

Evaluasi Model Transformasi Koordinat 3 Dimensi Menggunakan Pendekatan Helmert dan Bursa-Wolf

Dinna Maulia¹, Dinda Puspa Vidya^{2*}, Ane Arifa Ditami³, M. Nauval Irfandia Wahid⁴, Emiliya Novitasari⁵, Vera Sadarviana⁶

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1519>

Article Info

Received: 07 November 2025

Revised: 13 November 2025

Accepted: 18 November 2025

Correspondence:

Phone: +6282361421771

Abstract: Transformasi koordinat 3D adalah proses penting dalam mengubah sistem koordinat suatu objek dari satu sistem ke sistem lainnya, seperti yang sering diterapkan dalam grafika komputer, pemodelan 3D, dan pengolahan data geospasial. Penelitian ini mengevaluasi dua model transformasi populer, yaitu Helmert (7 parameter) dan Bursa-Wolf (6 parameter), serta pendekatan dengan hanya tiga parameter translasi. Fokus utama adalah mengidentifikasi blunder pada data titik sekutu menggunakan metode statistik untuk memastikan akurasi transformasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Helmert memberikan performa terbaik dengan RMSE total sebesar 0,169786 meter, mencerminkan tingkat akurasi yang tinggi dan kemampuan menangani kompleksitas transformasi. Model Bursa-Wolf juga memberikan hasil yang hampir setara, terutama untuk data tanpa perubahan skala. Sebaliknya, transformasi menggunakan tiga parameter translasi menghasilkan RMSE total sebesar 13,911066 meter, menunjukkan keterbatasan dalam menangani kebutuhan presisi tinggi. Penelitian ini menekankan pentingnya pemilihan model transformasi yang sesuai dengan kebutuhan dan kualitas data. Untuk aplikasi yang membutuhkan akurasi tinggi, seperti pemetaan geospasial atau infrastruktur, model Helmert atau Bursa-Wolf lebih direkomendasikan dibandingkan pendekatan tiga parameter translasi.

Keywords: Akurasi Data Geospasial, Model Bursa-Wolf, Model Helmert, Transformasi Koordinat 3D

Citation: Maulia, D., Vidya, P., D., Ditami, A., A., Wahid, I., N., M., Novitasari, E., & Sadarviana, V. (2025). Evaluasi Model Transformasi Koordinat 3 Dimensi Menggunakan Pendekatan Helmert dan Bursa-Wolf. *Journal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 1953-1961. doi: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1519>

Pendahuluan

Transformasi koordinat 3D merupakan proses mengubah sistem koordinat suatu objek dari satu sistem ke sistem lainnya (Foley dkk., 2019). Hal ini penting dalam berbagai bidang seperti grafika komputer, pemodelan 3D, dan pengolahan citra (Shoemake, 2020). Identifikasi blunder pada data titik-titik sekutu sangat penting sebelum melakukan transformasi (Kaviani dkk., 2019). Blunder dapat menyebabkan kesalahan pada hasil transformasi (Lengyel, 2019). Akurasi data sangat penting untuk memastikan hasil transformasi yang tepat (Nepoklonov et al., 2021).

Transformasi koordinat 3D dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu: translasi, rotasi, dan skala (Rogers & Adams, 2020). Model Helmert, Bursa Wolf,

dan tiga parameter translasi adalah contoh metode transformasi yang umum digunakan (Eberly, 2020). Model Helmert menggunakan tujuh parameter untuk menghitung transformasi (Tran et al., 2023). Model Bursa Wolf menggunakan enam parameter (Azahar et al., 2022). Pemilihan metode transformasi yang tepat sangat penting untuk memastikan akurasi hasil.

Identifikasi blunder pada data titik-titik sekutu dapat dilakukan dengan menggunakan metode statistik (Kaviani dkk., 2019). Metode ini dapat membantu mendeteksi kesalahan pada data. Blunder dapat disebabkan oleh kesalahan pengukuran atau kesalahan pada proses pengumpulan data. Identifikasi blunder sangat penting untuk memastikan akurasi hasil transformasi. Penggunaan metode statistik yang tepat

Email: 25124033@mahasiswa.itb.ac.id

dapat membantu meningkatkan akurasi identifikasi blunder.

Model Helmert menggunakan tujuh parameter untuk menghitung transformasi koordinat 3D (Heikkinen, 2001). Parameter ini terdiri dari tiga parameter translasi, tiga parameter rotasi, dan satu parameter skala (Gargula & Gawronek, 2023). Model Helmert dapat digunakan untuk menghitung transformasi antara dua sistem koordinat yang berbeda. Model ini sangat berguna untuk menghitung transformasi pada data geospasial (Tran et al., 2023). Akurasi model Helmert sangat bergantung pada kualitas data (Nilsson, 2024).

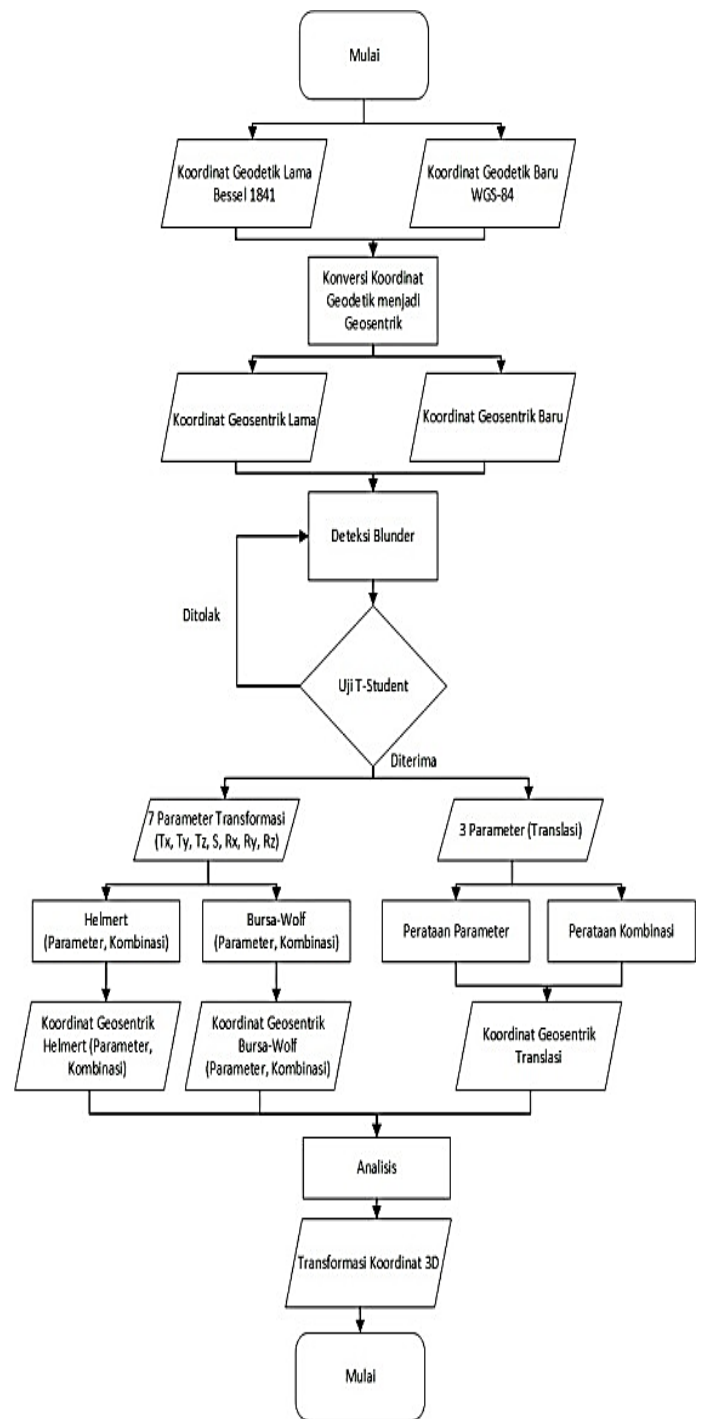
Model Bursa-wolf menggunakan enam parameter untuk menghitung transformasi koordinat 3D (Bursa Wolf, 2003). Parameter ini terdiri dari tiga parameter translasi dan tiga parameter rotasi. Model Bursa-wolf dapat digunakan untuk menghitung transformasi antara dua sistem koordinat yang berbeda dengan asumsi skala sama (Azahar et al., 2022). Model ini sangat berguna untuk menghitung transformasi pada data geospasial. Penggunaan model Bursa-wolf harus disesuaikan dengan jenis data (Bektas, 2022; Nilsson, 2024).

