

Pendekatan Bursa-Wolf Dalam Penukaran Koordinat dan Transformasi Datum Untuk Kegunaan Geodetik Dan Pemetaan

Gs. Sr Asrul Bn Zakaria¹

¹Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Haji Ahmad Shah, 25350 Kuantan, Pahang

*Corresponding author E-mail: asrulzakaria@polisas.edu.my

Abstrak

Penentuan kedudukan spatial yang tepat dalam kerja-kerja geodetik dan pemetaan di Malaysia menghadapi cabaran disebabkan oleh ketidaktepatan penggunaan datum dan sistem koordinat yang berbeza-beza. Wujudnya pelbagai model datum yang diasaskan kepada pelbagai sistem rujukan ellipsoid, unit ukuran, sistem koordinat, dan unjuran peta menyebabkan ketidakselarasan dan ketidaktepatan data spatial. Kajian ini bertujuan untuk meneliti model Bursa-Wolf tujuh parameter sebagai kaedah matematik untuk menukar koordinat Cartesian tiga dimensi antara dua datum yang berbeza. Kajian ini juga menganalisis asas sistem datum yang digunakan di Malaysia, mengenal pasti kaedah transformasi datum yang digunakan, serta menilai kesesuaiannya dalam melaksanakan Sistem Rujukan Koordinat yang konsisten dan tepat. Selain itu, kajian ini meneliti perancangan dan keperluan terhadap pembangunan Sistem Rujukan Koordinat yang mantap. Melalui analisis terhadap parameter transformasi serta hubungan antara sistem rujukan sumber dan sasaran, kajian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai aspek teori dan aplikasi praktikal dalam transformasi datum. Hasil kajian awal menunjukkan kepentingan pemilihan model transformasi yang bersesuaian untuk meminimumkan ralat dan memastikan keseragaman dalam integrasi data spatial. Kajian ini menyumbang kepada pembangunan sistem rujukan geodetik yang lebih tepat dan standard, sekaligus menyokong keperluan pemetaan, ukur tanah, dan analisis spatial di Malaysia

Kata Kunci: Transformasi Datum, Model Bursa-Wolf, Sistem Koordinat, Rujukan Geodetik

1.0 Pengenalan

Teknologi **Global Navigation Satellite System (GNSS)** kini memainkan peranan yang semakin penting dalam bidang ukur dan pemetaan di Malaysia. Kemampuan sistem ini dalam memberikan koordinat dengan pantas dan ketepatan tinggi menjadikannya pilihan utama bagi pelbagai aplikasi geospasial seperti penentuan sempadan, pembangunan infrastruktur, pemantauan bencana, serta pemetaan sumber alam. GNSS seperti GPS, GLONASS, Galileo dan BeiDou telah menjadi komponen utama dalam revolusi pengukuran moden.

Walau bagaimanapun, penggunaan GNSS turut membawa cabaran tersendiri, khususnya berkaitan **datum geodetik**. GNSS menggunakan datum geosentrik global seperti WGS84 yang berbeza daripada datum geodetik tradisional yang digunakan di Malaysia seperti **Timbal Datum Malaya 1969 (TDM69)** dan **Malaysia Geodetic Datum 2000 (MGD2000)**. Perbezaan antara datum ini boleh menyebabkan ketidakkonsistenan dalam sistem koordinat, yang seterusnya boleh menjejaskan ketepatan kerja ukur dan integriti produk pemetaan jika tidak diuruskan dengan betul.

