodensky-Badekas dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu	75
Gambar IV.11 Residu pengukuran hasil HKT model Bursa-Wolf dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu	76
Gambar IV.12 Residu pengukuran hasil HKT model Molodensky-Badekas dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu	76
Gambar IV.13. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu (model Bursa-Wolf)	78
Gambar IV.14. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu (model Molodensky-Badekas)	78
Gambar IV.15. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu (model Bursa-Wolf)	79
Gambar IV.16. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu (model Molodensky-Badekas)	79

Gambar IV.17 Residu koordinat hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu	83
Gambar IV.18 Residu kecepatan hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu	83
Gambar IV.19 Residu koordinat hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu	83
Gambar IV.20 Residu kecepatan hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu	84
Gambar IV.21. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu (model Helmert 14-parameter).....	86
Gambar IV.22. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu (model Helmert 14-parameter).....	86
Gambar IV.23. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Bursa-Wolf)	89
Gambar IV.24. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Molodensky-Badekas)	89
Gambar IV.25. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Bursa-Wolf)	90
Gambar IV.26. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Molodensky-Badekas)	91
Gambar IV.27. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter).....	92
Gambar IV.28. Perbedaan kecepatan ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter).....	92
Gambar IV.29. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter).....	93
Gambar IV.30. Perbedaan kecepatan ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter).....	94
Gambar IV.31 Perbedaan koordinat titik uji ITRF00 hasil transformasi terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter).....	96
Gambar IV.32 Perbedaan koordinat titik uji ITRF05 hasil transformasi terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter).....	97

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	109
1. Sket lokasi titik sekutu dan titik uji ITRF	110
2. Koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF00 epok 1997.....	111
3. Koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF00 epok 2000	114
4. Koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF05 epok 2000	117
5. Koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF05 epok 2005	120
6. Koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF08 epok 2005	123
7. Koordinat dan kecepatan titik uji ITRF00 epok 2000	126
8. Koordinat dan kecepatan titik uji ITRF05 epok 2000	126
9. Koordinat dan kecepatan titik uji ITRF05 epok 2005	127
10. Koordinat dan kecepatan titik uji ITRF08 epok 2005	127
Lampiran 2	128
1. Residu hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu model Bursa-Wolf	129
2. Residu hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu model Bursa-Wolf	130
3. Residu hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu model Molodensky-Badekas.....	131
4. Residu hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 60 titik sekutu model Molodensky-Badekas.....	132
5. Residu hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu model Helmert 14-parameter.....	133
6. Residu hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu model Helmert 14-parameter.....	135
Lampiran 3	137
1. Koordinat titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas	138
2. Koordinat titik sekutu ITRF05 hasil transformasi balik dari ITRF08 ke ITRF05 model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas	140
3. Koordinat titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Helmert 14-Parameter	142
4. Koordinat titik sekutu ITRF08 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF05 model Helmert 14-Parameter	144

Lampiran 4	146
1. Uji-F hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan HKT model persamaan Bursa-Wolf menggunakan 70 titik sekutu	147
2. Uji-F hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan HKT model persamaan Bursa-Wolf menggunakan 60 titik sekutu	149
3. Uji-F hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan HKT model persamaan Molodensky-Badekas menggunakan 70 titik sekutu	151
4. Uji-F hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan HKT model persamaan Molodensky-Badekas menggunakan 60 titik sekutu	153
5. Uji-F hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan HKT model persamaan Helmert 14-Parameter menggunakan 70 titik sekutu	155
6. Uji-F hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan HKT model persamaan Helmert 14-Parameter menggunakan 60 titik sekutu	158
Lampiran 5	161
1. Koordinat titik uji ITRF00 hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00..	162
2. Koordinat titik uji ITRF05 hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05..	163
3. Parameter Trnasformasi Global dari ITRF05 ke ITRF00	164
4. Parameter Trnasformasi Global dari ITRF08 ke ITRF05	165
Lampiran 6	166
1. Tabel distribusi <i>Chi Square</i> (χ^2)	167
2. Tabel distribusi t	169
Lampiran 7. Diagram alir desain <i>interface</i>	170
Lampiran 8. Hasil hitungan matriks invers	173
Lampiran 9. Kode program menggunakan bahasa Basic	178

DAFTAR ISTILAH

ASCII	: <i>The American Standard Code for Information Interchange</i>
BAKOSURTANAL	: Badan Koordinasi Survei Pemetaan Nasional
BIG	: Badan Informasi Geospasial
CORS	: <i>Continuous Of Reference System</i>
CPU	: <i>Central Processing Units</i>
CTS	: <i>Conventional Terrestrial System</i>
df	: <i>Degrees of Freedom</i>
DGN95	: Datum Geodetik Nasional 1995
GDA94	: <i>The Geocentric Datum of Australia 1994</i>
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
GUI	: <i>Graphic User Interface</i>
HKT	: Hitung Kuadrat Terkecil
HTDP	: <i>Horizontal Time-Dependent Positioning</i>
ID74	: Indonesia Datum 1974
IERS	: <i>International Earth Rotation and Reference Systems Service</i>
IGS	: International GNSS System
ITRF	: <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
LINZ	: <i>Land Information New Zealand</i>
NAD83	: <i>North American Datum 1983</i>
NGA	: <i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
RMS	: <i>Root Mean Square</i>
RMSe	: <i>Root Mean Square Error</i>
SIG	: Sistem Informasi Geografis
SLR	: <i>Satellite Laser Ranging</i>
VLBI	: <i>Very Long Baseline Interferometry</i>
WGS84	: <i>World Geodetik System 1984</i>

INTISARI

Pendefinisian ulang suatu datum 3D dapat menyebabkan perbedaan koordinat X, Y, Z pada datum lama terhadap datum baru. Metode transformasi datum 3D dapat digunakan untuk transformasi koordinat dari datum lama ke datum yang baru. Transformasi koordinat antar datum memerlukan parameter transformasi. Model matematik yang dapat digunakan untuk menghitung parameter transformasi yaitu Model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter. Penelitian ini bertujuan membuat program aplikasi transformasi datum 3D yang interaktif berbasis GUI. Sebelum program aplikasi dapat digunakan oleh pengguna dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap hasil hitungannya.

Hitungan parameter transformasi dilakukan dari koordinat ITRF05 ke ITRF00 epok 2000, dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005. Parameter transformasi hasil hitungan dibandingkan dengan parameter global kemudian dilakukan uji signifikansi perbedaannya. Parameter hasil hitungan digunakan untuk transformasi balik terhadap koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 yang dilibatkan dalam hitungan untuk mendapatkan parameter transformasi, selain itu 14-parameter transformasi model Helmert digunakan juga untuk transformasi koordinat titik-titik uji ITRF00 dan ITRF05. Hasil hitungan transformasi balik koordinat dan kecepatan titik sekutu, dan transformasi koordinat titik uji dihitung kisaran perbedaan dan RMS-nya terhadap koordinat hasil pengukuran. Data koordinat dan kecepatan ITRF00, ITRF05, dan ITRF08, serta parameter transformasi diperoleh dengan mengunduhnya dari situs http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/index.php.

Hasil pengujian program aplikasi menunjukkan nilai RMSe perbedaan koordinat hasil transformasi balik menggunakan model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter terhadap hasil pengukuran sebesar 9 mm, sedangkan nilai RMSe perbedaan kecepatan menggunakan model Helmert 14-parameter sebesar 2 mm untuk transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dan 1,1 mm dari ITRF08 ke ITRF05. Nilai RMSe koordinat titik uji hasil transformasi terhadap hasil pengukuran sebesar 3,2 cm untuk transformasi dari ITRF05 ke ITRF00, dan 12,2 cm untuk transformasi dari ITRF08 ke ITRF05. Dari uji signifikansi perbedaan parameter transformasi hasil hitungan terhadap parameter global hanya parameter ds pada transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 yang secara statistik berbeda. Akan tetapi kalau dilihat selisih koordinat titik uji hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dengan parameter global, selisihnya cukup kecil hanya dalam fraksi mm dengan nilai RMSe 1.6 mm untuk transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dan 1.5 mm untuk transformasi dari ITRF08 ke ITRF05. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa hasil hitungan program aplikasi yang dibuat dapat dikatakan sudah benar dan program aplikasi tersebut dapat digunakan oleh pengguna.

Kata kunci: transformasi datum 3D, parameter transformasi, Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, Helmert 14-parameter, ITRF.

ABSTRACT

Key words: 3D datum transformation, transformation parameters, Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, Helmert 14-parameters, ITRF

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini terdiri dari dua sub bab yaitu latar belakang serta tujuan dan manfaat penelitian. Berikut ini uraian dari masing-masing sub bab tersebut.

I.1. Latar Belakang

Dinamika pergerakan Bumi mempunyai spektrum yang sangat luas, dari skala galaksi sampai skala pergerakan lokal pada kerak Bumi. Tiga jenis pergerakan Bumi yang berpengaruh dalam pendefinisian sistem koordinat adalah orbit Bumi bersama planet-planet lainnya mengelilingi Matahari, Bumi berputar terhadap sumbu rotasinya, dan bagian-bagian kerak Bumi juga bergerak relatif satu dengan lainnya (Abidin, 2001). Sifat Bumi yang dinamis ini sangat berpengaruh dalam pendefinisian sistem referensi global yang ada saat ini seperti *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)*, *International GPS for Geodynamics Service (IGS)*, dan *World Geodetic System (WGS 84)*, yang digunakan untuk referensi penentuan posisi di Bumi.

Awal tahun 1996, Indonesia oleh Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (BAKOSURTANAL) yang sekarang dikenal dengan nama Badan Informasi Geospasial (BIG) menetapkan DGN95 sebagai datum geodesi nasional. DGN95 ini merupakan datum global geosentrik dengan menyekutukan ke ITRF dan WGS 84 sebagai referensi elipsoid (Subarya, 2013).

Adanya pergerakan permukaan Bumi yang disebabkan oleh deformasi kerak Bumi atau lempeng tektonik, dan ITRF yang berevolusi secara terus

menerus dengan tingkat ketelitian mencapai fraksi milimeter (Altamimi, 2008), serta WGS84 saat ini juga telah mengalami evolusi menjadi WGS84 G1674 epok 2012.2 dengan akurasi 0.05 m (NGA, 2012), membawa konsekuensi terhadap DGN95 untuk tingkat ketelitian tertentu sudah tidak sesuai lagi digunakan untuk acuan referensi koordinat, sehingga diperlukan pendefinisian datum geodetik yang baru.

Pendefinisian datum geodetik yang baru berdampak pada perbedaan posisi tiga dimensi (X,Y,Z) pada datum lama terhadap datum yang baru. Penentuan posisi pada datum yang baru idealnya adalah dengan melakukan pengukuran ulang pada seluruh kerangka referensi koordinat yang diikatkan ke kerangka referensi global ITRF/IGS. Kerangka referensi koordinat untuk di Indonesia saja mulai dari orde 0 s.d orde 4 jumlahnya ribuan titik, sampai akhir 2010 hanya 117 stasiun saja yang diamat secara kontinyu (Subarya, 2013). Kerangka referensi koordinat yang banyak tersebut jika diukur ulang menjadi tidak efektif dan efisien. Metode lain yang dapat dilakukan untuk penentuan posisi ke datum yang baru adalah dengan transformasi datum tiga dimensi. Metode transformasi datum tiga dimensi tersebut bertujuan untuk mencari parameter transformasi datum. Parameter transformasi datum inilah yang nantinya digunakan untuk mentransformasi kerangka referensi lainnya yang tidak dilibatkan dalam hitungan mencari parameter transformasi datum. Metode transformasi datum tiga dimensi tersebut hanya memerlukan sebagian kecil kerangka referensi sebagai titik sekutu untuk diukur ulang, sehingga diperoleh posisi pada datum yang baru, sedangkan posisi pada datum yang lama telah diketahui melalui pengukuran sebelumnya.

Ada beberapa model transformasi datum tiga dimensi saat ini. Tiga model standar transformasi datum yang umum digunakan diantaranya adalah model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan model Veis (Thomson, 1976). Model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas mempunyai 7 parameter transformasi yaitu: 3 translasi, 1 faktor skala, dan 3 sudut rotasi, kedua model tersebut tidak memperhitungkan kecepatan pergerakan (7 parameternya) akibat fenomena deformasi kerak Bumi, pergerakan lempeng, dan fenomena fisik Bumi lainnya. Selain transformasi datum tiga dimensi 7 parameter, ada juga model transformasi datum 14 parameter yang memperhitungkan kecepatan pergerakan parameter translasi, skala, dan sudut rotasi. Transformasi datum 7 parameter (Model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas), dan 14 parameter merupakan model transformasi similaritas, dan model matematikanya dianggap linier sehingga penyelesaian hitungannya tidak perlu iterasi. Model persamaan transformasi datum similaritas yang sudah linier akan lebih mudah jika diimplementasikan dalam bentuk perangkat lunak (Abidin,2001).

Perangkat lunak atau program aplikasi komersial berbasis visual untuk transformasi datum, saat ini sudah banyak dikembangkan baik yang independen maupun yang terintegrasi dengan program aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG), seperti *ArcView*, *AcrGIS*, *MapInfo*, *Geocalc*, *TatukGIS Calculator*, *DatumPro*, *Geographic Calculator*, dan lain-lain. Program aplikasi tersebut hanya dapat melakukan transformasi antar datum, tidak dirancang untuk menghitung parameter transformasi datum.

Perkembangan program aplikasi pemrograman berbasis *Graphic User Interface* (GUI) saat ini memudahkan untuk membuat program aplikasi yang tidak hanya dapat melakukan perhitungan transformasi datum tetapi dapat juga melakukan perhitungan parameter transformasi datum dengan cepat, interaktif, dan terkontrol.

I.1.1. Perumusan masalah

Dinamika Bumi mengakibatkan kerangka referensi global seperti ITRF dan IGS sebagai ikatan kerangka referensi lainnya di permukaan Bumi setiap waktu tertentu perlu didefinisikan ulang. Pendefinisian ulang tersebut berpengaruh pada posisi tiga dimensi (X,Y, Z) kerangka referensi lain di permukaan Bumi yang sebelumnya telah mengikat ke kerangka referensi global tersebut, sehingga diperlukan penentuan posisi ulang dengan mengikat ke sistem kerangka referensi global tersebut, atau dengan melakukan transformasi koordinat ke sistem yang baru jika parameter transformasinya diketahui.

Program aplikasi transformasi datum tiga dimensi dari datum satu ke datum lainnya atau dari sistem satu ke sistem lainnya untuk mendapatkan parameter transformasi, saat ini masih belum tersedia secara komersial. Program aplikasi seperti *GeoCalc*, *TatukGIS Calculator*, *DatumPro*, *Geographic Calculator*, dan lainnya, tidak dapat melakukan hitungan untuk memperoleh parameter transformasi datum, begitu juga untuk hitungan transformasi datumnya menggunakan parameter transformasi global. Hitungan parameter transformasi datum yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak tetapi proses hitungannya belum dilakukan secara otomatis, menyebabkan proses hitungan tidak dapat

dilakukan dengan cepat, terkontrol, dan juga rentan terjadi kesalahan pada proses hitungannya. Dalam mempercepat proses hitungan parameter transformasi datum dan menghindari kesalahan dalam proses hitungan, maka perlu dibuat sebuah program aplikasi hitungan transformasi datum tiga dimensi dengan pemrograman berbasis GUI yang interaktif, dan terkontrol hasilnya. Sebelum program aplikasi yang dibuat benar-benar digunakan oleh pengguna, maka perlu diuji terlebih dahulu. Pengujian program aplikasi difokuskan pada hasil hitungannya. Untuk keperluan pengujian, maka pada penelitian ini dilakukan hitungan transformasi dari kerangka acuan global ITRF05 ke ITRF00 epok acuan 2000, dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok acuan 2005. Alasan pemilihan transformasi antar kerangka acuan tersebut karena parameter global antar kerangka acuan tersebut telah dipublikasikan oleh IERS lengkap dengan standar deviasinya, sehingga dapat digunakan sebagai pembanding parameter transformasi hasil hitungan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, ada beberapa pertanyaan penelitian yang diajukan. Pertanyaan penelitian tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa perbedaan koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik terhadap koordinat dan kecepatan hasil ukuran ?
2. Berapa perbedaan koordinat ITRF00 dan ITRF05 titik uji hasil transformasi menggunakan parameter transformasi hasil hitungan terhadap koordinat hasil ukuran ?
3. Berapa perbedaan nilai parameter transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 hasil hitungan menggunakan program aplikasi yang dibuat terhadap parameter transformasi global ?

4. Signifikankah perbedaan nilai parameter transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 dari hasil hitungan menggunakan program aplikasi yang dibuat dengan parameter transformasi global ?

I.1.2. Lingkup studi

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan program aplikasi untuk menghitung parameter transformasi datum tiga dimensi, dan menghitung transformasi koordinat tiga dimensi antar datum menggunakan program *Visual Basic 6.0*, dengan kriteria sebagai berikut:

1. Model matematik transformasi datum tiga dimensi 7-parameter yang digunakan adalah model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas. Sedangkan untuk model matematik transformasi datum tiga dimensi 14-parameter menggunakan model transformasi Helmert yang telah dipublikasikan dalam makalah Soler tahun 2004 pada *Journal of Surveying Engineering-ASCE*,
2. Parameter transformasi antar datum yang digunakan untuk pembandingan adalah 14-parameter (parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000, dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005) bersumber dari *International Earth Rotation and Reference System (IERS)*,
3. Hitungan parameter transformasi datum tiga dimensi menggunakan hitung kuadrat terkecil metode kombinasi,
4. Koordinat yang digunakan untuk hitungan dalam bentuk koordinat kartesian tiga dimensi (X, Y, Z) geosentrik untuk hitungan 7 parameter transformasi, dan

koordinat kartesian tiga dimensi (X, Y, Z) geosentrik ditambah kecepatan (\dot{X} , \dot{Y} , \dot{Z}) masing-masing koordinat untuk hitungan 14 parameter transformasi.

I.1.3. Keaslian penelitian

Penelitian mengenai analisis transformasi datum tiga dimensi 7-parameter menggunakan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas, dan transformasi datum tiga dimensi 14-parameter telah banyak dilakukan. Program aplikasi berbasis GUI untuk transformasi antar datum 7-parameter telah banyak dibuat, sedangkan untuk yang 14-parameter masih belum ada secara komersial. Program aplikasi 7-parameter berbasis GUI seperti *Geocalc*, *TatukGIS Calculator*, *DatumPro*, *Geographic Calculator*, yang berkembang saat ini masih belum menyediakan fasilitas untuk menghitung parameter transformasi datum tiga dimensi secara interaktif.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan peneliti terkait tema, metode dan keluaran yang dihasilkan penelitian sebelumnya dapat disajikan pada Tabel I.1 berikut:

Tabel I.1. Perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu

No	Deskripsi	Permasalahan	Hasil
1	Analisis Transformasi Datum dari Datum Indonesia 1974 ke Datum Geodesi Nasional 1995. Handoko dan Abidin, (2002)	Bagaimana mencari model yang paling optimal untuk transformasi datum dari datum ID 74 ke WGS 84. Model transformasi yang digunakan yaitu model transformasi 7-parameter similaritas (Bursa-Wolf) dan model transformasi 10-parameter <i>Affinity Transformation</i> .	Dari analisis hasil hitungan disimpulkan bahwa penggunaan model transformasi 10 parameter dapat memberikan hasil yang lebih baik dari model Bursa-Wolf.

Lanjutan Tabel I.1

No	Deskripsi	Permasalahan	Hasil
2	<p>Aplikasi Penentuan Parameter Transformasi Lokal Batu Hijau untuk Survei dan Pemetaan Area Tambang PT. Newmont Nusa Tenggara.</p> <p>Yuwono dan Marzuki, (2010)</p>	<p>Bagaimana menentukan metode transformasi yang dapat digunakan untuk penentuan parameter transformasi.</p> <p>Penelitian difokuskan pada tahap penentuan parameter-parameter lokal transformasi dengan menggunakan metode transformasi : 2D Helmert, 2D Affine, 3D Bursa-Wolf, 3D Molodensky Badekas.</p>	<p>Ketelitian geometrik parameter transformasi yang paling baik dari keempat metode tersebut adalah metode transformasi Molodensky Badekas 3D.</p> <p>Penelitian ini juga menghasilkan program aplikasi berbasis <i>graphic user interface</i>.</p>
3	<p><i>Transformation of 3D Coordinates</i></p> <p>Harvey, (1986)</p>	<p>Bagaimana menyatukan data dari kerangka kontrol yang datumnya berbeda.</p> <p>Dua permasalahan yang ingin di selesaikan yaitu: 1. Mencari estimasi parameter transformasi yang paling akurat; 2. Mencari kombinasi internal yang paling baik dari sistem-sistem yang berbeda.</p> <p>Metode transformasi yang digunakan adalah: metode Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan <i>Ellipsoidal</i>.</p>	<p>Model transformasi Molodensky-Badekas dan Bursa-Wolf memiliki perbedaan nilai parameter transformasinya pada parameter translasi, ini dikarenakan model persamaannya berbeda.</p> <p>Metode transformasi elipsoid dapat juga diterapkan, terutama jika sumber daya komputer terbatas. Ketiga model transformasi menghasilkan koordinat transformasi dan matrik varian kovarian yang sama, jika diaplikasikan secara benar.</p>
4	<p><i>International Terrestrial Reference Frame (ITRF) to GDA94 Coordinate Transformations</i></p> <p>Dawson dan Steed, (2004)</p>	<p>Bagaimana cara praktis menghitung transformasi koordinat dari koordinat ITRF2000, ITRF2000(IGS), ITRF97, dan ITRF96 ke datum GDA94, dengan model transformasi 14-parameter (7-parameter dan kecepatannya).</p> <p>Model transformasinya adalah model transformasi 14-parameter, yang merupakan pengembangan model standar 7-parameter Helmert, dengan <i>respect</i> waktu dan menghilangkan orde kedua pada model persamaannya.</p>	<p>Parameter transformasi dari ITRF2000 ke GDA, ITRF2000(IGS) ke GDA, ITRF97 ke GDA, ITRF96 ke GDA.</p> <p>Hasil parameter transformasi dicoba untuk mentransformasi koordinat ITRF2000 dengan epok pengukuran 1 Januari 2002 ke datum GDA94.</p>

Lanjutan Tabel I.1

No	Deskripsi	Permasalahan	Hasil
5	<p>Transformasi koordinat pada peta lingkungan laut nasional dari datum ID74 ke WGS84 untuk keperluan penentuan batas wilayah laut provinsi Jawa Tengah dan Jawa Barat</p> <p>Permatahati, Kahar, dan Sabri, (2012)</p>	<p>Bagaimana mengetahui jenis metode transformasi yang paling tepat untuk pemetaan batas wilayah laut provinsi,</p> <p>Bagaimana mengetahui data pengamatan yang optimal, dan mengetahui koordinat batas wilayah laut dalam WGS 84.</p>	<p>Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode Lauf adalah metode yang paling baik dilihat dari ketelitian geometrik dan dari hasil uji statistik <i>Chi-Squares</i>.</p> <p>Batas wilayah laut provinsi Jawa Tengah dan Barat ditentukan dengan prinsip <i>Equidistance Line</i> sejauh 12 mil laut.</p>
6	<p><i>Transforming positions dan velocities between the International Terrestrial Reference Frame of 2000 and North American Datum of 1983</i></p> <p>Soler dan Snay, (2004)</p>	<p>Menjelaskan kerjasama antara <i>Natural Resources Canada dan the U.S. National Geodetic Survey (NGS)</i> melakukan transformasi koordinat dan kecepatan antara ITRF00 dan NAD83 (CORS- 96) dengan memanfaatkan koordinat 12 stasiun VLBI, untuk mendapatkan 14-parameter transformasi, yaitu 7-parameter (Tx,Ty,Tz,ds, Rx,Ry,Rz) + rate masing-masing ($\dot{T}x, \dot{T}y, \dot{T}z, \dot{d}s, \dot{R}x, \dot{R}y, \dot{R}z$).</p> <p>Untuk mendapatkan 14-parameter transformasi, prosesnya dilakukan bertahap yaitu ITRF00 ditransformasi ke ITRF97, ITRF97 ke ITRF96, ITRF96 ke NAD83. 14-parameter hasil dari ketiga tahap tersebut dijumlahkan, sehingga diperoleh hasil akhir yaitu 14-parameter dari ITRF00 ke NAD83.</p>	<p>14-parameter hasil transformasi dari ITRF00 ke NAD83 diimplementasikan kedalam <i>software</i> yang dibuat oleh NGS yaitu HTDP (<i>horizontal time-dependent position</i>). <i>Software</i> tersebut gratis dan dapat diunduh di <i>website</i> NGS: http://www.ngs.noaa.gov dengan mengaktifkan <i>Geodetic Tool Kit</i> dan mengaktifkan HTDP. <i>Software</i> HTDP ini memungkinkan dapat digunakan untuk transformasi posisi koordinat dari satu kerangka referensi ke kerangka referensi lainnya dan/atau dari suatu epok ke epok lainnya.</p>
7	<p>Program aplikasi berbasis <i>Graphic User Interface</i> untuk transformasi datum tiga dimensi</p> <p>Penulis , (2013)</p>	<p>Sebelum program aplikasi yang dibuat dapat digunakan maka perlu dilakukan pengujian terhadap hasil hitungannya.</p> <p>Berapa kisaran perbedaan koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik dengan hasil ukuran?</p> <p>Berapa kisaran perbedaan koordinat titik uji ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi menggunakan parameter transformasi hasil hitungan dengan koordinat titik uji hasil pengukuran?</p>	<p>Program aplikasi yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kemudahan kepada berbagai pihak seperti kalangan praktisi (swasta/negeri), akademisi, dan lainnya untuk menghitung parameter transformasi antar datum geodetik tiga dimensi, dan menghitung transformasi koordinat kartesian tiga dimensi antar datum geodetik.</p>

Lanjutan Tabel I.1

No	Deskripsi	Permasalahan	Hasil
		Seberapa besar dan signifikankah perbedaan parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global?	Program aplikasi yang dibuat dapat digunakan untuk menghitung transformasi koordinat kartesian tiga dimensi (X, Y, Z) antar datum dengan parameter transformasinya dapat dipilih atau dimasukkan secara interaktif.

Berdasarkan Tabel I.1 dapat dikatakan bahwa perbandingan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya berbeda dalam hal hasil yang diperoleh. Penelitian ini menekankan pada pembuatan program aplikasi transformasi datum tiga dimensi berbasis GUI yang interaktif.

I.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

I.2.1. Tujuan penelitian

1. Menyediakan program aplikasi berbasis GUI interaktif, untuk menghitung parameter transformasi antar datum/kerangka acuan tiga dimensi, dan menghitung transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan tiga dimensi.
2. Melakukan pengujian terhadap program aplikasi berbasis GUI untuk transformasi datum tiga dimensi yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan terhadap hasil hitungannya, yaitu membandingkan parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global, menganalisis kisaran perbedaan koordinat dan *kecepatan* ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik dengan koordinat hasil pengukuran, menganalisis kisaran perbedaan koordinat titik uji ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan terhadap koordinat titik uji hasil pengukuran.

I.2.2. Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Program aplikasi yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kemudahan kepada berbagai pihak seperti kalangan praktisi (swasta/negeri), akademisi, dan lainnya untuk menghitung parameter transformasi antar datum tiga dimensi, dan menghitung transformasi koordinat kartesian tiga dimensi antar datum,
2. Program aplikasi yang dihasilkan dari penelitian ini juga dapat digunakan untuk menghitung transformasi koordinat kartesian tiga dimensi (X, Y, Z) antar datum dengan parameter transformasinya dapat dipilih atau dimasukkan secara interaktif. Kemudian koordinat hasil transformasi tersebut ditampilkan juga dalam koordinat geodetik (ϕ , λ , h) dengan elipsoid referensi WGS84.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Penelitian Terdahulu

Handoko, dkk., (2002), melakukan evaluasi model transformasi datum dari datum ID74 ke datum WGS84, sehingga diperoleh model yang paling optimum untuk transformasi dari datum ID74 ke WGS84. Model transformasi yang dievaluasi ada dua yaitu model transformasi similaritas 7 parameter (Bursa-Wolf) dan model transformasi 10 parameter (*Affinity transformation*). Titik sekutu yang digunakan berjumlah 35 titik. Hitungan dibagi dalam dua wilayah, menggunakan titik sekutu yang berjumlah 35 titik. Parameter yang dihasilkan dari tiap-tiap wilayah untuk masing-masing metode, digunakan untuk menghitung kembali koordinat dalam datum DGN95, kemudian dibandingkan dengan koordinat titik sekutu hasil pengukuran dalam datum DGN95. Penelitian ini menyimpulkan bahwa model transformasi 10 parameter (*Affinity transformation*) memberikan hasil yang lebih baik dari mode transformasi 7 parameter Bursa-Wolf. Penelitian ini juga merekomendasikan untuk dikaji lebih lanjut mengenai kinerja model transformasi 10 parameter dengan distribusi titik sekutu yang baik dan jumlah titik sekutu yang lebih banyak. Selain itu perlu juga dilakukan pembobotan terhadap data ukuran dari sistem ID74 dan DGN95.

