

# Pemetaan Undulasi Kota Medan Menggunakan Hasil Pengukuran Tinggi Tahun 2010

Hary Nugroho, Rinaldy

Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional (Itenas) – Bandung

Email: hary@itenas.ac.id

## ABSTRAK

*Pengukuran posisi dengan menggunakan teknologi Global Positioning System (GPS) adalah pengukuran yang praktis. Koordinat yang diperoleh adalah koordinat dalam sistem kartesian 3 dimensi dengan nilai tinggi adalah tinggi geodetik atau tinggi di atas elipsoid ( $h$ ). Sementara itu, dalam kegiatan sehari-hari ketinggian yang umum digunakan adalah ketinggian di atas permukaan bidang ekuipotensial yang melalui permukaan laut rata-rata atau MSL (mean sea level) yang disebut geoid. Ketinggian ini disebut dengan ketinggian ortometrik. Secara fisik geoid adalah permukaan laut rata-rata tanpa gangguan. Tinggi ortometrik ini diperoleh dari pengamatan pasang surut (pasut) laut selama sekurang-kurangnya 18,6 tahun di satu stasiun pasut. Perbedaan antara kedua jenis ketinggian ini adalah undulasi ( $N$ ). Ketersediaan data undulasi pada wilayah pengukuran akan memungkinkan setiap pengamatan GPS dapat dikoreksi untuk mendapatkan nilai tinggi ortometriknya. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran sipat datar dan pengamatan GPS pada beberapa titik kontrol yang tersebar di Kota Medan. Perbedaan ketinggian yang diperoleh dipakai untuk menentukan nilai undulasi. Hasil perhitungan selanjutnya diinterpolasi secara spasial, dipetakan, dan dibangun model permukaan digitalnya. Hasil akhir berupa peta kontur undulasi untuk seluruh Kota Medan. Masyarakat akan dapat memanfaatkannya untuk mendapatkan tinggi ortometrik dengan melakukan pengamatan GPS dan nilai  $z$  yang diperoleh dikoreksi dengan nilai undulasi. Pada penelitian ini nilai tinggi titik referensi adalah titik tinggi di Pelabuhan Laut Belawan yang diukur tahun 2010 dan TIG540. Hasil akhir dibandingkan dengan EGM2008.*

**Kata kunci:** tinggi ortometrik, tinggi normal, undulasi, GPS, EGM2008

## ABSTRACT

*Measurement using the Global Positioning System (GPS) is practical. Obtained coordinates are Cartesian coordinates in three-dimensional systems where height value is geodetic height or height above the ellipsoid ( $h$ ). Meanwhile, in the day-to-day activities, height value that is commonly used is the height above the surface of equipotential field through mean sea level (MSL) that is called the geoid. This height type is called orthometric height. Orthometric height obtained from observations of tidal data for at least 18.6 years in one tidal station. The difference between normal height and orthometric height is called undulation ( $N$ ). The availability of undulation data on the measurement area will allow any GPS observations to be corrected to obtain the orthometric height. This research aims to develop undulation map of Kota Medan. We have performed levelling and GPS measurements at several control points scattered in the city of Medan. The difference between the two types of height were used to determine the undulation. The results were then spatially interpolated, mapped, and the digital terrain model was built. The end result is a contour map of undulations for the entire city of Medan. The public will be able to use it to obtain orthometric height by performing GPS measurement, and  $z$  values obtained from the measurement are corrected by undulation values. In this study, height point in the Seaport Belawan, Medan measured in 2010 and TIG540 were used as reference points. The final result was compared with EGM2008.*

**Keywords:** orthometric height, normal height, GPS observation, EGM2008

## 1. PENDAHULUAN

Di dalam kegiatan praktis lapangan, penentuan tinggi suatu titik sangatlah penting. Tidak hanya terkait dengan permasalahan pemetaan semata, namun juga untuk menunjang kegiatan praktis lapangan seperti penentuan tinggi titik jembatan, sungai, atau untuk sekedar menentukan arah aliran air sehingga diperlukan perbedaan tinggi dua titik. Namun, untuk memperoleh nilai tinggi ini harus melalui pengukuran *levelling* atau *waterpass*. Titik acuan yang digunakan adalah titik kontrol atau *benchmark* yang telah diketahui ketinggiannya. Adapun bidang acuan ketinggian ini ditentukan berdasarkan pengamatan pasut guna menentukan tinggi permukaan laut rata-rata (*Mean Sea Level/MSL*), sedangkan bidang acuan tinggi adalah geoid yaitu bidang eipotensial yang melalui permukaan laut rata-rata. Persoalan yang timbul adalah perolehan nilai tinggi ini tidak praktis. Jika lokasi titik *benchmark* sangat jauh maka perlu usaha yang besar untuk melakukan pengukuran *levelling* hingga mencapai lokasi yang diinginkan. Bakosurtanal atau Badan Informasi Geospasial (BIG) memang telah melakukan pengukuran Tugu Titik Tinggi Geodesi (TTG) hampir di seluruh pulau besar di Indonesia, namun sebaran TTG yang ada masih perlu untuk dirapatkan.