Sehubungan itu, proses **transformasi koordinat** antara dua datum perlu dilakukan dengan cermat menggunakan model matematik yang tepat. Salah satu model yang banyak digunakan ialah **Model Bursa-Wolf**, iaitu model transformasi tujuh parameter yang membolehkan penukaran koordinat kartesian tiga dimensi antara dua sistem datum. Model ini mengambil kira tiga parameter anjakan (ΔX , ΔY , ΔZ), tiga parameter putaran (R_x , R_y , R_z), dan satu faktor skala (ΔL), yang menjadikannya sangat sesuai untuk transformasi antara datum geosentrik dan datum tempatan. Pemahaman dan penggunaan transformasi datum seperti Model Bursa-Wolf amat penting, khususnya dalam kalangan pelajar dan pengamal profesional dalam bidang geomatik. Ia bukan sahaja meningkatkan ketepatan pengukuran tetapi juga menyokong pembangunan **pangkalan data geospasial** yang mantap, terutamanya dalam persekitaran **Sistem Maklumat Geografi (GIS)**.

1.1 Penyataan Masalah

Pada masa kini, terdapat pelbagai **sistem koordinat** yang dibangunkan berasaskan kepada sistem rujukan yang berbeza, sama ada dari segi unit ukuran, jenis unjuran, mahupun datum geodetik yang digunakan. Kepelbagaian ini wujud selari dengan perkembangan teknologi pengukuran dan keperluan aplikasi geospasial yang semakin kompleks di peringkat tempatan dan global. Namun demikian, **ketidakharmonian antara sistem koordinat** akibat daripada penggunaan datum geodetik yang berlainan sering menjadi punca kepada ketidaktepatan dalam data ukur dan pemetaan. Sekiranya perbezaan ini tidak diuruskan dengan teliti dan sistematik, ia boleh mengakibatkan **kesilapan yang ketara dalam kerja-kerja pengukuran serta dalam penghasilan produk pemetaan**, terutamanya apabila data dari pelbagai sumber perlu digabungkan atau dianalisis secara seragam. Oleh itu, **kaedah-kaedah penukaran koordinat, transformasi datum dan penyesuaian unjuran peta** perlu dilaksanakan dengan tahap ketelitian yang tinggi. Transformasi ini bukan sahaja memerlukan pemahaman mendalam terhadap parameter teknikal seperti datum geosentrik, ellipsoid rujukan dan faktor skala, malah perlu disokong oleh model matematik yang tepat dan mantap. Hal ini amat penting bagi memastikan integriti data geospasial dalam pelbagai aplikasi seperti Sistem Maklumat Geografi (GIS), pembangunan peta digital, serta sistem navigasi dan pemantauan moden.

1.2 Objektif

Kajian ini dijalankan dengan tujuan untuk memahami dan melaksanakan proses transformasi koordinat antara dua datum geodetik menggunakan model matematik yang sesuai. Objektif khusus kajian ini adalah seperti berikut:

- i. **Mengupas dan menganalisis Model Bursa-Wolf**, iaitu model transformasi tujuh parameter yang digunakan untuk menukar koordinat kartesian tiga dimensi antara dua datum geodetik yang berbeza. Kajian ini akan memberi tumpuan kepada komponen-komponen utama dalam model tersebut seperti parameter anjakan (ΔX , ΔY , ΔZ), putaran (R_x , R_y , R_z), serta faktor skala (ΔL), dan bagaimana parameter-parameter ini berfungsi dalam proses transformasi koordinat.
- ii. **Membangunkan satu sistem penukaran koordinat menggunakan perisian Microsoft Excel** dengan mengaplikasikan Formula Tujuh Parameter Bursa-Wolf. Sistem ini bertujuan untuk memudahkan pelajar dan pengamal bidang geomatik dalam melaksanakan transformasi datum secara automatik, cekap dan tepat dalam persekitaran yang mudah diakses.

1.3 Signifikan Kajian

Kajian ini memberi sumbangan penting dalam aspek teori dan aplikasi dalam bidang geodetik dan geomatik, khususnya berkaitan dengan transformasi koordinat antara datum geodetik. Signifikan kajian ini dapat dirumuskan seperti berikut:

- i. **Pemahaman Konsep Transformasi Datum.** Kajian ini membantu memperkukuh pemahaman pelajar dan pengamal profesional terhadap konsep-konsep asas dalam sistem rujukan koordinat, khususnya berkaitan dengan perbezaan antara datum geosentrik dan datum geodetik tempatan. Penerangan mendalam mengenai model Bursa-Wolf sebagai kaedah transformasi tujuh parameter membolehkan pengguna memahami logik di sebalik proses penukaran koordinat tiga dimensi.
- ii. **Mengurangkan Ralat dalam Kerja Ukur dan Pemetaan** Dengan adanya pemahaman dan kaedah transformasi yang tepat, isu **ketidakharmonian koordinat** akibat perbezaan datum dapat dikurangkan. Ini secara

langsung meningkatkan **ketepatan dan keseragaman data ukur dan pemetaan**, terutamanya apabila data daripada pelbagai sumber perlu disepadukan dalam satu sistem geospasial.

- iii. **Pembangunan Alat Transformasi yang Praktikal dan Mudah Digunakan**
Perisian penukaran koordinat yang dibangunkan dalam **platform Microsoft Excel** menyediakan satu penyelesaian praktikal dan mudah diakses oleh pelajar, penyelidik, serta jurukur profesional. Alat ini membolehkan proses transformasi koordinat dijalankan secara automatik tanpa memerlukan perisian pemetaan yang kompleks, sekali gus menjimatkan masa dan kos latihan.
- iv. **Sokongan kepada Aplikasi GIS dan Pembangunan Pangkalan Data Geospasial**
Ketepatan dalam transformasi koordinat sangat penting dalam pembangunan **pangkalan data geospasial berasaskan Sistem Maklumat Geografi (GIS)**. Kajian ini menyokong keperluan tersebut dengan menyediakan pendekatan transformasi yang boleh dipercayai dan boleh digunakan dalam pelbagai aplikasi termasuk perancangan bandar, pengurusan sumber, dan pemantauan alam sekitar.

2.0 Kajian literatur

Kajian literatur Kajian literatur menunjukkan bahawa **sistem datum geodetik** merupakan satu rujukan matematik yang digunakan untuk menentukan kedudukan sesuatu titik di permukaan bumi. Di Malaysia, beberapa datum telah digunakan secara rasmi, antaranya **Kertau 1968 (KERTAU68)**, **Geodetic Datum Malaysia 2000 (GDM2000)**, dan terkini **Geodetic Datum Malaysia 2020 (GDM2020)** yang merangkumi Semenanjung Malaysia, Sabah dan Sarawak (Wang et al., 2023). Setiap datum ini mempunyai parameter dan asas geometri yang berbeza, yang seterusnya menyumbang kepada perbezaan nilai koordinat bagi lokasi yang sama (Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia **Ketidakharmonian antara datum** ini, jika tidak ditangani secara sistematik, boleh menyebabkan kesilapan dalam kerja-kerja ukur serta gangguan dalam integrasi data geospasial (A. & H., 2022). Oleh itu, **keperluan kepada kaedah penukaran koordinat yang teliti dan konsisten** adalah sangat penting, khususnya dalam konteks penyelarasan data pelbagai sumber (Das et al., 2017).

Salah satu kaedah yang paling lazim digunakan dalam transformasi koordinat tiga dimensi (X, Y, Z) ialah **Model Bursa-Wolf**. Model ini menggunakan **tujuh parameter transformasi**, iaitu tiga parameter translasi (ΔX , ΔY , ΔZ), tiga sudut putaran (R_x , R_y , R_z), dan satu faktor skala (ΔL) (Elshambaky, 2019). Ia terbukti berkesan dalam melakukan transformasi antara datum tempatan dan datum global seperti **WGS84** (Ruffhead, 2021). Dalam konteks Malaysia, model ini amat penting untuk menyesuaikan koordinat daripada sistem rujukan global seperti **ITRF** atau **WGS84** kepada sistem rujukan tempatan seperti **GDM2000** atau **GDM2020** (Baiocchi et al., 2019). JUPEM telah menyediakan **parameter transformasi rasmi** bagi model Bursa-Wolf, terutamanya selepas pengenalan **GDM2020**, yang menggantikan GDM2000 bagi memenuhi keperluan peningkatan **ketepatan dan keseragaman data geodetik** kebangsaan (Barba et al., 2023).