Yuwono, dkk., (2010), melakukan kajian tentang aplikasi penentuan parameter transformasi lokal daerah Batu Hijau pada area tambang PT. Newmont di Nusa Tenggara. Penelitian ini melakukan evaluasi ketelitian yang dicapai dari empat metode transformasi koordinat yaitu: metode 2D Helmert, 2D Affine, 3D

Bursa-Wolf, 3D Molodensky Badekas. Data yang digunakan adalah titik sekutu berjumlah 10 titik hasil pengukuran dengan GPS dan hasil pengukuran poligon dengan *Total Station*. Data titik uji yang digunakan berjumlah 122 titik. Hasil hitungan menggunakan 10 titik sekutu dan 122 titik uji, disimpulkan bahwa keempat metode transformasi dapat diterima, tetapi yang menghasilkan ketelitian paling baik adalah metode Molodensky-Badekas. Disimpulkan juga untuk luasan area yang relatif sempit metode Molodensky Badekas 3D lebih sesuai dibandingkan Bursa-Wolf 3D. Penelitian ini juga menghasilkan program aplikasi untuk menghitung parameter transformasi datum.

Harvey, dkk., (1986), melakukan penelitian transformasi koordinat tiga dimensi. Data yang digunakan adalah koordinat kerangka kontrol dalam datum yang berbeda. Dua permasalahan yang ingin diselesaikan adalah mencari estimasi parameter transformasi yang paling akurat untuk menyatukan kerangka kontrol yang memiliki datum yang berbeda dan mencari kombinasi titik terbaik dari sistem-sistem yang berbeda tersebut. Metode transformasi yang digunakan adalah metode Bursa-Wolf, metode Molodensky-Badekas, dan metode *ellipsoidal*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas dapat diterapkan. Model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas memiliki perbedaan pada nilai translasinya. Metode transformasi *ellipsoidal* juga dapat diterapkan, terutama jika sumber daya komputer terbatas. Ketiga model transformasi menghasilkan koordinat transformasi dan matriks varian kovarian koordinat transformasi yang sama, jika diaplikasikan secara benar.

Permatahati, dkk., (2012), melakukan kajian transformasi koordinat pada peta lingkungan laut nasional dari datum ID74 ke WGS84 untuk keperluan penentuan batas wilayah laut provinsi Jawa Tengah dan Jawa Barat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis metode transformasi yang paling tepat untuk pemetaan batas wilayah laut provinsi, mengetahui data pengamatan optimal, dan koordinat batas wilayah laut dalam WGS84. Data titik sekutu dan titik uji yang digunakan bersumber dari Peta Lingkungan Laut Nasional, dan data hasil pengukuran dengan *GPS handheld*. Penghitungan parameter transformasi dilakukan dengan menggunakan metode transformasi Helmert (2D), Affine (2D), Lauf (2D), Bursa-Wolf (3D) dan Molodensky-Badekas (3D). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode Lauf adalah metode yang paling baik dilihat dari ketelitian geometrik dan dari hasil uji statistik *Chi-Squares*. Batas wilayah laut provinsi Jawa Tengah dan Barat ditentukan dengan prinsip *Equidistance Line* sejauh 12 mil laut.

Dawson, dkk., (2004), dalam publikasinya yang berjudul *International Terrestrial Reference Frame (ITRF) to GDA94 Coordinate Transformations*, menghitung parameter transformasi antara ITRF96, ITRF97, ITRF00, ITRF00(IGS) dengan GDA94. Model transformasi yang digunakan adalah model transformasi 14-parameter (3 translasi, 3 rotasi, dan perbedaan skala serta kecepatan dari ketujuh parameter tersebut), yang merupakan pengembangan model standar 7-parameter, dengan *respect* waktu dan menghilangkan orde kedua pada model persamaannya.

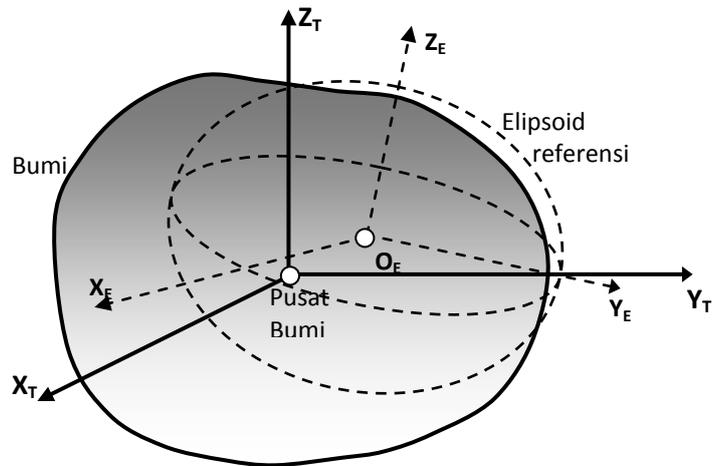
Soler, dkk., (2004), dalam publikasinya yang berjudul *Transforming Positions and Velocities between the International Terrestrial Reference Frame of 2000 and North American Datum of 1983*, melakukan transformasi koordinat dan kecepatan antara ITRF00 dan NAD83(CORS-96) dengan memanfaatkan data koordinat 12 stasiun VLBI untuk mendapatkan 14 parameter transformasi (3 translasi, 3 rotasi, dan perbedaan skala serta kecepatan dari ketujuh parameter tersebut). Model transformasi menggunakan model persamaan Helmert dengan menghilangkan bentuk orde kedua pada model persamaan.

II.2. Landasan Teori

II.2.1. Datum geodetik

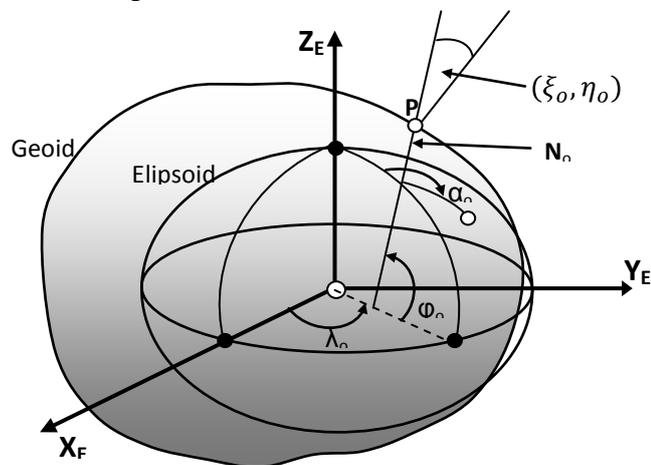
Datum geodetik adalah sejumlah parameter yang digunakan untuk mendefinisikan bentuk dan ukuran elipsoid referensi yang digunakan untuk pendefinisian koordinat geodetik, serta kedudukan dan orientasinya dalam ruang terhadap tubuh Bumi yang dalam hal ini direpresentasikan oleh sistem *Conventional Terrestrial System (CTS)*, (Abidin, 2001). Gambar II.1 terlihat bahwa terdapat 8 parameter dari suatu datum geodetik yaitu (Abidin, 2001):

1. Dua parameter yang mendefinisikan bentuk dan ukuran elipsoid referensi, yaitu setengah sumbu panjang (a) dan pengepengan (f),
2. Tiga parameter translasi, yaitu (X_o , Y_o , Z_o) yang mendefinisikan koordinat titik pusat elipsoid terhadap pusat Bumi, dan
3. 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.



Gambar II.1 Hubungan antara sistem CTS dengan elipsoid referensi, dalam pendefinisian datum geodetik (modifikasi dari Abidin, 2001)

Disamping pendefinisian terhadap suatu sistem yang geosentrik, datum geodetik juga dapat dinyatakan terhadap suatu sistem yang sifatnya toposentrik, seperti yang diilustrasikan pada Gambar II.2.



Gambar II.2 Contoh parameter datum geodetik (pendekatan toposentrik) (modifikasi dari Abidin, 2001)

Pendefinisian datum dengan pendekatan toposentrik ini, 8 parameter datum geodetiknya adalah (Abidin, 2001):

1. Dua parameter yang mendefinisikan bentuk dan ukuran elipsoid referensi, yaitu setengah sumbu panjang (a) dan penggepengan (f),

2. Tiga parameter translasi, dalam hal ini diwakili oleh dua parameter defleksi vertikal (ξ_o, η_o) dan undulasi geoid (N_o) di titik datum (P), dan
3. Tiga parameter rotasi, dalam hal ini diwakili oleh koordinat geodetik di titik datum (φ_o, λ_o) dan asimut geodetik dari titik datum ke suatu titik awal (α_o).

Dalam pendefinisian datum secara toposentrik, elipsoid referensi yang digunakan diimpitkan dan dibuat sejajar dengan geoid di titik datum, yaitu dengan mengadopsi hubungan seperti persamaan II.1 berikut:

$$N_o = \xi_o = \eta_o = 0 \quad (\text{II.1})$$

II.2.2. Transformasi antar datum

Prinsip transformasi antar datum adalah pengamatan pada titik-titik yang sama atau disebut titik sekutu. Titik-titik sekutu mewakili kerangka acuan 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, 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 acuan sebagai wakil dari satu datum (Widjajanti, 1992).

Posisi titik dalam suatu datum dapat dinyatakan terhadap datum lainnya, yaitu dengan suatu model matematika untuk mentransformasikan kedua datum tersebut. Salah satu model transformasi datum geodetik, yaitu transformasi dengan tetap mempertahankan bentuk, orientasi titik, dan garis yang

ditransformasikan, yang disebut transformasi konform (Laksmijarta, 1992). Parameter yang diperlukan pada transformasi konform adalah parameter translasi T_x, T_y, T_z yang merupakan besaran vektor untuk merubah posisi origin antar kedua datum, parameter rotasi $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ yang menentukan perubahan orientasi sumbu koordinat antar sistem kedua datum, dan parameter faktor skala (s) yang menentukan perubahan skala antar kedua datum. Persamaan II.2 merupakan persamaan umum transformasi datum.

$$\bar{X}I = \bar{T} + (1 + ds) \cdot R \cdot \bar{X}II \quad (II.2)$$

Dalam hal ini,

$\bar{X}I$: vektor posisi datum/sistem 1 (X_i^I, Y_i^I, Z_i^I)

$\bar{X}II$: vektor posisi datum/sistem 2 ($X_i^{II}, Y_i^{II}, Z_i^{II}$)

(s) : faktor skala yaitu ($1+ds$)

\bar{T} : vektor translasi (T_x, T_y, T_z)

R : matriks rotasi (R_x, R_y, R_z) terhadap tiga sumbu koordinat X,Y,Z

Dua model matematik standar yang sering digunakan untuk transformasi datum 7-parameter ($T_x, T_y, T_z, ds, R_x, R_y, R_z$) yaitu model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas. Model matematik Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas tidak memperhitungkan kecepatan masing-masing parameternya ($\dot{T}_x, \dot{T}_y, \dot{T}_z, \dot{ds}, \dot{R}_x, \dot{R}_y, \dot{R}_z$).

Model matematik transformasi datum tiga dimensi 14-parameter dapat menggunakan pendekatan model transformasi Helmert (Soler, 2004). Metode transformasi ini selain menghitung 7-parameter transformasi ($T_x, T_y, T_z, ds, R_x, R_y, R_z$) juga menghitung laju masing-masing 7-parameter transformasi tersebut

($\vec{T}_x, \vec{T}_y, \vec{T}_z, ds, R_x, R_y, R_z$). Model transformasi 14-parameter ini pada prinsipnya adalah transformasi datum kerangka acuan terestrial seperti ITRF, yang meliputi posisi origin, orientasi sumbu koordinat, dan skala, dikombinasikan dengan variasi posisi titik karena pengaruh gerak lempeng tektonik.

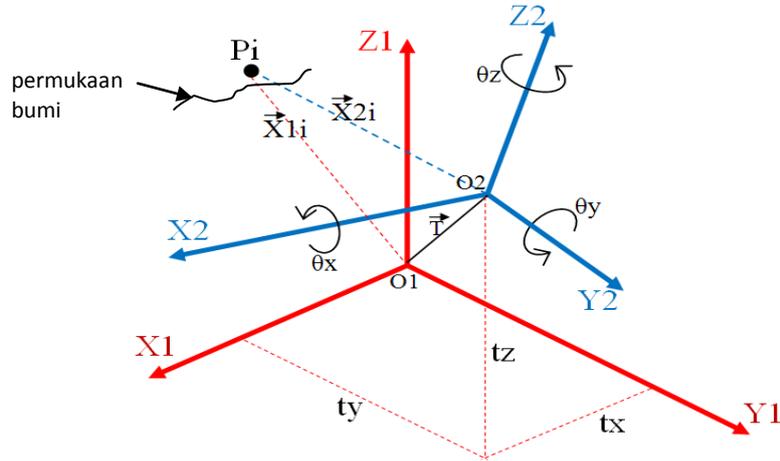
II.2.2.1 Transformasi datum dengan model Bursa-Wolf. Transformasi datum model Bursa-Wolf didasarkan atas beberapa asumsi. Pusat salib sumbu koordinat kedua sistem diasumsikan relatif berdekatan, berarti translasi kecil. Sumbu-sumbu koordinat antara kedua sistem diasumsikan sejajar, sehingga rotasi kedua sistem kecil (mengacu ke sumbu rotasi Bumi epok tertentu). Kedua sistem koordinat memiliki skala yang berlainan dengan perbedaan skala yang kecil. Pusat-pusat sistem koordinat dan sumbu-sumbu dari kedua sistem dihipitkan dengan unsur-unsur translasi dan rotasi. Koordinat dalam skala sistem yang kedua dapat dinyatakan dalam skala yang pertama dengan mengalikan faktor skala $(1+ds)$ terhadap koordinat sistem kedua (Gambar II.3). Model matematikanya dapat ditulis seperti persamaan II.3 berikut:

$$\vec{X}_{1i} = \vec{T} + (1 + ds) R_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} \vec{X}_{2i} \quad (II.3)$$

Dalam hal ini,

- \vec{T} : vektor translasi antara pusat sistem koordinat I dan II
- $(1+ds)$: faktor skala, dimana ds adalah perbedaan skala antara kedua sistem
- \vec{X}_{1i} : vektor posisi titik i pada sistem koordinat ke I (X_1, Y_1, Z_1)
- \vec{X}_{2i} : vektor posisi titik i pada sistem koordinat ke II (X_2, Y_2, Z_2)
- $R_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)}$: matriks rotasi, hasil perkalian matriks rotasi terhadap sumbu Z, sumbu Y, dan sumbu X

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta_y \cdot \cos\theta_z & \cos\theta_z \cdot \sin\theta_x \cdot \sin\theta_y + \cos\theta_x \cdot \sin\theta_z & \cos\theta_x \cdot \cos\theta_z \cdot \sin\theta_y + \sin\theta_x \cdot \sin\theta_z \\ -\sin\theta_z \cdot \cos\theta_y & -\sin\theta_x \cdot \sin\theta_y - \sin\theta_z + \cos\theta_x \cdot \cos\theta_z & \cos\theta_z \cdot \sin\theta_x + (-\sin\theta_y) \cdot (-\sin\theta_z) \cdot \cos\theta_x \\ \sin\theta_y & \cos\theta_y \cdot \sin\theta_x & \cos\theta_x \cdot \cos\theta_y \end{bmatrix} \quad (\text{II.4})$$



Gambar II.3. Transformasi datum model Bursa-Wolf (modifikasi dari R.E. Deakin, 2006)

Pada asumsi yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa antara kedua sistem koordinat membentuk sudut kecil, sehingga sudut rotasinya pun kecil. Dengan demikian maka untuk sudut-sudut rotasi kecil ($< 10''$), matriks rotasi dapat dituliskan sebagai persamaan II.5 berikut (Abidin, 2001):

$$R_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} = \begin{bmatrix} 1 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 1 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

dengan θ_x , θ_y , dan θ_z , dalam satuan radian.

atau

$$R_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} = I + K \quad (\text{II.6})$$

$$I + K = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix}$$

Bila persamaan (II.6) disubstitusikan ke dalam persamaan (II.3), dengan ds.K ≈ 0 , maka diperoleh persamaan II.7.

$$\vec{X}1_i = \vec{X}2_i + \vec{T} + K \vec{X}2_i + ds \vec{X}2_i \quad (\text{II.7})$$

Persamaan (II.7) merupakan model matematik yang dipakai untuk transformasi datum dengan model Bursa-Wolf.

II.2.2.2 Transformasi datum dengan model Molodensky-Badekas.

Model transformasi datum Molodensky-Badekas menggunakan asumsi yang sama dengan model Bursa-Wolf. Pusat-pusat sistem dan sumbu-sumbu koordinat dari kedua sistem dihipitkan dengan unsur-unsur translasi dan rotasi. Koordinat dalam skala sistem yang kedua dapat dinyatakan dalam skala sistem yang pertama dengan mengalikan faktor skala (ds) terhadap koordinat sistem yang kedua (Gambar II.4). Model Molodensky-Badekas menggunakan bantuan koordinat titik berat (X_o, Y_o, Z_o) dari titik-titik sekutu pada sistem koordinat yang kedua yaitu:

$$X_o = \sum_{i=1}^n \frac{X2_i}{n} \quad (\text{II.8})$$

$$Y_o = \sum_{i=1}^n \frac{Y2_i}{n} \quad (\text{II.9})$$

$$Z_o = \sum_{i=1}^n \frac{Z2_i}{n} \quad (\text{II.10})$$

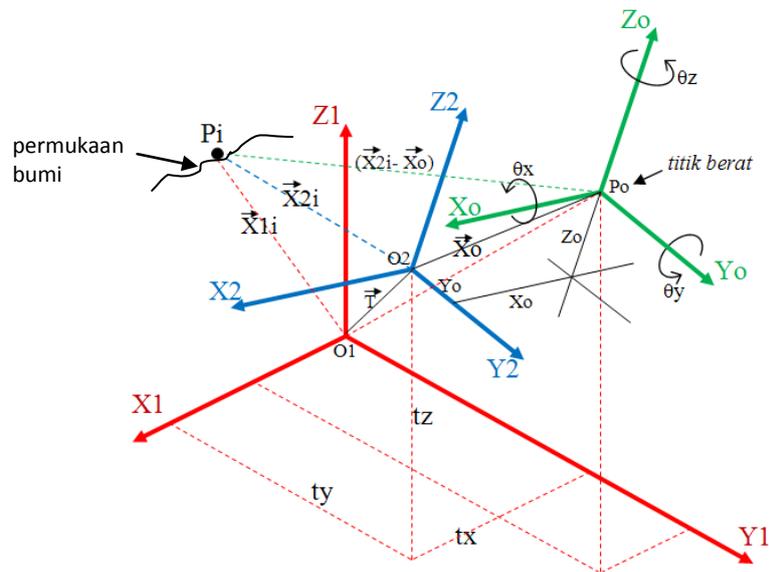
Matriks rotasi pada model Molodensky-Badekas sama dengan matriks rotasi pada model Bursa-Wolf. Model matematik Molodensky-Badekas dapat ditulis sebagai persamaan II.11 berikut:

$$\vec{X}1_i = \vec{T} + \vec{X}o + (1 + ds) R_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} (\vec{X}2_i - \vec{X}o) \quad (\text{II.11})$$

atau

dengan $R_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} = I + K$, serta $ds \ll 1$, maka persamaan II.11 menjadi persamaan II.12 berikut:

$$\vec{X}1_i = \vec{T} + \vec{X}2_i + K(\vec{X}2_i - \vec{X}o) + ds(\vec{X}2_i - \vec{X}o) \quad (\text{II.12})$$



Gambar II.4. Transformasi datum model Molodensky-Badekas (modifikasi dari R.E. Deakin, 2006)

II.2.2.3 Transformasi datum 14-parameter. Transformasi datum 14-parameter dapat diaplikasikan untuk transformasi koordinat dari suatu titik pada datum/kerangka acuan global pada waktu t ke datum/kerangka acuan 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, 2004). Koordinat pada kerangka acuan yy pada epok t_{oy} akan ditransformasikan ke kerangka acuan xx pada epok t_{ox} menggunakan transformasi Helmert. Transformasi Helmert 14-parameter menggunakan pendekatan model matematik (yang telah menghilangkan bentuk orde dua) sebagai persamaan II.13 untuk

mendapatkan parameter $T_x, T_y, T_z, ds, R_x, R_y, R_z$, dan persamaan II.14 untuk mendapatkan kecepatan masing masing parameter tersebut (Soler, 2004).

$$\vec{X}(t_{ox})_{xx} = T + ds.\vec{X}(t_{oy})_{yy} + K.\vec{X}(t_{oy})_{yy} + \vec{X}(t_{oy})_{yy} \quad (II.13)$$

$$\dot{\vec{X}}(t_{ox})_{xx} = \dot{T} + \dot{ds}.\vec{X}(t_{oy})_{yy} + \dot{K}.\vec{X}(t_{oy})_{yy} + \dot{\vec{X}}(t_{oy})_{yy} \quad (II.14)$$

Dalam hal ini,

$\vec{T}, \dot{\vec{T}}$: vektor translasi dan kecepatannya antara pusat sistem kerangka acuan xx dan yy

$(1 + ds), \dot{ds}$: faktor skala dan kecepatannya, dimana ds adalah perbedaan skala antara kedua sistem xx dan yy

$\vec{X}(t_{ox})_{xx}, \dot{\vec{X}}(t_{ox})_{xx}$: vektor posisi dan kecepatan kerangka acuan xx
 $(X_{xx}, Y_{xx}, Z_{xx}, \dot{X}_{xx}, \dot{Y}_{xx}, \dot{Z}_{xx})$

$\vec{X}(t_{oy})_{yy}, \dot{\vec{X}}(t_{oy})_{yy}$: vektor posisi dan kecepatan kerangka acuan yy
 $(X_{yy}, Y_{yy}, Z_{yy}, \dot{X}_{yy}, \dot{Y}_{yy}, \dot{Z}_{yy})$

$K_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)}, \dot{K}_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)}$: matriks rotasi dan kecepatannya

t_{ox} : epok referensi koordinat kerangka acuan xx dalam satuan tahun

t_{oy} : epok referensi koordinat kerangka acuan yy dalam satuan tahun

Persamaan II.3 dan II.4 diasumsikan bahwa antara kedua sistem koordinat membentuk sudut kecil ($< 10''$), sehingga sudut rotasinya pun kecil (Abidin, 2001). Dengan demikian maka untuk sudut-sudut rotasi kecil ($< 10''$), matriks rotasi dan kecepatannya masing-masing dapat dituliskan sebagai persamaan II.15 dan II.16 berikut:

$$K_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} = \begin{bmatrix} 0 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \quad (II.15)$$

$$\dot{K}_{(\theta_x, \theta_y, \theta_z)} = \begin{bmatrix} 0 & \dot{\theta}_z & -\dot{\theta}_y \\ -\dot{\theta}_z & 0 & \dot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_y & -\dot{\theta}_x & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.16})$$

Model matematik untuk transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan menggunakan 14-parameter transformasi pada suatu kerangka acuan yy epok t_{oy} ke kerangka acuan xx epok t dapat dirumuskan sebagai persamaan II.17.

$$\vec{X}(t)_{xx} = \bar{T} + ds \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + K \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \left[\bar{T} + ds \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \dot{K} \cdot \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \vec{X}(t_{oy})_{yy} \right] (t - t_{ox}) \quad (\text{II.17})$$

Sedangkan untuk transformasi koordinat kerangka acuan yy dari epok pengukuran (t) ke epok acuan (t_{oy}) dapat dirumuskan sebagai persamaan II.18 berikut:

$$\vec{X}(t)_{yy} = \vec{X}(t_{oy})_{yy} + \vec{X}(t_{oy})_{yy} (t - t_{oy}) \quad (\text{II.18})$$

Dalam hal ini,

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

II.2.3. Hitung kuadrat terkecil (HKT)

Besaran dari hasil pengukuran supaya dapat memenuhi syarat geometris harus diberikan nilai koreksi pada hasil pengukuran tersebut, maksudnya kesalahan dari pengukuran harus diratakan dengan hitung perataan.

Penyelesaian hitung perataan sampai sekarang dianggap paling sering digunakan adalah hitung kuadrat terkecil, yaitu suatu prinsip hitungan yang mempunyai tujuan meminimumkan residu pengamatan dan residu parameter sedemikian rupa sehingga kuadrat residu menjadi minimum (Mikhail, 1981).

Ada tiga cara hitung perataan dengan kuadrat terkecil yaitu cara parameter, cara kondisi, dan cara kombinasi. Ketiga cara tersebut mempunyai kelebihan dan kelemahan. Cara parameter proses hitungannya lebih sulit dan lama karena ukuran matriknya yang besar tetapi saat ini dapat diatasi dengan bantuan komputer yang makin canggih. Kelebihan cara parameter untuk menentukan model matematikanya lebih mudah dan luwes. Cara kondisi untuk model matematik yang kompleks sulit menentukan model geometrisnya, namun ukuran matriknya lebih kecil dibanding cara parameter. Cara kombinasi lebih mudah digunakan untuk suatu penyelesaian yang pengukurannya masih mengandung kesalahan dan parameter yang dicari merupakan fungsi pengukuran tersebut.

II.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 II.19 s.d II.24 berikut:

$$AX + BV + W = 0 \quad (\text{II.19})$$

$$X = - (A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1} (A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} W) \quad (\text{II.20})$$

$$V = - P^{-1} B^T (BP^{-1} B^T)^{-1} (AX + W) \quad (\text{II.21})$$

$$\Sigma_x = \hat{\sigma}_o^2 (A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1} \quad (\text{II.22})$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T P V}{n-u} \quad (\text{II.23})$$

$$\Sigma_v = \hat{\sigma}_o^2 \{ P^{-1} B^T (BP^{-1} B^T)^{-1} (BQ - A(A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1} A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} BQ) \} \quad (\text{II.24})$$

Dalam hal ini,

- n : jumlah pengukuran
- u : jumlah parameter yang dicari
- X : matriks parameter
- A : matriks koefisien parameter
- V : matriks residu pengukuran
- B : matriks koefisien residu
- W : matriks pengukuran
- P : matriks bobot pengukuran
- Q : matriks kofaktor pengukuran
- $\hat{\sigma}_o^2$: varian aposteori
- Σ_x : varian kovarian parameter
- Σ_v : varian kovarian residu

II.2.5. Penyelesaian model matematik Bursa-Wolf

Model matematik Bursa-Wolf dapat dilihat pada persamaan II.7. Koordinat kedua datum merupakan hasil pengukuran, maka koordinat kedua datum dianggap stokastik, sehingga mempunyai kesalahan. Persamaan II.7 dapat ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai persamaan II.25 dan II.26 berikut:

$$\vec{F}_i = (\vec{X}_{2_i} + \vec{V}\vec{X}_{2_i}) + \vec{T} + K \vec{X}_{2_i} + ds \vec{X}_{2_i} - (\vec{X}_{1_i} + \vec{V}\vec{X}_{1_i}) = 0 \quad (\text{II.25})$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} X2 + Vx2 \\ Y2 + Vy2 \\ Z2 + Vz2 \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} 0 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} ds.X2 \\ ds.Y2 \\ ds.Z2 \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} X1 + Vx2 \\ Y1 + Vy2 \\ Z1 + Vz2 \end{bmatrix}_i = 0 \quad (\text{II.26})$$

Persamaan pengamatan (II.26) dapat ditulis dalam bentuk persamaan HKT metode kombinasi sebagai persamaan II.27 berikut:

$${}_{3n}A_7 X_1 + {}_{3n}B_{6n} V_1 + {}_{3n}W_1 = 0 \quad (\text{II.27})$$

Matriks A, B, W dan vektor X, dan V dapat disusun sebagai persamaan II.28 s.d II.37 berikut:

$$\text{Matriks } {}_{3n}A_7 = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{xi}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{yi}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{zi}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial \theta_z} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_{xn}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{yn}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{zn}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial \theta_z} \end{bmatrix} \quad (\text{II.28})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}A_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X2_i & 0 & -Z2_i & Y2_i \\ 0 & 1 & 0 & Y2_i & Z2_i & 0 & -X2_i \\ 0 & 0 & 1 & Z2_i & -Y2_i & X2_i & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & X2_n & 0 & -Z2_n & Y2_n \\ 0 & 1 & 0 & Y2_n & Z2_n & 0 & -X2_n \\ 0 & 0 & 1 & Z2_n & -Y2_n & X2_n & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.29})$$

$$\text{Vektor } {}_7X_1 = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ ds \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II.30})$$

Matriks ${}_{3n}B_{6n} =$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{x2i}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{y2i}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{z2i}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{x1i}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{y1i}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{z1i}} & \dots & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{x2i}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{y2i}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{z2i}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{x1i}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{y1i}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{z1i}} & \dots & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{x2i}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{y2i}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{z2i}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{x1i}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{y1i}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{z1i}} & \dots & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial V_{z1n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x2i}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y2i}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z2i}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x1i}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y1i}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z1i}} & \dots & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x2i}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y2i}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z2i}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x1i}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y1i}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z1i}} & \dots & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x2i}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y2i}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z2i}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x1i}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y1i}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z1i}} & \dots & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z1n}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.31})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}B_{6n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.32})$$

$$\text{Vektor } {}_{6n}V_1 = \begin{bmatrix} V_{x2i} \\ V_{y2i} \\ V_{z2i} \\ V_{x1i} \\ V_{y1i} \\ V_{z1i} \\ V_{x2n} \\ V_{y2n} \\ V_{z2n} \\ V_{x1n} \\ V_{y1n} \\ V_{z1n} \end{bmatrix} \quad (\text{II.33})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}W_1 = \begin{bmatrix} X_{2i} - X_{1i} \\ Y_{2i} - Y_{1i} \\ Z_{2i} - Z_{1i} \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{2n} - X_{1n} \\ Y_{2n} - Y_{1n} \\ Z_{2n} - Z_{1n} \end{bmatrix} \quad (\text{II.34})$$

$$\text{Matriks Bobot } P = \sigma_o^2 \begin{bmatrix} Q_{i1i1}^{-1} & 0 \\ 0 & Q_{i2i2}^{-1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.35})$$

$$\text{Matriks } Q_{\bar{n}\bar{n}}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{x1_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{y1_1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_{z1_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{x1_n} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{y1_n} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{z1_n} \end{bmatrix} \quad (\text{II.36})$$

$$\text{Matriks } Q_{i2i2}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{x2_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{y2_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_{z2_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{x2_n}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{y2_n}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{z2_n}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.37})$$

Dalam hal ini,

- i : nomor titik sekutu ke (1,2,3, ... n)
- n : jumlah titik sekutu
- $(X1_i, Y1_i, Z1_i)$: koordinat sistem I titik ke-i
- $(X2_i, Y2_i, Z2_i)$: koordinat sistem II titik ke-i
- $(Vx1_i, Vy1_i, Vz1_i)$: residua koordinat sistem I titik ke-i
- $(Vx2_i, Vy2_i, Vz2_i)$: residua koordinat sistem II titik ke-i
- $\sigma_{x1_i}^2, \sigma_{y1_i}^2, \sigma_{z1_i}^2$: varian koordinat sistem I
- $\sigma_{x2_i}^2, \sigma_{y2_i}^2, \sigma_{z2_i}^2$: varian koordinat sistem II
- σ_o^2 : varian apriori
- Q : matriks kofaktor pengukuran

Persamaan pengamatan diselesaikan dengan rumus (II.20) dan (II.21) untuk mencari nilai parameter transformasi dan nilai residu pengamatan.