Kemajuan teknologi telah membawa masyarakat mengenal alat untuk menentukan koordinat atau posisi melalui teknologi satelit GPS. Dengan *receiver* GPS perolehan koordinat dapat berlangsung cepat dan praktis yang meliputi posisi horizontal (X,Y) dan tinggi (h) [1]. Tinggi yang diperoleh adalah tinggi yang diukur dari bidang elipsoid, dengan demikian nilai ini berbeda dengan nilai tinggi geoid. Perbedaan nilai ini disebut undulasi. Dilihat dari segi kepraktisan penggunaan *receiver* GPS untuk memperoleh nilai koordinat mendorong manusia untuk menentukan tinggi di atas geoid dengan cepat pula. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan penentuan undulasi yang dimaksudkan untuk memperoleh nilai koreksi bagi tinggi di atas ellipsoid guna memperoleh nilai tinggi di atas geoid. Apabila nilai undulasi untuk satu posisi telah diperoleh maka untuk memperoleh nilai tinggi geoid, pengguna hanya perlu melakukan pengamatan GPS dimana selanjutnya tinggi titik yang diperoleh dikoreksi dengan nilai undulasi di titik itu. Untuk menunjang keperluan praktis, peta ini dianggap cukup memadai.

## 2. METODOLOGI

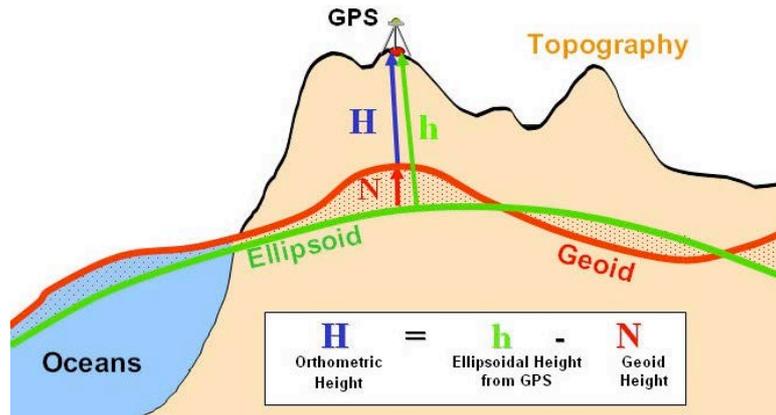
Dalam kegiatan penentuan ketinggian permukaan tanah menggunakan pengamatan GPS, teknologi yang diterapkan adalah teknologi GPS *levelling*. Teknologi ini pada dasarnya adalah metode untuk memperoleh tinggi elipsoid (h), dimana selisih keduanya adalah undulasi atau tinggi Geoid (N).

Helmert telah menemukan bahwa [2]:

$$H = h - N \quad (1)$$

dimana H adalah tinggi ortometrik; h adalah tinggi normal/geodetik; dan N adalah undulasi atau jarak/tinggi geoid dari elipsoid. Dengan demikian maka dapat dipahami bahwa untuk menentukan besaran tinggi ortometrik dapat digunakan persamaan diatas dengan melakukan pengamatan GPS, dengan syarat besaran undulasi diketahui. Untuk itu sebagai jalan keluar maka dilakukan pengukuran sipat datar pada titik-titik tertentu, dimana pada titik-titik yang sama dilakukan pengamatan GPS. Dari kedua pengukuran ini maka akan dapat dihitung besaran undulasi berdasarkan persamaan Helmert di atas [3].

Tinggi ortometrik adalah ketinggian yang sehari-hari digunakan dalam penentuan tinggi. Tinggi ini mengacu pada bidang eipotensial acuan yang disebut geoid. Secara fisik geoid adalah permukaan laut rata-rata tanpa gangguan. Tinggi ortometrik diperoleh dari pengamatan sipat datar atau *differential levelling*. Sedangkan tinggi geodetik adalah ketinggian yang mengacu pada bidang elipsoid. Tinggi ini diperoleh dari pengamatan GPS [4].



**Gambar 1. Geometrik Tinggi Ortometrik, Tinggi Elipsoid, dan Undulasi**  
Sumber: [6]

Kedua pengamatan ini dilakukan sesungguhnya untuk menyiasati tidak adanya data geoid teliti di wilayah Kota Medan. Jika data geoid teliti dimiliki maka pengamatan *land subsidence*, penentuan ketinggian tanah untuk bangunan, jalan dan jembatan cukup dilakukan dengan menggunakan pengamatan GPS saja karena hasil pengamatan GPS hanya perlu dikoreksi dengan data geoid di wilayah bersangkutan [5].