Perataan parameter dan kombinasi dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi hasil transformasi (Kaviani dkk., 2019). Metode ini dapat membantu mengurangi kesalahan pada hasil transformasi (Ruffhead, 2021; Silitonga & Molle, 2022). Perataan parameter dan kombinasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode statistik seperti metode least square (Futri et al., 2024). Penggunaan metode ini sangat penting untuk memastikan akurasi hasil transformasi. Akurasi hasil transformasi sangat bergantung pada kualitas data.

Metode

Metode yang digunakan penelitian ini yaitu transformasi Helmert dan Bursa Wolf berdasarkan data koordinat geodetik tujuh titik referensi yang memiliki nilai di dua datum berbeda yaitu Bessel 1841 (Datum Lama), WGS 84 (Datum Baru). Setiap titik memiliki tiga komponen koordinat: lintang (latitude), bujur (longitude), dan tinggi (altitude). Data ini diperoleh dari pengukuran lapangan atau sumber terpercaya yang mencatat posisi titik-titik sekutu dalam dua sistem referensi geospasial yang berbeda.

Kualitas data sangat penting untuk memastikan keakuratan transformasi. Sebelum digunakan dalam perhitungan, data diperiksa untuk mendeteksi adanya blunder, yaitu kesalahan yang dapat mengganggu hasil transformasi. Jika ditemukan blunder, data tersebut tidak akan digunakan dalam perhitungan lebih lanjut untuk menjaga keakuratan hasil transformasi.



Gambar 1. Metode Transformasi Koordinat

Proses penelitian transformasi koordinat 3D berdasarkan diagram alir dimulai dengan input data berupa koordinat geodetik dalam sistem referensi lama (Bessel 1841) dan sistem referensi baru (WGS-84). Data geodetik ini dikonversi menjadi koordinat geosentrik (X, Y, Z) berdasarkan parameter ellipsoid masing-masing sistem referensi. Tahap berikutnya adalah deteksi blunder untuk mengidentifikasi data anomali yang dapat mempengaruhi hasil perhitungan. Data yang lolos

0.5757	0.1444	0.0040	-0.1628	0.0075	-0.0342	-0.0642	0.0016	-0.1620	-0.2303	-0.0032	0.1826
0.1444	0.3068	-0.0092	0.0273	-0.1830	0.0048	0.0471	-0.1679	-0.0796	-0.0099	-0.0792	0.0695
0.0040	-0.0092	0.6382	0.0284	0.0093	-0.1529	0.1671	0.0679	-0.0411	-0.1824	-0.0705	-0.2699
-0.1628	0.0273	0.0284	0.8261	0.0027	-0.0011	-0.2079	0.0072	-0.0036	-0.1221	-0.0129	0.0007
0.0075	-0.1830	0.0093	0.0027	0.8232	0.0017	0.0155	-0.2252	-0.0081	-0.0179	-0.1006	0.0045
-0.0342	0.0048	-0.1529	-0.0011	0.0017	0.8270	0.0007	0.0153	-0.2020	0.0050	-0.0164	-0.1297
-0.0642	0.0471	0.1671	-0.2079	0.0155	0.0007	0.5628	0.0510	0.0019	0.1095	-0.0687	-0.0246
0.0616	-0.1679	0.0679	0.0072	-0.2252	0.0153	0.0510	0.4681	-0.0845	-0.0622	0.2276	-0.0203
-0.1620	-0.0796	-0.0411	-0.0036	-0.0081	-0.2020	0.0019	-0.0045	0.5849	0.0234	0.0229	0.0003
-0.2303	-0.0099	-0.1824	-0.1221	-0.0179	0.0050	0.1095	-0.0622	0.0234	0.5434	0.0070	-0.0023
-0.0032	-0.0792	-0.0705	-0.0129	-0.1006	-0.0164	-0.0687	0.2276	0.0229	0.0070	0.3933	0.0049
0.1826	0.0695	-0.2699	0.0007	0.0045	-0.1297	-0.0246	-0.0203	0.0003	-0.0023	0.0049	0.5832
0.0045	-0.1006	0.0045	-0.1578	-0.0003	0.0003	0.0003	-0.0003	0.1319	-0.0057	0.0040	-0.1578
-0.0099	0.2697	0.0351	-0.0196	-0.1767	0.0026	-0.0203	-0.3113	0.0650	0.0504	-0.0085	-0.0669
-0.0644	-0.0317	0.0421	-0.0239	-0.0119	-0.1915	-0.1330	-0.0628	-0.3681	0.1547	0.0739	0.0155
-0.2038	-0.0240	-0.0798	-0.0046	-0.0078	-0.0014	-0.0428	-0.0291	0.0084	-0.2948	0.0326	0.0014
-0.0404	-0.1373	0.0327	-0.0004	0.0046	0.0014	0.0084	0.0326	-0.3606	0.0083	0.0014	0.0014
0.0740	0.0463	-0.2164	-0.0004	0.0046	-0.1509	-0.0120	0.0044	-0.0540	0.0017	-0.0148	-0.2794

Gambar 3. Kovariansi (Qvv)

