

# Pengukuran Topografi Ketinggian: Studi Kasus Menggunakan Metode *Real-Time Kinematic (RTK) GPS Geodetik R6*

Luhur Moekti Prayogo<sup>1\*</sup>, Firman Farid Muhsoni<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Ilmu Kelautan Universitas PGRI Ronggolawe Tuban  
Jl. Manunggal No 61 Wire Semanding Tuban Jawa Timur 62391

<sup>2</sup> Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Trunojoyo Madura  
Jl. Raya Telang No 02 Kamal Bangkalan Madura Jawa Timur 69162

\*E-mail Korespondensi: [luhur.moekti.prayogo@unirow.ac.id](mailto:luhur.moekti.prayogo@unirow.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i2.27337>

Submitted August 30<sup>th</sup> 2024, Accepted November 24<sup>th</sup> 2024, Published December 28<sup>th</sup> 2024

## Abstrak

Informasi topografi daratan dengan skala besar sering kali sulit diperoleh secara akurat. Kemajuan teknologi di bidang survei menghadirkan instrumen-instrumen canggih dengan tingkat ketelitian yang beragam. Salah satu instrumen yang banyak digunakan adalah Global Positioning System (GPS) Geodetik R6, yang memiliki akurasi hingga 5–10 mm serta kemampuan menangkap sinyal L1 dan L2. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan topografi ketinggian menggunakan GPS Geodetik R6 di wilayah pesisir Kamal, Kabupaten Bangkalan, Madura. Metode yang digunakan adalah Real-Time Kinematic (RTK) dengan konfigurasi dua base station. Base pertama berlokasi di Taman Universitas Trunojoyo Madura (koordinat: S 7°07'44.99587", E 112°43'23.81230", elevasi: 6,81 meter), sementara base kedua terletak di depan Gereja Jalan Raya Telang (koordinat: S 7°07'46.65292", E 112°42'46.91250", elevasi: 3,40 meter). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ketinggian rata-rata di Desa Telang, Kecamatan Kamal, berkisar antara 3,29 hingga 7,89 meter dengan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 3,65. Penelitian ini menegaskan bahwa GPS Geodetik R6 memiliki kemampuan akurasi tinggi dalam pengukuran topografi, sehingga sangat andal untuk pemetaan wilayah pesisir secara presisi. Temuan ini memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung berbagai kebutuhan pembangunan dan mitigasi di daerah pesisir.

**Kata Kunci** : pemetaan, elevasi, GPS Geodetik, Real-Time Kinematic (RTK)

## Abstract

Large-scale topographic information is often difficult to obtain accurately. Technological advances in the field of surveying provide sophisticated instruments with varying degrees of accuracy. One of the widely used instruments is the Global Positioning System (GPS) Geodetic R6, which has an accuracy of up to 5-10 mm and the ability to capture L1 and L2 signals. This research aims to conduct altitude topography mapping using GPS Geodetic R6 in the coastal area of Kamal, Bangkalan Regency, Madura. The method used is Real-Time Kinematic (RTK) with a configuration of two base stations. The first base is located at Trunojoyo University Park Madura (coordinates: S 7°07'44.99587", E 112°43'23.81230", elevation: 6.81 meters), while the second base is located in front of Jalan Raya Telang Church (coordinates: S 7°07'46.65292", E 112°42'46.91250", elevation: 3.40 meters). The measurement results show that the average elevation in Telang Village, Kamal District, ranges from 3.29 to 7.89 meters with a Root Mean Square Error (RMSE) of 3.65. This research confirms that the R6 Geodetic GPS has high accuracy capabilities in topographic measurements, making it very reliable for precision mapping of coastal areas. This finding makes a significant contribution in supporting various development and mitigation needs in coastal areas.

**Key words** : mapping, elevation, GPS Geodetic, Real-Time Kinematic (RTK)

## PENDAHULUAN

Pulau Madura merupakan salah satu pulau di Provinsi Jawa Timur yang terdiri dari empat kabupaten diantaranya Kabupaten Bangkalan, Sampang, Pamekasan, dan Sumenep (Sahara & Kamso, 2022). Diantara empat kabupaten tersebut, kabupaten Bangkalan merupakan pintu utama jalur transportasi darat yaitu adanya jembatan Suramadu yang menghubungkan Surabaya dengan Madura (Fauzan et al., 2023). Menjadi gerbang utama transportasi darat, kelengkapan data dasar wilayah tersebut sangat diperlukan. Salah satu data dasar yang penting untuk dimiliki suatu wilayah adalah data topografi ketinggian (Humaro et al., 2023). Keberadaan data topografi ketinggian, khususnya di Bangkalan dan pada umumnya di Pulau Madura hanya tersedia pada skala kecil sampai menengah (berkisar 1:25.000). Keperluan data topografi dengan skala besar masih sulit untuk dicari (Fauzan et al., 2021). Padahal data topografi sangat penting untuk

pembangunan suatu wilayah diantaranya pertanian, irigasi perairan, transportasi, dan kemiringan lahan untuk mitigasi bencana (Maru, 2021). Tidak sampai disitu, data topografi juga diperlukan oleh pemerintah dalam mengetahui karakteristik suatu wilayah untuk kegiatan perencanaan. Tanpa ketersediaan data topografi yang akurat, akan sulit dalam melakukan perencanaan suatu wilayah (Cucchiario et al., 2020).