Meskipun transformasi datum kebiasaannya dilakukan menggunakan perisian komersial seperti **ArcGIS** atau **Global Mapper**, penggunaan **Microsoft Excel** sebagai alternatif telah mendapat perhatian, khususnya dalam konteks pengajaran dan latihan. Excel membolehkan pengguna menulis formula tersuai berdasarkan parameter Bursa-Wolf, sekaligus membolehkan penukaran koordinat dilakukan secara langsung ke atas set data. Pendekatan ini bukan sahaja **lebih kos efektif**, tetapi turut membantu pelajar **memahami proses matematik** di sebalik transformasi datum, berbanding hanya bergantung kepada perisian siap guna (Hu et al., 2016). Kajian oleh beberapa institusi pengajian tinggi mendapati bahawa

Microsoft Excel mampu menghasilkan keputusan transformasi yang memuaskan, asalkan parameter transformasi ditentukan dengan tepat dan diaplikasikan dengan betul (Ziggah et al., 2019).

Selain daripada aspek transformasi datum secara umum, **kajian-kajian terdahulu juga menekankan kepentingan penentuan ketinggian ortometrik** yang tepat dalam kerja ukur dan pemetaan, terutamanya apabila menggunakan teknologi **Global Navigation Satellite System (GNSS)** (Kwon et al., 2005). GNSS secara asasnya memberikan ketinggian elipsoid, manakala aplikasi kejuruteraan dan geoinformasi lazimnya memerlukan **ketinggian ortometrik**. Oleh itu, satu mekanisme diperlukan bagi menukar ketinggian elipsoid kepada ketinggian ortometrik yang lebih relevan kepada permukaan bumi fizikal. Salah satu pendekatan yang digunakan ialah menerusi **model geoid tempatan**, seperti **MyGEOID** yang dibangunkan oleh JUPEM. MyGEOID membekalkan maklumat perbezaan antara permukaan elipsoid dan geoid (N), yang kemudiannya digunakan dalam formula:

$$H = h - N$$

(di mana H = ketinggian ortometrik, h = ketinggian elipsoid, N = pemisahan geoid)

Menurut (Featherstone, 1997), penggunaan model geoid seperti MyGEOID bersama data GNSS boleh memberikan ketepatan ketinggian ortometrik dalam lingkungan beberapa sentimeter sahaja, bergantung kepada ketepatan input dan persekitaran pengukuran.

Tambahan pula, beberapa penyelidikan tempatan telah mengkaji **keberkesanan transformasi koordinat menggunakan Excel**, contohnya dalam bentuk **penggunaan formula VBA** (Visual Basic for Applications) bagi automasi transformasi Bursa-Wolf. Kajian seperti yang dilakukan oleh (Aydin et al., 2019) menunjukkan bahawa pendekatan ini bukan sahaja praktikal dalam pengajaran, malah berguna dalam kerja lapangan skala kecil yang tidak memerlukan perisian berlesen (Bie et al., 2020).

3.0 Metodologi

Kajian ini menggunakan **pendekatan kaedah campuran (mixed-method)** yang menggabungkan kedua-dua data **kuantitatif** dan **kualitatif** bagi mendapatkan pemahaman yang menyeluruh terhadap pembangunan dan penilaian model transformasi koordinat berdasarkan sistem datum geodetik Malaysia.

3.1 Temu Bual Separuh Berstruktur (Kualitatif)

Sebagai pelengkap kepada data kuantitatif, kajian ini turut menjalankan temu bual separuh berstruktur dengan seramai 10 orang

3.2 Reka Bentuk Kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk membangunkan dan menguji model transformasi koordinat berdasarkan Model Bursa-Wolf dalam Microsoft Excel.

3.3 Pengumpulan Data

Data koordinat dari dua datum berbeza (GDM2000 dan GDM2020) dan parameter tujuh Bursa-Wolf rasmi diperoleh dari Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM).