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran GPS dan sipat datar/*levelling* pada 100 titik *benchmark* yang tersebar di seluruh Kota Medan. Pengikatan dilakukan ke dua titik referensi yaitu:

1. Titik PPS 002

Lokasi : Pelabuhan Perikanan Samudera Belawan

Koordinat :

X = 468102.334 m

Y = 418333,267 m

Z = + 3.939 m



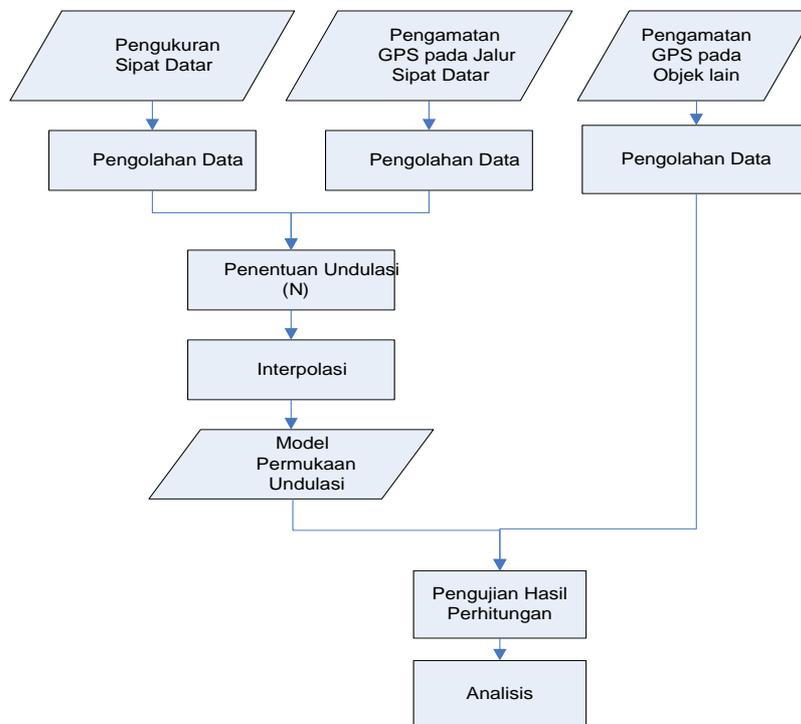
**Gambar 2. BM PPS 002 Belawan**

2. Titik Tinggi Geodesi (TTG) 540

Sebagai titik referensi kedua digunakan titik Titik Tinggi Geodesi (TTG) no. 540 dengan sumber dari Bakosurtanal. Lokasi TTG adalah di Desa Kesawan Kota Medan, dengan koordinat  $3^{\circ}.5833$  LU dan  $98^{\circ}.6803$  BT. Tinggi TTG adalah 21.933 m dengan standar deviasi 23.2 mm dan sistem tinggi yang dipergunakan adalah sistem tinggi ortometrik. Lokasi tugu BM di halaman tugu Monumen Perjuangan Kemerdekaan, sebelah kanan jalan arah Medan Tebing Tinggi. Sebagai

catatan, koordinat yang diperoleh dari Bakosurtanal adalah koordinat pendekatan, bukan koordinat yang tepat. Tinggi geoid dalam sistem EGM 2008 adalah -16.8881 m

Pengukuran tinggi menggunakan metode sipat datar dilakukan pada wilayah tertentu dan jalur tertentu yang didesain melewati seluruh titik BM kota Medan. Secara ringkas berikut ini diberikan diagram pelaksanaan kegiatan yang memberikan gambaran umum tahapan kegiatan penelitian (Gambar 3).



Gambar 3. Tahapan kegiatan penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil

Hasil pengumpulan data yang diperoleh dari Dinas Tata Ruang dan Tata Bangunan, Pemerintah Kota Medan, diperoleh data koordinat 100 titik *benchmark* (BM). Data ini selanjutnya diidentifikasi keberadaan dan kondisi fisiknya serta posisinya. Ditemukan 3 buah BM yang sudah hancur ataupun sudah tidak berdiri pada tempat yang semestinya, sehingga hanya ditemukan 97 BM yang masih terpelihara dengan baik. BM-BM yang telah rusak ataupun tidak berdiri pada tempatnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar BM Rusak Hasil Identifikasi Lapangan

No.	No. BM	KOORDINAT ( UTM )		
		X ( m )	Y ( m )	Z ( m )
1	22	459439.782	386977.073	42.098
2	26	456470.472	392328.769	22.8882
3	36	456483.07	398729.085	3.7498

Catatan: kondisi BM rusak, hancur atau sudah tidak berada pada tempat yang seharusnya.

Berdasarkan nilai tinggi ortometrik dan normal yang diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai undulasi untuk kedua titik referensi berdasarkan persamaan (1). Hasil yang diperoleh adalah seperti tertulis dalam Tabel 2, 3, dan 4 berikut, dengan catatan koordinat yang ditampilkan hanya 20 buah titik dari 97 titik yang ada.