II.2.6. Penyelesaian model matematik Molodensky-Badekas

Model matematik Molodensky-Badekas seperti yang tertulis pada persamaan (II.12), untuk menyelesaikan parameter transformasi, kedua sistem datum dianggap stokastik karena kedua sistem merupakan hasil pengukuran,

sehingga mempunyai kesalahan. Persamaan (II.12) dapat ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai persamaan II.38 dan II.39 berikut:

$$\vec{F}_i = \vec{T} + (\vec{X}2_i + \overline{V}\vec{X}2_i) + K(\vec{X}2_i - \vec{X}o) + ds(\vec{X}2_i - \vec{X}o) - (\vec{X}1_i + \overline{V}\vec{X}1_i) = 0 \quad (\text{II.38})$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} X2 + Vx2 \\ Y2 + Vy2 \\ Z2 + Vz2 \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} 0 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X2 - X_o \\ Y2 - Y_o \\ Z2 - Z_o \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} ds.(X2 - X_o) \\ ds.(Y2 - Y_o) \\ ds.(Z2 - Z_o) \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} X1 + Vx2 \\ Y1 + Vy2 \\ Z1 + Vz2 \end{bmatrix}_i = 0 \quad (\text{II.39})$$

Persamaan pengamatan (II.39) dapat ditulis dalam bentuk persamaan HKT metode kombinasi sebagai persamaan II.40 berikut:

$${}_{3n}A_7 X_1 + {}_{3n}B_{6n} V_1 + {}_{3n}W_1 = 0 \quad (\text{II.40})$$

Matriks A, B, W dan vektor X, dan V dapat disusun sebagai persamaan II.41 s.d II.50 berikut:

$$\text{Matriks } {}_{3n}A_7 = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{xi}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{xi}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{yi}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{yi}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{zi}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{zi}}{\partial \theta_z} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_{xn}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{yn}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial \theta_z} \\ \frac{\partial F_{zn}}{\partial T_x} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial T_y} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial T_z} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial ds} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial \theta_x} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial \theta_y} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial \theta_z} \end{bmatrix} \quad (\text{II.41})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}A_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & (X2_i - X_o) & 0 & -(Z2_i - Z_o) & (Y2_i - Y_o) \\ 0 & 1 & 0 & (Y2_i - Y_o) & (Z2_i - Z_o) & 0 & -(X2_i - X_o) \\ 0 & 0 & 1 & (Z2_i - Z_o) & -(Y2_i - Y_o) & (X2_i - X_o) & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & (X2_n - X_o) & 0 & -(Z2_n - Z_o) & (Y2_n - Y_o) \\ 0 & 1 & 0 & (Y2_n - Y_o) & (Z2_n - Z_o) & 0 & -(X2_n - X_o) \\ 0 & 0 & 1 & (Z2_n - Z_o) & -(Y2_n - Y_o) & (X2_n - X_o) & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{II.42})$$

$$\text{Vektor } {}_7X_1 = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \\ ds \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} \quad (\text{II.43})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}B_{6n} = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{x1}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{y1}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{z1}}{\partial V_{z1n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{xn}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{yn}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial F_{zn}}{\partial V_{z1n}} \\ \frac{\partial V_{x21}}{\partial V_{x21}} & \frac{\partial V_{y21}}{\partial V_{y21}} & \frac{\partial V_{z21}}{\partial V_{z21}} & \frac{\partial V_{x11}}{\partial V_{x11}} & \frac{\partial V_{y11}}{\partial V_{y11}} & \frac{\partial V_{z11}}{\partial V_{z11}} & \dots & \frac{\partial V_{x2n}}{\partial V_{x2n}} & \frac{\partial V_{y2n}}{\partial V_{y2n}} & \frac{\partial V_{z2n}}{\partial V_{z2n}} & \frac{\partial V_{x1n}}{\partial V_{x1n}} & \frac{\partial V_{y1n}}{\partial V_{y1n}} & \frac{\partial V_{z1n}}{\partial V_{z1n}} \end{bmatrix} \quad (\text{II.44})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}B_{6n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.45})$$

$$\text{Vektor } {}_{6n}V_1^T = [V_{x2i} \ V_{y2i} \ V_{z2i} \ V_{x1i} \ V_{y1i} \ V_{z1i} \ \dots \ V_{x2n} \ V_{y2n} \ V_{z2n} \ V_{x1n} \ V_{y1n} \ V_{z1n}] \quad (\text{II.46})$$

$$\text{Matriks } {}_{3n}W_1 = \begin{bmatrix} X2_i - X1_i \\ Y2_i - Y1_i \\ Z2_i - Z1_i \\ \vdots \\ X2_n - X1_n \\ Y2_n - Y1_n \\ Z2_n - Z1_n \end{bmatrix} \quad (\text{II.47})$$

$$\text{Matriks Bobot } P = \sigma_o^2 \begin{bmatrix} Q_{i1i1}^{-1} & 0 \\ 0 & Q_{i2i2}^{-1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.48})$$

$$\text{Matriks } Q_{i1i1}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{x1_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{y1_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_{z1_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{x1_n}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{y1_n}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{z1_n}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.49})$$

$$\text{Matriks } Q_{i2i2}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{x2_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{y2_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_{z2_1}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{x2_n}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{y2_n}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sigma_{z2_n}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.50})$$

Dalam hal ini,

- i : nomor titik sekutu ke (1,2,3, ... n)
- n : jumlah titik sekutu
- $(X1_i, Y1_i, Z1_i)$: koordinat sistem I titik ke-i
- $(X2_i, Y2_i, Z2_i)$: koordinat sistem II titik ke-i
- $(Vx1_i, Vy1_i, Vz1_i)$: residua koordinat sistem I titik ke-i
- $(Vx2_i, Vy2_i, Vz2_i)$: residua koordinat sistem II titik ke-i
- (Xo, Yo, Zo) : koordinat titik berat sistem II
- $\sigma_{x1i}^2, \sigma_{y1i}^2, \sigma_{z1i}^2$: varian koordinat sistem I titik ke-i
- $\sigma_{x2i}^2, \sigma_{y2i}^2, \sigma_{z2i}^2$: varian koordinat sistem II titik ke-i
- σ_o^2 : varian apriori
- $Q_{i1,i1}, Q_{i2,i2}$: matriks kofaktor pengukuran sistem I dan sistem II

Persamaan pengamatan diselesaikan dengan rumus (II.20) dan (II.21) untuk mencari nilai parameter transformasi dan nilai residua pengamatan.

II.2.7. Penyelesaian model matematik 14-parameter

Transformasi datum 14-parameter menggunakan model Helmert dengan pendekatan model matematik seperti persamaan II.13 dan II.14, untuk penyelesaian parameter transformasi, koordinat kedua datum dianggap stokastik

karena keduanya merupakan hasil pengukuran, sehingga mempunyai kesalahan.

Persamaan II.13 dan II.14 dapat ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai persamaan II.51 s.d II.54 berikut:

$$FX_i = \vec{T} + (\vec{X}(t_{oy})_{yy} + \overline{VX}(t_{oy})_{yy}) + K \vec{X}(t_{oy})_{yy} + ds \vec{X}(t_{oy})_{yy} - (\vec{X}(t_{ox})_{xx} + \overline{VX}(t_{ox})_{xx}) = 0 \quad (II.51)$$

$$F\dot{X}_i = \vec{\dot{T}} + (\vec{\dot{X}}(t_{oy})_{yy} + \overline{V\dot{X}}(t_{oy})_{yy}) + \dot{K} \vec{X}(t_{oy})_{yy} + ds \vec{X}(t_{oy})_{yy} - (\vec{\dot{X}}(t_{ox})_{xx} + \overline{V\dot{X}}(t_{ox})_{xx}) = 0 \quad (II.52)$$

Atau,

$$\begin{bmatrix} FX \\ FY \\ FZ \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} X(t_{oy})_{yy} + VX(t_{oy})_{yy} \\ Y(t_{oy})_{yy} + VY(t_{oy})_{yy} \\ Z(t_{oy})_{yy} + VZ(t_{oy})_{yy} \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} 0 & \theta_z & -\theta_y \\ -\theta_z & 0 & \theta_x \\ \theta_y & -\theta_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(t_{oy})_{yy} \\ Y(t_{oy})_{yy} \\ Z(t_{oy})_{yy} \end{bmatrix}_i + ds \begin{bmatrix} X(t_{oy})_{yy} \\ Y(t_{oy})_{yy} \\ Z(t_{oy})_{yy} \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} X(t_{ox})_{xx} + VX(t_{ox})_{xx} \\ Y(t_{ox})_{xx} + VY(t_{ox})_{xx} \\ Z(t_{ox})_{xx} + VZ(t_{ox})_{xx} \end{bmatrix}_i = 0 \quad (II.53)$$

$$\begin{bmatrix} F\dot{X} \\ F\dot{Y} \\ F\dot{Z} \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} \dot{T}_x \\ \dot{T}_y \\ \dot{T}_z \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} \dot{X}(t_{oy})_{yy} + V\dot{X}(t_{oy})_{yy} \\ \dot{Y}(t_{oy})_{yy} + V\dot{Y}(t_{oy})_{yy} \\ \dot{Z}(t_{oy})_{yy} + V\dot{Z}(t_{oy})_{yy} \end{bmatrix}_i + \begin{bmatrix} 0 & \dot{\theta}_z & -\dot{\theta}_y \\ -\dot{\theta}_z & 0 & \dot{\theta}_x \\ \dot{\theta}_y & -\dot{\theta}_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X(t_{oy})_{yy} \\ Y(t_{oy})_{yy} \\ Z(t_{oy})_{yy} \end{bmatrix}_i + ds \begin{bmatrix} X(t_{oy})_{yy} \\ Y(t_{oy})_{yy} \\ Z(t_{oy})_{yy} \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} \dot{X}(t_{ox})_{xx} + V\dot{X}(t_{ox})_{xx} \\ \dot{Y}(t_{ox})_{xx} + V\dot{Y}(t_{ox})_{xx} \\ \dot{Z}(t_{ox})_{xx} + V\dot{Z}(t_{ox})_{xx} \end{bmatrix}_i = 0 \quad (II.54)$$

Persamaan pengamatan II.53 dan II.54 dapat ditulis dalam bentuk persamaan

HKT metode kombinasi sebagai persamaan II.55 berikut:

$${}_{6n}A_{14}X_1 + {}_{6n}B_{12n}V_1 + {}_{6n}W_1 = 0 \quad (II.55)$$

Matriks A, B, W dan vektor X, dan V dapat disusun sebagai persamaan II.56 s.d

II.65 berikut:

$$\text{Vektor } {}_1X_{14}^T = [Tx \ Ty \ Tz \ ds \ \theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \dot{T}x \ \dot{T}y \ \dot{T}z \ \dot{d}s \ \dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dot{\theta}_3] \quad (\text{II.57})$$

$$\text{Matriks } {}_{6n}B_{12n} = \begin{bmatrix} B1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Bn \end{bmatrix} \quad (\text{II.58})$$

$$\text{Matriks } {}_6B_{12} =$$

$\frac{\partial FX_i}{\partial VX(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial VY(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial VZ(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial VX(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial VY(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial VZ(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial V\dot{X}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial V\dot{Y}(t_{oy})_{yy}}$
$\frac{\partial FY_i}{\partial VX(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial VY(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial VZ(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial VX(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial VY(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial VZ(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial V\dot{X}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial V\dot{Y}(t_{oy})_{yy}}$
$\frac{\partial FZ_i}{\partial VX(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial VY(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial VZ(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial VX(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial VY(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial VZ(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial V\dot{X}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial V\dot{Y}(t_{oy})_{yy}}$
$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial VX(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial VY(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial VZ(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial VX(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial VY(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial VZ(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial V\dot{X}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial V\dot{Y}(t_{oy})_{yy}}$
$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial VX(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial VY(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial VZ(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial VX(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial VY(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial VZ(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial V\dot{X}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial V\dot{Y}(t_{oy})_{yy}}$
$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial VX(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial VY(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial VZ(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial VX(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial VY(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial VZ(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial V\dot{X}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial V\dot{Y}(t_{oy})_{yy}}$

$\frac{\partial FX_i}{\partial V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FX_i}{\partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}}$
$\frac{\partial FY_i}{\partial V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FY_i}{\partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}}$
$\frac{\partial FZ_i}{\partial V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial FZ_i}{\partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}}$
$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{X}_i}{\partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}}$
$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Y}_i}{\partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}}$
$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx}}$	$\frac{\partial F\dot{Z}_i}{\partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}}$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (\text{II.59})$$

$$\text{Vektor } {}_1V_{12n}^T = [VX(t_{oy})_{yy} \ VY(t_{oy})_{yy} \ VZ(t_{oy})_{yy} \ \partial VX(t_{ox})_{xx} \ \partial VY(t_{ox})_{xx} \ \partial VZ(t_{ox})_{xx} \ V\dot{X}(t_{oy})_{yy} \ V\dot{Y}(t_{oy})_{yy} \ V\dot{Z}(t_{oy})_{yy} \ \partial V\dot{X}(t_{ox})_{xx} \ \partial V\dot{Y}(t_{ox})_{xx} \ \partial V\dot{Z}(t_{ox})_{xx}] \quad (\text{II.60})$$

$$\text{Matriks } {}_{6n}W_1 = \begin{bmatrix} [X(t_{oy})_{yy}]_i - [X(t_{ox})_{xx}]_i \\ [Y(t_{oy})_{yy}]_i - [Y(t_{ox})_{xx}]_i \\ [Z(t_{oy})_{yy}]_i - [Z(t_{ox})_{xx}]_i \\ [\dot{X}(t_{oy})_{yy}]_i - [\dot{X}(t_{ox})_{xx}]_i \\ [\dot{Y}(t_{oy})_{yy}]_i - [\dot{Y}(t_{ox})_{xx}]_i \\ [\dot{Z}(t_{oy})_{yy}]_i - [\dot{Z}(t_{ox})_{xx}]_i \\ \vdots \\ [X(t_{oy})_{yy}]_n - [X(t_{ox})_{xx}]_n \\ [Y(t_{oy})_{yy}]_n - [Y(t_{ox})_{xx}]_n \\ [Z(t_{oy})_{yy}]_n - [Z(t_{ox})_{xx}]_n \\ [\dot{X}(t_{oy})_{yy}]_n - [\dot{X}(t_{ox})_{xx}]_n \\ [\dot{Y}(t_{oy})_{yy}]_n - [\dot{Y}(t_{ox})_{xx}]_n \\ [\dot{Z}(t_{oy})_{yy}]_n - [\dot{Z}(t_{ox})_{xx}]_n \end{bmatrix} \quad (\text{II.61})$$

$$\text{Matriks } {}_{12n}P_{12n} = \sigma_o^2 \begin{bmatrix} Q_{yy}^{-1} & 0 \\ 0 & Q_{xx}^{-1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.62})$$

$${}_{6n}Q_{yy}^{-1} {}_{6n} = \begin{bmatrix} 1/[\sigma x^2]_i^{YY} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/[\sigma y^2]_i^{YY} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/[\sigma z^2]_i^{YY} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{x}^2]_i^{YY} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{y}^2]_i^{YY} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{z}^2]_i^{YY} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{z}^2]_n^{YY} \end{bmatrix} \quad (\text{II.63})$$

$${}_{6n}Q_{xx}^{-1}{}_{6n} = \begin{bmatrix} 1/[\sigma x^2]_i^{xx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/[\sigma y^2]_i^{xx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/[\sigma z^2]_i^{xx} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{x}^2]_i^{xx} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{y}^2]_i^{xx} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{z}^2]_i^{xx} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/[\sigma \dot{z}^2]_n^{xx} \end{bmatrix} \quad (\text{II.64})$$

Dalam hal ini,

i : nomor titik sekutu ke (1,2,3, ... n)

n : jumlah titik sekutu

$(X(t_{oy})_{yy}, Y(t_{oy})_{yy}, Z(t_{oy})_{yy})$: koordinat kerangka acuan yy

$(X(t_{oy})_{xx}, Y(t_{oy})_{xx}, Z(t_{oy})_{xx})$: koordinat kerangka acuan xx

$(\dot{X}(t_{oy})_{yy}, \dot{Y}(t_{oy})_{yy}, \dot{Z}(t_{oy})_{yy})$: kecepatan kerangka acuan yy

$(\dot{X}(t_{oy})_{xx}, \dot{Y}(t_{oy})_{xx}, \dot{Z}(t_{oy})_{xx})$: kecepatan kerangka acuan xx

$VX(t_{oy})_{yy} \quad VY(t_{oy})_{yy} \quad VZ(t_{oy})_{yy}$: residu koordinat kerangka acuan yy

$VX(t_{oy})_{xx} \quad VY(t_{oy})_{xx} \quad VZ(t_{oy})_{xx}$: kooreksi koordinat sistem II titik ke-i

$V\dot{X}(t_{oy})_{yy} \quad V\dot{Y}(t_{oy})_{yy} \quad V\dot{Z}(t_{oy})_{yy}$: residu kecepatan kerangka acuan yy

$V\dot{X}(t_{oy})_{xx} \quad V\dot{Y}(t_{oy})_{xx} \quad V\dot{Z}(t_{oy})_{xx}$: residu kecepatan kerangka acuan xx

t_{oy} : epok acuan kerangka acuan yy dalam satuan tahun

t_{ox} : epok acuan kerangka acuan xx dalam satuan tahun

$[\sigma x^2]_i^{yy}, [\sigma y^2]_i^{yy}, [\sigma z^2]_i^{yy}$: varian koordinat kerangka acuan yy ke-i

$[\sigma x^2]_i^{xx}, [\sigma y^2]_i^{xx}, [\sigma z^2]_i^{xx}$: varian koordinat kerangka acuan xx ke-i

$[\sigma x^2]_i^{YY}, [\sigma y^2]_i^{YY}, [\sigma z^2]_i^{YY}$: varian kecepatan kerangka acuan yy ke-i
$[\sigma x^2]_i^{xx}, [\sigma y^2]_i^{xx}, [\sigma z^2]_i^{xx}$: varian kecepatan kerangka acuan xx ke-i
σ_o^2	: varian apriori
Q_{yy}, Q_{xx}	: matriks kofaktor pengukuran kerangka acuan yy dan xx

Persamaan pengamatan diselesaikan dengan rumus (II.20) dan (II.21) untuk mencari nilai parameter transformasi dan nilai residu pengamatan.

II.2.8. Bobot Pengukuran

Bobot suatu pengukuran adalah ukuran nilai relatif dari nilai pengukuran terhadap nilai pengukuran lainnya (Ghilani, 2010). Bobot digunakan untuk mengontrol besar koreksi yang dipakai untuk pengukuran dalam hitung perataan. Bobot merupakan invers dari varian pengukuran, makin presisi sebuah pengukuran makin besar bobotnya, dengan kata lain lebih kecil nilai variannya, maka makin besar bobotnya (Ghilani, 2010). Dalam bentuk matriks, bobot dapat dinyatakan dalam persamaan II.65 berikut:

$$P = Q^{-1} = \sigma_o^2 \Sigma^{-1} \quad (II.65)$$

Dalam hal ini,

- P : matriks bobot pengukuran
- σ_o^2 : apriori varian persatuan bobot
- Σ : matriks varian-kovarian pengukuran
- Q^{-1} : matriks kofaktor pengukuran

Untuk pengukuran yang tidak mempunyai korelasi, nilai kovariannya $(\sigma_{x_i, x_j}) = 0$ dan matriks varian-kovariannya (Σ) adalah matriks diagonal dengan elemen matriksnya σ_i^2 (varian pengukuran ke i sampai n pengukuran). Matriks bobot

untuk pengukuran yang tidak mempunyai korelasi dapat dinyatakan sebagai persamaan II.66 berikut:

$$P = \begin{bmatrix} \frac{\sigma_o^2}{\sigma_{x1}^2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{\sigma_o^2}{\sigma_{x2}^2} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \frac{\sigma_o^2}{\sigma_{xn}^2} \end{bmatrix} = \sigma_o^2 \Sigma^{-1} \quad (\text{II.66})$$

Untuk kasus HKT transformasi datum tiga dimensi dengan metode kombinasi matriks bobot dapat dinyatakan dalam persamaan II.67 s.d II.69 berikut:

$$P = \sigma_o^2 \begin{bmatrix} Q_{i2,i2}^{-1} & 0 \\ 0 & Q_{i1,i1}^{-1} \end{bmatrix} \quad (\text{II.67})$$

Dalam hal ini,

$Q_{i1,i1}^{-1}$: matriks kofaktor koordinat datum I, dimensinya (3n x 3n)

$Q_{i2,i2}^{-1}$: matriks kofaktor koordinat datum II, dimensinya (3n x 3n)

Dengan matriks varian kovarian berupa matriks diagonal yang dapat dinyatakan dalam persamaan II.68 dan II.69 berikut:

$$Q_{i1,i1}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{x1}^2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_{y1}^2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_{z1}^2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_{x1}^2 & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1/\sigma_{y1}^2 & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1/\sigma_{z1}^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.68})$$

$$Q_{i2,i2}^{-1} = \begin{bmatrix} 1/\sigma x2_1^2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma y2_1^2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma z2_1^2 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1/\sigma x2_n^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1/\sigma y2_n^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1/\sigma z2_n^2 \end{bmatrix} \quad (\text{II.69})$$

Dalam hal ini,

n : jumlah titik sekutu

$\sigma x1_i^2, \sigma y1_i^2, \sigma z1_i^2$: varian koordinat ke-i pada datum/kerangka acuan I

$\sigma x2_i^2, \sigma y2_i^2, \sigma z2_i^2$: varian koordinat ke-i pada datum/kerangka acuan II

Pada kasus pengukuran yang mempunyai korelasi ± 1 , maka untuk menentukan matriks varian kovarian (Σ) dan matriks kofaktor (Q) masih dimungkinkan, tetapi tidak mungkin untuk menentukan matriks bobot. Hal ini terjadi jika matriks kofaktor adalah matriks singular, sehingga tidak dapat diinvers (Ghilani, 2010).

II.2.9. Uji global

Uji global menggunakan hipotesis nol (H_0) yang dirumuskan untuk menguji kebenaran model, bahwa (Widjajanti, 1992):

1. Model matematiknya telah benar dan lengkap.
2. Proses linierisasi dengan prinsip deret Taylor telah benar.
3. Pemberian bobot pengukuran telah benar.

Sedangkan hipotesis a (H_a) berlaku sebaliknya dari hipotesis H_0 .

Pada uji global, nilai varian a posteori $\hat{\sigma}_o^2$ dibandingkan terhadap nilai varian apriori σ_o^2 dengan menerapkan uji *Chi-Square* seperti persamaan II.70 berikut:

$$\chi^2_{df} = df \frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} \quad (\text{II.70})$$

Memenuhi distribusi χ^2 dengan derajat kebebasan df, maka ada dua cara pengujian. Pengujian satu arah dan pengujian dua arah.

1. Pengujian dua arah

Hipotesis dirumuskan sebagai persamaan II.71 dan II.72 berikut:

$$H_o \equiv \hat{\sigma}_o^2 = \sigma_o^2 \quad (\text{II.71})$$

$$H_a \equiv \hat{\sigma}_o^2 \neq \sigma_o^2 \quad (\text{II.72})$$

Kriteria pengujian dirumuskan sebagai persamaan II.73 berikut :

Tolak H_o bila :

$$\chi^2_{df} < \chi^2_{(df, 1-\frac{\alpha}{2})} \quad \text{atau} \quad \chi^2_{df} < \chi^2_{(df, \frac{\alpha}{2})} \quad (\text{II.73})$$

Dalam hal ini $\chi^2_{df} < \chi^2_{(df, 1-\frac{\alpha}{2})}$ dan $\chi^2_{df} < \chi^2_{(df, \frac{\alpha}{2})}$ diperoleh berdasarkan fungsi probabilitas distribusi χ^2 dengan derajat kepercayaan α % dan df = n-u dari tabel. Sedangkan χ^2_{df} dihitung dari hasil kuadrat terkecil sebagai persamaan II.74 berikut:

$$\chi^2_{df} = \frac{V^T P V}{\sigma_o^2} \quad (\text{II.74})$$

2. Pengujian satu arah

Hipotesis dirumuskan sebagai persamaan II.75 dan II.76 berikut:

$$H_o \equiv \hat{\sigma}_o^2 = \sigma_o^2 \quad (\text{II.75})$$

$$H_a \equiv \hat{\sigma}_o^2 > \sigma_o^2 \quad (\text{II.76})$$

Kriteria pengujian dirumuskan sebagai persamaan II.77 berikut :

Tolak H_o bila:

$$\chi^2_{df} > \chi^2_{(\alpha, df)} \quad (\text{II.77})$$

II.2.10. Uji blunder

Uji *blunder* dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya kesalahan *blunder* pada data pengukuran. Anggapan yang umum diterima, bahwa suatu residu pengukuran yang besarnya 3 kali kesalahan standar pengukuran merupakan indikator adanya *blunder* pada pengukuran tersebut. Anggapan tersebut kurang tepat, karena residu bukan hanya karena adanya *blunder* atau kesalahan pengukuran, tetapi juga dipengaruhi bentuk jaringan yang bersangkutan. Kriteria yang tepat untuk mendeteksi kesalahan *blunder* menggunakan persamaan II.78 berikut (Soeta'at, 1996):

$$F = \left| \frac{V_i}{\sigma_{vi}^2} \right| > F_{1,\infty,1-\alpha}^{1/2} \quad (\text{II.78})$$

Dalam hal ini,

V_i : residu ukuran ke-i, elemen matriks residu (V) baris ke-i,
persamaan (II.20)

σ_{vi}^2 : varian residu ukuran ke-i, elemen matriks varian kovarian residu
(Σ_v) baris ke-i, kolom ke-i, persamaan (II.22).

Nilai $F_{1-\alpha,1,\infty}^{1/2}$ untuk beberapa derajat kepercayaan, bisa didapatkan dari

Tabel II.1 berikut ini:

Tabel II.1. Nilai distribusi F (*Fisher*)

α	$F_{1-\alpha,1,\infty}$	$F_{1,\infty,1-\alpha}^{1/2}$
0,001	10,80	3,29
0,010	6,66	2,58
0,050	3,84	1,96
0,100	2,72	1,65

Sumber: Sutaat, (1996)

II.2.11. Uji signifikansi parameter

Uji signifikansi parameter digunakan pada pengecekan signifikansi parameter, apakah parameter tersebut secara signifikan atau tidak signifikan pengaruhnya terhadap perubahan koordinat dari datum/kerangka acuan I ke datum/kerangka acuan II (Sudarsono, 2010). Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan parameter hasil hitungan perataan (\bar{X}) dengan nilai standar deviasinya (σ_x). Pengujian nilai parameter dari hasil perataan dilakukan dengan uji t, yaitu bila diperoleh nilai parameter (\bar{X}), maka besar t-hitung dapat dicari menggunakan persamaan II.79 berikut:

$$|t| = \frac{\bar{X}}{\sigma_x} \quad (\text{II.79})$$

Selanjutnya apabila dipenuhi hubungan pada persamaan II.80 berikut ini:

$$|t| > t_{\alpha/2,df} \quad (\text{II.80})$$

Nilai parameter yang dihasilkan dari hasil hitungan dapat diartikan mempunyai pengaruh secara signifikan terhadap perubahan koordinat dari datum/ kerangka acuan I ke datum/ kerangka acuan II.