0.0855	-0.0899	-0.0644	-0.2038	-0.0404	0.0740
-0.1050	0.2607	-0.0317	-0.0240	-0.1373	0.0463
0.0628	0.0351	0.0421	-0.0798	-0.0327	-0.2164
-0.1859	-0.0196	-0.0239	-0.1474	-0.0046	-0.0004
0.0001	-0.1767	-0.0119	-0.0078	-0.1378	0.0046
0.0282	0.0026	-0.1915	-0.0014	-0.0080	-0.1509
-0.3574	-0.0203	-0.1330	-0.0428	-0.0246	-0.0120
-0.0285	-0.3113	-0.0628	-0.0291	0.0087	0.0044
0.1319	0.0650	-0.3681	0.0084	0.0044	-0.0540
-0.0057	0.0504	0.1547	-0.2948	0.0326	0.0017
0.0400	-0.0805	0.0739	0.0378	-0.3606	-0.0148
-0.1578	-0.0669	0.0155	0.0014	0.0083	-0.2794
0.5508	0.0706	-0.0005	-0.0873	0.0228	-0.0646
0.0706	0.4283	0.0011	-0.0089	-0.1205	-0.0369
-0.0005	0.0011	0.5829	0.0671	0.0315	-0.0809
-0.0873	0.0089	0.0671	0.7761	0.0142	0.0014
0.0228	-0.1205	0.0315	0.0142	0.7475	-0.0036
-0.0646	-0.0369	0.0014	-0.0036	0.0014	0.7816

Gambar 4. Residual Normalisasi

Blunder lokal ditemukan pada indeks 11(4Y) dan 17(6Y) dan 15 (5Z).

Residual:

RMSE (X): 347.68217 meter

RMSE (Y): 11658755.337542 meter

RMSE (Z) : 394.235356 meter

Total RMSE: 11658755.349391 meter

Berikut ini merupakan titik yang sudah tidak ada blunder:

Tabel 2. Titik Koordinat Tanpa Blunder

Titik	X _{Bessel (m)}	Y _{Bessel (m)}	Z _{Bessel (m)}	X _{WGS84 (m)}	Y _{WGS84 (m)}	Z _{WGS84 (m)}
1	-	6011671.437	200501.6523	-	6011735.926	200333.1787
2	2119259.612	-	-	2119086.292	-	-
	2603375.693	5820202.682	137381.3977	2603206.765	5820279.885	137204.7445
3	-	5648238.336	428281.2216	-	5648330.83	428099.9287
	2929874.377	-	-	2929717.182	-	-
6	-	5599359.061	113097.0454	-	5599448.961	112913.7847
	3050510.113	-	-	3050346.685	-	-

Transformasi Koordinat dengan Model Helmert

1. Hasil Model Helmert Parameter Transformation Parameters:

Tx : 3.050238 meter

Ty : -0.823784 meter

Tz : -0.543057 meter

S : 0.999999953

Rx : 3.989847 arc-second

Ry : 5.030542 arc-second

Rz : 6.002295 arc-second

Hasil Uji Global diterima. Tidak ada indikasi blunder global

0.2047	0.0202	0.0015	-0.3273	-0.0196	0.0633	0.0009	0.0172	-0.1615	0.1217	-0.0178	0.0967
0.0202	0.1666	-0.0036	0.0119	-0.3182	0.0311	-0.0000	-0.0155	-0.0707	-0.0321	0.1671	0.0432
0.0015	-0.0036	0.2124	-0.0600	-0.0202	-0.3270	0.1699	0.0519	0.0040	-0.1035	-0.0281	0.1106
-0.3273	0.0119	-0.0600	0.7142	0.0333	0.0076	-0.1523	-0.0807	0.0053	-0.2346	0.0434	0.0551
-0.0196	-0.3182	-0.0202	0.0333	0.6523	-0.0174	-0.0708	0.0004	0.0068	0.0651	-0.3346	0.0300
0.0633	0.0311	-0.3270	0.0076	-0.0174	0.7248	-0.0277	0.0438	-0.1876	-0.0431	-0.0574	-0.2103
0.0009	-0.0000	0.1699	-0.1523	-0.0708	-0.0277	0.4774	0.2102	0.0083	-0.3260	-0.1314	-0.1505
0.0172	-0.0155	0.0519	-0.0807	0.0004	0.0438	0.2102	0.0099	-0.0187	-0.1307	-0.0048	-0.0769
-0.1615	-0.0707	0.0040	0.0053	0.0068	-0.1876	0.0083	-0.0187	0.5704	0.1479	0.0025	-0.3868
0.1217	-0.0321	-0.1035	-0.2346	0.0651	-0.0431	-0.3260	-0.1307	0.1479	0.4308	0.1058	-0.0013
-0.0178	0.1671	-0.0281	0.0434	-0.3346	-0.0574	-0.1314	-0.0048	0.0025	0.1058	0.2522	0.0030
0.0967	0.0432	0.1106	0.0551	0.0300	-0.2103	-0.1505	-0.0769	-0.3868	-0.0013	0.0030	0.4864

Gambar 5. Matriks Variansi-Kovariansi

Pada uji lokal tidak ditemukan blunder lokal dalam data. Sehingga didapatkan keakuratan data pada model Helmert dengan hitung perataan parameter sebagai berikut:

RMSE (X) : 0.153032 meter

RMSE (Y) : 0.066914 meter

RMSE (Z) : 0.030509 meter

Total RMSE : 0.169786 meter

1.5377	0.0436	0.9508	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0436	1.3894	-0.0940	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
0.9508	-0.0940	15.4056	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000

Gambar 6. Matriks Variansi-kovariansi parameter

Standar Deviasi Hitung Perataan Parameter:

Tx : 1.24004627 meters

Ty : 1.17873408 meters

Tz : 3.92499867 meters S: 0.00000018

Rx : 0.00025793 arc-seconds

Ry : 0.00013759 arc-seconds

Rz : 0.00008855 arc-seconds

1.0000	0.0298	0.1953	0.3954	0.1932	0.1844	-0.9149
0.0298	1.0000	-0.0203	-0.8970	-0.0314	-0.0161	-0.4248
0.1953	-0.0203	1.0000	-0.0103	0.9905	0.8357	-0.1703
0.3954	-0.8970	-0.0103	1.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.1932	-0.0314	0.9905	0.0000	1.0000	0.7536	-0.1684
0.1844	-0.0161	0.8357	0.0000	0.7536	1.0000	-0.1441
-0.9149	-0.4248	-0.1703	-0.0000	-0.1684	-0.1441	1.0000

Gambar 7. Korelasi Matriks Parameter

2. Hasil Transformasi Helmert dengan Hitung Perataan Kombinasi

Hasil Model Helmert kombinasi

Tx : 3.050238 meter
 Ty : -0.823784 meter
 Tz : -0.543057 meter
 S: 0.999999953
 Rx : 3.989847 arc-second
 Ry : 5.030542 arc-second
 Rz : 6.002295 arc-second

Hasil Uji Global diterima. Tidak ada indikasi blunder global.