**Tabel 2. Daftar Titik dengan Referensi Tinggi Pelabuhan Laut Belawan**

No.	No. BM	X ( m )	Y ( m )	Tinggi Normal (m)	Titik Referensi Belawan	
					Tinggi Ortometrik (m)	Undulasi (m)
1	1	465057.599	389764.009	26.5805	46.011	-19.4305
2	2	464071.682	389190.303	30.1517	49.703	-19.5513
3	3	461781.164	388747.086	25.6734	45.286	-19.6126
4	4	465897.387	395080.351	9.0262	28.493	-19.4668
5	5	462385.989	405233.274	-5.2436	14.4005	-19.6441
6	6	466369.336	393533.003	13.1486	32.686	-19.5374
7	7	467923.185	393606.977	10.9709	30.489	-19.5181
8	8	467404.931	395059.584	8.8903	28.359	-19.4687
9	9	464652.952	393156.103	16.3055	35.803	-19.4975
10	11	458029.56	392401.956	16.0461	35.948	-19.9019
11	12	461769.605	396251.683	6.7336	26.442	-19.7084
12	13	470347.581	390451.715	17.6271	36.914	-19.2869
13	14	465651.656	392730.255	16.3187	35.796	-19.4773
14	15	459489.607	393376.787	14.9081	34.661	-19.7529
15	16	460942.77	386622.606	42.3142	61.858	-19.5438
16	17	457625.374	387385.294	42.5583	62.213	-19.6547
17	18	457068.945	390927.043	24.7901	44.574	-19.7839
18	19	455573.083	391138.243	18.4513	38.32	-19.8687
19	21	455547.846	386724.624	52.3906	72.089	-19.6984
20	23	460246.667	385101.977	52.312	71.773	-19.461

**Tabel 3. Daftar Titik dengan Referensi Tinggi TTG 540**

No.	No. BM	X ( m )	Y ( m )	Tinggi Normal (m)	Titik Referensi TTG 540	
					Tinggi Ortometrik (m)	Undulasi (m)
1	1	465057.599	389764.009	26.5805	42.855	-16.274
2	2	464071.682	389190.303	30.1517	46.547	-16.395
3	3	461781.164	388747.086	25.6734	42.130	-16.457
4	4	465897.387	395080.351	9.0262	25.337	-16.310
5	5	462385.989	405233.274	-5.2436	11.2445	-16.488
6	6	466369.336	393533.003	13.1486	29.530	-16.382
7	7	467923.185	393606.977	10.9709	27.333	-16.362
8	8	467404.931	395059.584	8.8903	25.203	-16.312
9	9	464652.952	393156.103	16.3055	32.647	-16.342
10	11	458029.56	392401.956	16.0461	32.792	-16.746
11	12	461769.605	396251.683	6.7336	23.286	-16.552

12	13	470347.581	390451.715	17.6271	33.758	-16.130
13	14	465651.656	392730.255	16.3187	32.640	-16.321
14	15	459489.607	393376.787	14.9081	31.505	-16.597
15	16	460942.77	386622.606	42.3142	58.702	-16.388
16	17	457625.374	387385.294	42.5583	59.057	-16.499
17	18	457068.945	390927.043	24.7901	41.418	-16.627
18	19	455573.083	391138.243	18.4513	35.164	-16.713
19	21	455547.846	386724.624	52.3906	68.933	-16.542
20	23	460246.667	385101.977	52.312	68.617	-16.305

**Tabel 4. Daftar Titik dengan Undulasi dari Geoid Model EGM2008**

No.	No. BM	X ( m )	Y ( m )	Tinggi Normal (m)	EGM2008 (m)
1	1	465057.599	389764.009	26.5805	-16.6471
2	2	464071.682	389190.303	30.1517	-16.6683
3	3	461781.164	388747.086	25.6734	-16.7455
4	4	465897.387	395080.351	9.0262	-16.7916
5	5	462385.989	405233.274	-5.2436	-17.2459
6	6	466369.336	393533.003	13.1486	-16.7204
7	7	467923.185	393606.977	10.9709	-16.6483
8	8	467404.931	395059.584	8.8903	-16.7186
9	9	464652.952	393156.103	16.3055	-16.7868
10	11	458029.56	392401.956	16.0461	-17.0459
11	12	461769.605	396251.683	6.7336	-17.0199
12	13	470347.581	390451.715	17.6271	-16.4319
13	14	465651.656	392730.255	16.3187	-16.7266
14	15	459489.607	393376.787	14.9081	-17.0236
15	16	460942.77	386622.606	42.3142	-16.6803
16	17	457625.374	387385.294	42.5583	-16.8377
17	18	457068.945	390927.043	24.7901	-17.0225
18	19	455573.083	391138.243	18.4513	-17.0897
19	21	455547.846	386724.624	52.3906	-16.877
20	23	460246.667	385101.977	52.312	-16.6285

Adapun hasil perbandingan dengan Geoid Global EGM2008 diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 5)