Dalam hal ini,

df : derajat kebebasan atau (n-u)

$t_{\alpha/2,df}$: sebaran (t) dari tabel distribusi t (lampiran 6)

II.2.12. Hitungan koordinat geodetik dari koordinat kartesian

Dalam penentuan koordinat geodetik dari koordinat kartesian digunakan persamaan II.81 s.d II.87, persamaan ini diambil dari buku standar LINZS25000, *Land Information New Zealand*, 2007, bagian A.5 halaman 18.

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (\text{II.81})$$

$$\tan \varphi = \left(\frac{Z(1-f) + e^2 a \sin^3 \mu}{(1-f)(p - e^2 a \cos^3 \mu)} \right) \quad (\text{II.82})$$

$$h = p \cos \varphi + Z \sin \varphi - a \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi} \quad (\text{II.83})$$

$$r = \sqrt{p^2 + Z^2} \quad (\text{II.84})$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (\text{II.85})$$

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (\text{II.86})$$

$$\tan \mu = \frac{Z}{p} \left[(1-f) + \frac{e^2 a}{r} \right] \quad (\text{II.87})$$

Dalam hal ini,

- a : setengah sumbu panjang elipsoid referensi
- f : penggepengan elipsoid referensi
- e^2 : eksentrisitas pertama
- X, Y, Z : koordinat kartesian 3 dimensi
- φ, λ, h : koordinat geodetik pada elipsoid referensi tertentu

II.2.13. Hitungan nilai RMS koordinat

Besarnya penyimpangan rata-rata baik arah X, Y, dan Z dapat dilihat dari nilai RMS (RMS_x, RMS_y, RMS_z), serta untuk penyimpangan posisi rata-rata dapat dilihat dari nilai RMSe. Persamaan untuk menghitung RMS_x, RMS_y, RMS_z, dan RMSe, masing-masing sebagai persamaan II.88 s.d II.91 berikut:

$$RMS_x = \sqrt{\frac{\sum (X - X')^2}{n}} \quad (\text{II.88})$$

$$RMS_y = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n}} \quad (\text{II.89})$$

$$RMS_z = \sqrt{\frac{\sum (Z - Z')^2}{n}} \quad (\text{II.90})$$

$$RMSe = \sqrt{(RMS_x)^2 + (RMS_y)^2 + (RMS_z)^2} \quad (\text{II.91})$$

Rumus RMS ini dapat juga digunakan untuk menghitung RMS kecepatan hasil transformasi balik.

II.2.14. 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 parameter transformasi antar kerangka acuan ITRF hasil hitungan menggunakan program aplikasi yang dibuat dengan parameter global yang dipublikasikan oleh IERS. Uji signifikansi perbedaan tersebut menggunakan uji-t (*student*) seperti persamaan II.92 dan II.93 berikut (Widjajanti, 2010):

$$t = \frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{\sigma_{x1}^2 + \sigma_{x2}^2}} \quad (\text{II.92})$$

$$|t| < t_{\alpha/2, df} \quad (\text{II.93})$$

Dalam hal ini,

- t : nilai t-hitung
- X_1 : parameter transformasi antar ITRF hasil hitungan dengan program aplikasi yang dibuat
- X_2 : parameter transformasi antar ITRF yang dipublikasikan oleh IERS
- σ_{x1}^2 : varian parameter transformasi hasil hitungan dengan program aplikasi yang dibuat
- σ_{x2}^2 : varian parameter transformasi global
- df : derajat kebebasan ($df = df1 + df2$)
- $df1$: derajat kebebasan hasil hitungan menggunakan program aplikasi yang dibuat

df2 : derajat kebebasan hasil hitungan parameter global

Untuk mengintepretasikan uji t terlebih dahulu harus ditentukan :

- a. Nilai derajat kepercayaan (α)
- b. df (*degree of freedom*)

Dengan nilai $\alpha/2$ dan df maka dicari nilai t-tabel dalam tabel distribusi t, selanjutnya nilai t-hitung dengan nilai t-tabel diuji.

Apabila :

t-hitung > t-tabel, hal ini berarti parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global berbeda secara signifikan.

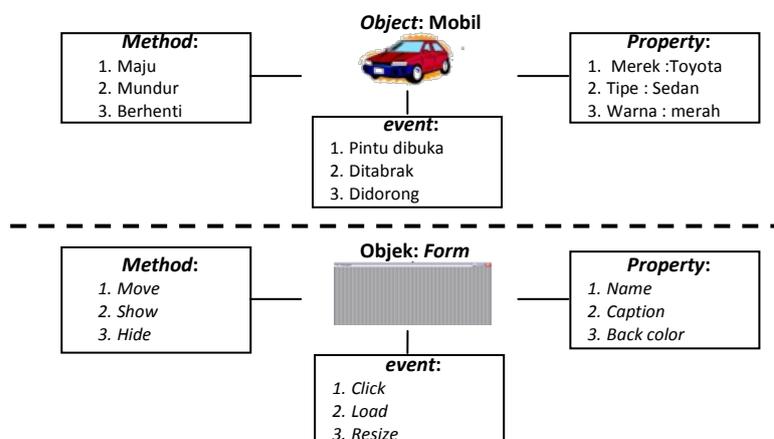
t-hitung < t-tabel, hal ini berarti parameter transformasi tidak berbeda secara signifikan.

II.2.15. Pemrograman berbasis *graphic user interface* (GUI)

Secara prinsip ada dua bagian pokok dalam pengembangan aplikasi dengan menggunakan pemrograman berbasis GUI yaitu *visual design* dan *event-driven programming* (Saipona, 2013).

II.2.15.1. *Visual design*, dalam lingkungan *windows*, *user-interface* sangat memegang peranan penting. Dalam pemakaian aplikasi yang dibuat, pemakai senantiasa berinteraksi dengan *user-interface* tanpa menyadari bahwa di belakangnya berjalan instruksi-instruksi program yang mendukung tampilan dan proses yang dilakukan. Pemrograman *visual*, dalam pengembangan aplikasinya selalu dimulai dengan pembentukkan *user interface*. Mendesain *user interface*, pengetahuan yang paling dibutuhkan hanyalah pemahaman dasar tentang jenis dan kegunaan dari *control* dan dasar-dasar bagaimana menggambar sebuah *object*. *Form* dan *control* merupakan elemen-elemen dasar dalam *user interface* pada

aplikasi-aplikasi berbasis *windows*, pada pemrograman berbasis GUI elemen-elemen ini disebut *object* karena dapat dimanipulasi seperti sebuah *object*. *Object* merupakan suatu kombinasi dari kode dan data yang dapat diperlakukan sebagai satu kesatuan. Sebuah *object* memiliki sejumlah *property* dan sejumlah *method*, dan akan bereaksi seperti pada diagram alir pada Gambar II.5, sebuah mobil adalah sebuah obyek fisik yang memiliki *property*, *method* dan *event*. Salah satu *property* adalah warna, biasanya *property* warna dari mobil ditetapkan ketika sebuah mobil dibuat, tetapi kalau tidak suka dengan warna mobil yang dibeli, masih dapat terhadap sejumlah *event* eksternal seperti halnya *object* fisik. Sebagai ilustrasi (merubahnya dengan mengecat ulang. Demikian juga dalam pemrograman berbasis GUI, *property* dari sebuah *control* biasanya ditentukan ketika *object* dibuat (pada saat ditempatkan pada sebuah *form*), tetapi dapat merubah *property* ini dengan memberikan nilai baru. Nilai *property* pada saat desain dapat diubah pada jendela *properties* atau pada saat *run time* dengan kode program. Beberapa *property* hanya tersedia pada saat desain, dan beberapa *property* hanya tersedia pada saat *run time*.



Gambar II.5. Hubungan antara *object* dengan *property*, *method* dan *event*
(Sumber: Saipona, 2013)

II.2.15.2. Event-driven programming, Pemrograman suatu aplikasi bukanlah sesuatu yang mudah, namun ada sebuah metodologi yang tidak boleh ditinggalkan. Aplikasi yang dibuat dengan pemrograman berbasis GUI, seperti Visual Basic, Visual Delphi, dan lain-lain, bukanlah sebuah program yang *monolithic* (hanya ada satu urutan jalannya program aplikasi). Ketika membuat program dengan pemrograman berbasis GUI, pertama harus menentukan bagaimana aplikasi berinteraksi dengan pengguna, atau dengan kata lain, harus menentukan bagaimana setiap kontrol bereaksi terhadap aksi yang dilakukan pengguna (misalnya: *click mouse*, *double-click mouse*, penekanan salah satu tombol pada keyboard, dan lain-lain). Konsep ini biasa disebut sebagai *event-driven programming*, karena bukan aplikasi yang menentukan alur namun kejadian (*event*) yang disebabkan oleh pengguna yang menentukan alur dari aplikasi. Program aplikasi yang dibuat bereaksi terhadap kondisi eksternal (*event*), dan aksi dari pengguna yang menentukan bagaimana alur dari aplikasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1. Bahan dan Alat Penelitian

III.1.1 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah koordinat titik sekutu yang digunakan untuk simulasi hitungan dan pengujian program aplikasi, adapun data koordinat tersebut adalah:

1. Koordinat ITRF (ITRF00, ITRF05, dan ITRF08) dan pergerakannya, serta standar deviasi koordinat dan pergerakannya. Koordinat ITRF berbagai versi tersebut diperoleh dengan mengunduhnya dari situs http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/index.php.
2. Empat belas parameter transformasi global dari ITRF2008 ke ITRF2005 epok acuan 2005, dan empat belas parameter transformasi global dari ITRF2005 ke ITRF2000 epok acuan 2000. Parameter transformasi global antar ITRF tersebut masing-masing memiliki nilai standar deviasi. Parameter transformasi global antar ITRF tersebut diperoleh dengan mengunduhnya dari situs http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php.

III.1.2 Alat penelitian

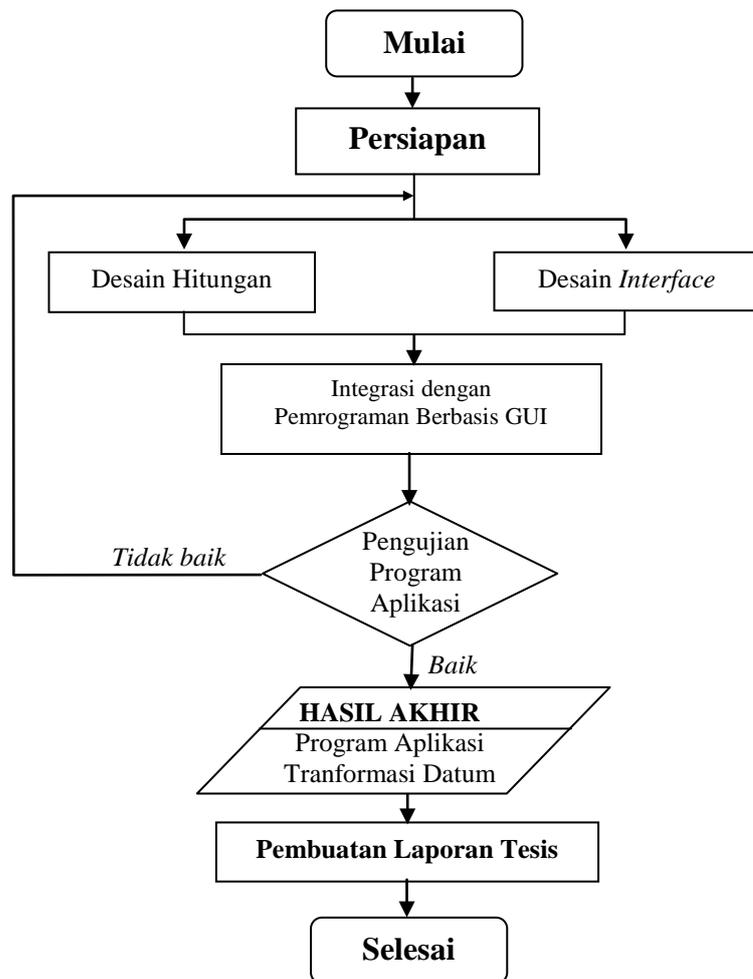
Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat keras

- a. Satu unit laptop dengan spesifikasi *processor intel core 2 duo CPU T6500*, *2,10Ghz*, *hardisk 250 GB*, *RAM 3,00 GB*, yang digunakan sebagai alat pembuat program aplikasi atau perangkat lunak transformasi datum, dan untuk pengetikan laporan penelitian.
 - b. *Printer Canon PIXMA MP258*, yang digunakan untuk mencetak laporan penelitian.
2. Perangkat lunak
- a. *Software Visual Basic 6.0*, yang digunakan untuk membuat program aplikasi transformasi datum berbasis visual.
 - b. *Software Microsoft Word 2007*, yang digunakan untuk pengetikan laporan.
 - c. *Software Microsoft Excel 2007*, yang digunakan untuk tes *export* hasil hitungan dari program aplikasi transformasi datum yang dibuat.

III.2. Tahapan Penelitian

Tahap kegiatan penelitian ini, secara garis besar meliputi persiapan, desain hitungan parameter transformasi antar datum dan hitungan transformasi koordinat antar datum, desain *interface*, integrasi desain hitungan dan desain *interface*, dan pengujian program yang telah dibuat. Tahap pelaksanaan tersebut digambarkan pada Gambar III.1.



Gambar III.1. Diagram alir penelitian

III.2.1 Tahap persiapan

Kegiatan pada tahap ini meliputi pendalaman teori dengan melakukan studi literatur, selain itu dipersiapkan pula bahan, perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian.

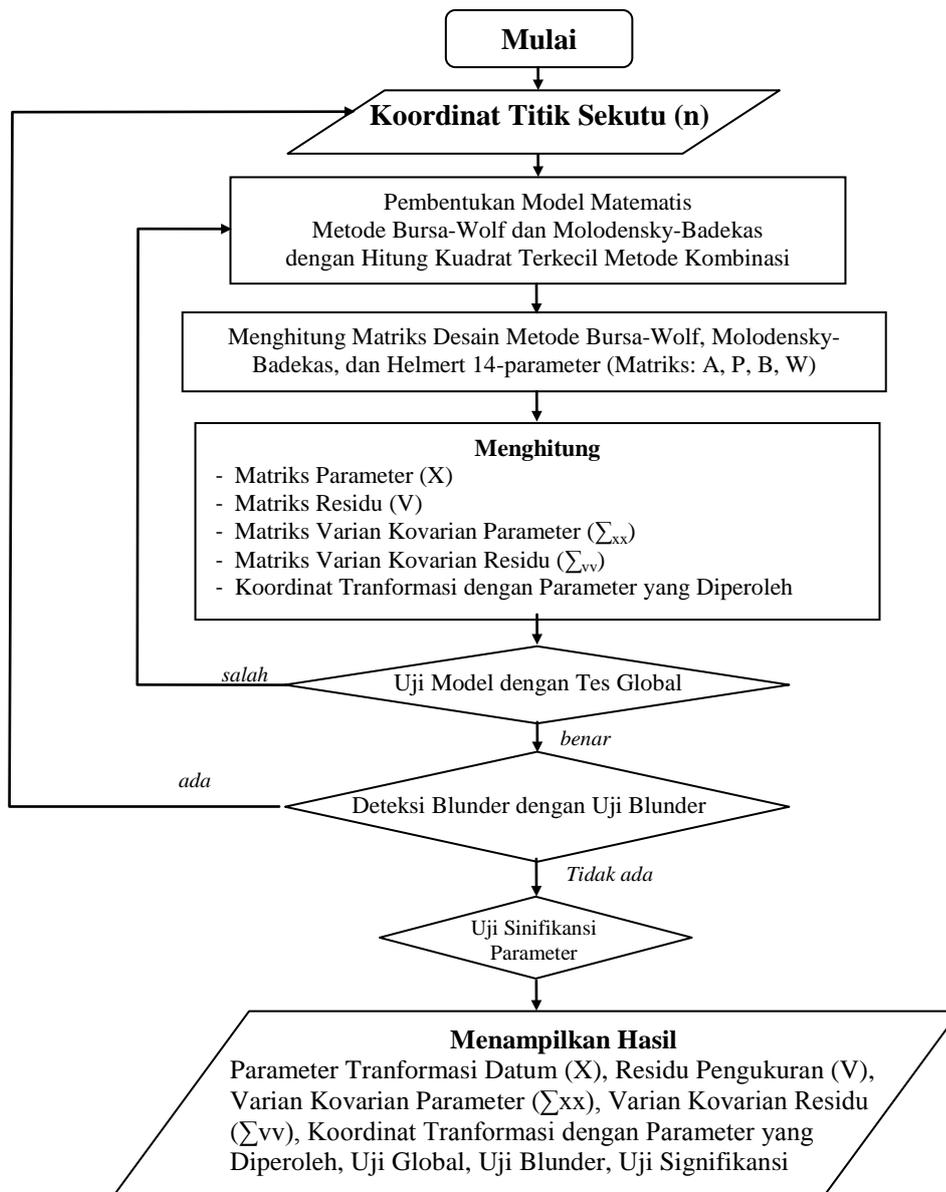
III.2.2 Desain hitungan

Pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk desain hitungan untuk mencari parameter transformasi dan desain hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan tiga dimensi.

III.2.2.1. Desain hitungan parameter transformasi antar datum. Desain hitungan untuk mencari parameter transformasi antar datum/kerangka acuan dilakukan mulai dari pembentukan model matematik. Ada tiga model matematik yang digunakan yaitu model Bursa-Wolf, model Molodensky-Badekas, dan model Helmert 14-parameter. Pembentukan model matematik ini disusun untuk hitung kuadrat terkecil metode kombinasi. Model matematik Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas memberikan $3n$ persamaan dimana n adalah jumlah titik sekutu, karena dalam satu titik sekutu terdapat 3 persamaan pengukuran yaitu (X, Y, Z). Model matematik Helmert 14-parameter memberikan $6n$ persamaan, karena dalam satu titik sekutu terdapat 6 persamaan pengukuran yaitu 3 koordinat (X, Y, Z) dan 3 kecepatan ($\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z}$).

Pada HKT metode kombinasi koordinat pada datum/kerangka acuan I dan datum/kerangka acuan II merupakan pengukuran. Jika ada n titik sekutu, maka jumlah pengukuran untuk model matematik Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas sebanyak $2 \times 3n = 6n$ pengukuran, sedangkan untuk model Helmert 14-parameter sebanyak $2 \times 6n = 12$ pengukuran.

Matriks bobot disusun menggunakan persamaan II.65, elemen diagonalnya diperoleh dari 1 per varian pengukuran ($\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ untuk model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas, dan $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2, \sigma_{\dot{x}}^2, \sigma_{\dot{y}}^2, \sigma_{\dot{z}}^2$ untuk model Helmert 14-parameter), sedangkan elemen lainnya sama dengan nol. Hubungan tersebut hanya berlaku untuk kasus dimana pengukuran yang satu tidak berkorelasi dengan pengukuran lainnya, sedangkan nilai varian apriori ($\sigma_o^2 = 1$). Diagram alir proses hitungan parameter transformasi datum dapat dilihat pada Gambar III.2.



Gambar III.2. Diagram alir hitungan parameter transformasi datum

Penjelasan diagram alir hitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan menggunakan model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter dapat dijelaskan sebagai berikut:

A. Hitungan parameter transformasi dengan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas.

Parameter transformasi pada model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas adalah 3 parameter translasi (T_x, T_y, T_z), 3 parameter rotasi ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$) dan faktor perbedaan skala (ds).

Penyelesaian hitungan menggunakan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas langsung diperoleh nilai tujuh parameter dan residu tiap pengukuran koordinat, tidak perlu iterasi karena model matematik yang digunakan sudah linier, sehingga tidak memerlukan parameter pendekatan.

Tahap hitungannya adalah sebagai berikut:

a. Menghitung matriks A.

Matriks A merupakan turunan pertama fungsi model matematik terhadap parameter yang dicari dengan memasukkan nilai pengukuran koordinat datum/kerangka acuan II untuk model Bursa-Wolf, sedangkan untuk model Molodensky-Badekas dengan memasukan nilai pengukuran koordinat datum/kerangka acuan II dan nilai koordinat titik berat datum/kerangka acuan II.

Apabila menggunakan titik sekutu sebanyak n titik, maka dimensi matriks A adalah $3n \times 7$. Matriks A disusun menggunakan persamaan II.29 untuk model Bursa-Wolf, dan persamaan II.42 untuk model Molodensky-Badekas.

b. Menghitung matriks B.

Matriks B diperoleh dari turunan pertama fungsi model matematik terhadap koordinat hasil pengukuran. Apabila menggunakan titik sekutu sebanyak n titik, maka dimensi matriks B adalah $3n \times 6n$. Matriks B disusun

menggunakan persamaan II.32 untuk model Bursa-Wolf, dan persamaan II.45 untuk model Molodensky-Badekas.

c. Menghitung matriks W.

Matriks W adalah fungsi model matematik dengan memasukan nilai koordinat pengukuran pada datum/kerangka acuan I dan datum/kerangka acuan II. Apabila menggunakan titik sekutu sebanyak n titik, maka dimensi matriks W adalah $3n \times 1$. Matriks W dihitung menggunakan persamaan II.34 untuk model Bursa-Wolf, dan persamaan II.47 untuk model Molodensky-Badekas.

Setelah dihitung matriks A, B, W, dan matriks bobot (P), maka dilakukan hitungan untuk mendapatkan 7 parameter transformasi (X) dan residu (V) tiap-tiap pengukuran menggunakan persamaan II.20 dan II.21. Matriks varian kovarian parameter (Σ_x), dan varian kovarian residu (Σ_v) masing-masing dihitung menggunakan persamaan II.22 dan II.24.

B. Hitungan parameter transformasi dengan model Helmert 14-parameter.

Parameter transformasi pada model Helmert 14-parameter adalah 3 parameter translasi (T_x, T_y, T_z), 3 parameter rotasi ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$) dan faktor perbedaan skala (ds), ditambah kecepatan perubahan masing masing ketujuh parameter tersebut ($\dot{T}_x, \dot{T}_y, \dot{T}_z, \dot{R}_x, \dot{R}_y, \dot{R}_z, \dot{ds}$), sehingga ada 14 parameter transformasi yang dicari.

Penyelesaian hitungan model Helmert 14-parameter langsung diperoleh nilai 14 parameter dan residu tiap pengukuran koordinat, tidak perlu iterasi karena model matematik yang digunakan sudah linier, sehingga tidak memerlukan parameter pendekatan.

Tahap hitungan model Helmert 14-parameter adalah sebagai berikut:

a. Menghitung matriks A.

Matriks A merupakan turunan pertama fungsi model matematik terhadap parameter yang dicari dengan memasukkan nilai pengukuran koordinat datum/kerangka acuan II. Apabila menggunakan titik sekutu sebanyak n titik, maka dimensi matriks A adalah $6n \times 14$. Matriks A disusun menggunakan persamaan II.56.

b. Menghitung matriks B.

Matriks B diperoleh dari turunan pertama fungsi model matematik terhadap koordinat hasil pengukuran. Apabila menggunakan titik sekutu sebanyak n titik, maka dimensi matriks B adalah $6n \times 12n$. Matriks B disusun menggunakan persamaan II.58 dan II.59.

c. Menghitung matriks W.

Matriks W adalah fungsi model matematik dengan memasukan nilai koordinat pengukuran pada datum/kerangka acuan I dan datum/kerangka acuan II. Apabila menggunakan titik sekutu sebanyak n titik, maka dimensi matriks W adalah $6n \times 1$. Matriks W dihitung menggunakan persamaan II.61.

Setelah dihitung matriks A, B, W, dan matriks bobot (P), maka dilakukan hitungan untuk mendapatkan 14 parameter transformasi (X) dan residu (V) tiap-tiap pengukuran menggunakan persamaan II.20 dan II.21. Matriks varian kovarian parameter (\sum_x), dan varian kovarian residu (\sum_v) masing-masing dihitung menggunakan persamaan II.22 dan II.24.

C. Transformasi balik koordinat antar datum/kerangka acuan menggunakan parameter hasil hitungan.

Dalam model matematik baik model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter menunjukkan bahwa transformasi dilakukan dari datum/kerangka acuan II (yy) ke datum/kerangka acuan I (xx). Setelah diperoleh parameter transformasi, selanjutnya dilakukan transformasi balik titik sekutu dari datum/kerangka acuan II (yy) ke datum/kerangka acuan I (xx). Transformasi balik ini untuk mendapatkan koordinat pada datum/kerangka acuan I (xx) sehingga diperoleh koordinat pada datum/kerangka acuan I (xx) yang baru.

Transformasi balik menggunakan persamaan II.7 untuk model Bursa-Wolf, persamaan II.12 untuk model Molodensky-Badekas, dan persamaan II.13 dan II.14 untuk model Helmert 14-parameter. Hitungan transformasi balik menggunakan parameter hasil hitungan masing-masing model yang bersangkutan.

D. Menghitung penyimpangan koordinat.

Pada transformasi balik diperoleh koordinat pada datum/kerangka acuan I (xx), baik pada model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, maupun Helmert 14-parameter. Hasil hitungan ini diperoleh penyimpangan posisi (RMS_x , RMS_y , RMS_z , dan RMS_e) untuk ketiga model, dan ditambah penyimpangan kecepataannya ($RMS_{\dot{x}}$, $RMS_{\dot{y}}$, $RMS_{\dot{z}}$, $RMS_{\dot{e}}$) untuk model 14-parameter. Nilai RMS ini menunjukkan seberapa besar penyimpangan rata-rata koordinat serta kecepatan hasil transformasi balik terhadap koordinat masukan, pada datum/kerangka acuan I (xx). Untuk menghitung RMS koordinat menggunakan masing-masing persamaan II.88 s.d II.91, sedangkan untuk RMS kecepatan dapat

menggunakan rumus tersebut dengan mengganti nilai koordinat menjadi nilai kecepatan.

E. Uji global.

Uji global ini dilakukan dengan uji *Chi-Square* pada derajat kepercayaan (α), yaitu dengan membandingkan varian a posteori hitungan ($\hat{\sigma}_o^2$) dengan varian apriori (σ_o^2). Uji dilakukan satu arah yaitu $\chi^2 = \chi^2_{df,\alpha}$, nilai distribusi χ^2 dapat dilihat pada Lampiran 6. Nilai varian a posteori ($\hat{\sigma}_o^2$) diperoleh dengan persamaan II.23. Uji global dilakukan terhadap nilai statistik χ^2_{df} yang dihitung dengan persamaan II.70. Nilai χ^2_{df} kecil berarti model matematik yang dibentuk sudah benar dan lengkap, dan nilai asumsi varian apriori (σ_o^2) dapat diterima.

F. Uji blunder dengan uji *Fisher*.

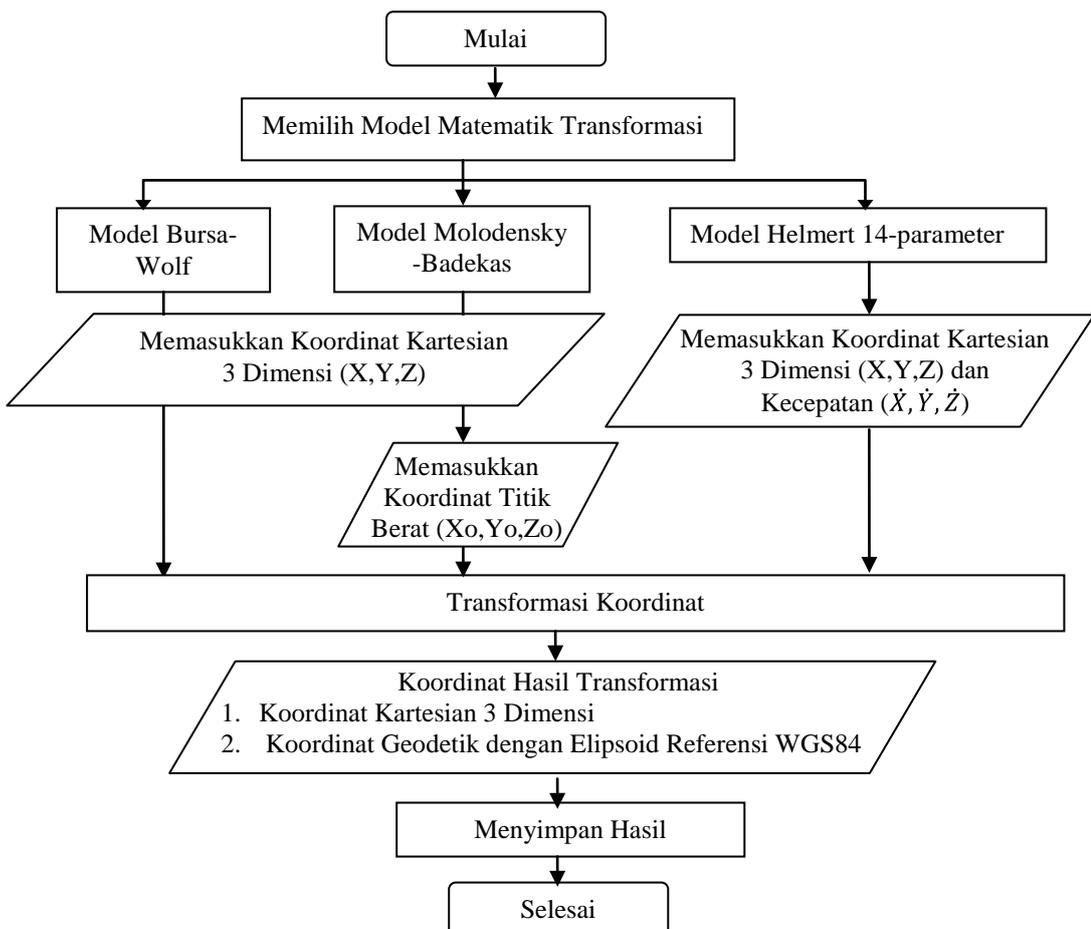
Uji blunder ini dilakukan untuk mengetahui apakah ada titik sekutu yang dilibatkan dalam proses hitungan terjadi blunder, sehingga memberi pengaruh tidak baik terhadap model matematik dan hasil hitungan. Uji blunder ini menggunakan uji *Fisher* (F) dengan persamaan II.78, hasil F-hitung dibandingkan dengan F-tabel (Tabel II.1) pada derajat kepercayaan (α) tertentu. Apabila masing-masing koordinat titik sekutu, F-hitung $<$ F-tabel maka berarti tidak terjadi blunder, dan sebaliknya jika F-hitung $>$ F-tabel maka berarti terjadi blunder dan titik sekutu tersebut dapat dihilangkan dalam proses hitungan secara interaktif pada program aplikasi yang dibuat.