0.1023	0.0101	0.0008	-0.1023	-0.0101	-0.0008	-0.1637	-0.0098	0.0317	0.1637	0.0098	-0.0317
0.0101	0.0033	-0.0018	-0.0101	-0.0033	0.0018	0.0060	-0.1591	0.0155	-0.0060	0.1591	-0.0155
0.0008	-0.0018	0.1062	-0.0008	0.0018	-0.1062	-0.0340	-0.0101	-0.1635	0.0340	0.0101	0.1635
-0.1023	-0.0101	-0.0008	0.1023	0.0101	0.0008	0.1637	0.0098	-0.0317	-0.1637	-0.0098	0.0317
-0.0101	-0.0033	0.0018	-0.0101	-0.0033	-0.0018	-0.0060	0.1591	-0.0155	0.0060	-0.1591	0.0155
-0.0008	0.0018	-0.1062	0.0008	-0.0018	0.1062	0.0340	0.0101	0.1635	-0.0340	-0.0101	-0.1635
-0.1637	0.0060	-0.0340	0.1637	-0.0060	0.0340	0.3571	0.0167	0.0098	-0.3571	-0.0167	-0.0098
-0.0098	-0.1591	-0.0155	-0.0098	0.1591	0.0155	0.0167	0.3261	-0.0087	-0.0167	-0.3261	0.0087
0.0317	0.0155	-0.1635	-0.0317	-0.0155	0.1635	0.0038	-0.0087	0.3624	-0.0038	0.0087	-0.3624
0.1637	-0.0060	0.0340	-0.1637	0.0060	-0.0340	-0.3571	-0.0167	-0.0098	0.3571	0.0167	0.0098
0.0098	0.1591	0.0155	0.0098	-0.1591	-0.0155	-0.0167	-0.3261	0.0087	0.0167	-0.3261	-0.0087
-0.0317	-0.0155	0.1635	0.0317	-0.0155	-0.1635	-0.0038	0.0087	-0.3624	0.0038	-0.0087	0.3624
0.0005	-0.0000	0.0050	-0.0005	0.0000	-0.0050	-0.0762	-0.0394	-0.0139	0.0762	0.0394	0.0139
0.0005	-0.0078	0.0259	-0.0005	0.0078	-0.0259	-0.0443	0.0002	0.0219	0.0443	-0.0002	-0.0219
-0.0007	-0.0353	0.0020	-0.0007	0.0353	-0.0020	0.0026	0.0034	-0.0938	-0.0026	-0.0034	0.0938
-0.0005	0.0000	-0.0050	0.0005	-0.0000	0.0050	0.0762	0.0394	0.0139	-0.0762	-0.0394	-0.0139
-0.0005	0.0078	-0.0259	0.0005	-0.0078	0.0259	0.0443	-0.0002	-0.0219	-0.0443	0.0002	0.0219
0.0007	0.0353	-0.0020	0.0007	-0.0353	0.0020	-0.0026	-0.0034	0.0938	0.0026	0.0034	-0.0938
0.0609	-0.0161	-0.0517	-0.0609	0.0161	0.0517	-0.1173	0.0325	-0.0216	0.1173	-0.0325	0.0216
-0.0009	0.0036	-0.0141	-0.0009	0.0036	-0.0141	0.0217	-0.1673	-0.0287	0.1673	0.0287	-0.0036
0.0483	0.0216	0.0553	-0.0483	-0.0216	-0.0553	0.0276	0.0154	-0.1051	-0.0276	0.0154	0.1051
-0.0609	0.0161	0.0517	0.0609	-0.0161	-0.0517	-0.1173	-0.0325	0.0216	-0.1173	0.0325	-0.0216
0.0009	-0.0036	0.0141	0.0009	-0.0036	-0.0141	-0.0217	0.1673	0.0287	-0.1673	-0.0287	0.0036
-0.0483	-0.0216	-0.0553	0.0483	0.0216	0.0553	-0.0276	-0.0154	0.1051	0.0276	-0.0154	-0.1051
0.0005	0.0006	-0.0007	-0.0005	-0.0006	0.0007	0.0609	-0.0009	0.0483	-0.0609	0.0009	-0.0483
-0.0000	-0.0078	0.0353	0.0000	0.0078	-0.0353	-0.0161	0.0836	0.0216	0.0161	-0.0836	-0.0216
0.0050	0.0259	-0.0020	-0.0050	-0.0259	0.0020	-0.0517	-0.0141	0.0553	0.0517	0.0141	-0.0553
-0.0005	-0.0006	0.0007	0.0005	-0.0006	-0.0007	-0.0609	0.0009	-0.0483	0.0609	-0.0009	0.0483
0.0000	0.0078	-0.0353	-0.0000	-0.0078	0.0353	0.0161	-0.0836	-0.0216	-0.0161	0.0836	0.0216
-0.0050	-0.0259	0.0020	0.0050	0.0259	-0.0020	0.0517	0.0141	-0.0553	-0.0517	-0.0141	0.0553
-0.0762	-0.0443	0.0026	0.0762	0.0443	-0.0026	-0.1173	0.0217	0.0276	0.1173	-0.0217	-0.0276
-0.0394	0.0002	-0.0034	0.0394	-0.0002	0.0034	0.0325	-0.1673	0.0154	-0.0325	0.1673	-0.0154
-0.0139	0.0219	-0.0938	0.0139	-0.0219	0.0938	-0.0216	-0.0287	-0.1051	0.0216	0.0287	-0.1051
0.0762	0.0443	-0.0026	-0.0762	-0.0443	0.0026	0.1173	-0.0217	-0.0276	-0.1173	0.0217	0.0276
0.0394	-0.0002	0.0034	-0.0394	0.0002	-0.0034	-0.0325	0.1673	0.0154	-0.0325	-0.1673	0.0154
0.0139	-0.0219	0.0938	-0.0139	0.0219	-0.0938	0.0216	0.0287	0.1051	-0.0216	-0.0287	-0.1051
0.2387	0.1051	0.0042	-0.2387	-0.1051	-0.0042	-0.1630	-0.0657	-0.0752	0.1630	0.0657	0.0752
0.1051	0.0499	-0.0094	-0.1051	-0.0499	0.0094	-0.0694	-0.0424	-0.0385	0.0694	0.0424	0.0385
0.0042	-0.0094	0.2852	-0.0042	0.0094	-0.2852	0.0740	0.0413	-0.1934	-0.0740	-0.0413	0.1934
-0.2387	-0.1051	-0.0042	0.2387	0.1051	0.0042	0.1630	0.0657	0.0752	-0.1630	-0.0657	-0.0752
-0.1051	-0.0499	0.0094	0.1051	0.0499	-0.0094	0.0694	0.0424	0.0385	-0.0694	-0.0424	-0.0385
-0.0042	0.0094	-0.2852	0.0042	-0.0094	0.2852	-0.0740	-0.0413	0.1934	0.0740	0.0413	-0.1934
-0.1630	-0.0694	0.0740	0.1630	0.0694	-0.0740	0.2194	0.0529	-0.0007	-0.2194	-0.0529	0.0007
-0.0657	-0.0424	0.0413	0.0657	0.0424	-0.0413	0.0529	0.1261	0.0015	-0.0529	-0.1261	-0.0015
-0.0752	-0.0385	-0.1934	0.0752	0.0385	0.1934	-0.0007	0.0015	0.2432	0.0007	-0.0015	-0.2432
0.1630	0.0694	-0.0740	-0.1630	-0.0694	0.0740	-0.2194	-0.0529	0.0007	0.2194	0.0529	-0.0007
0.0657	0.0424	-0.0413	-0.0657	-0.0424	0.0413	-0.0529	-0.1261	-0.0015	0.0529	0.1261	0.0015
0.0752	0.0385	0.1934	-0.0752	-0.0385	-0.1934	0.0007	-0.0015	-0.2432	-0.0007	0.0015	0.2432

Gambar 8. Matriks Variansi-Kovariansi

Blunder lokal ditemukan pada indeks berikut:

1, 3, 4, 6, 14, 17, 21, 24.