**Tabel 5. Perbandingan Geoid Global dengan hasil perhitungan**

No.	No. BM	Perbedaan antara Belawan dengan EGM2008 (m)	Perbedaan antara TTG540 dengan EGM2008 (m)
1	1	2.7834	-0.373
2	2	2.883	-0.273
3	3	2.8671	-0.289

4	4	2.6752	-0.481
5	5	2.3982	-0.758
6	6	2.817	-0.339
7	7	2.8698	-0.287
8	8	2.7501	-0.406
9	9	2.7107	-0.445
10	11	2.856	-0.300
11	12	2.6885	-0.467
12	13	2.855	-0.301
13	14	2.7507	-0.406
14	15	2.7293	-0.427
15	16	2.8635	-0.292
16	17	2.817	-0.339
17	18	2.7614	-0.395
18	19	2.779	-0.377
19	21	2.8214	-0.335
20	23	2.8325	-0.324

Secara grafis hasil perhitungan diperlihatkan dalam Gambar 4 sampai dengan Gambar 8 di bawah ini.

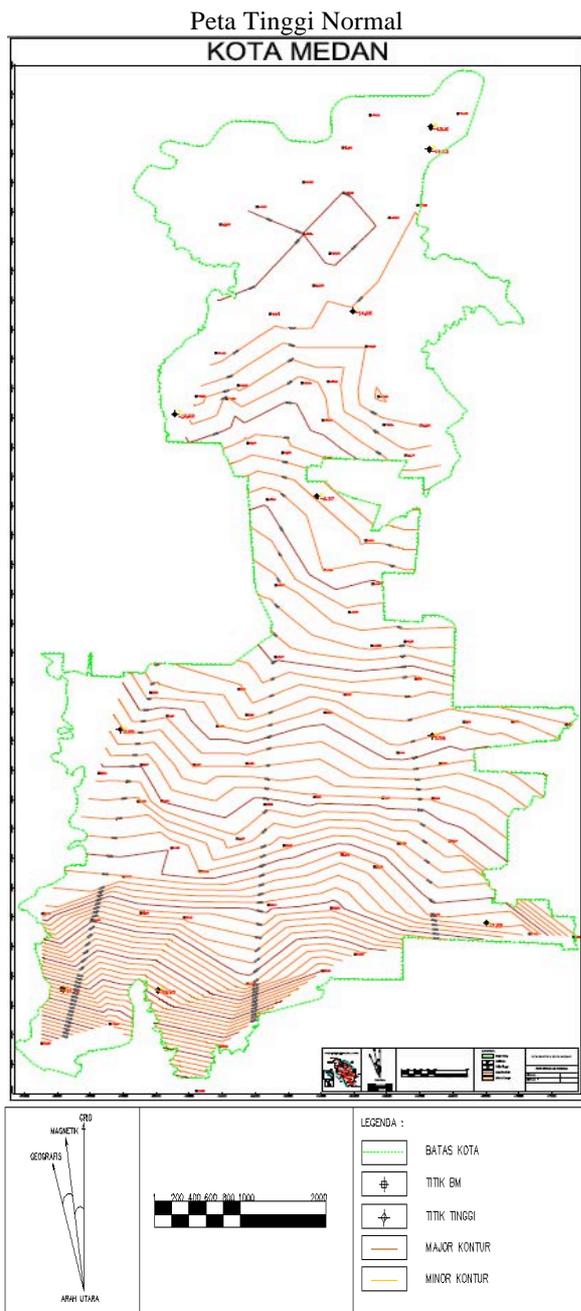
### 3.2 Pembahasan

Berdasarkan nilai undulasi yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan titik referensi PPS02 Belawan dan TTG 540 diketahui bahwa perbedaan tinggi undulasi antar masing-masing titik memiliki perbedaan yang relatif kecil, menandakan bahwa permukaan geoid adalah permukaan yang relatif datar. Apabila diperbandingkan antara ketinggian titik referensi PPS02 dan TTG 540 diketahui bahwa keduanya memiliki perbedaan tinggi yang cukup besar yaitu sekitar 2 meter. Hal ini dikarenakan PPS02 Belawan dan TTG 540 memiliki sistem referensi ketinggian yang berbeda