G. Uji signifikansi parameter transformasi dengan uji t.

Uji signifikansi parameter menggunakan uji t dengan persamaan II.79, hasil t-hitung dibandingkan dengan t-tabel pada derajat kepercayaan (α) tertentu,

nilai t-tabel dapat dilihat pada Lampiran 6. Apabila masing-masing parameter, t-hitung $>$ t-tabel maka berarti parameter tersebut signifikan berpengaruh terhadap perubahan koordinat hasil transformasi, dan sebaliknya jika t-hitung $<$ t-tabel berarti parameter tersebut tidak signifikan berpengaruh terhadap perubahan koordinat hasil transformasi.

III.2.2.2. Desain hitungan untuk transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan. Diagram alir desain hitungan untuk transformasi koordinat dari datum/kerangka acuan I ke datum/kerangka acuan II dapat dilihat pada Gambar III.3 berikut:



Gambar III.3. Diagram alir hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan

Tahap-tahap hitungan untuk transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Memilih model matematis untuk transformasi koordinat.

Ada tiga pilihan model matematis untuk transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan, yaitu model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter.

- b. Memasukkan koordinat titik-titik yang ditransformasi.

Setelah model matematik dipilih, selanjutnya memasukkan koordinat titik-titik yang ditransformasi. Koordinat titik-titik yang ditransformasi dalam bentuk koordinat kartesian 3 dimensi (X, Y, Z) untuk model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas, sedangkan untuk model Helmert 14-parameter ditambah kecepatan masing-masing koordinat. Untuk model Molodensky-Badekas selain memasukkan koordinat titik-titik yang ditransformasi, dimasukkan juga koordinat titik berat dari koordinat-koordinat yang digunakan dalam menghitung parameter transformasi.

- c. Memasukkan parameter transformasi secara manual atau dapat memilih parameter transformasi dari basis data yang ada.

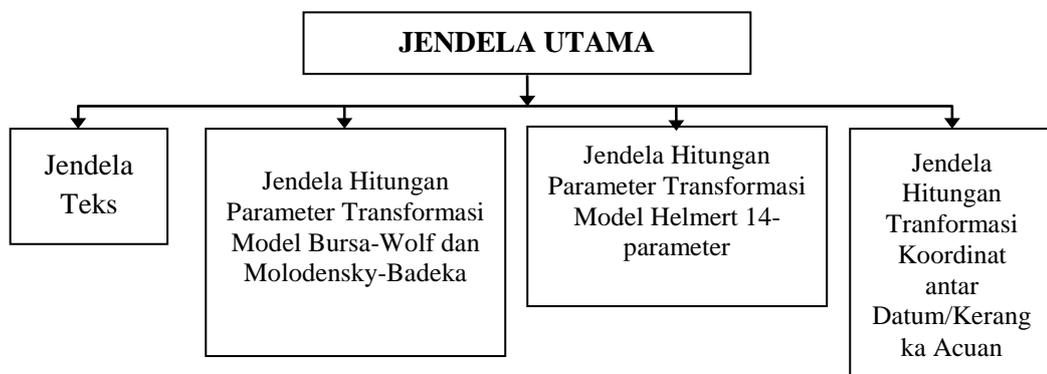
Parameter transformasi dapat dimasukkan secara manual atau dapat memilih dari basis data yang disediakan. Untuk model Helmert 14-parameter, setelah memasukkan/memilih parameter transformasi perlu juga mengisi epok acuan dari kedua datum/kerangka acuan.

d. Transformasi koordinat.

Setelah semua pilihan dilakukan maka tahap selanjutnya adalah melakukan transformasi koordinat. Setelah transformasi koordinat dilakukan maka hasil dari transformasi tersebut dapat disimpan menjadi sebuah *file* teks yang nantinya dapat dibuka dengan perangkat lunak seperti Microsoft Excel. Hasil hitungan ini berupa koordinat masukan, koordinat kartesian 3 dimensi dan koordinat geodetik dengan elipsoid referensi WGS84 hasil hitungan.

III.2.3 Desain *interface*

Tahapan ini dilakukan untuk mendesain *interface* program aplikasi, sehingga dihasilkan program aplikasi dengan *interface* yang menarik, mudah dipahami dan digunakan. Desain *interface* ini terdiri dari lima jendela yaitu jendela utama, jendela teks, jendela hitungan parameter transformasi model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas, jendela hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter, dan jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan. Secara umum desain *interface* dapat dilihat pada Gambar III.4, dan untuk desain secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 7.



Gambar III.4. Desain *interface* program aplikasi

Fungsi dari masing-masing jendela dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Jendela utama, merupakan tampilan awal program aplikasi, berfungsi untuk memfasilitasi pengguna membuka jendela-jendela lainnya yaitu jendela teks, hitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan model Bursa-Wolf/Molodensky-Badekas, hitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan model Helmert 14-parameter, dan jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan.
- b. Jendela teks, merupakan jendela untuk editing koordinat sebagai data masukan sebelum digunakan dalam hitungan. Jendela teks ini dapat membaca *file* yang memiliki tipe data ASCII.
- c. Jendela hitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan model Bursa-Wolf/Molodensky-Badekas. Jendela ini berfungsi untuk menghitung 7 parameter transformasi antar datum/kerangka acuan dengan model Bursa-Wolf atau Molodensky-Badekas.
- d. Jendela hitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan model Helmert 14-parameter. Jendela ini berfungsi untuk menghitung 14 parameter transformasi antar datum/kerangka acuan dengan model Helmert 14-parameter.
- e. Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan. Jendela ini berfungsi untuk melakukan transformasi koordinat antara datum/kerangka acuan dengan pilihan modelnya yaitu Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter. Jendela ini memiliki fasilitas basis data parameter baik yang 7 parameter maupun 14 parameter, yang dapat dipilih. Kemudian ada

fasilitas untuk penambahan/perubahan data parameter transformasi ke dalam basis data.

Untuk lebih jelas penggunaan fasilitas yang ada dalam program aplikasi dapat dibaca pada petunjuk penggunaan program aplikasi yang disediakan pada program aplikasi melalui menu bantuan.

III.2.4 Integrasi dengan pemrograman berbasis GUI

Tahap integrasi ini bertujuan untuk menggabungkan desain hitungan dan desain *interface* menjadi program aplikasi menggunakan algoritma pemrograman berbasis GUI. Penggabungan tersebut menghasilkan program aplikasi transformasi datum tiga dimensi yang interaktif.

III.2.5 Analisis hasil hitungan program aplikasi

Program aplikasi yang telah dibuat sebelum benar-benar digunakan maka perlu diuji. Pengujian dilakukan hanya terhadap hasil hitungan program aplikasi yang dibuat. Hasil hitungan di analisis, apakah hitungan yang dihasilkan sudah benar, dan sesuai dengan model matematik yang digunakan. Ada beberapa analisis yang dilakukan untuk menguji kebenaran hasil hitungan program aplikasi yang dibuat, yaitu:

1. Membandingkan hasil hitungan invers matriks menggunakan program aplikasi yang dibuat dengan fungsi invers matriks (MINVERSE) pada program Microsoft Excel. Evaluasi terhadap hitungan invers matriks ini dilakukan karena kode program untuk menghitung invers matriks ini yang paling sulit dibuat dibanding kode program untuk perkalian, pembagian, penjumlahan, dan pengurangan, sehingga perlu dicek hasilnya menggunakan program hitungan

lain (program Microsoft Excel). Matriks invers yang di bandingkan tersebut adalah matriks $(BP^{-1} B^T)^{-1}$ dan matriks $(A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1}$. Apabila terdapat perbedaan nilai yang besar pada setiap elemen matriks hasil invers maka dicek kembali penulisan kode programnya, kemungkinan ada kesalahan dalam penulisan kode.

2. Menganalisis kisaran perbedaan koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik menggunakan parameter yang telah dihitung sebelumnya dengan koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 hasil pengukuran yang digunakan dalam hitungan parameter transformasi. Dari perbedaan koordinat dan kecepatan hasil transformasi balik dengan hasil pengukuran kemudian dihitung nilai RMS-nya menggunakan persamaan II.88 s.d II.91. Koordinat yang ditransformasi balik ini adalah koordinat yang digunakan dalam proses hitungan mencari parameter transformasi.
3. Menganalisis kisaran perbedaan koordinat ITRF00 dan ITRF05 pada titik uji (titik-titik lain yang tidak digunakan dalam hitungan) hasil transformasi menggunakan parameter transformasi hasil hitungan dengan koordinat ITRF00 dan ITRF05 pada titik uji hasil pengukuran. Dari perbedaan koordinat hasil transformasi dengan hasil pengukuran kemudian dihitung nilai RMS-nya menggunakan persamaan II.88 s.d II.91.
4. Menganalisis perbedaan parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global. Parameter transformasi global antar versi ITRF dapat diunduh pada situs http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php. Apabila ada perbedaan antara parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter transformasi

global, selanjutnya diuji beda dengan uji t menggunakan persamaan II.92 s.d II.93. Dari hasil pengujian menggunakan uji t diketahui apakah perbedaannya signifikan atau tidak. Jika perbedaannya tidak signifikan maka program aplikasi yang dibuat dapat dikatakan sudah baik dan dapat digunakan, tetapi jika perbedaannya signifikan maka perlu dicek kembali kemungkinan ada kesalahan pada model persamaannya, desain hitungan, kode program yang dibuat, atau ada penyebab lainnya.

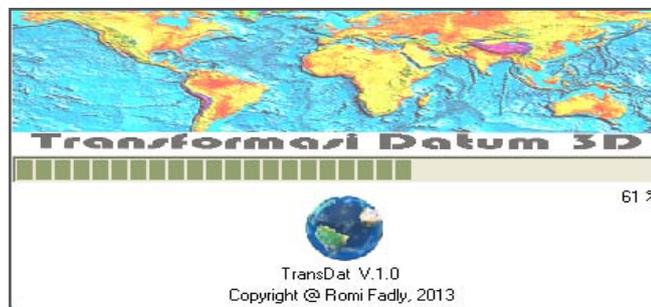
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Tampilan Program Aplikasi

Hasil akhir dari penelitian ini adalah program aplikasi transformasi datum 3 dimensi yang diberi nama TransDat V.1.0. Tampilan dari program aplikasi TransDat tersebut dapat jelaskan sebagai berikut:

IV.1.1. Jendela *loading* program

Tampilan pertama kali yang muncul pada saat membuka program aplikasi adalah jendela *loading* program seperti Gambar IV.1, yaitu berupa *screenshot*. *Screenshot* ini hanya berupa tampilan animasi singkat dengan durasi kurang lebih 4 detik, setelah itu hilang dan kemudian muncul jendela utama.



Gambar IV.1 *Loading* program TransDat V.1.0

IV.1.2. Jendela utama

Jendela utama seperti Gambar IV.2, berisi menu (menu berkas, proses, dan bantuan) dan *shortcut* (teks baru, buka berkas, dan bantuan penggunaan program) untuk membuka jendela-jendela lainnya (jendela hitungan parameter, jendela transformasi koordinat antar datum, jendela teks). Untuk penjelasan lebih detail tentang penggunaan fasilitas yang ada pada jendela utama telah disediakan

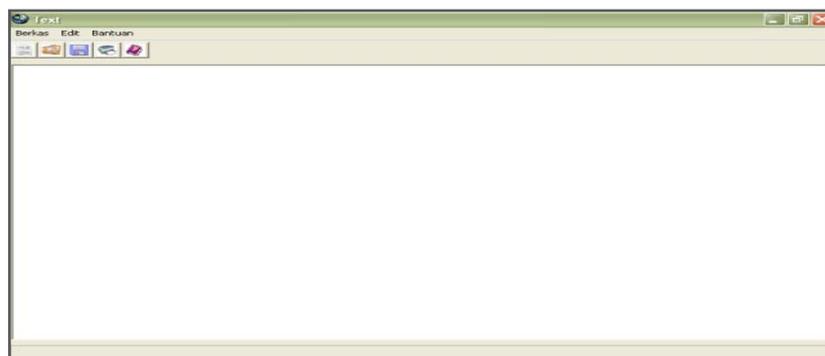
panduan penggunaan program aplikasi yang dapat di buka dari menu bantuan atau *shortcut* penggunaan program aplikasi () yang ada dalam jendela ini.



Gambar IV.2 Jendela utama

IV.1.3. Jendela teks

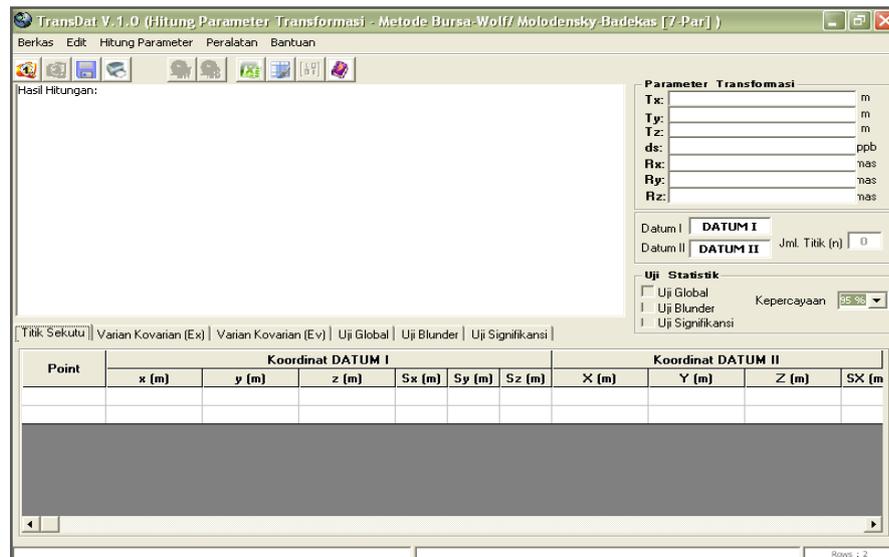
Jendela teks seperti Gambar IV.3, berfungsi untuk membuka *file* yang mempunyai tipe teks ASCII. Jendela teks ini disediakan agar editing *file* koordinat untuk masukan dalam hitungan dapat dilakukan pada program yang digunakan tanpa menggunakan program lain. Jendela teks ini juga dapat membuka *file* teks yang berasal dari perangkat lunak Microsoft Excel atau pengolahan teks seperti Notepad, dapat dibuka melalui sub menu buka yang ada pada menu berkas atau dengan memanfaatkan fasilitas salin (*copy*) dan tempel (*paste*) yang ada pada menu edit.



Gambar IV.3 Jendela teks

IV.1.4. Jendela hitungan parameter transformasi model Bursa-Wolf/ Molodensky-Badekas

Jendela hitungan parameter transformasi model Bursa-Wolf/ Molodensky-Badekas seperti Gambar IV.4, berfungsi untuk menghitung 7-parameter transformasi menggunakan model Bursa-Wolf atau Molodensky-Badekas.



Gambar IV.4 Jendela hitungan parameter transformasi model Bursa-Wolf/Molodensky-Badekas

Fasilitas yang ada pada jendela hitungan 7-parameter transformasi ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Menu, yang terdiri dari menu berkas, edit, hitung parameter, peralatan, dan bantuan. Setiap menu tersebut memiliki sub menu.
- Shortcut*, yang terdiri dari *shortcut* buka koordinat datum I, buka koordinat datum II, simpan hasil hitungan, cetak hasil hitungan, hitung parameter model Bursa-Wolf, hitung parameter model Molodensky-Badekas, ekstraksi isi tabel hasil hitungan ke program Microsoft Excel, bersihkan tabel, tabel hasil HKT, dan bantuan penggunaan program aplikasi.
- Lembar teks hasil hitungan.

- d. Tab tabel, yang terdiri dari tab tabel *input* dan *output* hitungan, tab varian kovarian parameter, tab varian kovarian residu, tab uji global, tab uji blunder, dan tab uji signifikansi.
- e. Frame, yang terdiri dari frame untuk menampilkan parameter transformasi, frame untuk memasukkan nama datum/kerangka acuan, dan frame untuk memilih jenis uji statistik yang akan dihitung.

Untuk penjelasan lebih detil penggunaan fasilitas yang ada pada jendela hitungan 7-parameter transformasi ini, telah di sediakan dalam panduan penggunaan program aplikasi yang dapat di buka dari menu bantuan atau *shortcut* penggunaan program aplikasi () yang ada dalam jendela ini.

IV.1.5. Jendela hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter

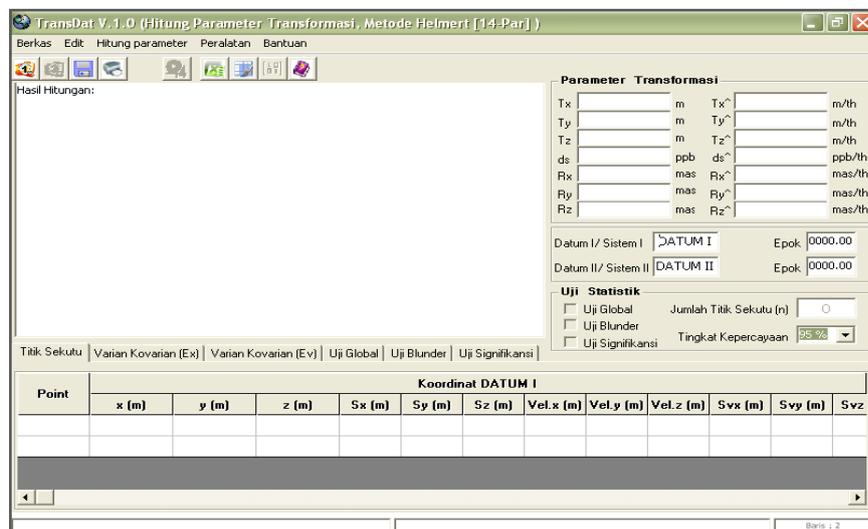
Jendela hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter seperti Gambar IV.5, berfungsi untuk menghitung 14 parameter transformasi menggunakan model matematik Helmert 14-parameter.

Fasilitas yang ada pada jendela hitungan 14-parameter transformasi ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Menu, yang terdiri dari menu berkas, edit, hitung parameter, peralatan, dan bantuan. Setiap menu tersebut memiliki sub menu.
- b. *Shortcut*, yang terdiri dari *shortcut* buka koordinat datum I, buka koordinat datum II, simpan hasil hitungan, cetak hasil hitungan, hitung parameter model Helmert 14-parameter, ekstraksi isi tabel hasil hitungan ke program Microsoft Excel, bersihkan tabel, tabel hasil HKT, dan bantuan penggunaan program aplikasi.

- c. Lembar teks hasil hitungan.
- d. Tab tabel, yang terdiri dari tab tabel *input* dan *output* hitungan, tab varian kovarian parameter, tab varian kovarian residu, tab uji global, tab uji blunder, dan tab uji signifikansi.
- e. Frame, yang terdiri dari frame untuk menampilkan parameter transformasi, frame untuk memasukkan nama datum/kerangka acuan dan epok acuan, dan frame untuk memilih jenis uji statistik yang akan dihitung.

Untuk penjelasan lebih detil penggunaan fasilitas yang ada pada jendela hitungan 14-parameter transformasi ini, telah di sediakan dalam panduan penggunaan program aplikasi yang dapat di buka dari menu bantuan atau *shortcut* penggunaan prorgam aplikasi () yang ada dalam jendela ini.

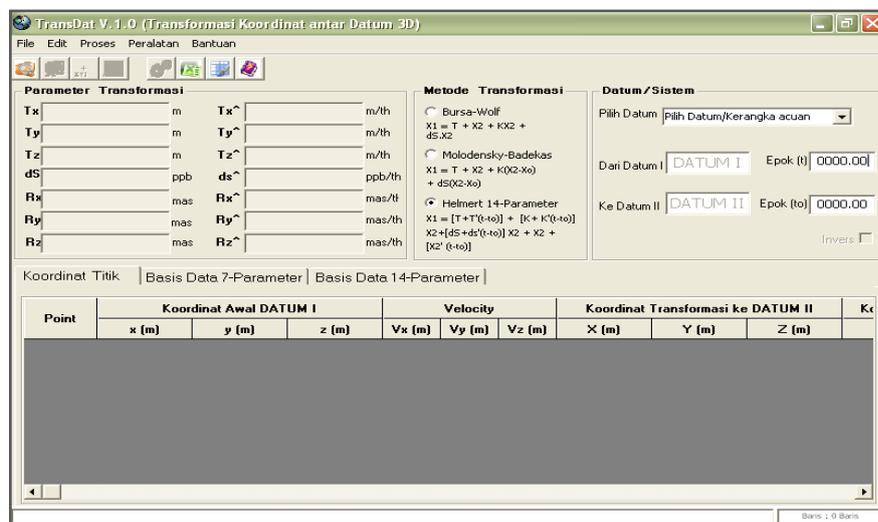


Gambar IV.5 Jendela hitungan parameter model Helmert 14-parameter

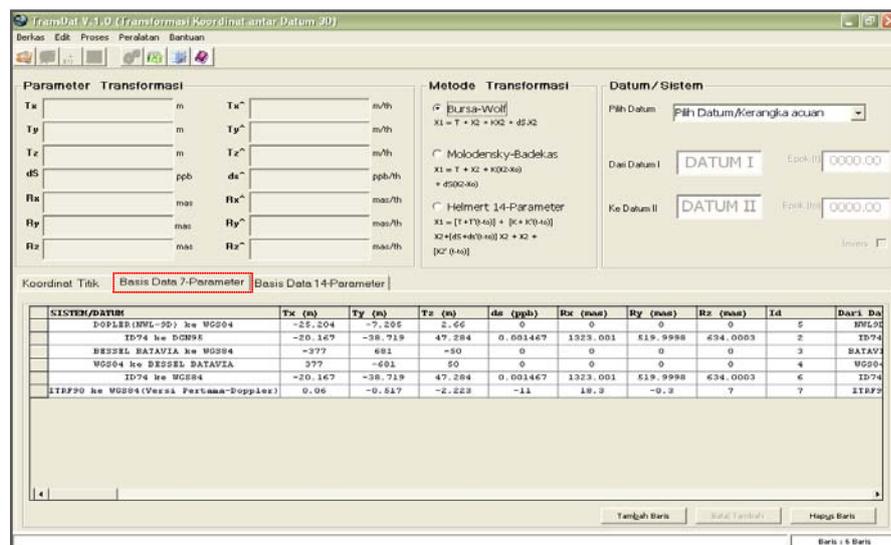
IV.1.6. Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan

Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan (seperti Gambar IV.6), berfungsi untuk melakukan hitungan transformasi

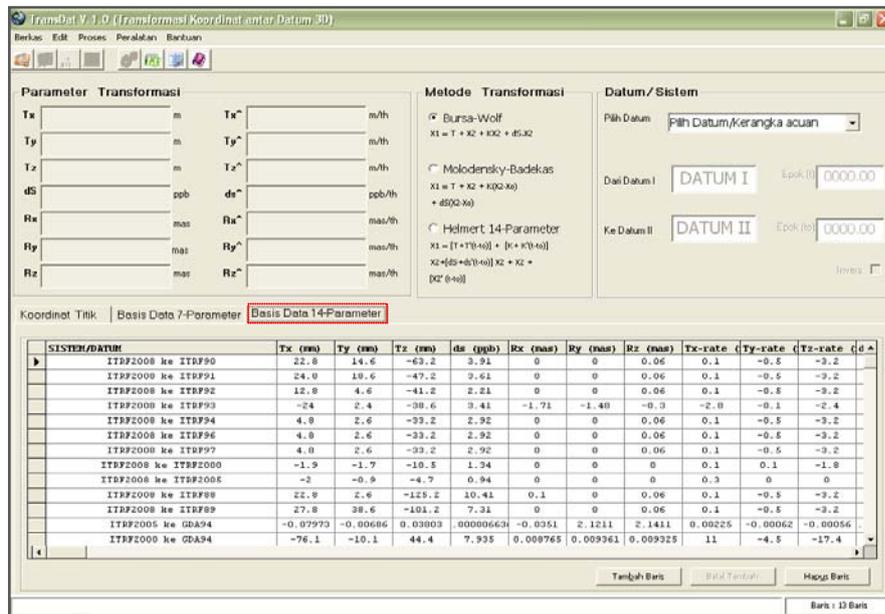
koordinat antar datum atau kerangka acuan menggunakan model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter. Parameter yang digunakan dalam hitungan ini dapat dipilih dari basis data yang ada atau dapat dimasukkan secara manual. Penambahan basis data parameter transformasi dapat langsung dilakukan pada jendela ini dengan memilih tab basis data 7-parameter atau tab basis data 14-parameter seperti Gambar IV.7 dan IV.8.



Gambar IV.6 Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan



Gambar IV.7 Tab basis data 7-parameter transformasi



Gambar IV.8. Tab basis data 14-parameter transformasi

Fasilitas yang ada pada Jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Menu, yang terdiri dari menu berkas, edit, proses, peralatan, dan bantuan. Setiap menu tersebut memiliki sub menu.
- Shortcut*, yang terdiri dari *shortcut* buka koordinat datum/kerangka acuan I, buka parameter transformasi, buka koordinat titik berat untuk model Molodensky-Badekas, simpan hasil hitungan, hitung, ekstraksi isi tabel hasil hitungan ke program Microsoft Excel, bersihkan tabel, dan bantuan penggunaan program aplikasi.
- Tab tabel, yang terdiri dari tab tabel *input* dan *output* hitungan, tab tabel basis data 7-parameter transformasi, dan tab basis data 14-parameter transformasi.

- d. Frame, yang terdiri dari frame untuk menampilkan parameter transformasi, frame untuk memilih model matematik untuk transformasi, dan frame untuk memasukkan/menampilkan nama datum/kerangka acuan dan epok acuan.

Untuk penjelasan lebih detil penggunaan fasilitas yang ada pada jendela hitungan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan ini, telah di sediakan dalam panduan penggunaan program aplikasi yang dapat di buka dari menu bantuan atau *shortcut* penggunaan program aplikasi () yang ada dalam jendela ini.

IV.2. Hasil Hitungan Program Aplikasi

IV.2.1. Hasil hitungan 7-parameter transformasi model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas

IV.2.1.1. Tujuh parameter transformasi. Hitungan 7-parameter transformasi menggunakan koordinat ITRF berjumlah 70 dan 60 titik sekutu (lokasi dan koordinat titik sekutu terdapat pada Lampiran 1). Tujuh parameter transformasi ini merupakan hasil hitungan transformasi antara kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan ITRF08 ke ITRF05. Koordinat ITRF yang digunakan dalam hitungan adalah koordinat hasil pengamatan dengan teknik VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), GPS (*Global Positioning System*), dan SLR (*Satellite Laser Ranging*), yang diunduh pada situs http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/index.php. Hasil hitungan 7-parameter transformasi tersebut disajikan dalam Tabel IV.1.