Residual:

RMSE (X): 0.153032 meters
 RMSE (Y): 0.066914 meters
 RMSE (Z): 0.030509 meters
 Total RMSE: 0.169786 meters

1.5377	0.0436	0.9508	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0436	1.3894	-0.0940	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
0.9508	-0.0940	15.4056	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000

Gambar 9. Matriks Variansi-kovariansi parameter

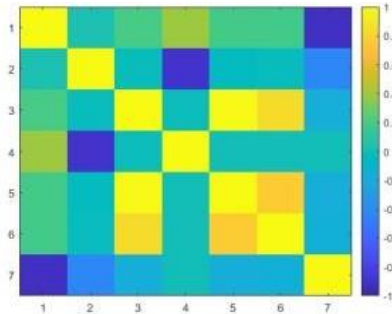
Standar Deviasi Hitung Perataan Parameter:

Tx : 1.24004627 meters
 Ty : 1.17873408 meters
 Tz : 3.92499867 meters
 S: 0.00000018
 Rx : 0.00025793 arc-second
 Ry : 0.00013759 arc-second
 Rz : 0.00008855 arc-second

1.0000	0.0298	0.1953	0.3954	0.1932	0.1844	-0.9149
0.0298	1.0000	-0.0203	-0.8970	-0.0314	-0.0161	-0.4248
0.1953	-0.0203	1.0000	-0.0103	0.9905	0.8357	-0.1703
0.3954	-0.8970	-0.0103	1.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.1932	-0.0314	0.9905	0.0000	1.0000	0.7536	-0.1684
0.1844	-0.0161	0.8357	0.0000	0.7536	1.0000	-0.1441
-0.9149	-0.4248	-0.1703	-0.0000	-0.1684	-0.1441	1.0000

Gambar 10. Korelasi Matriks Parameter

Visualisasi Korelasi Matriks



Gambar 11. Visualisasi Korelasi Matriks

Transformasi Koordinat dengan Model Bursa-Wolf

1. Hasil Transformasi Bursa-Wolf Dengan Hitung

Perataan Parameter

Tx : 3.050238 meter
 Ty : -0.823784 meter
 Tz : -0.543057 meter
 S: 0.999999953

Rx : 3.989847 arc-second
 Ry : 5.030542 arc-second
 Rz : 6.002295 arc-second

Hasil Uji Global diterima. Tidak ada indikasi blunder global.

0.2047	0.0202	0.0015	-0.3273	-0.0196	0.0633	0.0009	0.0172	-0.1615	0.1217	-0.0178	0.0967
0.0202	0.1666	-0.0036	0.0119	-0.3182	0.0311	-0.0000	-0.0155	-0.0707	-0.0321	0.1671	0.0432
0.0015	-0.0036	0.2124	-0.0600	-0.0202	-0.3270	0.1699	0.0519	0.0040	-0.1035	-0.0281	0.1106
-0.3273	0.0119	-0.0600	0.7142	0.0333	0.0076	-0.1523	-0.0887	0.0053	-0.2346	0.0434	0.0551
-0.0196	-0.3182	-0.0202	0.0333	0.6523	-0.0174	-0.0708	0.0004	0.0068	0.0651	-0.3346	0.0308
0.0633	0.0311	-0.3270	0.0076	-0.0174	0.7248	-0.0277	0.0438	-0.1876	-0.0431	-0.0574	-0.2103
0.0009	-0.0000	0.1699	-0.1523	-0.0708	-0.0277	0.4774	0.2102	0.0003	-0.3260	-0.1314	-0.1505
0.0172	-0.0155	0.0519	-0.0887	0.0004	0.0438	0.2102	0.0999	-0.0187	-0.1387	-0.0848	-0.0769
-0.1615	-0.0707	0.0040	0.0053	0.0068	-0.1876	0.0003	-0.0187	0.5704	0.1479	0.0825	-0.3868
0.1217	-0.0321	-0.1035	-0.2346	0.0651	-0.0431	-0.3260	-0.1387	-0.1479	0.4388	0.1058	-0.0013
-0.0178	0.1671	-0.0281	0.0434	-0.3346	-0.0574	-0.1314	-0.0848	0.0825	0.1058	0.2522	0.0030
0.0967	0.0432	0.1106	0.0551	0.0308	-0.2103	-0.1505	-0.0769	-0.3868	-0.0013	0.0030	0.4864

Gambar 12. Matriks Variansi-Kovariansi

Tidak ditemukan blunder lokal dalam data.

RMSE (X) : 0.152977 meter
 RMSE (Y) : 0.066876 meter

RMSE (Z) : 0.030517 meter
 Total RMSE : 0.169722 meter

1.5366	0.0436	0.9501	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0436	1.3884	-0.0939	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
0.9501	-0.0939	15.3941	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000

Gambar 13. Parameter Matriks Variansi- Kovariansi

Parameter Standar Deviasi:

Tx : 1.23958304 meter

Ty : 1.17829375 meter

Tz : 3.92353244 meter

S: 0.00000018

Rx : 0.00025783 arc-second

Ry : 0.00013753 arc-second

Rz : 0.00008852 arc-second

1.0000	0.0298	0.1953	0.3954	0.1932	0.1844	-0.9149
0.0298	1.0000	-0.0203	-0.8970	-0.0314	-0.0161	-0.4248
0.1953	-0.0203	1.0000	-0.0103	0.9905	0.8357	-0.1703
0.3954	-0.8970	-0.0103	1.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.1932	-0.0314	0.9905	0.0000	1.0000	0.7536	-0.1684
0.1844	-0.0161	0.8357	0.0000	0.7536	1.0000	-0.1441
-0.9149	-0.4248	-0.1703	-0.0000	-0.1684	-0.1441	1.0000

Gambar 14. Korelasi Matriks Variansi- Kovariansi

2. Hasil Transformasi Bursa-Wolf Dengan Hitung

Perataan Kombinasi

Tx : 3.050238 meter

Ty : -0.823784 meter

Tz : -0.543057 meter

S: 0.999999953

Rx : 3.989847 arc-second

Ry : 5.030542 arc-second

Rz : 6.002295 arc-second

Hasil Uji Global diterima. Tidak ada indikasi blunder global.