Kemajuan dalam berbagai teknologi termasuk teknologi survei terus mengalami perkembangan. Keberadaan instrumen yang semakin lengkap dengan hasil ketelitian yang beragam membuat pekerjaan survei semakin maksimal dan mudah untuk dilakukan. Salah satu instrumen yang mengalami banyak perkembangan adalah *Global Positioning System* (GPS) (Purwanto, 2022). Berdasarkan SNI 19-6724-2002 (2002) mengenai Jaring Kontrol Horizontal (JKH), GPS merupakan sistem penentuan posisi dan navigasi yang dikelola oleh Amerika Serikat. Dalam orbit yang tepat, satelit GPS mengelilingi bumi sebanyak dua kali/ hari dengan mengirimkan sinyal yang diubah menjadi informasi posisi (Anam, 2021). Terdapat tiga segmen yang mendukung GPS sehingga dapat bekerja dengan optimal. Tiga segmen tersebut yaitu segmen satelit, segmen sistem kontrol, dan segmen pengguna (Fitrianto, 2017). Pertama, segmen sistem satelit yang terdiri sekitar 28 satelit aktif dan 4 lainnya yang merupakan satelit cadangan (Fitrianto, 2017). Kedua, segmen kontrol yang berperan untuk melihat kesehatan satelit GPS. Segmen kontrol merupakan segmen yang vital untuk mendukung kerja satelit GPS (Fitrianto, 2017). Ketiga, segmen pengguna yang memerlukan alat berupa receiver untuk menerima sinyal dan memproses sinyal GPS untuk menampilkan informasi berupa posisi, kecepatan, dan waktu (Fitrianto, 2017).

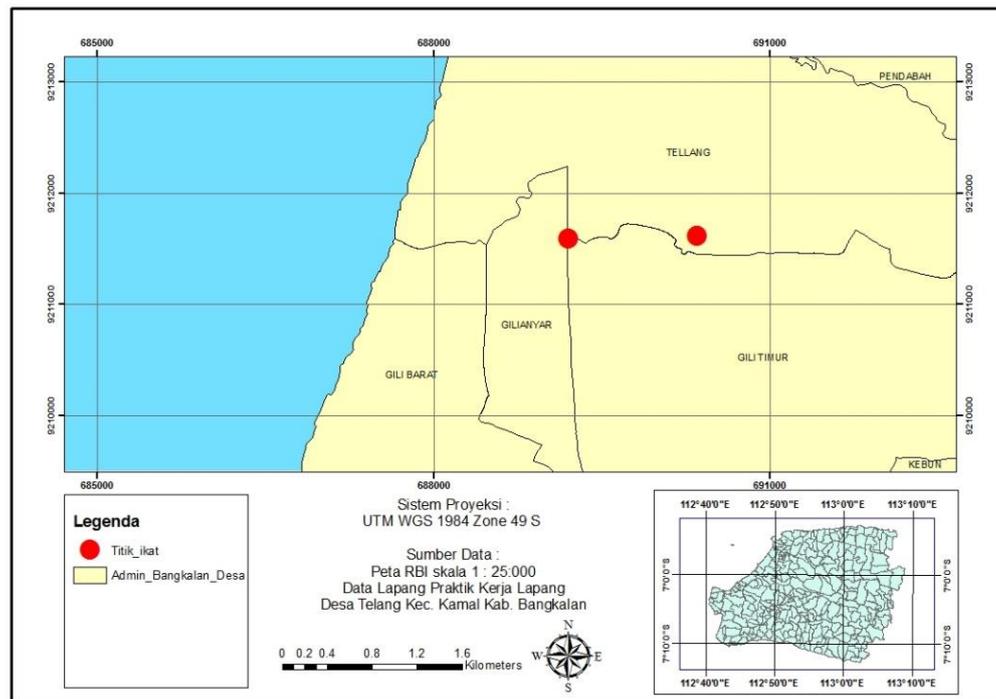
Pada awalnya GPS digunakan hanya untuk kepentingan militer Amerika Serikat, akan tetapi kemudian dapat dimanfaatkan juga untuk kepentingan sipil (Sugiyani et al., 2016). Salah satu instrumen yang tersedia untuk keperluan sipil dan cukup populer digunakan adalah GPS Geodetik R6. GPS tipe ini memiliki tingkat akurasi hingga 5-10 mm yang mempunyai kemampuan untuk menangkap sinyal seperti L1 dan L2 (Duan et al., 2021). Berbeda dengan GPS Navigasi, GPS Geodetik terdiri dari dua alat yaitu sebagai *base station* dan rover (Hendarto, 2021). Berdasarkan Abidin (2007), metode yang digunakan jika objek yang ditentukan posisinya diam disebut *Real Time Kinematic* (RTK). Sebaliknya, apabila objek yang ditentukan posisinya bergerak maka metode yang digunakan disebut kinematik (Abidin, 2007). RTK merupakan penentuan posisi menggunakan alat dan fase secara differensial (Syetiawan et al., 2016). Metode RTK menggunakan prosedur *Differential Global Positioning System* (DGPS) dimana data pengamatan beda fase, atau koreksi fase dikirim secara *real-time* dari stasiun referensi ke receiver pengguna (Stateczny et al., 2021). Konsep *real-time* pada sistem RTK yaitu mengirimkan data pseudorange dan fase ke pengguna menggunakan sinyal internet (Bisnath, 2020). Dengan adanya radio modem atau sistem *Networked Transport Of RTCM* proses pengiriman data atau koreksi fase dapat dilakukan secara *real-time*, dan membuat informasi posisi yang dihasilkan oleh sistem ini dapat diperoleh secara *real-time* dengan frekuensi VHF/ UHF (Xu, 2007). Selanjutnya pada metode RTK salah satu titik harus diketahui koordinatnya terlebih dahulu dengan base sebagai referensi dan rover sebagai penentuan posisi (Zhao et al., 2021).