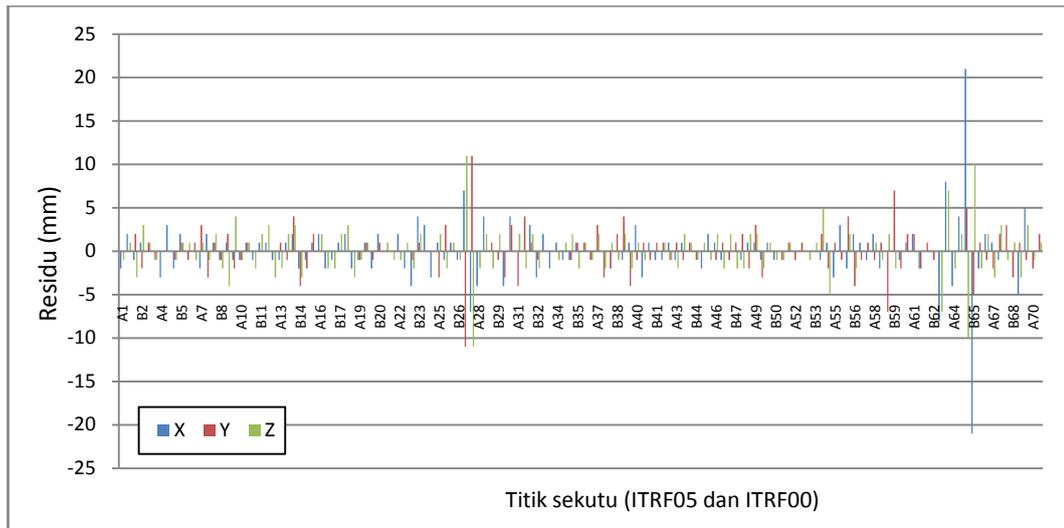
Tabel IV.1. 7-parameter transformasi hasil hitungan

Transformasi	Varian a posteori	Tx (mm)	Ty (mm)	Tz (mm)	ds (ppb)	Rx (mas)	Ry (mas)	Rz (mas)
Model Bursa-Wolf								
Dari ITRF05 ke ITRF00 (70 titik sekutu)	1,162E-05	0,8 ± 0,7	-1,5 ± 0,7	-5,3 ± 0,7	0,12 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00	-0,01 ± 0,00
Dari ITRF08 ke ITRF05 (60 titik sekutu)	1,297E-05	-0,42 ± 0,7	-1,06 ± 0,7	-4,18 ± 0,7	0,81 ± 0,00	-0,04 ± 0,00	-0,001 ± 0,00	-0,02 ± 0,00
Model Molodensky-Badekas								
Dari ITRF05 ke ITRF00 (70 titik sekutu)	1,162E-05	0,7 ± 0,7	-1,3 ± 0,7	-5,0 ± 0,7	0,12 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,02 ± 0,00	-0,01 ± 0,00
Dari ITRF08 ke ITRF05 (60 titik sekutu)	1,297E-05	0,33 ± 0,7	-1,85 ± 0,7	-2,38 ± 0,7	0,81 ± 0,00	-0,04 ± 0,00	-0,001 ± 0,00	-0,02 ± 0,00

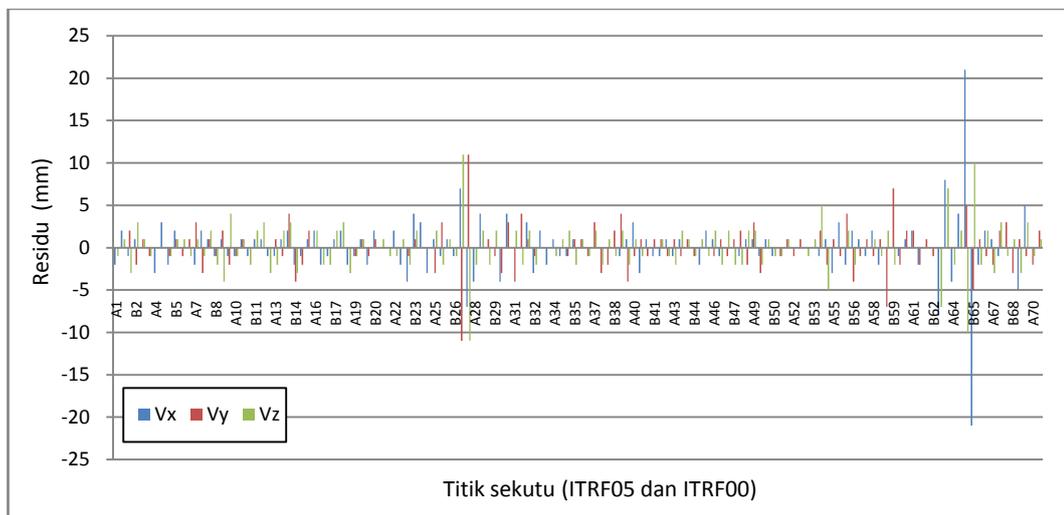
Dari tabel IV.1 dapat dilihat, ada perbedaan nilai parameter translasinya (Tx, Ty, dan Tz) antara model Bursa-Wolf dan model Molodensky-Badekas, akan tetapi nilai standar deviasinya tidak ada perbedaan. Nilai varian a posteori antara model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas tidak ada perbedaan. Secara teori antara model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas memang ada perbedaan nilai parameter yaitu pada parameter translasinya (Tx, Ty, dan Tz), sedangkan parameter rotasi dan perbedaan skala nilainya sama. Dari hasil hitungan ini maka dapat dikatakan hasil hitungan parameter transformasi menggunakan model matematik Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas dengan program aplikasi yang dibuat sudah benar.

IV.2.1.2. Residu. Transformasi dari koordinat ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 untuk mencari tujuh parameter transformasi. Proses hitungannya dengan HKT metode kombinasi. Model persamaan yang digunakan adalah model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas. Dari HKT metode kombinasi meghasilkan nilai residu (Vx, Vy, Vz) pengukuran/koordinat pada

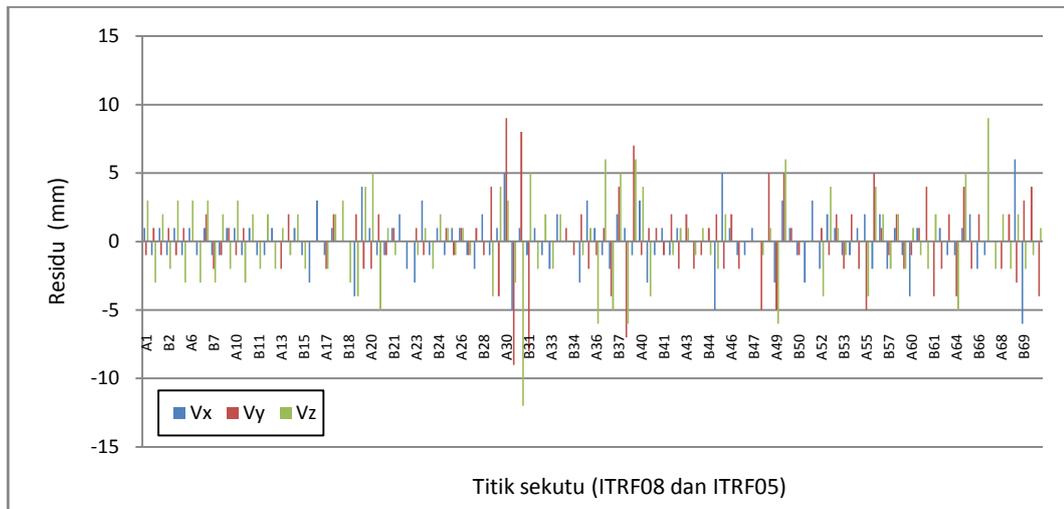
masing-masing kerangka acuan. Nilai residu masing-masing koordinat ITRF00, ITRF05, dan ITRF08 dari masing masing transformasi dapat dilihat pada Lampiran 2, dan Gambar IV.9 s.d IV.12 berikut:



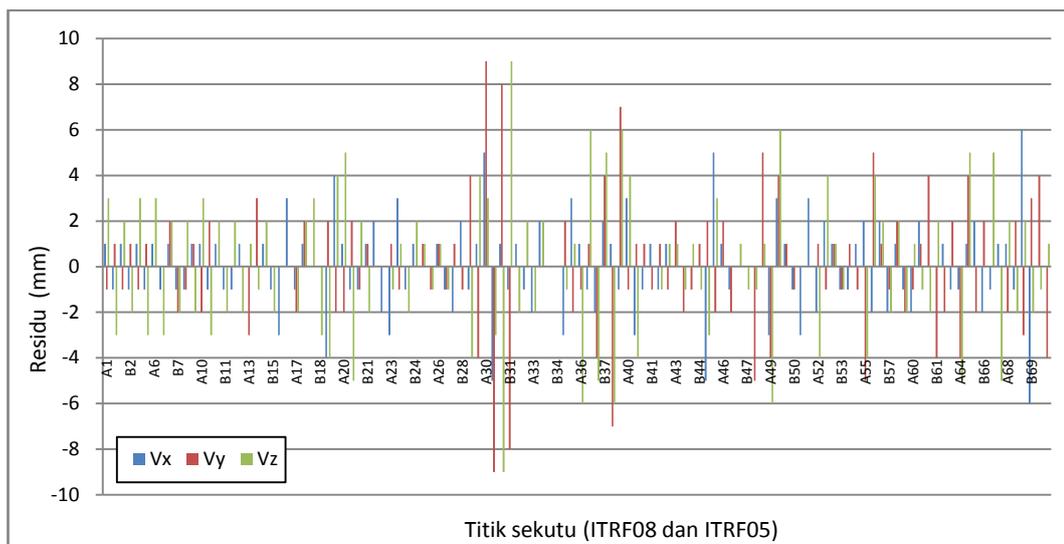
Gambar IV.9 Residu pengukuran hasil HKT model Bursa-Wolf dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu



Gambar IV.10 Residu pengukuran hasil HKT model Molodensky-Badekas dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu



Gambar IV.11 Residu pengukuran hasil HKT model Bursa-Wolf dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu



Gambar IV.12 Residu pengukuran hasil HKT model Molodensky-Badekas dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu

Dari Gambar IV.9 dan IV.10 dapat dilihat ada dua titik sekutu yang nilai residu koordinatnya $> \pm 1$ cm yaitu titik sekutu 27 (pada arah sumbu y dan z) dan 65 (pada arah sumbu x dan z), untuk titik sekutu lainnya nilai residu koordinatnya $< \pm 1$ cm. Dari Gambar IV.11 dapat dilihat ada satu titik sekutu yang nilai residu koordinatnya > -1 cm yaitu titik sekutu 31 (pada arah sumbu z), untuk titik sekutu

lainnya nilai residu koordinatnya $< \pm 1$ cm. Dari Gambar IV.12 dapat dilihat semua nilai residu koordinatnya $< \pm 1$ cm. Secara keseluruhan nilai residu yang dihasilkan cukup kecil, ini menunjukkan data yang digunakan untuk hitungan memiliki kesalahan pengukuran yang relatif kecil dan seragam.

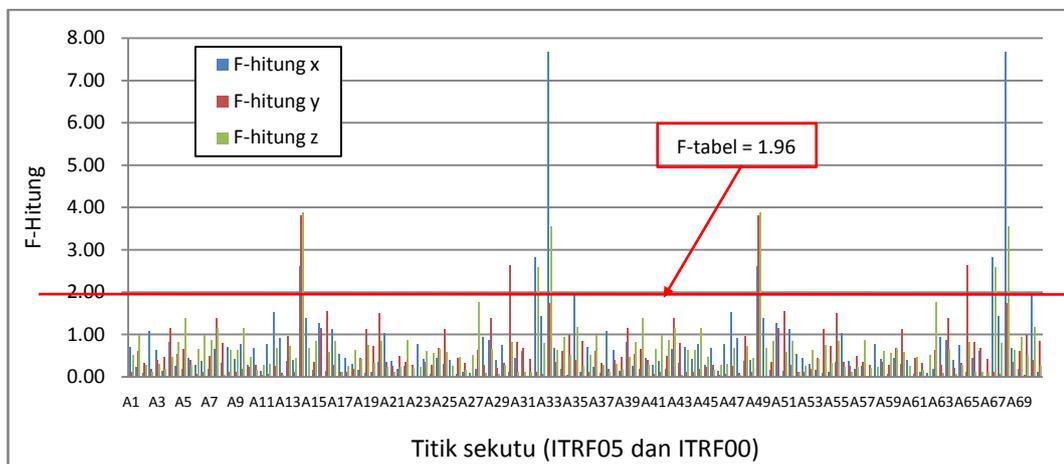
IV.2.1.3. Uji global dengan *Chi-Square* (χ^2). Varian a posteori dihitung menggunakan persamaan II.23 dan nilai χ^2_{df} dihitung menggunakan persamaan II.70. Nilai varian a posteori dari hasil hitungan parameter transformasi menggunakan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas dapat dilihat pada Tabel IV.1. Nilai $\chi^2_{\alpha,df}$ dengan beberapa derajat kepercayaan dapat dilihat dalam tabel distribusi χ^2 pada lampiran 6. Hasil uji *Chi-Square* dengan derajat kepercayaan 5% dapat dilihat pada Tabel IV.2.

Tabel IV.2. Hasil uji global

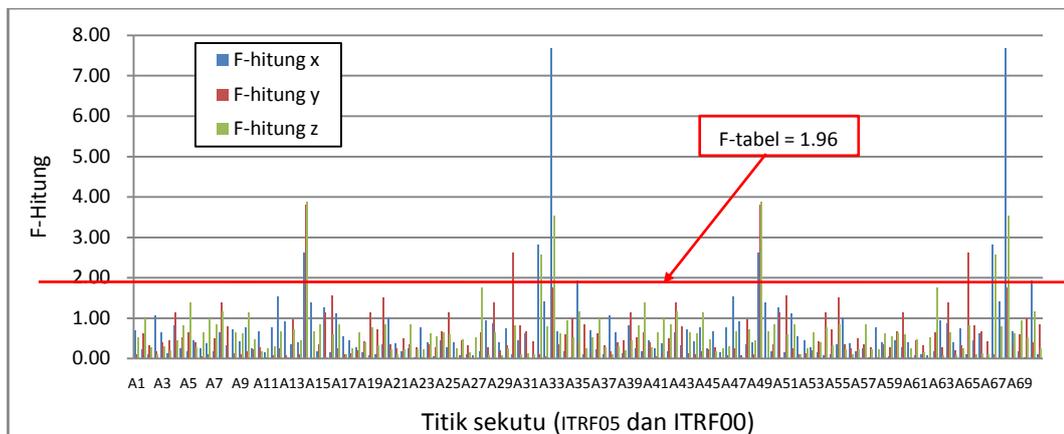
Transformasi	df	$\chi^2_{\alpha,df}$ $\alpha = 0,05$	Model Bursa-Wolf		Model Molodensky-Badekas	
			χ^2_{df}	Hasil Uji	χ^2_{df}	Hasil Uji
ITRF05 ke ITRF00 (70 titik)	203	237,24	0,003	Model sudah benar	0,003	Model sudah benar
ITRF08 ke ITRF05 (60 titik)	173	204,69	0,002	Model sudah benar	0,002	Model sudah benar

Hasil uji global transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari kerangka acuan ITRF08 ke ITRF05 seperti yang disajikan pada Tabel IV.2, dapat dilihat nilai $\chi^2_{df} < \chi^2_{\alpha,df}$ baik model Bursa-Wolf maupun Model Molodensky-Badekas. Dari hasil uji tersebut dapat dikatakan penerapan kedua model pada transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari kerangka acuan ITRF08 ke ITRF05 sudah benar.

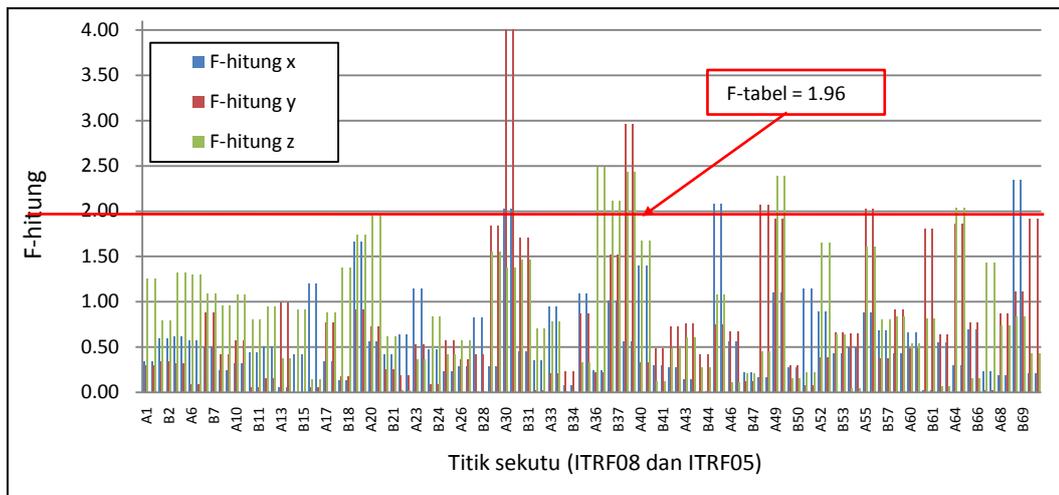
IV.2.1.4. Deteksi blunder dengan uji F. Uji blunder biasanya dilakukan apabila uji global tidak diterima, akan tetapi walaupun uji global diterima, sering kali masih ada data pengukuran yang tidak lolos uji blunder. Hasil uji blunder disajikan dalam tabel pada Lampiran 4, sedangkan untuk sebaran nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITR00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 dengan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas dapat dilihat pada Gambar IV.13 s.d IV.16 berikut:



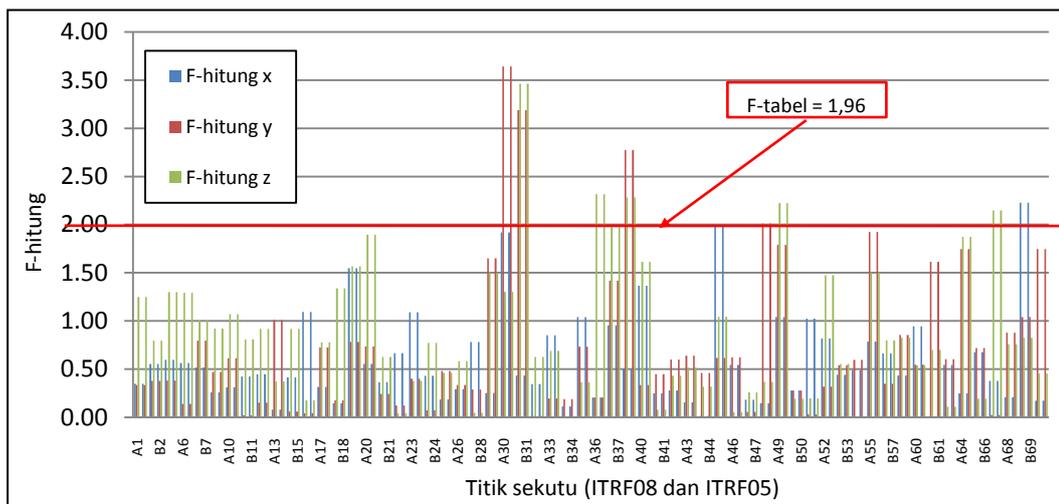
Gambar IV.13. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu (model Bursa-Wolf)



Gambar IV.14. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu (model Molodensky-Badekas)



Gambar IV.15. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu (model Bursa-Wolf)



Gambar IV.16. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu (model Molodensky-Badekas)

Dari Gambar IV.13 dan IV.14 ada 8 titik sekutu (titik 14, 30, 32, 33, 49, 65, 67, dan 68) yang tidak lolos uji blunder untuk derajat kepercayaan ($\alpha = 5\%$). Nilai F-hitung dari 8 titik sekutu tersebut $>$ F-tabel yaitu 1,96. Dari Gambar IV.15 ada 10 titik sekutu (titik 25, 31, 32, 33, 39, 42, 43, 49, 55, dan 59) yang tidak lolos uji blunder untuk derajat kepercayaan ($\alpha = 5\%$). Nilai F-hitung dari kesepuluh titik sekutu tersebut $>$ F-tabel yaitu 1,96. Dari Gambar IV.16 ada 10

titik sekutu (titik 25, 26, 31, 32, 33, 39, 42, 43, 57, dan 59) yang tidak lolos uji blunder untuk derajat kepercayaan ($\alpha = 5\%$). Nilai F-hitung dari 10 titik sekutu tersebut $>$ F-tabel yaitu 1,96. Terjadinya bunder ini diakibatkan karena sebaran titik yang digunakan dalam hitungan belum baik, ini dibuktikan pada saat titik-titik sekutu yang terdapat blunder dihilangkan kemudian dilakukan hitungan kembali ternyata masih ada titik-titik yang tidak lolos uji blunder. Walaupun titik sekutu tersebut tidak lolos uji blunder, tetapi masih dilibatkan dalam hitungan, karena hasil uji globalnya diterima.

IV.2.1.5. Uji signifikansi parameter dengan uji t. Uji signifikansi parameter dilakukan untuk mengetahui apakah parameter transformasi mempunyai pengaruh yang signifikan atau tidak terhadap perubahan koordinat dari ITRF05 ke koordinat ITRF00 dan dari koordinat ITRF08 ke koordinat ITRF05. Uji signifikansi parameter menggunakan derajat kepercayaan (α) = 5% dengan $df = \infty$. Nilai parameter dan standar deviasinya dapat dilihat pada Tabel IV.1. Uji signifikansi parameter hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 menggunakan 70 titik sekutu dan dari ITRF08 ke ITRF05 menggunakan 60 titik sekutu, dengan model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas disajikan pada Tabel IV.3 dan IV.4 berikut.

Tabel IV.3. Hasil uji signifikansi parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00

Parameter	t-tabel $df = \infty, \alpha/2 = 0,025$	Model Bursa-Wolf		Model Molodensky-Badekas	
		t-hitung	Signifikansi	t-hitung	Signifikansi
Tx	1,96	1,60	Tidak	1,02	Tidak
Ty	1,96	3,00	Ya	1,897	Tidak
Tz	1,96	10,6	Ya	7,33	Ya
ds	1,96	1,50	Tidak	1,098	Tidak
Rx	1,96	1,50	Tidak	0,94	Tidak
Ry	1,96	1,00	Tidak	0,67	Tidak
Rz	1,96	0,50	Tidak	0,27	Tidak

Dari Tabel IV.3 dapat dilihat parameter transformasi yaitu T_y dan T_z pada model Bursa-Wolf, dan T_z pada model Molodensky-Badekas nilai t-hitung $> 1,96$, dapat dikatakan bahwa parameter tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan koordinat dari koordinat ITR05 ke ITRF00. Untuk parameter transformasi yang lain, nilai t-hitung $< 1,96$, dapat dikatakan bahwa parameter-parameter tersebut tidak signifikan pengaruhnya terhadap perubahan koordinat, dari koordinat ITRF05 ke ITRF00.

Tabel IV.4. Hasil uji t parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05

Titik Sekutu	t-tabel $df = \infty, \alpha/2 = 0,025$	Model Bursa-Wolf		Model Molodensky-Badekas	
		t-hitung	Signifikansi	t-hitung	Signifikansi
Tx	1,96	0,521	Tidak	0,494	Tidak
Ty	1,96	1,908	Tidak	2,826	Ya
Tz	1,96	6,047	Ya	3,624	Ya
ds	1,96	7,935	Ya	7,201	Ya
Rx	1,96	1,135	Tidak	1,299	Tidak
Ry	1,96	0,045	Tidak	0,044	Tidak
Rz	1,96	0,822	Tidak	0,646	Tidak

Dari Tabel IV.4 dapat dilihat parameter transformasi T_z , dan ds pada model Bursa-Wolf, dan T_y , T_z , dan ds pada model Molodensky-Badekas nilai t-hitungnya $> 1,96$, dapat dikatakan bahwa parameter transformasi tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan koordinat dari koordinat ITR08 ke ITRF05. Untuk parameter transformasi yang lain, nilai t-hitung $< 1,96$, dapat dikatakan bahwa parameter-parameter tersebut tidak signifikan pengaruhnya terhadap perubahan koordinat, dari koordinat ITRF08 ke ITRF05.

IV.2.2. Hasil hitungan parameter transformasi model Helmert 14-parameter

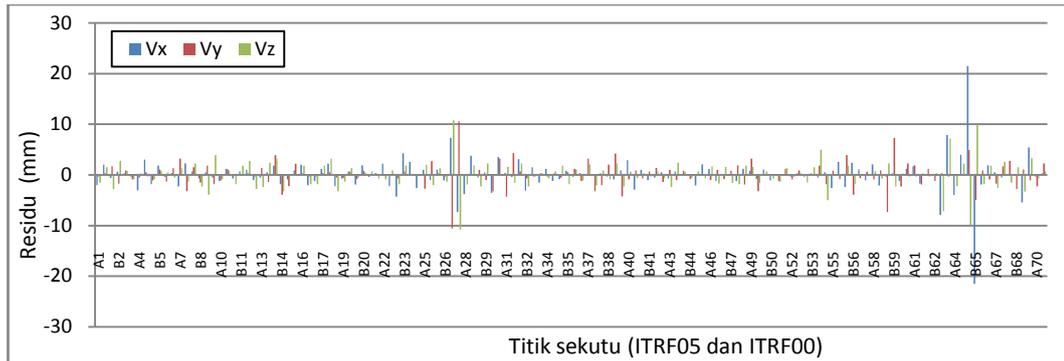
IV.2.2.1. 14-parameter transformasi. Hitungan 14-parameter transformasi menggunakan koordinat ITRF berjumlah 70 dan 60 titik sekutu (lokasi dan koordinat titik sekutu pada Lampiran 1). Empatbelas parameter transformasi ini merupakan hasil hitungan transformasi antara kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan ITRF08 ke ITRF05. Koordinat ITRF yang digunakan dalam hitungan adalah koordinat hasil pengamatan dengan teknik VLBI, GPS, dan SLR, yang diunduh pada alamat *website*: http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/index.php. Hasil hitungan 14-parameter transformasi tersebut disajikan dalam Tabel IV.5 berikut.

Tabel IV.5. 14-parameter transformasi

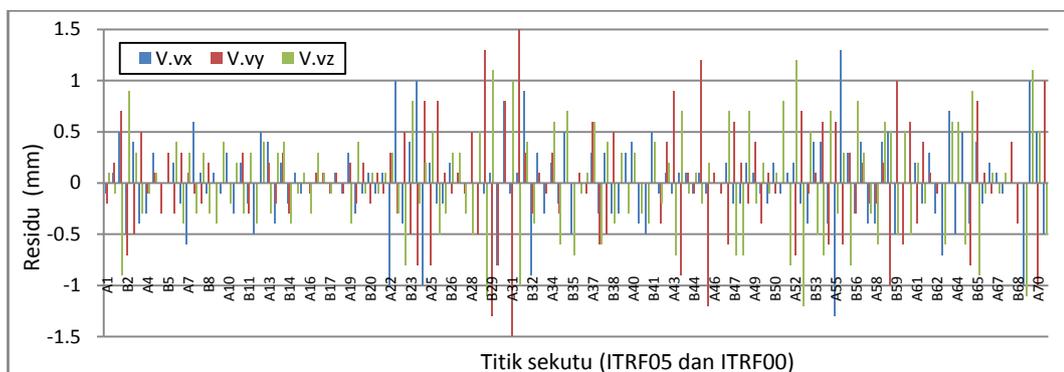
ITRF	Tx (mm)	Ty (mm)	Tz (mm)	ds (ppb)	Rx (mas)	Ry (mas)	Rz (mas)	Epok acuan
Dari ITRF05 ke ITRF00 (70 titik sekutu)	0,8 ±0,5	-1,5 ±0,5	-5,3 ±0,5	0,12 ±0,08	0,027 ±0,021	0,019 ±0,020	-0,008 ±0,021	2000,00
Kecepatan/th	-0,2 ±0,5	0,1 ±0,5	-1,8 ±0,5	0,08 ±0,08	0,002 ±0,021	0,000 ±0,020	0,003 ±0,021	
Varian a posteori = 8,31E-06								
Dari ITRF08 ke ITRF05 (60 titik sekutu)	-0,4 ±0,53	-1,1 ±0,53	-4,2 ±0,52	0,81 ±0,08	-0,037 ±0,020	0,001 ±0,020	-0,019 ±0,021	2005,00
Kecepatan/th	0,3 ±0,5	0,0 ±0,5	0,0 ±0,5	-0,02 ±0,08	0,003 ±0,020	0,003 ±0,020	0,002 ±0,021	
Varian a posteori = 6,59E-06								

IV.2.2.2. Residu. Transformasi dari koordinat ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 untuk mencari 14 parameter transformasi. Proses hitungannya dengan HKT metode kombinasi. Model persamaan yang digunakan adalah model Helmert 14-parameter. Dari HKT metode kombinasi menghasilkan nilai residu koordinat (V_x , V_y , V_z) dan kecepatan ($V_{.vx}$, $V_{.vy}$, $V_{.vz}$)

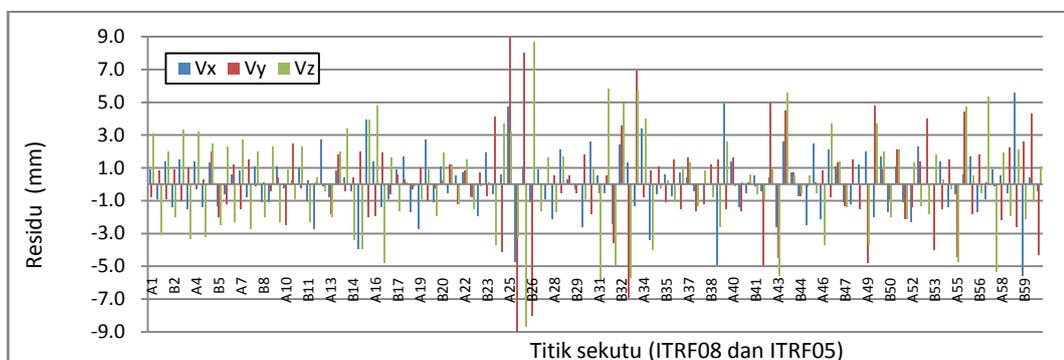
pengukuran/koordinat dan kecepatan pada masing-masing kerangka acuan. Nilai residu masing-masing koordinat dan kecepatan ITRF00, ITRF05, dan ITRF08 dari masing masing transformasi dapat dilihat pada Lampiran 2, dan Gambar IV.17 s.d IV.20 berikut.