3.4 Pembangunan Model

Formula tujuh parameter Bursa-Wolf diterjemahkan ke dalam fungsi matematik untuk transformasi koordinat tiga dimensi (X, Y, Z).

3.5 Pelaksanaan

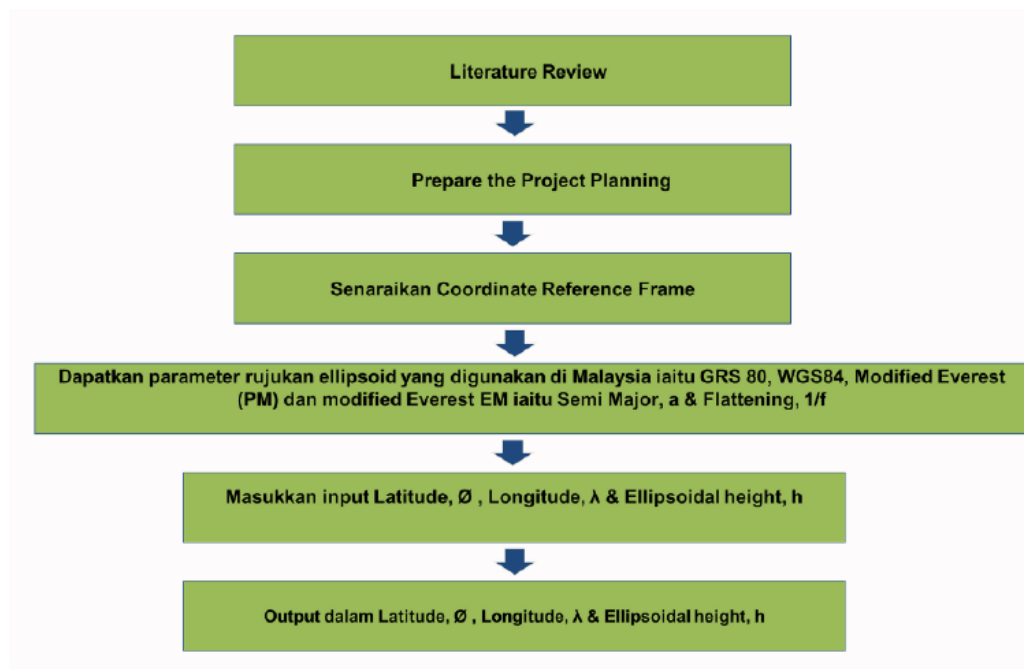
Model transformasi diimplementasikan dalam Microsoft Excel menggunakan formula tersuai untuk mengira koordinat baru.

3.6 Ujian Ketepatan

Koordinat yang ditransformasi dibandingkan dengan data rasmi bagi menilai ketepatan menggunakan analisis perbezaan dan statistik ringkas.

3.7 Analisis

Keputusan dianalisis untuk mengenal pasti keberkesanan model dan cadangan untuk penambahbaikan.



Rajah 1: Metodologi & Carta Alir Kajian

4. Analisis dan Perbincangan

Model transformasi Bursa-Wolf yang dibangunkan dalam kajian ini telah diaplikasikan bagi menukar koordinat daripada datum **GDM2000 kepada GDM2020**, serta **WGS84 kepada Kertau 1948** bagi tujuan perbandingan dan penilaian keberkesanan transformasi. Data koordinat titik-titik kawalan yang diperoleh daripada JUPEM digunakan sebagai rujukan sebenar. Ujian transformasi dijalankan menggunakan **fungsi tersuai dalam Microsoft Excel**, di mana keputusan transformasi dibandingkan dengan koordinat sebenar dalam datum sasaran. Perbezaan antara nilai transformasi dan nilai sebenar dianalisis menggunakan **kaedah RMSE (Root Mean Square Error)** bagi menilai ketepatan.