0.1023	0.0101	0.0008	-0.1023	-0.0101	-0.0008	-0.1637	-0.0098	0.0317	0.1637	0.0098	-0.0317
0.0101	0.0833	-0.0018	-0.0101	-0.0833	0.0018	0.0060	-0.1591	0.0155	-0.0060	0.1591	-0.0155
0.0008	-0.0018	0.1062	-0.0008	0.0018	-0.1062	-0.0340	-0.0101	-0.1635	0.0340	0.0101	0.1635
-0.1023	-0.0101	-0.0008	0.1023	0.0101	0.0008	0.1637	0.0098	-0.0317	-0.1637	-0.0098	0.0317
-0.0101	-0.0833	0.0018	0.0101	0.0833	-0.0018	-0.0060	0.1591	-0.0155	0.0060	-0.1591	0.0155
-0.0008	0.0018	-0.1062	0.0008	-0.0018	0.1062	0.0340	0.0101	0.1635	-0.0340	-0.0101	-0.1635
-0.1637	0.0060	-0.0340	0.1637	-0.0060	0.0340	0.3571	0.0167	0.0038	-0.3571	-0.0167	-0.0038
-0.0098	-0.1591	-0.0101	0.0098	0.1591	0.0101	0.0167	-0.0087	-0.0167	-0.0167	0.0087	0.0167
0.0317	0.0155	-0.1635	-0.0317	-0.0155	0.1635	0.0038	-0.0087	0.3624	0.0038	0.0087	-0.3624
0.1637	-0.0060	0.0340	-0.1637	0.0060	-0.0340	-0.3571	-0.0167	-0.0038	0.3571	0.0167	0.0038
0.0098	0.1591	0.0101	-0.0098	-0.1591	-0.0101	-0.0167	0.0087	0.0167	0.0167	-0.0087	-0.0167
-0.0317	-0.0155	0.1635	0.0317	0.0155	-0.1635	-0.0038	0.0087	-0.3624	0.0038	-0.0087	0.3624
0.0065	-0.0060	0.0050	-0.0065	0.0060	-0.0050	-0.0762	-0.0394	-0.0139	0.0762	0.0394	0.0139
0.0006	-0.0070	0.0259	-0.0006	0.0070	-0.0259	-0.0443	0.0002	0.0219	0.0443	-0.0002	-0.0219
-0.0007	0.0353	0.0020	0.0007	-0.0353	-0.0020	0.0026	0.0034	-0.0938	-0.0026	-0.0034	0.0938
-0.0005	0.0000	-0.0050	0.0005	-0.0000	0.0050	0.0762	0.0394	0.0139	-0.0762	-0.0394	-0.0139
-0.0006	0.0070	-0.0259	0.0006	-0.0070	0.0259	0.0443	-0.0002	-0.0219	-0.0443	0.0002	0.0219
0.0007	-0.0353	-0.0020	-0.0007	0.0353	0.0020	-0.0026	-0.0034	0.0938	0.0026	0.0034	-0.0938
0.0009	-0.0161	-0.0517	-0.0009	0.0161	0.0517	-0.1173	0.0325	-0.0216	0.1173	-0.0325	0.0216
-0.0009	0.0036	-0.0141	0.0009	-0.0036	0.0141	0.0217	-0.1673	-0.0287	-0.0217	0.1673	0.0287
0.0483	0.0216	0.0553	-0.0483	-0.0216	-0.0553	0.0276	0.0154	-0.1051	-0.0276	-0.0154	0.1051
-0.0009	0.0161	0.0517	0.0009	-0.0161	-0.0517	-0.1173	-0.0325	0.0216	-0.1173	0.0325	-0.0216
0.0009	-0.0036	0.0141	-0.0009	0.0036	-0.0141	-0.0217	0.1673	0.0287	0.0217	-0.1673	-0.0287
-0.0483	-0.0216	-0.0553	0.0483	0.0216	0.0553	-0.0276	-0.0154	0.1051	0.0276	0.0154	-0.1051

0.0005	0.0006	-0.0007	-0.0005	-0.0006	0.0007	0.0009	-0.0009	0.0483	-0.0009	0.0009	-0.0483
-0.0000	-0.0078	-0.0353	0.0000	0.0078	0.0353	-0.0161	0.0036	0.0216	0.0161	-0.0036	-0.0216
0.0050	0.0259	0.0020	-0.0050	-0.0259	-0.0020	-0.0517	-0.0141	0.0553	0.0517	0.0141	-0.0553
0.0005	-0.0006	0.0007	0.0005	0.0006	-0.0007	-0.0009	0.0009	-0.0483	0.0009	-0.0009	0.0483
0.0000	0.0078	0.0353	-0.0000	-0.0078	-0.0353	0.0161	-0.0036	-0.0216	-0.0161	0.0036	0.0216
-0.0050	-0.0259	-0.0020	0.0050	0.0259	0.0020	0.0517	0.0141	-0.0553	-0.0517	-0.0141	0.0553
-0.0762	-0.0443	0.0026	0.0762	0.0443	-0.0026	-0.1173	0.0217	0.0276	0.1173	-0.0217	-0.0276
-0.0394	0.0002	0.0034	0.0394	-0.0002	-0.0034	0.0325	-0.1673	0.0154	-0.0325	0.1673	-0.0154
-0.0139	0.0219	-0.0038	0.0139	-0.0219	0.0038	-0.0216	-0.0287	-0.1051	0.0216	0.0287	0.1051
0.0762	0.0443	-0.0026	-0.0762	-0.0443	0.0026	0.1173	-0.0217	-0.0276	-0.1173	0.0217	0.0276
0.0394	-0.0002	-0.0034	-0.0394	0.0002	0.0034	-0.0325	0.1673	-0.0154	0.0325	-0.1673	0.0154
0.0139	-0.0219	0.0038	-0.0139	0.0219	-0.0038	0.0216	0.0287	0.1051	-0.0216	-0.0287	-0.1051
0.2387	0.1051	0.0042	-0.2387	-0.1051	-0.0042	-0.1630	-0.0657	-0.0752	0.1630	0.0657	0.0752
0.1051	-0.0042	-0.0094	-0.1051	0.0042	0.0094	0.0094	-0.0094	0.0094	-0.0094	0.0094	-0.0094
0.0042	-0.0094	0.2852	-0.0042	0.0094	-0.2852	0.0740	0.0413	-0.1934	-0.0740	-0.0413	0.1934
-0.2387	-0.1051	-0.0042	0.2387	0.1051	0.0042	0.1630	0.0657	0.0752	-0.1630	-0.0657	-0.0752
-0.1051	0.0042	0.0094	0.1051	-0.0042	-0.0094	-0.0094	0.0094	-0.0094	0.0094	-0.0094	0.0094
-0.0042	0.0094	-0.2852	0.0042	-0.0094	-0.2852	-0.0740	-0.0413	0.1934	0.0740	0.0413	-0.1934
-0.1630	-0.0694	0.0740	0.1630	0.0694	-0.0740	0.2194	0.0529	-0.0007	-0.2194	-0.0529	0.0007
-0.0657	-0.0424	0.0413	0.0657	0.0424	-0.0413	0.0529	0.2161	0.0015	-0.0529	-0.2161	-0.0015
-0.0752	-0.0385	-0.1934	0.0752	0.0385	0.1934	-0.0007	0.0015	0.2432	0.0007	-0.0015	-0.2432
0.1630	0.0694	-0.0740	-0.1630	-0.0694	0.0740	-0.2194	-0.0529	0.0007	0.2194	0.0529	-0.0007
0.0657	0.0424	-0.0413	-0.0657	-0.0424	0.0413	-0.0529	-0.2161	-0.0015	0.0529	0.2161	0.0015
0.0752	0.0385	0.1934	-0.0752	-0.0385	-0.1934	0.0007	-0.0015	-0.2432	-0.0007	0.0015	0.2432