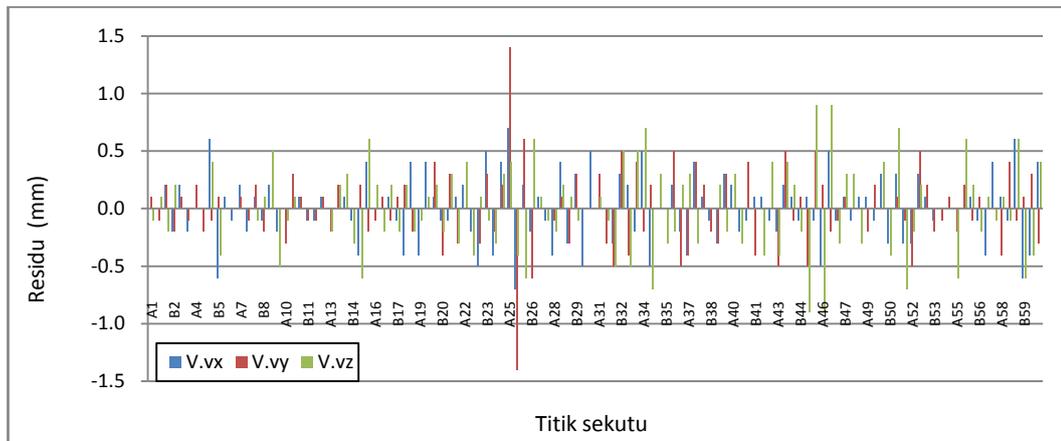
Gambar IV.17 Residu koordinat hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu



Gambar IV.18 Residu kecepatan hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu



Gambar IV.19 Residu koordinat hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu



Gambar IV.20 Residu kecepatan hasil HKT menggunakan model Helmert 14-parameter dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu

Dari Gambar IV.17 dapat dilihat ada dua titik sekutu yang nilai residu koordinatnya $> \pm 1$ cm yaitu titik 27 (pada arah sumbu y dan z) dan titik 65 (pada arah sumbu x), untuk titik sekutu lainnya nilai residu koordinatnya $< \pm 1$ cm. Dari Gambar IV.18, IV.19, dan IV.20 dapat dilihat nilai residu baik koordinat maupun kecepatan semuanya $< \pm 1$ cm. Secara keseluruhan nilai residu yang dihasilkan cukup kecil, ini menunjukkan data yang digunakan untuk hitungan memiliki kesalahan pengukuran yang relatif kecil dan seragam.

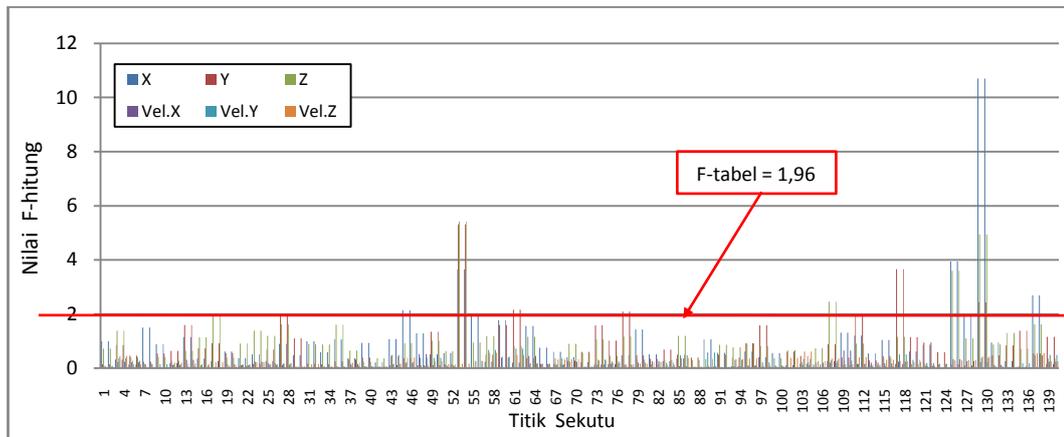
IV.2.2.3. Uji global dengan *Chi-Square* (χ^2). Varian a posteori dihitung menggunakan persamaan II.23 dan nilai χ^2_{df} dihitung menggunakan persamaan II.70. Nilai varian a posteori dari hasil hitungan parameter transformasi menggunakan model Helmert 14-parameter dapat dilihat pada Tabel IV.5. Nilai $\chi^2_{\alpha,df}$ dengan beberapa derajat kepercayaan dapat dilihat dalam tabel distribusi χ^2 pada Lampiran 6. Hasil uji *Chi-Square* dengan derajat kepercayaan 5% dapat dilihat pada Tabel IV.6 berikut:

Tabel IV.6. Hasil uji global model Helmert 14-parameter

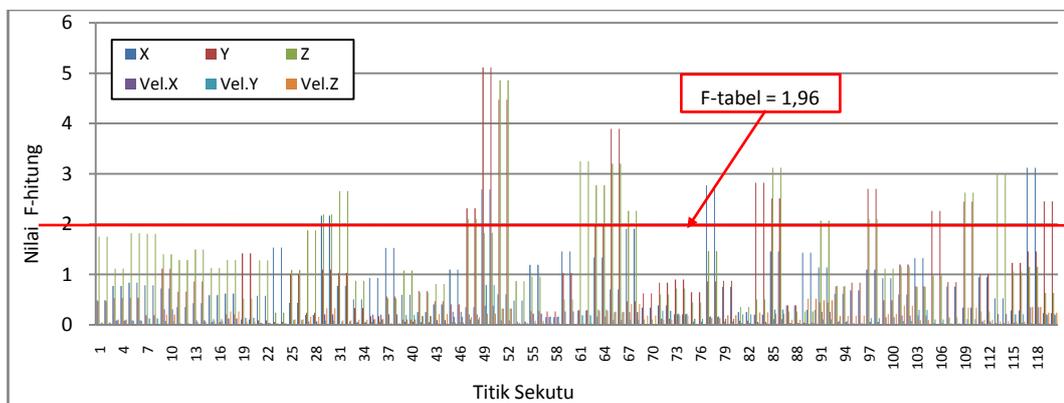
Transformasi	df	χ^2_{df}	$\chi^2_{\alpha,df}$ $\alpha = 0,05$	Hasil Uji
ITRF08 ke ITRF05 (60 titik sekutu)	346	0,002	380,11	Model sudah benar
ITRF05 ke ITRF00 (70 titik sekutu)	406	0,003	442,92	Model sudah benar

Hasil uji global transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari kerangka acuan ITRF08 ke ITRF05 menggunakan model Helmert 14-parameter seperti yang disajikan pada Tabel IV.6, dapat dilihat nilai $\chi^2_{df} < \chi^2_{\alpha,df}$. Dari hasil uji tersebut dapat dikatakan penerapan model pada transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari kerangka acuan ITRF08 ke ITRF05 sudah benar.

IV.2.2.4. Deteksi blunder dengan uji F. Uji blunder biasanya dilakukan apabila uji global tidak diterima, tetapi walaupun uji global diterima, sering kali masih ada data pengukuran yang tidak lolos uji blunder. Hasil uji blunder disajikan dalam tabel pada Lampiran 4, sedangkan untuk sebaran nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITR00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 dengan model Helmert 14-parameter dapat dilihat pada Gambar IV.21 dan IV.22 berikut.



Gambar IV.21. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dengan 70 titik sekutu (model Helmert 14-parameter)



Gambar IV.22. Nilai F-hitung hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 dengan 60 titik sekutu (model Helmert 14-parameter)

Dari Gambar IV.21 ada 8 titik sekutu (titik 23, 27, 31, 39, 54, 59, 63, 64, 65, dan 69) yang tidak lolos uji blunder untuk derajat kepercayaan ($\alpha = 5\%$). Nilai F-hitung dari 8 titik sekutu tersebut $>$ F-tabel yaitu 1,96. Dari Gambar IV.22 ada 19 titik sekutu (titik 15, 16, 24, 25, 26, 31, 32, 33, 34, 39, 42, 43, 46, 49, 53, 55, 57, 59 dan 60) yang tidak lolos uji blunder untuk derajat kepercayaan ($\alpha = 5\%$). Nilai F-hitung dari 19 titik sekutu tersebut $>$ F-tabel yaitu 1,96. Terjadinya blunder ini diakibatkan karena sebaran titik yang digunakan dalam hitungan belum baik, ini dibuktikan pada saat titik-titik sekutu yang terdapat blunder dihilangkan kemudian dilakukan hitungan kembali ternyata masih ada

titik-titik yang tidak lolos uji blunder. Walaupun titik sekutu tersebut tidak lolos uji blunder, tetapi masih dilibatkan dalam hitungan, karena hasil uji globalnya diterima.

IV.2.2.5. Uji signifikansi parameter dengan uji t. Uji signifikansi parameter dilakukan untuk mengetahui apakah parameter transformasi mempunyai pengaruh yang signifikan atau tidak terhadap perubahan koordinat ITRF05 ke koordinat ITRF00 dan dari koordinat ITRF08 ke koordinat ITRF05. Uji signifikansi parameter menggunakan derajat kepercayaan (α) = 5% dengan derajat $df = \infty$. Nilai parameter dan standar deviasinya dapat dilihat pada Tabel IV.1. Uji signifikansi parameter hasil transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 menggunakan 70 titik sekutu dan dari ITRF08 ke ITRF05 menggunakan 60 titik sekutu, dengan model Helmert 14-parameter disajikan pada Tabel IV.7 berikut.

Tabel IV.7. Hasil uji signifikansi 14-parameter transformasi

Parameter	Dari ITRF05 ke ITRF00 (70 titik sekutu)			Dari ITRF08 ke ITRF05 (60 titik sekutu)		
	t-tabel $df = \infty, \alpha/2 = 0.025$	t-hitung	Signifikansi	t-tabel $df = \infty, \alpha/2 = 0.025$	t-hitung	Signifikansi
T _x	1,96	1,533	Tidak	1,96	0,795	Tidak
T _y	1,96	2,874	Ya	1,96	2,016	Ya
T _z	1,96	10,298	Ya	1,96	8,113	Ya
d _s	1,96	1,533	Tidak	1,96	10,105	Ya
R _x	1,96	1,308	Tidak	1,96	1,823	Tidak
R _y	1,96	0,931	Tidak	1,96	0,061	Tidak
R _z	1,96	0,376	Tidak	1,96	0,906	Tidak
\dot{T}_x	1,96	0,451	Tidak	1,96	0,508	Tidak
\dot{T}_y	1,96	0,256	Tidak	1,96	0,075	Tidak
\dot{T}_z	1,96	3,553	Ya	1,96	0,029	Tidak
\dot{d}_s	1,96	1,006	Tidak	1,96	0,225	Tidak
\dot{R}_x	1,96	0,109	Tidak	1,96	0,145	Tidak
\dot{R}_y	1,96	0,004	Tidak	1,96	0,054	Tidak
\dot{R}_z	1,96	0,123	Tidak	1,96	0,094	Tidak

Dari Tabel IV.7 dapat dilihat ada 3 parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 yaitu T_y , T_z , dan t_z , dan ada 3 parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 yaitu T_y , T_z , dan ds nilai t -hitungnya $> 1,96$, dapat dikatakan parameter transformasi tersebut mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan koordinat transformasinya. Untuk parameter transformasi yang lain, nilai t -hitungnya $< 1,96$, dapat dikatakan bahwa parameter-parameter tersebut mempunyai pengaruh yang tidak signifikan terhadap perubahan koordinat transformasinya.

IV.3. Analisis Hasil Hitungan Program Aplikasi

IV.3.1. Matriks invers

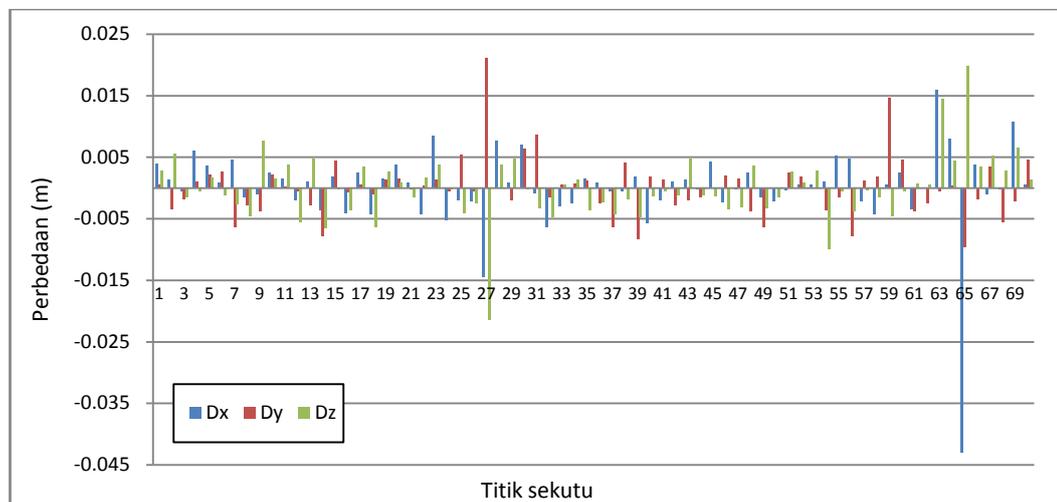
Dari hasil hitungan seperti yang terlampir pada Lampiran 8, untuk hitungan matriks $(BP^{-1} B^T)^{-1}$ antara program aplikasi yang dibuat dengan program Microsoft Excel tidak ada perbedaan sama sekali. Sedangkan untuk hitungan matriks $(A^T (BP^{-1} B^T)^{-1} A)^{-1}$ terdapat perbedaan, akan tetapi perbedaannya relatif sangat kecil yaitu lebih dari digit ke 20 di belakang koma, nilai perbedaan ini tidak berpengaruh besar terhadap parameter transformasi yang dihasilkan.

IV.3.2. Analisis koordinat hasil transformasi balik

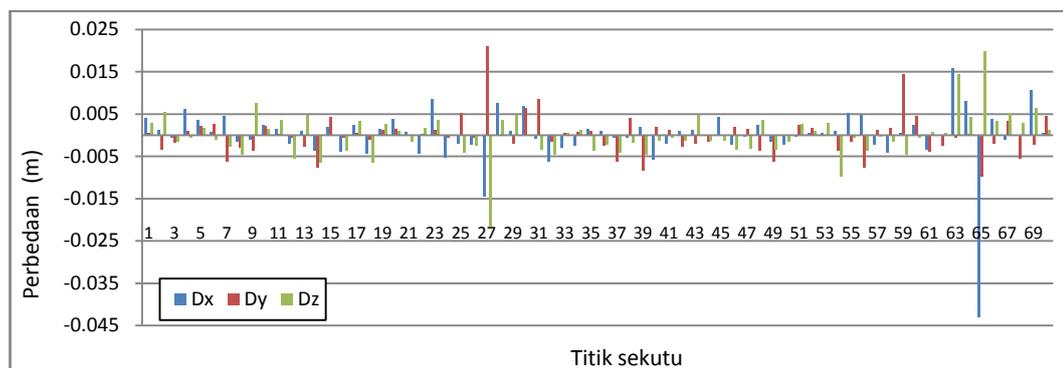
Analisis koordinat hasil transformasi balik dengan model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter dilakukan dengan menghitung perbedaan koordinat transformasi balik terhadap koordinat hasil pengukuran, sehingga diketahui kisaran perbedaan dan RMS-nya. Pembahasan lebih lanjut transformasi balik dari masing-masing model dapat dijelaskan sebagai berikut:

IV.3.2.1. Transformasi balik dengan Model Bursa-Wolf dan Molodensky-

Badekas. Koordinat ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik menggunakan 7-parameter transformasi hasil hitungan dari ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 disajikan dalam tabel pada Lampiran 3. Kisaran perbedaan dan RMS dari koordinat ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik dapat dilihat pada Gambar IV.23 s.d IV.26, Tabel IV.8 dan IV.9 berikut.



Gambar IV.23. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Bursa-Wolf)

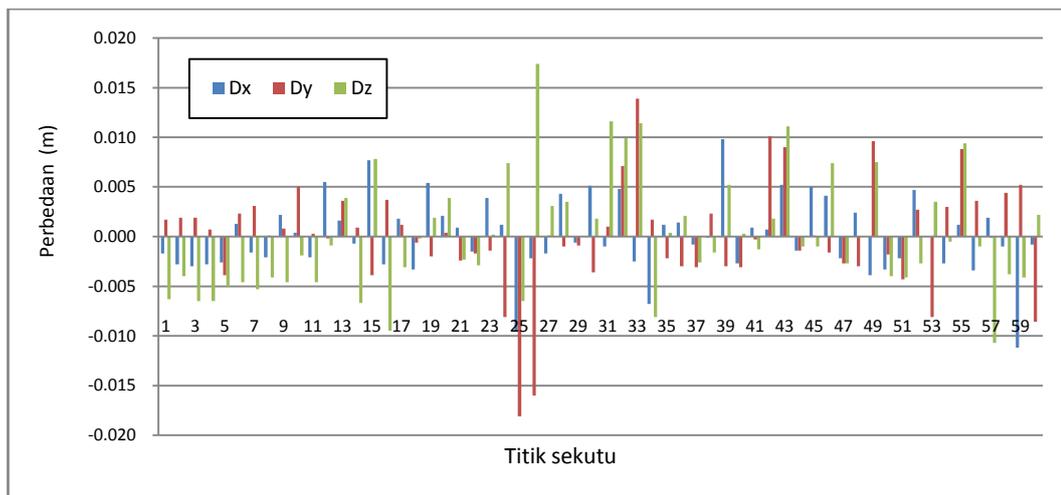


Gambar IV.24. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Molodensky-Badecass)

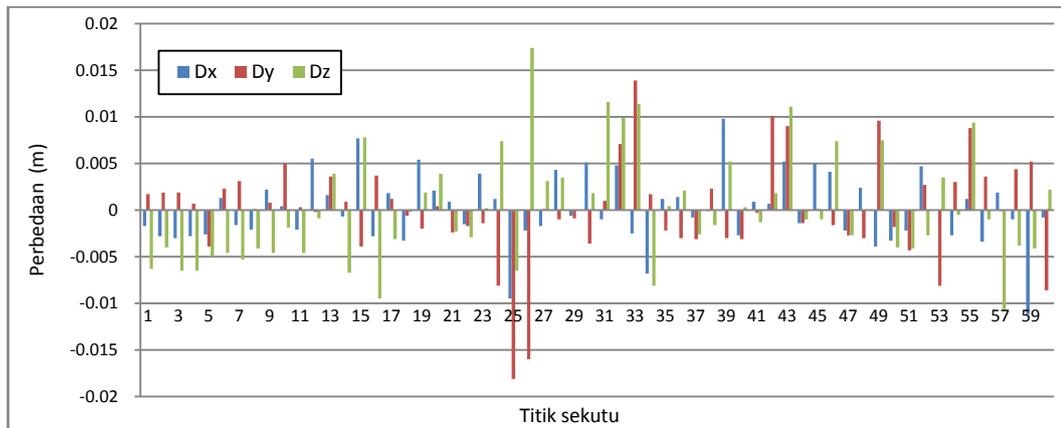
Tabel IV.8. RMS koordinat titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas

70 titik Sekutu	
Model Bursa-Wolf	Model Molodensky-Badekas
RMS _x = 0.007 m	RMS _x = 0.007 m
RMS _y = 0.005 m	RMS _y = 0.005 m
RMS _z = 0.005 m	RMS _z = 0.005 m
RMS _e = 0.009m	RMS _e = 0.009 m

Dari Gambar IV.23 dan IV.24 dapat dilihat kisaran perbedaan koordinat ITRF00 (hasil HKT model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas menggunakan 70 titik sekutu) antara -0,043 m s.d 0,021 m . Nilai perbedaannya seragam, hanya dalam fraksi milimeter, tetapi ada 6 titik sekutu yang nilainya $> \pm 1$ cm yaitu titik 27, 54, 59, 63, 65, dan 69. Kalau dilihat nilai RMSe-nya pada Tabel IV.8, baik menggunakan model Bursa-Wolf maupun Molodensky-Badekas, nilainya relatif kecil yaitu 9 mm, ini dapat diartikan penerapan model transformasi untuk menghitung parameter transformasi dalam program aplikasi yang dibuat sudah benar.



Gambar IV.25. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Bursa-Wolf)



Gambar IV.26. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Molodensky-Badekas)

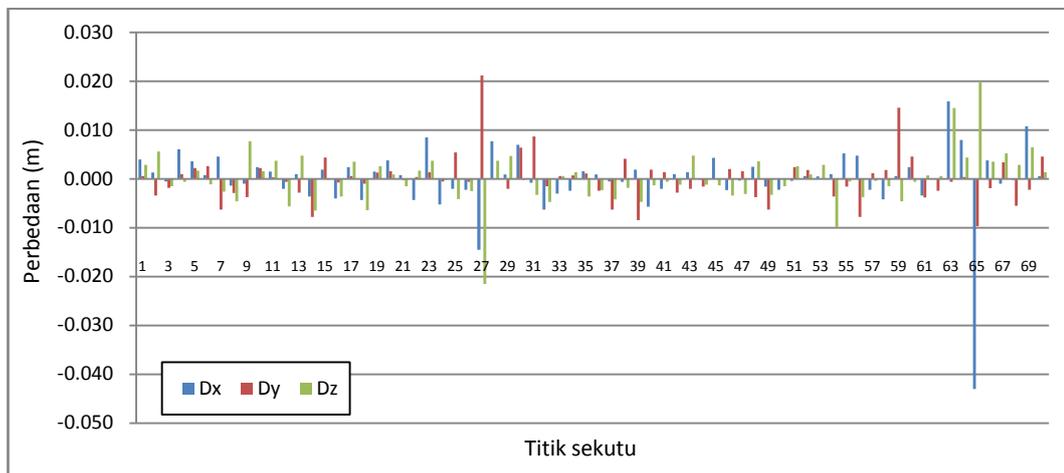
Tabel IV.9. RMS koordinat titik sekutu ITRF05 hasil transformasi balik dari ITRF08 ke ITRF05 model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas

60 titik Sekutu	
Model Bursa-Wolf	Model Molodensky-Badekas
RMSx = 0,004 m	RMSx = 0,004 m
RMSy = 0,005 m	RMSy = 0,005 m
RMSz = 0,006 m	RMSz = 0,006 m
RMS _e = 0,009 m	RMS _e = 0,009 m

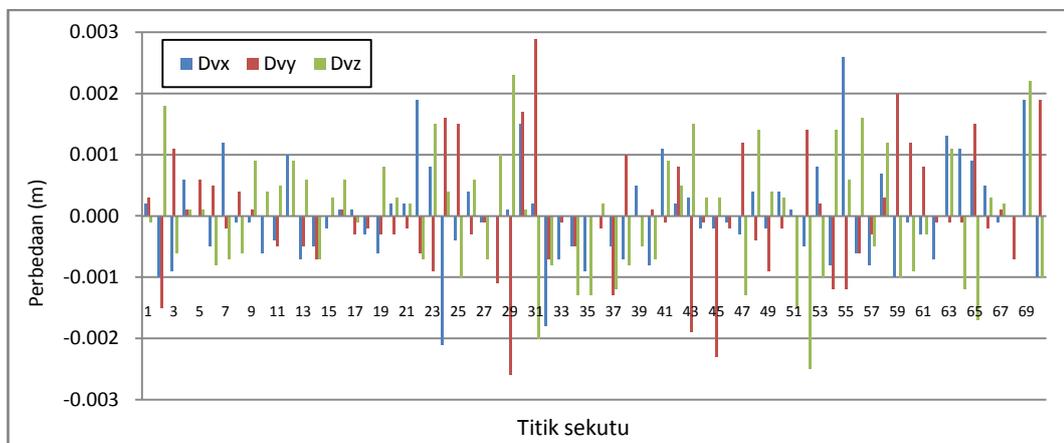
Dari Gambar IV.25 dan IV.26 dapat dilihat kisaran perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik (model Bursa-Wolf dan Molodensky-Badekas menggunakan 60 titik sekutu) antara -0,018 m s.d 0,017 m. Nilai perbedaannya seragam, hanya dalam fraksi milimeter, tetapi ada 8 titik sekutu yang nilainya $> \pm 1$ cm yaitu titik 25, 26, 31, 33, 42, 43, 57, dan 59. Kalau dilihat nilai RMS_e-nya pada Tabel IV.8, baik menggunakan model Bursa-Wolf maupun Molodensky-Badekas, nilainya relatif kecil yaitu 9 mm, ini dapat diartikan penerapan model transformasi untuk menghitung parameter transformasi dalam program aplikasi yang dibuat sudah benar.

IV.3.2.2. Transformasi balik dengan Model Helmert 14-parameter.

Koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik menggunakan 14 parameter transformasi hasil hitungan dari ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 dapat dilihat dalam tabel pada Lampiran 3. Kisaran perbedaan dan RMS dari koordinat dan kecepatan ITRF00 dan ITRF05 hasil transformasi balik terhadap koordinat hasil ukuran dapat dilihat pada Gambar IV.27 s.d IV.30, Tabel IV.10 dan IV.11 berikut.



Gambar IV.27. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter)

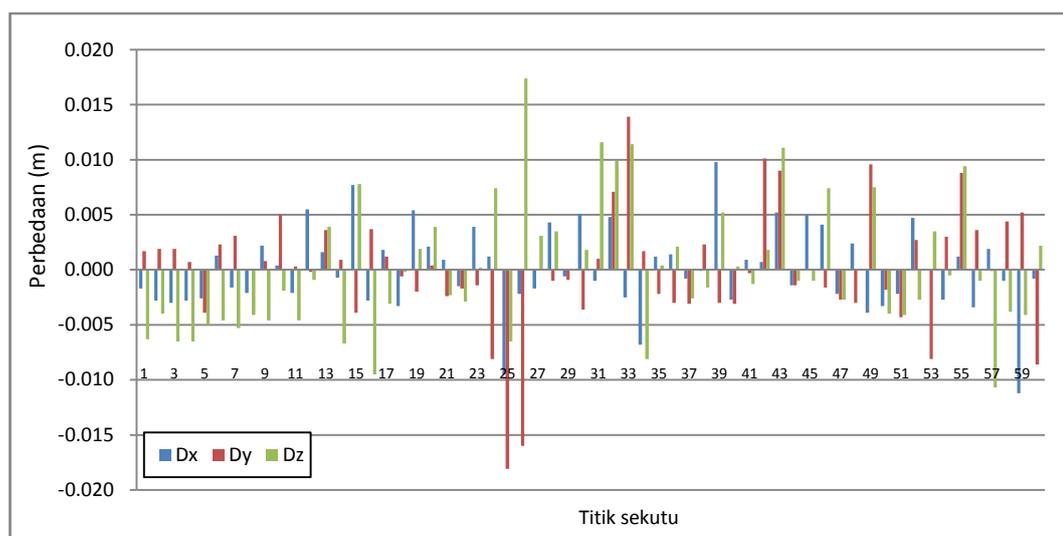


Gambar IV.28. Perbedaan kecepatan ITRF00 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter)

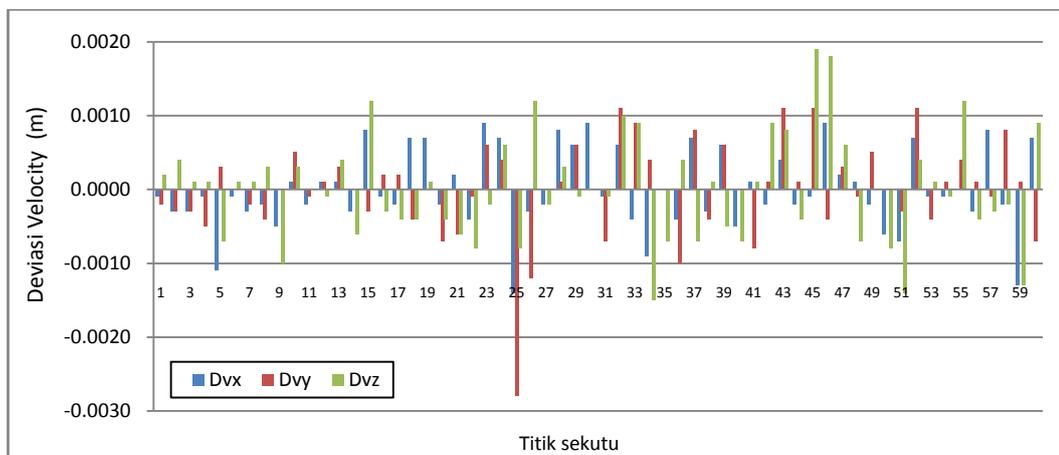
Tabel IV.10. RMS koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Helmert 14-parameter

Koordinat	Kecepatan
RMS _x = 0,007 m	RMS \dot{x} = 0,0008 m
RMS _y = 0,005 m	RMS \dot{y} = 0,001 m
RMS _z = 0,005 m	RMS \dot{z} = 0,001 m
RMSe = 0,009 m	RMS \dot{e} = 0,002 m

Dari Gambar IV.27 dan IV.28 dapat dilihat kisaran perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi balik dengan model Helmert 14-parameter menggunakan 70 titik sekutu berkisar antara antara -0,043 m s.d 0,021 m, sedangkan untuk kecepatannya antara -0,003 m s.d 0,003 m. Nilai perbedaannya seragam, hanya dalam fraksi milimeter, tetapi ada 6 titik sekutu yang nilai perbedaan koordinatnya $> \pm 1$ cm yaitu titik 27, 54, 59, 63, 65, dan 69. Kalau dilihat nilai RMSe koordinat dan kecepatannya nilainya relatif kecil. Nilai RMSe koordinat sebesar 9 mm, sedangkan untuk kecepatannya nilai RMSe-nya sebesar 2 mm, ini dapat diartikan penerapan model transformasi untuk menghitung parameter transformasi dalam program aplikasi yang dibuat sudah benar.