Hasil analisis menunjukkan:

- Transformasi antara **WGS84 dan GDM2000** menghasilkan perbezaan yang sangat kecil (kurang daripada 0.1 meter), menunjukkan keserasian tinggi antara kedua-dua datum ini.
- Transformasi daripada **GDM2000 kepada GDM2020** pula mencatatkan perbezaan dalam julat **1 hingga 4 sentimeter**, bergantung kepada lokasi dan data input yang digunakan.

- Sebaliknya, transformasi daripada **GDM2000/WGS84 kepada Kertau 1948** mencatatkan perbezaan lebih besar, sekitar **1 hingga 3 meter**, justeru menunjukkan keperluan kritikal penggunaan model Bursa-Wolf dengan parameter yang tepat.

GDM2000 adalah datum geodetik kebangsaan Malaysia yang dibangunkan untuk menggantikan datum tempatan lama seperti Kertau. GDM2000 direalisasikan berdasarkan ITRF2000 (International Terrestrial Reference Frame) dan diselaraskan dengan WGS84 pada epoch tahun 2000. Oleh itu, **transformasi antara WGS84 dan GDM2000 lazimnya tidak memerlukan transformasi yang kompleks**, kerana perbezaan koordinat adalah sangat kecil (dalam lingkungan milimeter hingga beberapa sentimeter) dan boleh diabaikan untuk kebanyakan aplikasi pemetaan biasa.

Namun begitu, bagi transformasi dari WGS84 atau GDM2000 ke datum tempatan lama seperti **Kertau 1948**, perbezaan antara datum adalah signifikan, dan transformasi geodetik yang betul perlu digunakan. Dalam kes ini, **model transformasi Bursa-Wolf** atau **transformasi Helmert tujuh parameter** digunakan untuk mengira perbezaan kedudukan tiga dimensi (X, Y, Z) antara dua sistem datum.

Model Bursa-Wolf menggunakan tujuh parameter iaitu:

1. Perubahan translasi (Tx, Ty, Tz)
2. Putaran (Rx, Ry, Rz)
3. Skala (ds)

Parameter-parameter ini diperoleh melalui analisis geodetik berdasarkan data titik kawalan yang telah dipadankan antara dua datum

Parameter	Nilai (Anggaran)
Tx	+11.0 m
Ty	+851.0 m
Tz	+5.0 m
Rx	-0.46 arc-sec
Ry	-1.05 arc-sec
Rz	-0.27 arc-sec
s	-1.1 ppm

Rajah 3: Parameter yang dipilih bagi penukaran unjuran koordinat

Model Bursa-Wolf **tidak secara langsung digunakan dalam proses unjuran**, tetapi ia **sangat penting sebagai prasyarat** apabila data yang berbeza datum digunakan dalam sistem unjuran yang sama. Kegagalan melaksanakan transformasi datum yang betul boleh menyebabkan ralat spatial walaupun unjuran telah ditetapkan dengan betul.



Bursa Wolf 7 Parameter

3D Datum Transformation (Bursa Wolf 7 Parameter)

	Selection		
From	MRT48 to PMGSN94		
Semi Major, a	6377304.063		
Flattening, 1/f	300.801700000		
	Input		
Latitude, ϕ	1°	21'	07.30000"
Longitude, λ	103°	38'	08.00000"
Ellipsoidal height, h	0.000 m		
To	PMGSN94		
Semi Major, a	6378137.000		
Flattening, 1/f	298.2572235630		
	Output		
Latitude, ϕ	1°	21'	07.15397
Longitude, λ	103°	38'	01.87851
Ellipsoidal height, h	7.965 m		