Dewasa ini, pengukuran menggunakan GPS dengan RTK sudah banyak dilakukan karena menghasilkan ketelitian yang tinggi dan membutuhkan waktu yang relatif singkat (Luo et al., 2021). Namun perlu ada kajian khusus mengenai hasil ketelitian yang diperoleh dari metode ini, khususnya mengenai hasil titik ketinggian atau *Digital Elevation Model* (DEM). Sehingga dapat diketahui tingkat akurasi yang dihasilkan serta dapat digunakan untuk pengadaan data pada skala besar.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Kecamatan Kamal tepatnya di Desa Telang Kabupaten Bangkalan Madura. Lokasi tersebut dipilih secara sengaja (*purposive sampling*) dengan pertimbangan bahwa lokasi tersebut belum memiliki data ketinggian yang detail dalam bentuk peta topografi ketinggian. Terdapat dua *base station* yang digunakan dalam penelitian ini. Pertama, lokasi terletak di tengah taman kampus Universitas Trunojoyo Madura dengan posisi geografis S  $7^{\circ}07'44.99587''$  dan E  $112^{\circ}43'23.81230''$  dengan elevasi sebesar 6.81 meter. Kedua, bertempat di depan gereja di barat jalan Raya Telang dengan posisi geografis Latitude S  $7^{\circ}07'46.65292''$  dan Longitude E  $112^{\circ}42'46.91250''$  dengan ketinggian 3.40 meter. Gambar 1 merupakan peta lokasi penelitian beserta lokasi base yang digunakan.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan lokasi base

### Prinsip Kerja *Global Positioning System* (GPS)

*Global Positioning System* (GPS) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit (Pramono, 2011). Menurut Abidin (2007) Sistem GPS terbagi menjadi 3 bagian, yaitu satelit, pengontrol dan pengguna. Pertama, pada sistem satelit terdapat 24 satelit berbentuk orbit elipse. Setiap 6 orbit terdiri dari 4 satelit dengan ketinggian rata-rata 20.000 meter di atas permukaan laut (Abidin, 2007). Periode dalam mengelilingi bumi yaitu 10 jam 58 menit dengan kecepatan rata-rata 4 km/ s (Abidin, 2007). Satelit bertugas menerima dan menyimpan data yang ditransmisikan oleh stasiun-stasiun pengontrol. Kedua, sistem pengontrol berfungsi sebagai penyinkron waktu dan memprediksi orbit (Abidin, 2007). Pengontrol juga sebagai sistem injeksi data dan sebagai monitor kesehatan satelit (satelit dalam kondisi baik atau tidak) (Abidin, 2007). Ketiga, sistem pemakai yaitu berbagai receiver yang digunakan oleh sipil, militer, serta perorangan yang terbagi menjadi 2 macam, yaitu *single* frekuensi dan *double* frekuensi (Abidin, 2007).

### Uji Akurasi dan Komponen GPS Geodetik R6

Data yang sudah didapatkan dari penelitian di lapangan selanjutnya diolah dengan menggunakan software khusus dari GPS Geodetik yaitu *Trimble Bussines Center* (Herliana, 2023). Pengolahan data meliputi koreksi ketinggian, melihat posisi geografisnya, menghitung seberapa banyak titik yang diambil di lapangan serta menentukan tipe topografi daerah tersebut dengan melihat elevasi daratannya. Penentuan ketinggian daratan awal berdasarkan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) akan dibandingkan dengan hasil penelitian langsung di lapangan. Selanjutnya data yang error akan diseleksi. Selanjutnya penelitian menggunakan GPS secara umum terdiri dari berbagai komponen diantaranya antenna GPS dan receiver, petunjuk waktu, baterai charger dan kendaraan untuk mempermudah surveyor dalam melakukan survei.

### Receiver

Receiver merupakan komponen utama dalam instrumen GPS. Berikut merupakan komponen yang terdapat pada receiver (Gambar 2).



Gambar 2. Komponen Receiver GPS Geodetik R6

### Radio

Komponen radio merupakan bagian yang penting dalam survei menggunakan GPS Geodetik. Berikut merupakan komponen yang terdapat pada bagian Radio GPS Geodetik R6 (Gambar 3).



Gambar 3. Komponen Radio GPS Geodetik R6

**Komponen Pendukung**

Komponen pendukung dalam instrumen GPS Geodetik R6 adalah sebagai berikut (Gambar 4).