Gambar IV.29. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter)



Gambar IV.30. Perbedaan kecepatan ITRF05 hasil transformasi balik terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter)

Tabel IV.11. RMS Koordinat dan kecepatan titik sekutu ITRF00 hasil transformasi balik dari ITRF05 ke ITRF00 model Helmert 14-parameter

Koordinat	Kecepatan
RMS _x = 0,004 m	RMS \dot{x} = 0,0005 m
RMS _y = 0,005 m	RMS \dot{y} = 0,0006 m
RMS _z = 0,006 m	RMS \dot{z} = 0,0007 m
RMSe = 0,009 m	RMS \dot{e} = 0,0011 m

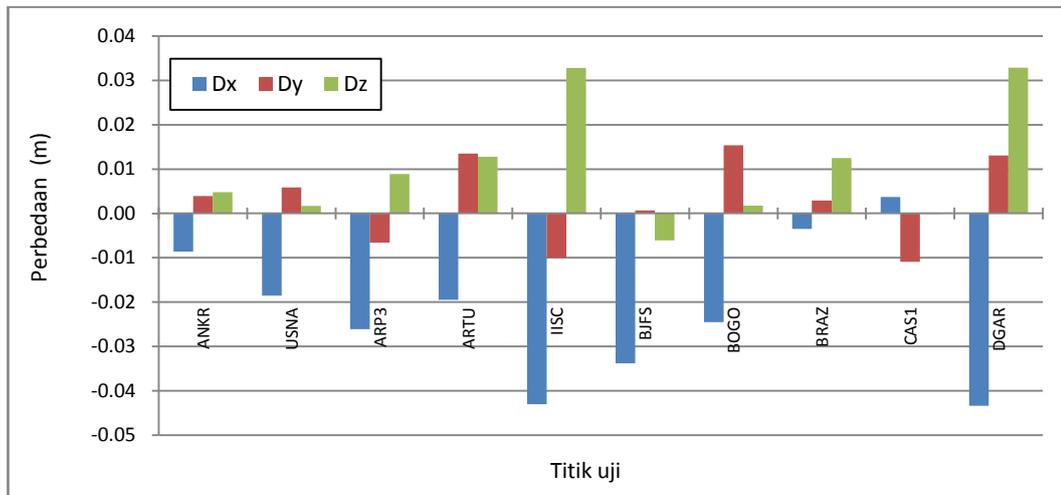
Dari Gambar IV.29 dan IV.30 dapat dilihat kisaran perbedaann koordinat ITRF05 hasil transformasi balik dengan model Helmert 14-parameter menggunakan 60 titik sekutu berkisar antara antara -0,018 m s.d 0,017 m, sedangkan untuk kecepatannya antara -0,003 m s.d 0,002 m. Nilai perbedaannya seragam, hanya dalam fraksi milimeter, tetapi ada 12 titik sekutu yang nilai perbedaannya $> \pm 1$ cm yaitu titik 16, 25, 26, 31, 32, 33, 39, 42, 43, 49, 57, dan 59. Kalau dilihat nilai RMSe koordinat dan kecepatannya nilainya relatif kecil. Nilai RMSe koordinat sebesar 9 mm, sedangkan untuk kecepatannya nilai RMSe-nya sebesar 1,1 mm, ini dapat diartikan penerapan model transformasi untuk menghitung parameter transformasi dalam program aplikasi yang dibuat sudah benar.

IV.3.3. Analisis koordinat titik uji hasil transformasi

Analisis koordinat titik uji hasil transformasi dilakukan dengan menghitung perbedaan koordinatnya terhadap koordinat hasil pengukuran, sehingga diketahui kisaran perbedaan dan RMS-nya. Analisis kisaran perbedaan koordinat titik uji dari ITR05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITR05 hasil transformasi hanya menggunakan 14-parameter transformasi hasil hitungan menggunakan model Helmert 14-parameter. Jumlah titik uji koordinat ITRF00, ITRF05, dan ITRF08 masing-masing sebanyak 10 titik dapat dilihat pada Lampiran 1. Pembahasan lebih lanjut transformasi koordinat dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 dan dari ITRF08 ke ITRF05 dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Transformasi koordinat dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00

Koordinat dan kecepatan ITRF05 epok 2000 yang berjumlah 10 titik di transformasi ke ITRF00 epok 2000 menggunakan parameter transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000. Parameter transformasi dapat dilihat pada Tabel IV.5. Kisaran perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi dan pengukuran ditunjukkan pada Gambar IV.31, sedangkan nilai RMS masing-masing sumbu koordinat (RMS_x , RMS_y , RMS_z) dapat dilihat pada Tabel IV.12. Dari Gambar IV.31 dan Tabel IV.12 dapat dilihat kisaran perbedaan koordinat ITRF00 hasil hitungan dan hasil pengukuran nilainya dalam fraksi sentimeter yaitu berkisar antara -4,3 cm s.d 3,3 cm, dengan perbedaan minimum terdapat pada sumbu z titik USNA yaitu sebesar 1,7 cm dan perbedaan maksimum terdapat pada sumbu x titik DGAR yaitu sebesar -4.3 cm, sedangkan nilai $RMSe$ perbedaannya relatif kecil yaitu sebesar 3,2 cm.



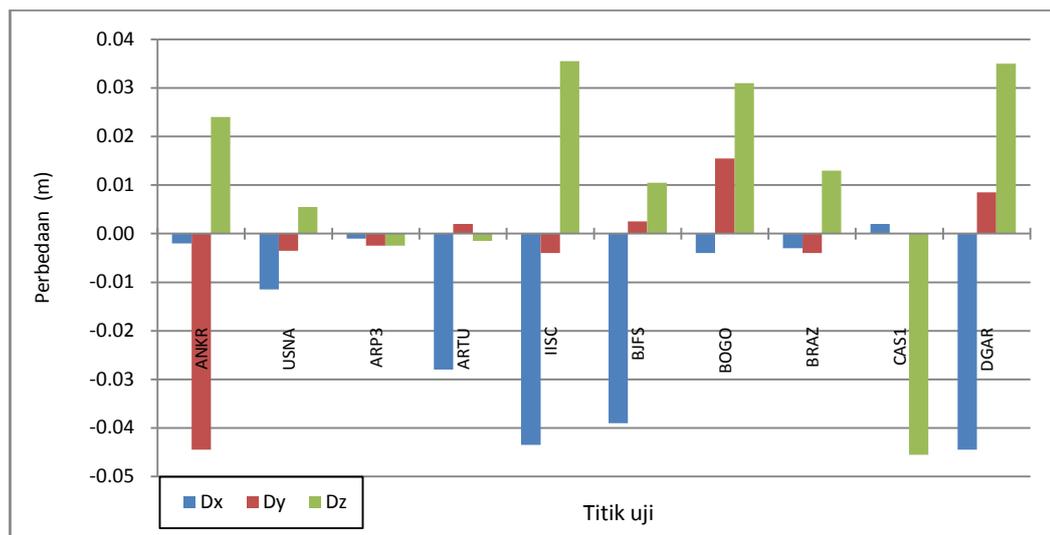
Gambar IV.31 Perbedaan koordinat titik uji ITRF00 hasil transformasi terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter)

Tabel IV.12 Koordinat titik uji ITRF00 hasil transformasi dari ITRF05 keTRF00 menggunakan 14-parameter transformasi dengan model Helmert 14-parameter

Nama Titik	X (m) dx (m)	Y (m) dy (m)	Z (m) dz (m)
ANKR	4121948,556	2652187,946	4069023,705
	-0,0086	0,0039	0,0048
USNA	1160668,873	-4826883,335	3990863,062
	-0,0185	0,0059	0,0017
ARP3	-693606,048	-5601311,839	2960668,956
	-0,0261	-0,0066	0,0089
ARTU	1843956,82	3016203,087	5291261,723
	-0,0195	0,0135	0,0128
IISC	1337936,647	6070317,105	1427876,649
	-0,0430	-0,0100	0,0328
BJFS	-2148743,951	4426641,279	4044655,925
	-0,0338	0,0007	-0,0061
BOGO	3633739,042	1397434,069	5035353,422
	-0,0245	0,0154	0,0018
BRAZ	4115014,085	-4550641,548	-1741444,014
	-0,0035	0,0029	0,0125
CAS1	-901776,158	2409383,385	-5816748,442
	0,0037	-0,0109	-0,0001
DGAR	1916269,601	6029977,391	-801720,05
	-0,0434	0,0131	0,0329
RMSx =	0,026 m	RMS _e = 0,032 m	
RMSy =	0,009 m		
RMSz =	0,016 m		

b. Transformasi dari koordinat ITRF08 ke ITRF05

Koordinat dan kecepatan ITRF08 epok 2005 yang berjumlah 10 titik di transformasi ke ITRF05 epok 2005 menggunakan parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005. Parameter transformasi dapat dilihat pada Tabel IV.5. Kisaran perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi dan pengukuran ditunjukkan pada Gambar IV.32, sedangkan nilai RMS masing-masing sumbu koordinat (RMS_x , RMS_y , RMS_z) dapat dilihat pada Tabel IV.13. Dari Gambar IV.32 dan Tabel IV.13 dapat dilihat kisaran perbedaan koordinat ITRF05 hasil hitungan dan hasil pengukuran nilainya relatif kecil dalam fraksi sentimeter yaitu berkisar antara -4,6 cm s.d 3,5 cm, dengan perbedaan minimum terdapat pada sumbu y titik CAS1 yaitu sebesar 0 cm dan perbedaan maksimum terdapat pada sumbu z titik CAS1 yaitu sebesar 4,6 cm, sedangkan nilai RMSe perbedaannya sebesar 12,2 cm.



Gambar IV.32 Perbedaan koordinat titik uji ITRF05 hasil transformasi terhadap hasil ukuran (model Helmert 14-parameter)

Tabel IV.13. Koordinat titik uji ITRF05 hasil transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 menggunakan 14 parameter transformasi dengan model Helmert 14-parameter

Nama Titik	X (m) dx (m)	Y (m) dy (m)	Z (m) dz (m)
ANKR	4121948,52	2652187,899	4069023,764
	-0,0020	-0,0445	0,0240
USNA	1160668,8	-4826883,338	3990863,081
	-0,0115	-0,0035	0,0055
ARP3	-693606,094	-5601311,817	2960668,932
	-0,0010	-0,0025	-0,0025
ARTU	1843956,696	3016203,122	5291261,74
	-0,0280	0,0020	-0,0015
IISC	1337936,436	6070317,112	1427876,83
	-0,0435	-0,0040	0,0355
BJFS	-2148744,117	4426641,269	4044655,92
	-0,0390	0,0025	0,0105
BOGO	3633738,962	1397434,146	5035353,486
	-0,0040	0,0155	0,0310
BRAZ	4115014,081	-4550641,568	-1741443,947
	-0,0030	-0,0040	0,0130
CASI	-901776,153	2409383,35	-5816748,499
	0,0020	0,0000	-0,0455
DGAR	1916269,384	6029977,473	-801719,881
	-0,0445	0,0085	0,0350
RMSx = 0,079 m RMSy = 0,048 m RMSz = 0,080 m RMSe = 0,122 m			

Dari hasil transformasi koordinat dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 epok 2000 dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005, terdapat variasi perbedaan antar titik uji. Adanya variasi perbedaan antar titik uji bisa disebabkan selain karena kondisi lokasi titik uji yang berbeda seperti terletak pada lempeng tektonik yang berbeda, bisa juga disebabkan karena parameter transformasi merupakan parameter yang mewakili kondisi secara global. Idealnya untuk transformasi koordinat suatu lokasi pada suatu lempeng tektonik yang memiliki pergerakan berbeda dengan lempeng tektonik lainnya sebaiknya menggunakan parameter transformasi lokal tiap lempeng tektonik, sehingga dapat mewakili kondisi lokasi tersebut.

IV.3.4. Analisis uji signifikansi beda parameter transformasi

Nilai parameter transformasi dari kerangka acuan ITRF05 ke ITRF00 epok 2000 dan dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005 dibandingkan dengan nilai parameter global yang telah dipublikasikan oleh IERS. Jumlah titik sekutu yang digunakan untuk menghitung parameter transformasi adalah 70 titik sekutu untuk transformasi dari ITRF05 ke ITRF00 dan 60 titik sekutu untuk transformasi dari ITRF08 ke ITRF05. Setelah dihitung perbedaannya selanjutnya diuji signifikansi perbedaan tersebut dengan uji t menggunakan persamaan II.92 s.d II.93. 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 IV.14 dan IV.16, dan untuk perbedaan hasil transformasi koordinat menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global disajikan pada Tabel IV.15 dan IV.17.

Tabel IV.14 Hasil uji signifikansi perbedaan nilai parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global dari ITRF05 ke ITRF00 epok 2000

Parameter	Parameter Global	Parameter Hasil Hitungan	Selisih	t-hitung	t-tabel $\alpha/2 = 0,025$ $df = \infty$	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
$\dot{d}s$ (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 IV.15. Perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global

Titik	Koordinat ITRF00 Hasil Transformasi Menggunakan Parameter Hasil Hitungan			Koordinat ITRF00 Hasil Transformasi Menggunakan Parameter Global			Selisih Koordinat (mm)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	dx	dy	dz
ANKR	-1995678,68	-5037317,713	3357328,099	-1995678,681	-5037317,714	3357328,099	1	1	0
USNA	1446375,055	-4447939,664	4322306,135	1446375,054	-4447939,665	4322306,135	1	1	0
ARP3	-2112065,032	-3705356,516	4726813,763	-2112065,033	-3705356,516	4726813,763	1	0	0
ARTU	-5464075,018	-2495248,869	2148296,971	-5464075,021	-2495248,869	2148296,971	3	0	0
IISC	-2523970,133	-4123506,3	4147752,536	-2523970,134	-4123506,3	4147752,536	1	0	0
BJFS	1106629,232	-4882907,164	3938086,958	1106629,232	-4882907,165	3938086,958	0	1	0
BOGO	-1923992,856	-4850854,667	3658589,321	-1923992,858	-4850854,668	3658589,321	2	1	0
BRAZ	-1631473,451	-4589129,048	4106759,919	-1631473,452	-4589129,049	4106759,919	1	1	0
CASI	-2196778,075	-4887337,175	3448425,239	-2196778,076	-4887337,176	3448425,239	1	1	0
DGAR	-1240708,292	-4720454,413	4094481,618	-1240708,292	-4720454,414	4094481,618	0	1	0
	RMSx	0,0014							
	RMSy	0,0008							
	RMSz	0,0000							
	RMSe	0,0016							

Dari Tabel IV.14 dapat dilihat hanya parameter transformasi ds memiliki perbedaan yang signifikan dengan parameter global, tetapi kalau dilihat dari Tabel IV.15 koordinat ITRF00 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global, nilai RMSe koordinatnya cukup kecil yaitu < 2 mm. Adanya perbedaan signifikan dari parameter ds hasil hitungan menggunakan program aplikasi dengan parameter global ini tidak terlalu berpengaruh terhadap koordinat hasil transformasi, karena nilai koordinat transformasinya dapat dikatakan relatif sama.

Tabel IV.16 Hasil uji signifikansi perbedaan nilai parameter transformasi hasil hitungan dengan parameter global dari ITRF08 ke ITRF05 epok 2005

Parameter	Parameter Global n = 171	Parameter Hasil Hitungan n = 60	Selisih	t-hitung	t-tabel $\alpha/2 = 0,025$ df = ∞	Signifikansi
Tx (mm)	-0,5 ± 0,2	-0,42 ± 0,53	0,1	0,14	1,96	Tidak
Ty (mm)	-0,9 ± 0,2	-1,1 ± 0,53	0,2	0,35	1,96	Tidak
Tz (mm)	-4,7 ± 0,2	-4,2 ± 0,52	0,5	0,90	1,96	Tidak
ds (ppb)	0,94 ± 0,03	0,81 ± 0,08	0,13	1,51	1,96	Tidak
Rx (mas)	0 ± 0,008	-0,037 ± 0,02	0,037	1,72	1,96	Tidak
Ry (mas)	0 ± 0,008	-0,001 ± 0,02	0,001	0,05	1,96	Tidak
Rz (mas)	0 ± 0,008	-0,019 ± 0,021	0,019	0,85	1,96	Tidak
\dot{T}_x (mm)	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,5	0	0	1,96	Tidak
\dot{T}_y (mm)	0 ± 0,2	0 ± 0,5	0	0	1,96	Tidak
\dot{T}_z (mm)	0 ± 0,2	0 ± 0,5	0	0	1,96	Tidak
$\dot{d}s$ (ppb/th)	0 ± 0,03	-0,02 ± 0,08	0,02	0,23	1,96	Tidak
\dot{R}_x (mas/th)	0 ± 0,008	0,003 ± 0,02	0,003	0,14	1,96	Tidak
\dot{R}_y (mas/th)	0 ± 0,008	0,003 ± 0,02	0,003	0,14	1,96	Tidak
\dot{R}_z (mas/th)	0 ± 0,008	0,002 ± 0,021	0,002	0,09	1,96	Tidak

Tabel IV.17. Perbedaan koordinat ITRF05 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global

Titik	Koordinat ITRF05 Hasil Transformasi Menggunakan Parameter Hasil Hitungan			Koordinat ITRF05 Hasil Transformasi Menggunakan Parameter Global			Selisih Koordinat (mm)		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	dx	dy	dz
ANKR	4121948,52	2652187,899	4069023,765	4121948,52	2652187,9	4069023,764	0	-1	1
USNA	1160668,8	-4826883,339	3990863,081	1160668,8	-4826883,338	3990863,082	0	-1	-1
ARP3	-693606,094	-5601311,817	2960668,931	-693606,095	-5601311,817	2960668,932	1	0	-1
ARTU	1843956,696	3016203,122	5291261,74	1843956,696	3016203,123	5291261,739	0	-1	1
IISC	1337936,436	6070317,112	1427876,83	1337936,437	6070317,113	1427876,829	-1	-1	1
BJFS	-2148744,117	4426641,269	4044655,92	-2148744,117	4426641,27	4044655,919	0	-1	1
BOGO	3633738,961	1397434,146	5035353,486	3633738,962	1397434,146	5035353,486	-1	0	0
BRAZ	4115014,08	-4550641,568	-1741443,947	4115014,08	-4550641,569	-1741443,947	0	1	0
CASI	-901776,153	2409383,35	-5816748,498	-901776,153	2409383,349	-5816748,5	0	1	2
DGAR	1916269,384	6029977,473	-801719,881	1916269,385	6029977,473	-801719,882	-1	0	1
	RMSx	0,0006							
	RMSy	0,0008							
	RMSz	0,0010							
	RMSe	0,0015							

Dari Tabel IV.16 dapat dilihat tidak ada parameter transformasi memiliki perbedaan yang signifikan dengan parameter global, dan kalau dilihat dari Tabel

IV.18, koordinat ITRF05 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dan parameter global, nilai RMSe koordinatnya relatif kecil yaitu ≤ 2 mm. Adanya perbedaan parameter hasil hitungan menggunakan program aplikasi dengan parameter global ini tidak terlalu berpengaruh terhadap koordinat hasil transformasi, karena nilai koordinat transformasinya dapat dikatakan relatif sama.

Dari hasil uji perbedaan parameter hasil hitungan menggunakan program aplikasi yang dibuat dengan parameter global, dapat dikatakan parameter transformasi hasil hitungan menggunakan program aplikasi yang dibuat sudah benar, sehingga program aplikasi yang dibuat dapat digunakan untuk menghitung parameter transformasi antar datum/kerangka acuan dan menghitung transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Hasil penelitian ini berupa program aplikasi transformasi datum tiga dimensi yang diberi nama TransDat V.1.0. Program aplikasi ini dapat digunakan untuk menghitung parameter transformasi dan transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan tiga dimensi. Dari analisis hasil hitungan program aplikasi yang telah dibuat dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai RMSe koordinat ITRF00 dan ITRF05 hasil hitungan transformasi balik dengan model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter relatif kecil yaitu sebesar 9 mm, sedangkan nilai RMSe kecepatannya untuk model Helmert 14-parameter juga relatif kecil yaitu sebesar 2 mm.
2. Nilai RMSe koordinat titik uji (10 titik) ITRF00 hasil transformasi dari koordinat ITRF05 ke ITRF00 epok acuan 2000 dengan model Helmert 14-parameter relatif kecil yaitu sebesar 3,2 cm, sedangkan untuk koordinat titik uji (10 titik) ITRF05 hasil transformasi dari koordinat ITRF08 ke ITRF05 epok acuan 2005 dengan model Helmert 14-parameter juga relatif kecil yaitu sebesar 12,2 cm.
3. Walaupun parameter transformasi ds (dari ITRF05 ke ITRF00 epok acuan 2000) hasil hitungan menggunakan program aplikasi berbeda secara signifikan dengan parameter global, tetapi nilai RMSe perbedaan koordinat ITRF00 hasil transformasi menggunakan parameter hasil hitungan dengan parameter global relatif kecil yaitu sebesar 1.6 mm. Dapat dikatakan, perbedaan parameter

tersebut tidak berpengaruh besar terhadap hasil transformasi koordinat. Sedangkan untuk parameter transformasi dari ITRF08 ke ITRF05 epok acuan 2005 hasil hitungan dengan parameter transformasi global tidak ada perbedaan yang signifikan, ini dapat dilihat juga dari nilai RMSe perbedaan koordinat hasil transformasinya relatif kecil yaitu sebesar 1.5 mm.

4. Dari analisis dan pembahasan hasil hitungan program aplikasi yang dibuat, dapat dikatakan secara keseluruhan hasil hitungannya sudah benar, sehingga program aplikasi yang telah dibuat dapat digunakan untuk menghitung parameter transformasi antar datum/kerangka acuan dan menghitung transformasi koordinat antar datum/kerangka acuan.

V.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat diajukan beberapa saran guna peningkatan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Program aplikasi yang dibuat hanya cocok untuk hitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan yang nilai sudut rotasinya < 10 detik, ini disebabkan adanya penyederhanaan persamaan dengan mengabaikan nilai perkalian terhadap sudut-sudut rotasi yang kecil (< 10 detik).
2. Untuk perhitungan parameter transformasi antar datum/kerangka acuan sebaiknya menggunakan titik pada tiap zona lempeng tektonik, sehingga parameter transformasi yang dihasilkan dapat mewakili daerah tersebut.
3. Untuk penelitian berkaitan dengan hitungan transformasi antar datum/kerangka acuan menggunakan model Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, dan Helmert 14-parameter selanjutnya agar dapat lebih mengakomodir transformasi

koordinat antar datum yang memiliki perbedaan sudut rotasi yang besar (> 10 detik) perlu memodifikasi model persamaan dengan tidak mengabaikan perkalian terhadap sudut rotasi baik sudut rotasinya kecil maupun besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., 2001, “Geodesi Satelit”, 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.
- Anonim, ITRF Solutions, http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2000/ITRF2000.php, diakses 20 Oktober 2013.
- Anonim, ITRF Solutions, http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2005/ITRF2005.php, diakses 20 Oktober 2013.
- Anonim, ITRF Solutions, http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2000/ITRF2000.php, diakses 20 Oktober 2013.
- Anonim, Transformation Parameters, http://itrf.ensg.ign.fr/trans_para.php, diakses 20 Oktober 2013.
- Dawson, J. dan Steed, J., (2004), “International Terrestrial Reference Frame (ITRF) to GDA94 Coordinate Transformations”, Geoscience Australia Version 01.03.2004.
- Deakin E.R., 2006, “A Note on the Bursa-Wolf and Molodensky-Badekas Transformations”, School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University, Perth, Western Australia.
- Djawahir, 1990, “Datum GPS”, Seminar GPS-1990, Jurusan Teknik Geodesi ITB, Bandung, 3 November 1990.
- Ghilani, D. C., 2010, “Adjustment Computations - Spatial Data Analysis”, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Guo, J., Zhou, M., Chao Wang, C., dan Mei, L., 2011, The Application of Coordinate Similarity Transformation Model for Stability Analysis in High-Precision GPS Deformation Monitoring Network, *Joint International Symposium on Deformation Monitoring*, 2 November 2011, Hongkong, <http://dma.lsg.polyu.edu.hk/JISDM-roceeding/Proceeding/Full%20paper/115.pdf>, diakses tanggal 7/6/2013.

- Handoko, Y.E. dan Abidin, Z.H., 2002, “Analisis Transformasi Datum dari Datum Indonesia 1974 ke Datum Geodesi Nasional 1995”, *Jurnal Surveying dan Geodesi*, Vol. XII No. 3, September 2002.
- Harvey, R. B., 1986, “Transformation of 3D Coordinates”, *The Australian Surveyor*, Vol. 33 No. 2., Juni 1986, New South Wales, http://www.surveying.unsw.edu.au/ls/Trans_3D_Aust_Surv_86.pdf, diakses 7 Juni 2013.
- Kahar, J. dan Purworaharjo, U., 2008, “Geodesi”, Penerbit ITB, Bandung.
- Land Information New Zealand, 2007, “LINZS25000 Standard for New Zealand Geodetic Datum 2000”, <http://www.linz.govt.nz/geodetic/conversion-coordinates/geodetic-datum-conversion/datum-transformation-equations>, diakses tanggal 20 Oktober 2013.
- Laksmijarta, Y.S., 1992, “Penggunaan Matriks Carley untuk Transformasi Tiga Dimensi pada Hitungan Geodesi, Skripsi, Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Mikhail, E.M. dan Gracia, G., 1981, “Analysis and Adjustment of Survey Measurements, Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York.
- NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), 2012, WGS84 G1674 Geodetic Control Network Upgrade for Areas of White Sands Missile Range and Holloman AFB NM, National Geospatial-Intelligence Agency, USA.
- Permatahati, D.A., Kahar, S., dan Sabri, M.L., 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, Nomor 1, Tahun 2012, <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/article/download/1750/1503>, diakses 01 Juni 2013.
- Purwoharjo, U.U., 1984, “Reduksi Geometri pada Besaran Ukuran serta Hitungan Koordinat Kerangka Kontrol Horisontal”, Jurusan Teknik Geodesi, FTSP-ITB, Bandung.
- Saipona, A., 2013, “Prinsip Pokok Pemrograman Berbasis GUI”, http://nharandha.blogspot.com/2013/02/prinsip-pokok-pemrograman-berbasis-gui_5.html, diakses 5 Juni 2013.
- Soeta’at, 1996, “Ilmu Hitung Kuadrat Terkecil Lanjut”, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- 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. ©ASCE, ISSN 0733-9453/2004/2-49–55/.
- Subarya, C., 2013, “Sistem Referensi Geospasial Nasional: Masa Depan”, disampaikan pada Pertemuan Pembahasan Metode Sistem Georeference, 15-16 Maret 2013, Bandung.
- Sudarsono, B. dan Zulzarika, A., 2010, “Uji Ketelitian hasil Koreksi Geometrik Citra Satelit Alos Prism dengan Hitung Perataan Kuadrat Terkecil Metode Parameter”, *Jurnal Teknik UNDIP*, Vol. 31 No. 1, Tahun 2010, ISSN 0852-1697.
- Thomson, B. D., 1976, “Combination of Geodetic Networks”, Technical Report No. 30, Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B, Canada.
- Uotila, A.U, 1985, “Adjustment Computations”, Notes Part I, Department of Geodetic Science and Surveying, the Ohio State University, Columbus, Ohio.
- 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”, Ph.D Disertasi, Universiti Teknologi PETRONAS, Malaysia.
- Yuwono, D.B. dan Marzuki, A., 2010, “Aplikasi Penentuan Parameter Transformasi Lokal Batu Hijau untuk Survei dan Pemetaan Area Tambang PT. Newmont Nusa Tenggara”, *Jurnal Teknik UNDIP*, Vol. 31 No. 1, Tahun 2010, ISSN 0852-1697.