Gambar 15. Matrik Variansi-Kovariansi Kombinasi

Blunder lokal ditemukan pada indeks berikut: 1, 3, 4, 6, 14, 17, 21, 24.

RMSE (X) : 0.152977 meter
 RMSE (Y) : 0.066876 meter
 RMSE (Z) : 0.030517 meter
 Total RMSE : 0.169722 meter

1.5366	0.0436	0.9501	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0436	1.3884	-0.0939	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
0.9501	-0.0939	15.3941	-0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000

Gambar 16. Parameter Matriks Variansi-Kovariansi

Parameter Standar Deviasi:

Tx : 1.23958304 meter

Ty : 1.17829375 meter

Tz : 3.92353244 meter

S : 0.00000018

Rx : 0.00025783 arc-second

Ry : 0.00013753 arc-second

Rz : 0.00008852 arc-second

1.0000	0.0298	0.1953	0.3954	0.1932	0.1844	-0.9149
0.0298	1.0000	-0.0203	-0.8970	-0.0314	-0.0161	-0.4248
0.1953	-0.0203	1.0000	-0.0103	0.9905	0.8357	-0.1703
0.3954	-0.8970	-0.0103	1.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
0.1932	-0.0314	0.9905	0.0000	1.0000	0.7536	-0.1684
0.1844	-0.0161	0.8357	0.0000	0.7536	1.0000	-0.1441
-0.9149	-0.4248	-0.1703	-0.0000	-0.1684	-0.1441	1.0000

Gambar 17. Korelasi Matriks Variansi-Kovariansi

Translasi

1. Hasil Translasi 3 Parameter dengan Hitung Perataan Parameter

Tx : 165.717750 meter

Ty : 81.021500 meter

Tz : -177.420125 meter

Hasil uji global diterima. Tidak ada indikasi blunder global.

0.7500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0
0	0.7500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0
0	0	0.7500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500
-0.2500	0	0	0.7500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0
0	-0.2500	0	0	0.7500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0
0	0	-0.2500	0	0	0.7500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500
-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	0.7500	0	0	-0.2500	0	0
0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	0.7500	0	0	-0.2500	0
0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	0.7500	0	0	-0.2500
-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	0.7500	0	0
0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	0.7500	0
0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	-0.2500	0	0	0.7500
0	0	0	-0.2500	0	0	0	-0.2500	0	0	0	0.7500

Gambar 18. Matriks Variansi-Kovariansi Parameter Translasi

Tidak ditemukan blunder lokal dalam data.

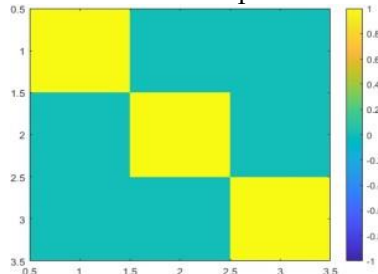
RMSE (X) : 6.041112 meter
 RMSE (Y) : 11.161883 meter
 RMSE (Z) : 5.695181 meter
 Total RMSE: 13.911066 meter

Parameter Standar Deviasi:
 Tx : 4.63702192 meter
 Ty : 4.63702192 meter
 Tz : 4.63702192 meter

1	0	0
0	1	0
0	0	1

Gambar 19. Korelasi Matriks Parameter

Berikut visualisasi korelasi parameter



Gambar 20. Visualisasi Korelasi Parameter

2. Hasil Translasi 3 Parameter dengan Hitung Perataan Kombinasi

Parameter Transformasi
 Tx : 165.717750 meter
 Ty : 81.021500 meter
 Tz : -177.420125 meter

Hasil Uji Global diterima. Tidak ada indikasi blunder global.

Columns 1 through 12	0	0	-0.3750	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
0.3750	0	0	0.3750	0	0	-0.3750	0	0	-0.1250	0	0
0	0.3750	0	0	0.3750	0	-0.3750	0	0	-0.1250	0	0
-0.3750	0	0.3750	0	0	0.3750	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0	-0.3750	0	0	0.3750	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0	0	-0.3750	0	0	0.3750	0	0	0.1250	0	0	-0.1250
-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.3750	0	0	-0.3750	0	0
0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.3750	0	0	-0.3750	0
0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.3750	0	0	-0.3750
0.1250	0	0	-0.1250	0	0	-0.3750	0	0	0.3750	0	0
0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	-0.3750	0	0	0.3750	0
-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0
0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250
0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0
0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250
-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0
0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250
0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0
0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250

Columns 13 through 24	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0
0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0.1250	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.1250	0	0	0
0	0.1250	0	-0.1250	0	0	0	0.1250	0	0	0	0
-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.1250	0	0	0
0.1250	0	0	-0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0.3750	0	0	-0.3750	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0
0	0.3750	0	0	-0.3750	0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0
0	0	0.3750	0	0	-0.3750	0	0	0.1250	0	0	-0.1250
-0.3750	0	0	0.3750	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0
0	-0.3750	0	0	0.3750	0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0
0	0	-0.3750	0	0	0.3750	0	0	0.1250	0	0	-0.1250
-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.3750	0	0	-0.3750	0	0
0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.3750	0	0	-0.3750	0
0	0	-0.1250	0	0	0.1250	0	0	0.3750	0	0	-0.3750
0.1250	0	0	-0.1250	0	0	-0.3750	0	0	0.3750	0	0
0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	-0.3750	0	0	0.3750	0
0	0	0.1250	0	0	-0.1250	0	0	-0.3750	0	0	0.3750

Gambar 21. Matriks Variansi-Kovariansi Translasi Kombinasi

Tidak ditemukan blunder lokal dalam data.