Gambar 4. Komponen Pendukung GPS Geodetik R6

**HASIL PEMBAHASAN**

**Penentuan Base Station**

Proses ini adalah membuat *base station* yang digunakan pada saat pengambilan data di lapangan atau dapat melihat lokasi titik ikat pada peta RBI yang sudah tersedia dan lengkap dengan ketinggiannya (Sobatnu, 2018). Kemudian data tersebut ditransfer ke GPS dengan format (.gpx). Selanjutnya titik-titik yang sudah ditransfer ke GPS dilakukan pengukuran ketinggian menggunakan GPS Geodetik (Milner, 2016).



Gambar 5. Dokumentasi Survei Menggunakan GPS Geodetik R6

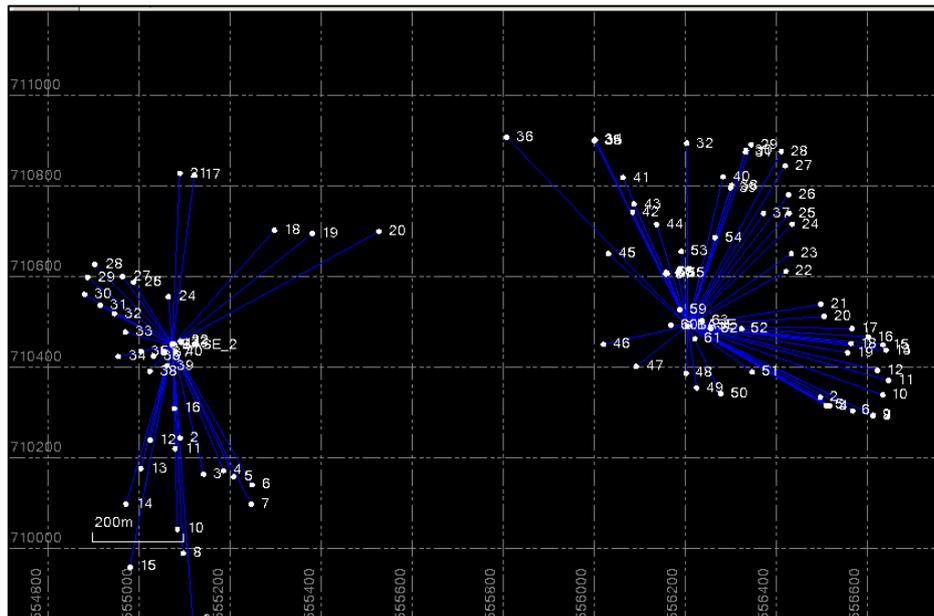
Penelitian yang dilakukan di Desa Telang Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan yang terdiri dari 104 titik pengamatan. Dari 104 titik tersebut pembuatan Base Survey terbagi menjadi 2 tempat. Base pertama terdapat di tengah-tengah taman kampus Universitas Trunojoyo Madura dengan posisi geografis S 7°07'44.99587" dan E 112°43'23.81230" dengan elevasi sebesar 6.81 meter. Sedangkan base kedua yaitu bertempat di depan gereja tepatnya dibarat jalan Raya Telang, dengan memiliki koordinat S 7°07'46.65292" dan E 112°42'46.91250" serta elevasinya sebesar 3.40 meter. Pada Base yang pertama titik paling timur diambil di pojok asrama mahasiswa dan didapatkan ketinggian sebesar 8.97 meter dengan posisi geografis *Latitude* 556497.321 dan *Longitude* 710332.635. Sedangkan titik yang paling utara bertempat diujung Fakultas Ekonomi Universitas Trunojoyo Madura dengan elevasi 4.18 meter dan *Latitude* 556063.322 dan *Longitude* 710818.129. Kemudian titik yang paling barat diambil di Fakultas Pertanian dan di sebelah

Gedung Graha Utama Universitas Trunojoyo Madura dengan elevasi sebesar 4.59 meter dan *Latitude* 556031.381 dan *Longitude* 710650.037 . Kemudian titik yang paling selatan bertempat di Gedung Ruang Kuliah Bersama dengan elevasi 7.33 meter dan *Latitude* 556225.418 dan *Longitude* 710353.641. Keseluruhan titik pengamatan pada Base pertama sebanyak 63 stasiun dengan rata-rata ketinggian sebesar 7.89 meter.

Base yang kedua dilakukan di sekitar jalan Raya Telang dan Perumahan Telang Indah. Titik yang paling timur diambil di pojok Gang 6 Perumahan Telang Indah yang didapatkan ketinggian sebesar 3.86 meter dengan posisi geografis yaitu *Latitude* 555380.393 dan *Longitude* 710695.167. Sedangkan titik yang paling utara bertempat di depan Perumahan Telang Asri dengan elevasi 3.99 meter dan *Latitude* 555076.813 dan *Longitude* 710307.845. Kemudian titik yang paling barat yaitu di Tempat Pemakaman Umum (TPU) dengan elevasi 2.45 meter dan letak geografis *Latitude* 554885.87 dan *Longitude* 710597.802. Kemudian titik yang paling selatan bertempat di bundaran Perumahan Gili dengan elevasi 8.67 meter dan *Latitude* 555096.282 dan *Longitude* 709988.451. Keseluruhan titik pengamatan pada Base kedua sebanyak 41 stasiun dengan rata-rata ketinggian sebesar 3.29 meter. Gambar 5 menunjukkan dokumentasi survei menggunakan GPS Geodetik R6.