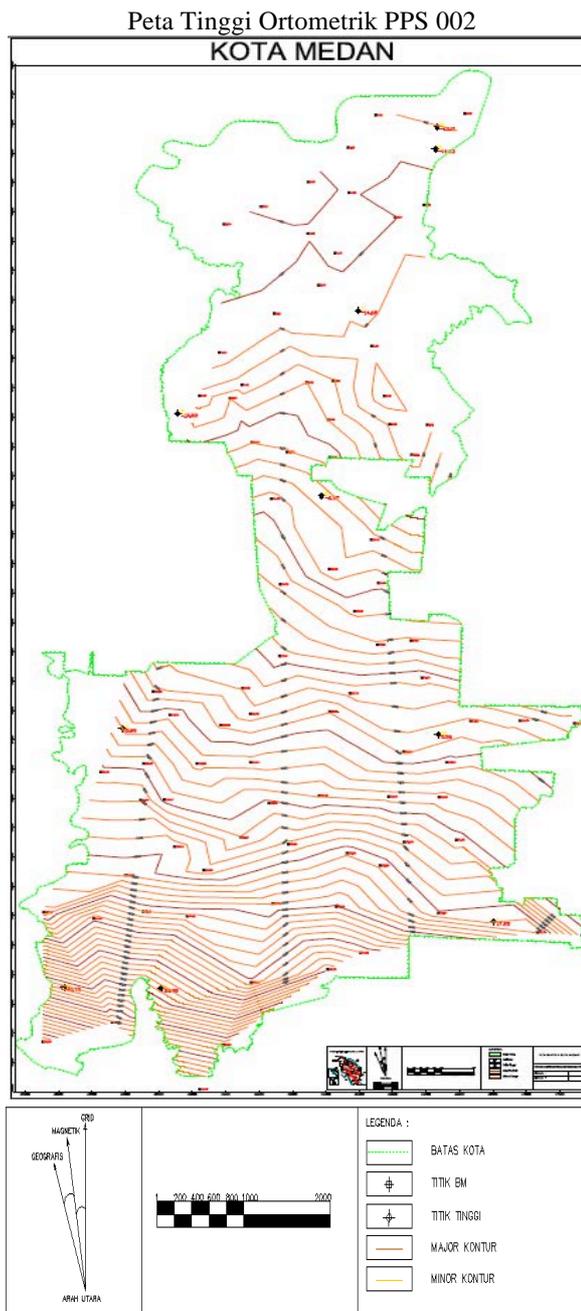
Dalam melakukan penetapan bidang referensi tinggi pada PPS02 Belawan diperkirakan pihak Pelabuhan hanya melakukan perhitungan berdasarkan pengamatan pasang surut saja dan tidak mengikutsertakan pengamatan gaya berat dan/atau *Sea Surface Topography* (SST). Dengan demikian PPS02 diperkirakan merupakan ketinggian di atas Permukaan Laut Rata-rata atau *Mean Sea Level* (MSL).

Titik Tinggi Geodesi (TTG) 540 merupakan tinggi geoid. Undulasi yang diperoleh dari seluruh titik BM memiliki nilai yang tidak terlalu jauh dengan nilai undulasi dari Geoid Model EGM2008. Titik ikat tinggi yang digunakan pada masing-masing sistem tinggi yaitu PPS02 maupun TTG 540 hanyalah berjumlah masing-masing satu buah, hal ini menjadikan perhitungan undulasi untuk seluruh kota tidaklah terlalu baik dikarenakan permasalahan geometri jaringan, sebagai gambaran luas kota Medan adalah 26.510 hektar. Sesungguhnya di kota Medan dan sekitarnya tercatat tidak kurang dari lima buah TTG yang dimiliki Bakosurtanal atau Badan Informasi Geospasial (BIG) namun dikarenakan tidak adanya pemeliharaan yang kontinyu, sedangkan masyarakat dan pemerintah daerah tidak menyadari akan pentingnya manfaat TTG ini maka beberapa TTG telah hilang dikarenakan rusak atau terkena pelebaran jalan.

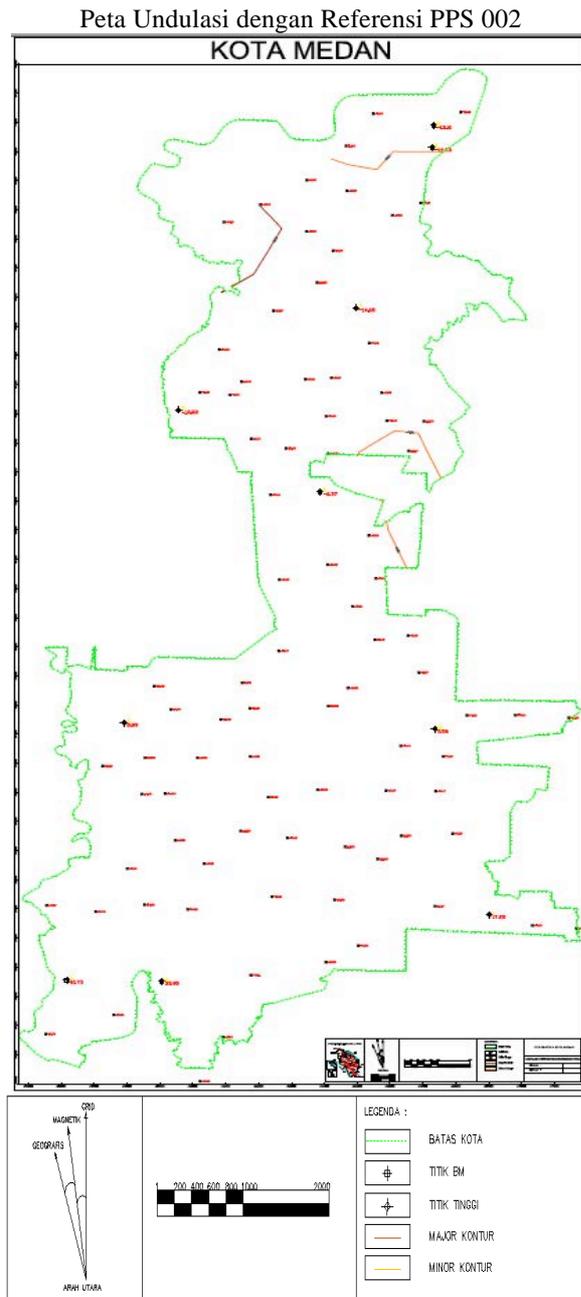
Berdasarkan hasil yang diperoleh maka didalam penentuan nilai undulasi Kota Medan sistem referensi tinggi dari TTG 540 merupakan yang terbaik. Terkait dengan nilai undulasi dari TTG 540 memiliki perbedaan sekitar 30-50 cm terhadap EGM2008 hal itu bisa dipahami karena EGM2008 merupakan model geoid global yang melakukan perhitungan dan pendataan yang tidak terlalu detail.