Residual:
 RMSE (X): 6.041112 meter
 RMSE (Y): 11.161883 meter
 RMSE (Z): 5.695181 meter
 Total RMSE: 13.911066 meter

9.2151	0	0
0	9.2151	0
0	0	9.2151

Gambar 22. Parameter variansi-kovariansi

Standar Deviasi Parameter:
 Tx : 3.03564342 meters
 Ty : 3.03564342 meters
 Tz : 3.03564342 meters

1	0	0
0	1	0
0	0	1

Gambar 23. Korelasi Matriks Parameter Kombinasi

Pembahasan

Deteksi blunder adalah langkah awal yang sangat penting untuk menjamin integritas data sebelum proses transformasi koordinat dilakukan. Berdasarkan hasil, konversi koordinat geodetik ke sistem koordinat kartesian 3D mengidentifikasi adanya blunder lokal pada indeks tertentu. Deteksi blunder ini dilakukan melalui uji global dan residual normalisasi, yang menunjukkan blunder lokal namun tanpa indikasi blunder global. RMSE yang sangat tinggi pada sumbu Y (11658755 meter) menandakan adanya anomali signifikan yang perlu ditelusuri lebih lanjut. Blunder ini, kemudian dihilangkan dengan menghasilkan 4 titik tersisa untuk dilakukan model helmert dan Bursa- Wolf.

Model Helmert dengan menggunakan 7 parameter (meliputi tiga translasi, tiga rotasi, dan satu skala), menghasilkan RMSE total sebesar 0,169786 meter. Nilai ini menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi. Efisiensi model ini terlihat dari kesalahan transformasi yang sangat kecil. Selain itu, analisis variansi-kovariansi parameter menunjukkan hasil yang konsisten dengan standar deviasi rendah, yang semakin

menegaskan akurasi transformasi menggunakan model Helmert. Penggunaan Hitung Perataan Parameter maupun kombinasi hanya membedakan pada parameter matriks variansi dan kovariansinya karena matriks kombinasi merupakan gabungan parameter.

Transformasi menggunakan hanya 3 parameter translasi menghasilkan RMSE total sebesar 13,911066 meter. Dengan nilai RMSE masing-masing untuk sumbu X, Y, dan Z adalah sebagai berikut:

RMSE (X) : 6,041112 meter

RMSE (Y) : 11,161883 meter

RMSE (Z) : 5,695181 meter

Nilai RMSE yang relatif besar ini menunjukkan adanya penyimpangan yang signifikan, terutama pada sumbu Y, yang memiliki RMSE tertinggi. Penyimpangan tersebut mengindikasikan bahwa transformasi dengan hanya tiga parameter translasi kurang mampu menangani kompleksitas transformasi koordinat 3D dengan presisi tinggi. Perbedaan signifikan dibandingkan model Helmert dan Bursa-Wolf menunjukkan keterbatasan pendekatan ini dalam menangani kompleksitas transformasi 3D. Hal ini menggarisbawahi keterbatasan pendekatan ini untuk aplikasi yang membutuhkan akurasi tinggi.

Berdasarkan hasil, model Helmert menunjukkan performa terbaik dalam hal keakuratan dan fleksibilitas. Sementara itu, model Bursa-Wolf menawarkan alternatif yang hampir setara dalam kondisi tanpa skala yang berubah. Transformasi dengan tiga parameter translasi lebih cocok untuk aplikasi kasar atau skala besar, tetapi tidak ideal untuk analisis geospasial presisi tinggi.

Kesimpulan

Hasil analisis transformasi koordinat 3D dalam dokumen ini memberikan wawasan penting tentang keunggulan dan keterbatasan model transformasi yang digunakan. Model Helmert terbukti menawarkan tingkat keakuratan yang tinggi, menjadikannya pilihan utama untuk aplikasi geospasial yang membutuhkan presisi. Alternatif model Bursa-Wolf juga menunjukkan performa yang hampir setara, meskipun lebih cocok untuk kasus di mana perubahan skala tidak signifikan. Sebaliknya, pendekatan tiga parameter translasi lebih sesuai untuk kebutuhan sederhana dengan presisi yang tidak menjadi prioritas. Dengan demikian, untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk terus meningkatkan kualitas data masukan melalui validasi blunder yang lebih mendalam dan mengadopsi kombinasi metode untuk memaksimalkan akurasi hasil. Hasil transformasi ini tidak hanya bermanfaat untuk penelitian akademik tetapi juga untuk aplikasi praktis, seperti pemetaan perubahan garis pantai, mitigasi bencana, dan perencanaan infrastruktur. Dengan penyesuaian tersebut, penelitian ini diharapkan dapat

berkontribusi signifikan pada pengembangan sistem referensi geospasial di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih

Referensi

- Azahar, N., Wan Aris, W. A., Musa, T. A., Omar, A. H., & Musliman, I. A. (2022). *Performance of Bursa-Wolf model for deforming region: Case study in Malaysia. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences – ISPRS Archives*, 46(4/W3-2021), 39–43. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-4-W3-2021-39-2022>
- Bektas, S. (2022). *A new algorithm for 3D similarity transformation with dual quaternion. Arabian Journal of Geosciences*, 15(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10457-z>
- Eberly, D. H. (2020). *3D Math Primer for Graphics and Game Programming*. Morgan Kaufmann.
- Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (2019). *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley.
- Gargula, T., & Gawronek, P. (2023). *The Helmert transformation: A proposal for the problem of post-transformation corrections. Advances in Geodesy and Geoinformation*, 34–34. <https://doi.org/10.24425/agg.2022.141920>
- Hearn, D., & Baker, M. P. (2020). *Computer Graphics*. Prentice Hall.
- Heikkinen, J. (2001). *Geometric Transformations and Projections. Journal of Geodesy*.
- Kaviani, P., Yazdani, M., & Heidari, A. (2019). *Blunder Detection in 3D Coordinate Transformation. Journal of Surveying Engineering*.
- Lengyel, E. (2019). *Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics*. Charles River Media.
- Nepoklonov, V., Maximova, M., & Sukharev-Krylov, I. (2021). *Monitoring of spatial data coordinate basis integrity using coordinate transformations. E3S Web of Conferences*, 310. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131003009>
- Nilsson, J.-O. (2024a). *A comprehensive Cartesian to geodetic coordinate transformation reference listing*. <http://arxiv.org/abs/2405.05352>
- Nilsson, J.-O. (2024b). *Minimax polynomial ECEF to geodetic coordinate transformation approximations*. <http://arxiv.org/abs/2405.06572>
- Peraturan BIG No. 13 Tahun 2021 tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia [JDIH BPK RI]. (n.d.). Retrieved November 13, 2022, from <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/217085/peraturan-big-no-13-tahun-2021>

- Shoemake, K. (2020). *Animating Rotation with Quaternion Curves*. ACM SIGGRAPH.
- Tran, D. T., Nocquet, J. M., Luong, N. D., & Nguyen, D. H. (2023). *Determination of Helmert transformation parameters for continuous GNSS networks: A case study of the Géoazur GNSS network*. *Geo-Spatial Information Science*, 26(1), 125–138. <https://doi.org/10.1080/10095020.2022.2138569>
- Wolf, P. R. (1987). *Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS*. John Wiley & Sons.