### Pengolahan Data

Pengolahan data meliputi transfer data dari remote TSC ke PC, melihat koordinat, dan memfilter hasil pengukuran yang error serta mengolahnya pada software *Trimble Business Center*. Dari 2 Base data yang bertempat di Taman Kampus Universitas Trunojoyo dan di depan gereja, maka data berbentuk garis poligon dimana masing-masing garis terhubung dengan pusat Base. Kemudian dari masing-masing Base terhubung garis lurus yang menghubungkan Base satu dengan yang lain. Gambar 6 menunjukkan tampilan data pada software *Trimble Business Center*.



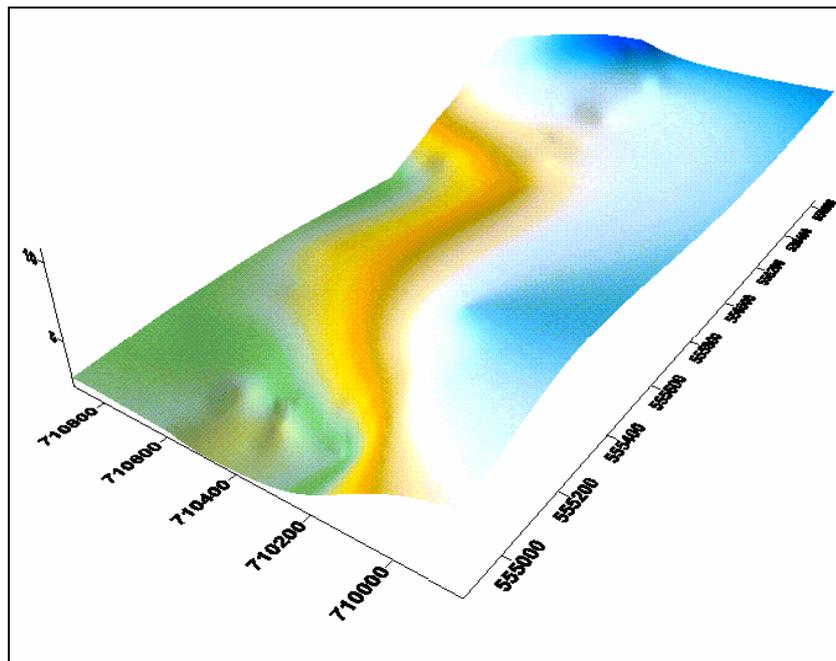
Gambar 6. Tampilan data pada software *Trimble Business Center*

### Analisis Data

Kemudian memasukkan dan mengolah data yang benar (tidak bias) pada software untuk memodelkan data ketinggian hasil survei. Adapun ketentuannya untuk proses ini adalah sebagai berikut:

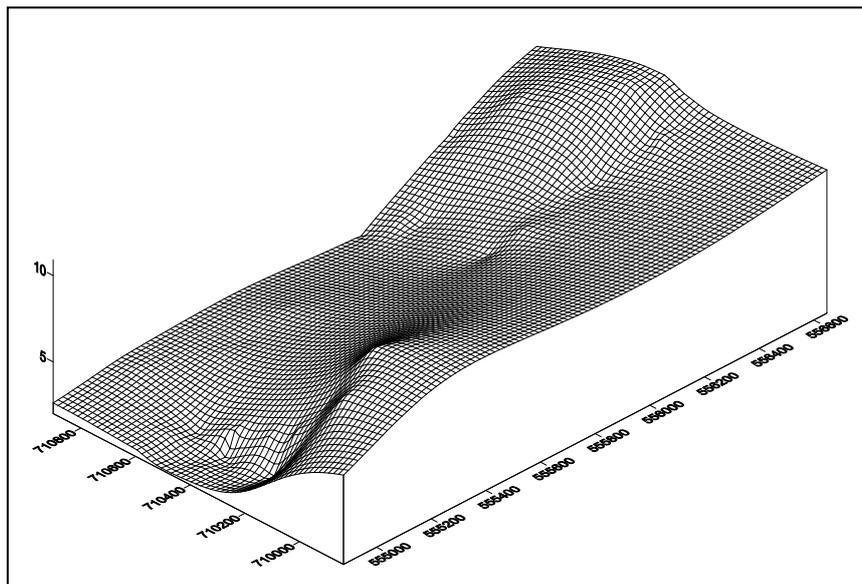
- ✚ X = Latitude
- ✚ Y = Longitude
- ✚ Z = Height (Ketinggian / meter)

Tujuan pengolahan data ini tidak lain untuk menciptakan peta berbentuk 3 dimensi dan peta berbentuk garis kontur. Gambar 7 merupakan penampakan peta ketinggian berbentuk 3 dimensi.