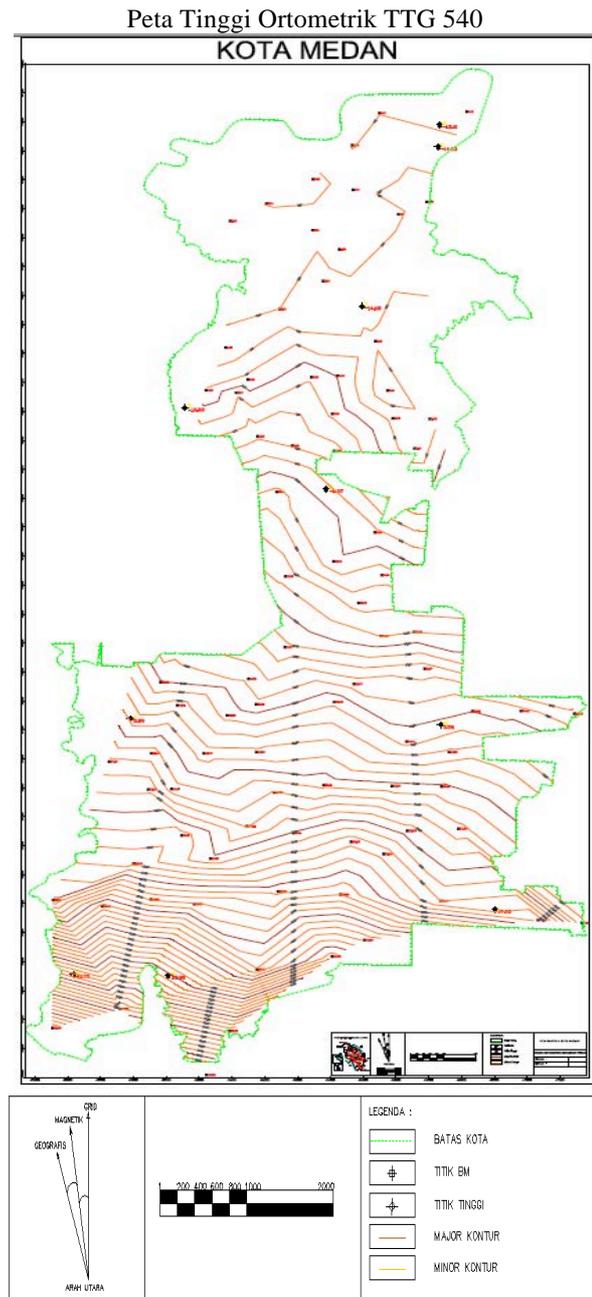
**Gambar 4. Peta Tinggi Normal Kota Medan**