Rajah 4: Parameter yang dipilih bagi penukaran unjuran koordinat

Jadual 1: Output dalam latitude, longitude dan ellipsoid height

NO STIK	GDM 2000			CASSINI - SOLDNER GEOCENTRIC		RSO GEOCENTRIC		PMGSN 94			MRT48			CASSINI - SOLDNER GEOCENTRIC		RSO GEOCENTRIC	
	LATITUDE	LONGITUDE	ELLIPSOID HEIGHT, h ($h_{PMGSN} - h_{MRT48}$)	N	E	N	E	LATITUDE	LONGITUDE	ELLIPSOID HEIGHT, h ($h_{PMGSN} - h_{MRT48}$)	LATITUDE	LONGITUDE	ELLIPSOID HEIGHT, h ($h_{PMGSN} - h_{MRT48}$)	N	E	N	E
GPS 02	3 49 2.77203	103 20 6.93863	5.559	11849.892	100038.634	422124.315	593321.836	3 49 2.81640	103 20 6.90346	5.819	3 49 3.63156	103 20 12.93331	2.657	-368175.102	100687.236	42219.286	593515.909
GPS 01	3 48 38.37237	103 20 25.82251	5.055	11100.939	100622.063	421374.537	593903.954	3 48 38.41678	103 20 25.78735	4.555	3 48 39.22998	103 20 31.81956	2.161	11096.961	100625.151	421369.506	594098.045
GPS 03	3 49 31.24246	103 19 53.22095	7.084	12724.067	99614.477	422999.025	592899.149	3 49 31.28684	103 19 53.18577	6.544	3 49 32.10418	103 19 59.21396	4.211	12720.117	99617.607	422993.999	593093.244
GPS 04	3 50 1.67212	103 19 56.41517	9.971	13658.976	99712.052	423933.588	592996.277	3 50 1.71651	103 19 56.37998	9.451	3 50 2.53610	103 20 2.40875	7.113	13655.017	99715.228	423938.562	593192.375
GPS 05	3 50 33.04077	103 19 59.63445	14.164	14622.833	99810.366	424897.095	593096.192	3 50 33.08847	103 19 59.59926	13.625	3 50 33.91038	103 20 5.62861	11.321	14618.867	99813.590	424892.562	593292.295
GPS 06	3 49 15.19900	103 20 56.62168	7.024	12232.041	101571.146	422503.830	594854.855	3 49 15.20339	103 20 56.58653	6.484	3 49 16.01921	103 21 2.62297	4.083	12228.019	101574.311	422488.796	595048.952
GPS 07	3 50 2.29572	103 20 55.21045	20.491	13680.051	101526.062	423951.630	594812.194	3 50 2.34012	103 20 55.17529	20.151	3 50 3.15946	103 21 1.21179	17.778	13676.023	101529.293	423946.598	595006.295
GPS 08	3 49 3.46641	103 19 53.42268	6.827	11870.788	99621.591	422145.902	592904.840	3 49 3.51078	103 19 53.38751	6.287	3 49 4.32806	103 19 59.41559	3.938	11866.842	99624.685	422140.875	593098.933
GPS 09	3 49 20.40046	103 19 36.07787	11.351	12390.448	99085.897	422666.353	592370.051	3 49 20.44483	103 19 36.04269	10.811	3 49 21.26145	103 19 42.06858	8.487	12386.518	99088.998	422661.328	592564.145

5. Kesimpulan

Kajian ini telah membuktikan bahawa Model Bursa-Wolf adalah alat yang efektif untuk transformasi koordinat antara dua datum geodetik di Malaysia. Penggunaan formula tujuh parameter dalam Microsoft Excel membolehkan transformasi dilakukan dengan tepat dan mudah, terutama untuk tujuan pembelajaran dan latihan. Model ini membantu mengatasi masalah ketidakharmonian koordinat yang timbul akibat penggunaan datum berlainan. Selain itu, pendekatan ini juga memberikan alternatif yang kos efektif dan fleksibel berbanding perisian GIS komersial, tanpa mengorbankan ketepatan. Oleh itu, implementasi model Bursa-Wolf dalam Excel amat sesuai untuk kegunaan akademik dan juga aplikasi praktikal dalam kerja ukur dan pemetaan di Malaysia. Kajian lanjut boleh dilakukan untuk menguji model ini pada dataset yang lebih besar dan dalam konteks aplikasi lain bagi memperluaskan penggunaan transformasi koordinat yang tepat dan efisien.