Gambar 7. Peta Ketinggian Desa Telang Berbentuk 3 Dimensi

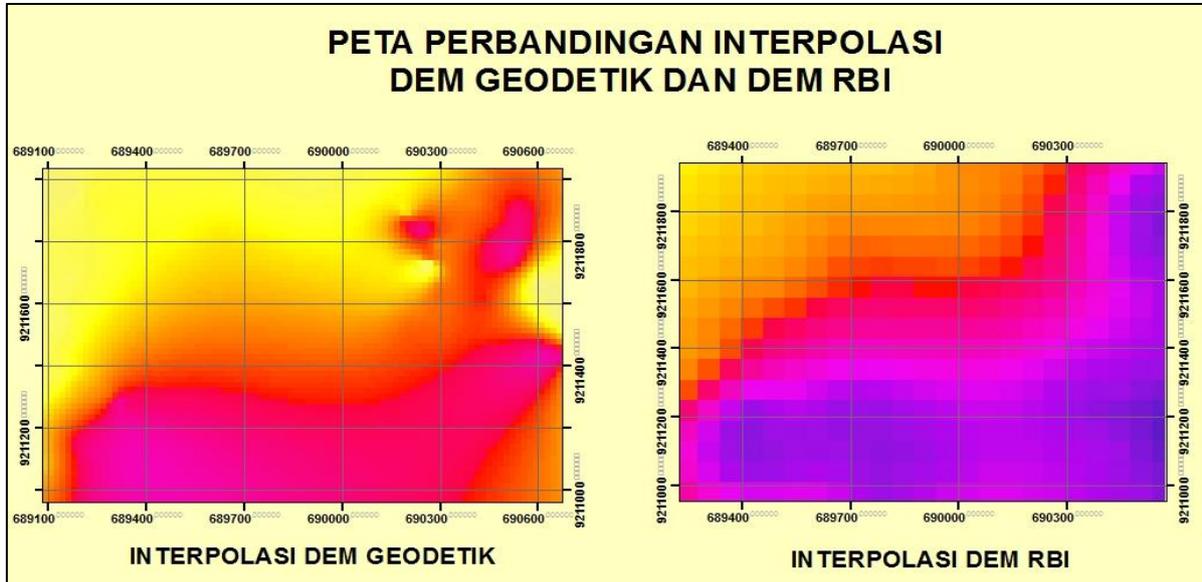
Degradasi warna yang berbeda pada peta tersebut menunjukkan ketinggian yang berbeda. Wilayah Base pertama memiliki rata-rata ketinggian sebesar 6.81 meter sedangkan di Base kedua memiliki ketinggian atau elevasi sebesar 3.40 meter. Hal ini membuktikan bahwa penelitian ini sesuai dengan ketentuan ketinggian pada Peta RBI. Gambar 8 merupakan peta ketinggian hasil survei berbentuk *wireframe*.



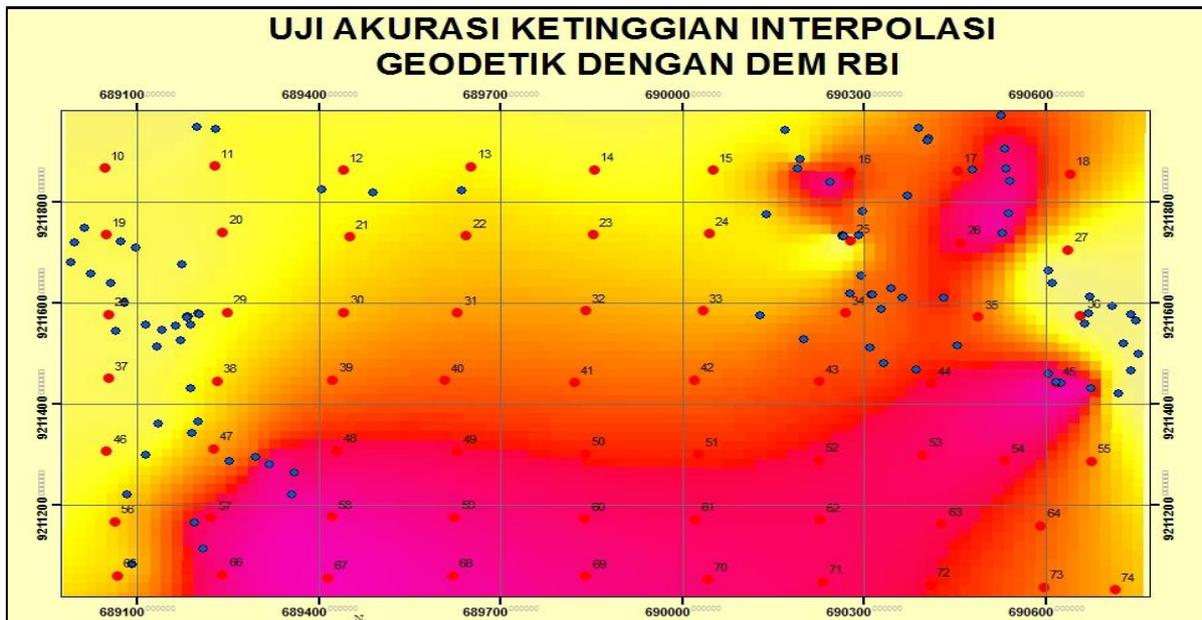
Gambar 8. Peta Ketinggian Berbentuk Wireframe

Hasil survey kemudian dibandingkan dengan nilai ketinggian dari peta RBI. Interpolasi dilakukan dengan menyamakan koordinat yang digunakan. Kemudian setelah mengatur koordinat dari kedua data, langkah selanjutnya yaitu membuat shapefile baru untuk uji akurasi. Kemudian dilanjutkan digitasi titik pada peta hasil pengukuran dilapangan dengan GPS Geodetik R-6. Titik yang dipakai pada analisis ini sebanyak 74 titik dengan letak dan posisi acak dan menyebar. Kemudian langkah selanjutnya yaitu memasukkan ketinggian masing-masing data (Peta RBI dengan Peta Hasil Survey Lapangan Geodetik) untuk membandingkannya.