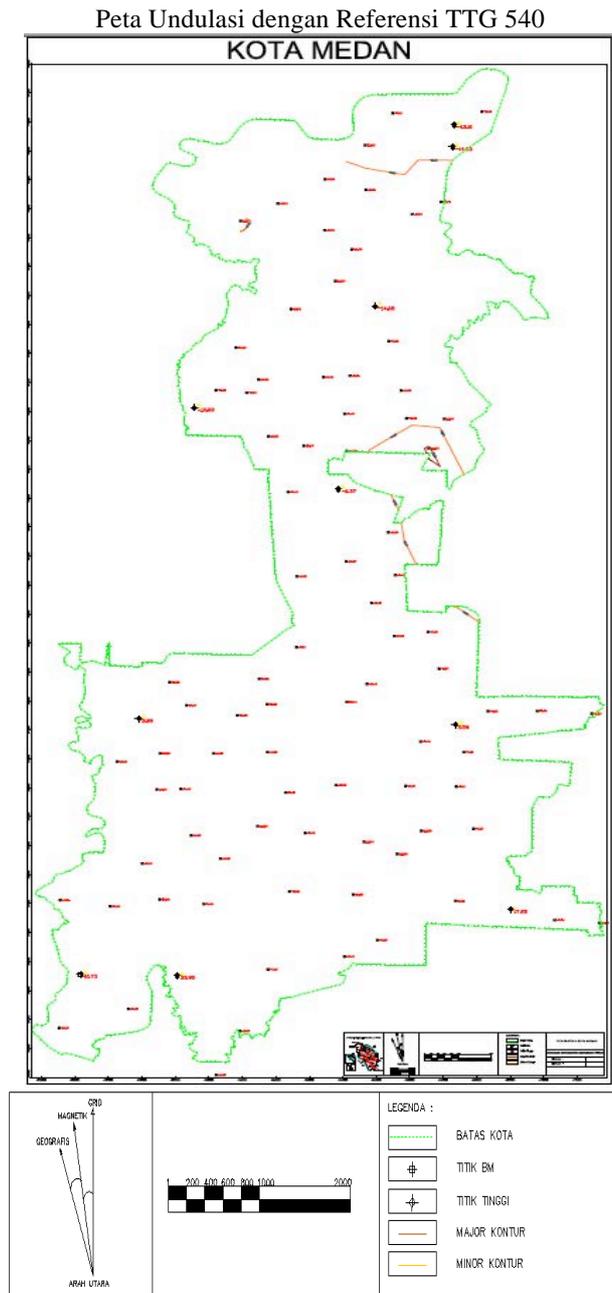
**Gambar 5. Peta Tinggi Ortometrik berdasarkan PPS 002 Kota Medan**



**Gambar 6. Peta Undulasi Kota Medan dengan Referensi PPS 002**



**Gambar 7. Peta Tinggi Ortometrik Kota Medan berdasarkan TTG 540**



Gambar 8. Peta Undulasi Kota Medan dengan Refrensi TTG 540

## 4. SIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Simpulan

Sistem referensi tinggi yang digunakan pada penetapan tinggi PPS02 dan TTG 540 adalah berbeda. PPS02 diperkirakan hanya memperhitungkan MSL saja tanpa gaya berat sedangkan TTG merupakan titik tinggi dengan referensi geoid. Nilai undulasi yang terbaik yang dapat digunakan guna keperluan praktis di Kota Medan adalah yang berdasarkan TTG 540, karena TTG ini bereferensi pada permukaan geoid. Perlu pula diperhatikan bahwa dalam pengukuran tinggi ini titik ikat TTG yang dimiliki hanya satu buah maka untuk penentuan tinggi absolut kurang memberikan hasil yang baik, sehingga hasil penelitian ini sebaiknya digunakan untuk penentuan tinggi relatif saja.

#### **4.2 Saran**

Disarankan untuk memperdalam penelitian ini dengan mengikutsertakan data gaya berat pada setiap jalur pengukuran sipat datar, sehingga akan diperoleh bidang geoid yang sesungguhnya. Perlu pula untuk mencari TTG lain melalui densifikasi TTG atau melakukan rekonstruksi titik TTG yang telah hilang guna memperbanyak TTG yang dapat dijadikan sebagai titik ikat penentuan tinggi. Titik PPS02 sebaiknya dihitung ulang dengan menambahkan data gaya berat sehingga nilai yang diperoleh merupakan tinggi geoid. Perlu untuk melakukan uji korelasi untuk mengetahui hubungan antara undulasi yang bereferensi pada PPS02 dengan TTG 540, hal ini dikarenakan nilai perbedaan undulasi antar titik baik yang bereferensi pada PPS02 maupun TTG 540 adalah mirip atau hampir seragam.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Tata Ruang dan Tata Bangunan Pemerintah Kota Medan yang telah memberikan bantuan data untuk penelitian ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., dan Collins, J., (1997). "The Global Positioning System (GPS)", Springer-Verlag.
- [2] Heiskanen dan Moritz (1967), "Physical Geodesy", Springer, New York.
- [3] Prijatna, K. dan Soemidjan, P. (2000). "Penentuan Beda Tinggi Ortometrik dengan GPS dan Permasalahannya", Jurusan Teknik Geodesi ITB.
- [4] Khafid, Hendrayana, E., dan Subarya, C., (2000). "Penentuan Tinggi Ortometrik dengan GPS" , Bakosurtanal.
- [5] Abidin, H Z, Djaja, R., Hadi, S., Akbar, A., Kusuma, M.A., Darmawan, D., Meilano, I., Subarya, C., Sumarwan, Rajiyowiryono, H., dan Songsang, R., (2000). "Observed Land Subsidence in Jakarta and Bandung and its Correlation with Groundwater Abstraction."
- [6] [http://principles.ou.edu/earth\\_figure\\_gravity/geoid/](http://principles.ou.edu/earth_figure_gravity/geoid/)