Rujukan

A., A. R., & H., R. (Eds.). (2022). Joint International Conference on Geospatial Asia-Europe 2021 and GeoAdvances 2021. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* (Vol. 46, Issues 4/W3-2021). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

- 85139923334&partnerID=40&md5=03db6d0b3ef77149f4b6965f5c2c73dc
- Aydin, C., Uygur, S. Ö., Çetin, S., Özdemir, A., & Dogan, U. (2019). Ability of GPS PPP in 2D deformation analysis with respect to GPS network solution. *Survey Review*, 51(366), 199–212. <https://doi.org/10.1080/00396265.2017.1415664>
- Baiocchi, V., Deligios, M., Giannone, F., & Timar, G. (2019). Reconstruction of historical geodetic systems for their implementation in reprojection algorithms. In B. R., P. V., R. F., G. A., S. M., P. M., & C. L. (Eds.), *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Vol. 42, Issue 2/W11, pp. 127–131). Copernicus GmbH. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-2-W11-127-2019>
- Barba, S., Di Benedetto, A., Di Filippo, A., & Fiani, M. (2023). A METHOD FOR ESTIMATING THE ACCURACY OF THE TIE POINTS CLOUD: THE CASE STUDY OF PALAZZO DE FALCO. In T. G., B. C., B. V., F. F., S. A., P. E.I., P. M., & S. G. (Eds.), *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Vol. 10, Issues M-1–2023, pp. 27–32). Copernicus Publications. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-M-1-2023-27-2023>
- Bie, Y., Guan, Q., & Yao, Y. (2020). A Framework for AR Spatial Analysis based on Edge-Cloud Integration. *Journal of Geo-Information Science*, 22(6), 1383–1393. <https://doi.org/10.12082/dqxxkx.2020.190472>
- Das, D., Safa Sadiq, A., Mirjalili, S., & Noraziah, A. (2017). Hybrid Clustering-GWO-NARX neural network technique in predicting stock price. *Journal of Physics: Conference Series*, 892(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/892/1/012018>
- Elshambaky, H. T. (2019). Using direct transformation approach as an alternative technique to fuse global digital elevation models with GPS/levelling measurements in Egypt. *Journal of Applied Geodesy*, 13(3), 159–177. <https://doi.org/10.1515/jag-2018-0050>
- Featherstone, W. E. (1997). A comparison of existing co-ordinate transformation models and parameters in Australia. *Australian Surveyor*, 42(2), 25–34. <https://doi.org/10.1080/00050343.1997.10558681>
- Hu, Y., Liang, Y., Liu, X., Jiang, C., & Chu, J. (2016). Accurate modeling of occupant restraint system based on coordinate system transformation. *Qiche Gongcheng/Automotive Engineering*, 38(5), 574–579. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84974661205&partnerID=40&md5=3ca2b9041037bb4d300b75369d1be22b>
- Kwon, J. H., Bae, T.-S., Choi, Y.-S., Lee, D.-C., & Lee, Y.-W. (2005). Geodetic datum transformation to the global geocentric datum for seas and islands around Korea. *Geosciences Journal*, 9(4), 353–361. <https://doi.org/10.1007/BF02910324>
- Ruffhead, A. C. (2021). Derivation of rigorously-conformal 7-parameter 3D geodetic datum transformations. *Survey Review*, 53(376), 8–15. <https://doi.org/10.1080/00396265.2019.1665614>
- Wang, Y., Yuan, K., Zheng, N., Bian, Z., & Yang, M. (2023). A generalized weighted total least squares-based, iterative solution to the estimation of 3D similarity transformation parameters. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112563>
- Ziggah, Y. Y., Youjian, H., Alfonso Tierra, R., & Prosper Laari, B. (2019). Coordinate Transformation between Global and Local Data Based on Artificial Neural Network with K-Fold Cross-Validation in Ghana. *Earth Sciences Research Journal*, 23(1), 67–77. <https://doi.org/10.15446/esrj.v23n1.63860>