Tujuan perbandingan dua data ketinggian yaitu untuk mengetahui nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) peta RBI dengan ketinggian hasil survei lapangan. Setelah dilakukan perhitungan RMSE didapatkan bahwa nilai RMSE sebesar 3.65. Beberapa titik ketinggian mempunyai tingkat error yang besar dikarenakan titik pengambilan survei ketinggian geodetik tidak mendigitasi lokasi tersebut dan jauh dengan lokasi pengambilan data ketinggian lapangan. Gambar 10 dan 11 menunjukkan peta perbandingan interpolasi hasil Geodetik dengan DEM RBI Desa Telang Kecamatan Kamal Kabupaten Bangkalan.



Gambar 9. Peta Perbandingan Interpolasi Pengukuran Geodetik dengan DEM RBI



Gambar 10. Peta Uji Akurasi Interpolasi Pengukuran Geodetik dengan DEM RBI

Uji ketelitian menggunakan instrumen GPS pernah dilakukan oleh (Gurandhi & Rudianto, 2013). Penelitian tersebut dilakukan secara empirik dengan pengalaman praktis dan survei lapangan. Hasil penelitian menghasilkan ketelitian posisi horisontal di bawah 2 cm dan posisi vertikal di bawah 4 cm. Ardiyanto (2011) juga melakukan penelitian dengan tujuan untuk menentukan besaran koordinat bumi dan sistem koordinat geografis untuk Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) yang memiliki ketelitian serta akurasi tinggi. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil toleransi pada pengukuran penentuan titik KKOP memiliki standar deviasi maksimal sebesar <1 cm, yang masih masuk dalam toleransi.

Selanjutnya penggunaan instrumen GPS untuk pengukuran tinggi orthometrik pernah dilakukan oleh Abidin dkk (2004) dengan Data Survei GPS dan Model Geoid EGM 1996. Hasil penelitian tersebut menunjukkan metode survei GPS dengan model gaya berat global seperti EGM96 menghasilkan ketinggian orthometrik pada level sekitar satu meter atau lebih baik.

### KESIMPULAN

Dari penelitian yang bertema pemetaan topografi dengan GPS Geodetik R6 dapat disimpulkan bahwa pemetaan topografi ketinggian dengan metode *Real-Time Kinematic* (RTK) pada GPS Geodetik R6 terbagi menjadi 3 tahap diantaranya tahap *setting* alat, survei, dan tahap pengolahan data. Pada tahap *setting* alat meliputi pengaturan remote TSC, pengaturan bluetooth dan pembuatan File JOB baru. Kemudian pada tahap survei meliputi pemasangan radio, pengaturan base serta pengaturan receiver untuk pengukuran ketinggian. Kemudian pada tahap terakhir yaitu pengolahan data meliputi transfer data dari remote TSC ke PC, melihat koordinat dan memfilter hasil pengukuran yang error serta mengolahnya pada software. Penelitian yang dilakukan di Pesisir Kamal Kabupaten Bangkalan terbagi menjadi 2 base survei. Base yang pertama terdapat ditengah taman kampus Universitas Trunojoyo Madura dengan posisi geografis S 7°07'44.99587" dan E 112°43'23.81230" serta elevasi 6.81 meter. Sedangkan base kedua bertempat di depan geraja jalan Raya Telang, dengan posisi geografis S 7°07'46.65292" dan E 112°42'46.91250" serta elevasi 3.40 meter. Dari penelitian tersebut dapat diketahui ketinggian rata-rata di Pesisir Kamal khususnya Desa Telang dengan GPS Geodetik R6 adalah 7.89 meter (base 1) dan 3.29 meter (base 2) dengan nilai *RMSE* sebesar 3.65. Kelebihan dalam pemetaan topografi ketinggian menggunakan GPS Geodetik R6 metode RTK adalah ketelitian hasil mencapai skala centimeter (cm).

### DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. In (3rd ed.). Jakarta, Indonesia: PT. Pradnya Paramita. (3rd ed.).
- Abidin, H. Z., Andreas, H., Maulana, D., Hendrasto, M., Gamal, M., & Suganda, O. K. (2004). Penentuan Tinggi Orthometrik Gunung Semeru Berdasarkan Data Survei GPS dan Model Geoid EGM 1996. *PROC. ITB Sains & Tek*, 36(2), 145–157.
- Anam, N. (2021). *LKP: Pengiriman Data GPS Menggunakan LoRa*. Universitas Dinamika.
- Ardiyanto, R. (2011). Aplikasi GPS Geodetic Dalam Penentuan Titik Kontrol Horisontal Kawasan Keselamatan Operasi Penerbangan (KKOP) Studi Kasus: Bandara Kasiguncu–Poso. *IJ-GEOSTECH*, 1(3), 135–143.
- Bisnath, S. (2020). Relative Positioning and Real-Time Kinematic (RTK). *Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications*, 1, 481–502.
- Cucchiaro, S., Fallu, D. J., Zhang, H., Walsh, K., Van Oost, K., Brown, A. G., & Tarolli, P. (2020). Multiplatform-SfM and TLS data fusion for monitoring agricultural terraces in complex topographic and landcover conditions. *Remote Sensing*, 12(12), 1946.
- Duan, B., Hugentobler, U., Selmke, I., & Wang, N. (2021). Estimating ambiguity fixed satellite orbit, integer clock and daily bias products for GPS L1/L2, L1/L5 and Galileo E1/E5a, E1/E5b signals. *Journal of Geodesy*, 95, 1–14.
- Fauzan, A., Sutanto, R., & Zaini, A. (2023). Pemberdayaan Transportasi Penyeberangan Laut Ujung-Kamal Sebagai Strategi Pertahanan Laut di Selat Madura. *Jurnal Kewarganegaraan*, 7(1), 1186–1194.
- Fauzan, M. R. M., Jupri, J., & Ridwana, R. (2021). Pengukuran Topografi Untuk Pembangunan Penampungan Air Bersih (Studi Kasus: Daerah Rajamandala, Kabupaten Bandung Barat). *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)*, 6(1), 35–48.
- Fitrianto, A. (2017). *Pembuatan Panduan Pengukuran GPS Geodetik dengan Metode Real-Time Kinematic (RTK) pada Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Negeri Semarang*. Universitas

Negeri Semarang.

- Gurandhi, M. F., & Rudianto, B. (2013). Evaluasi Spesifikasi Teknik pada Survei GPS. *REKA GEOMATIKA*, 1(2), 109–118.
- Hanifa, S. N., Rachman, H. A., & Hidayah, Z. (2024). Temporal Analysis of Mangrove Canopy Cover of High Resolution Satellite Imagery on the West Coast of Bangkalan Regency, Madura East Java. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(3), 579-594.
- Hendarto, H. (2021). *Kajian Penggunaan Metode Precise Point Positioning (Ppp) Online Untuk Pengukuran Gcp Pada Pembuatan Peta Orthophoto*.
- Herliana, N. A. (2023). *Perbandingan Hasil Pengolahan Data Gps Geodetic Menggunakan Software Compass Solution Dan Trimble Business Center*. Politeknik Pertanian Negeri Samarinda.
- Hidayah, Z., Utama, R. Y. S., As-Syakur, A. R., Rachman, H. A., & Wiyanto, D. B. (2024, February). Mapping mangrove above ground carbon stock of benoa bay bali using sentinel-1 satellite imagery. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1298, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Humaro, R., Karsono, B., Deni, D., Aiyub, H., & Saputra, E. (2023). Workshop: Memahami Peta Topografi dan Kontur Bagi Pelajar Kota Lhokseumawe. *Jurnal Solusi Masyarakat Dikara*, 3(1), 22–27.
- Luo, X., Schaufler, S., Branzanti, M., & Chen, J. (2021). Assessing the benefits of Galileo to high-precision GNSS positioning—RTK, PPP and post-processing. *Advances in Space Research*, 68(12), 4916–4931.
- Maru, R. (2021). *MITIGASI BENCANA: Pemetaan dan Zonasi Daerah Rawan Longsor dan Banjir*. Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Milner, G. (2016). What is GPS? *Journal of Technology in Human Services*. <https://doi.org/10.1080/15228835.2016.1140110>
- Pramono. (2011). Pembacaan Posisi Koordinat dengan GPS (Global Positioning System) sebagai Pengendali Palang Pintu Rel Kereta Api secara Otomatis untuk Penambahan Aplikasi Modul Praktek Mikrokontroler. *Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan*, 2(2), 1–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.21831/jptk.v20i2.3316>
- Purwanto, B. (2022). Penyimpangan Penentuan Posisi Perangkat Global Positioning System (GPS). *Ecolab*, 16(2), 99–107.
- Rachman, H. A., Sari, A. H. W., Hidayah, Z., Wardhani, M. K., Hidayati, N., Ahnaf, H., & Indri, R. (2024). Pelatihan Pemetaan Partisipatif Ekosistem Mangroves di Desa Martajasah Kabupaten Bangkalan. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*, 10(2), 117-123.
- Sahara, A. A., & Kamso, S. (2022). Analisis Spasial Pandemi COVID-19 di Jawa Timur (Januari–Juli Tahun 2021). *Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan*, 18(2), 164–176.
- SNI 19-6724-2002. (2002). *Jaring Kontrol Horizontal*.
- Sobatnu, F. (2018). *Survei Terrestis*. Deepublish.
- Stateczny, A., Specht, C., Specht, M., Brčić, D., Jugović, A., Widźgowski, S., Wiśniewska, M., & Lewicka, O. (2021). Study on the positioning accuracy of GNSS/INS systems supported by DGPS and RTK receivers for hydrographic surveys. *Energies*, 14(21), 7413.
- Sugiyani, Y., Rendra, D. B., & Sulistiono, S. (2016). Pemanfaatan Gis (Geographic Information System) Pada manajemen buka tutup perlintasan kereta api. *PROSISKO: Jurnal Pengembangan Riset Dan Observasi Sistem Komputer*, 3(1).
- Syetiawan, A., Prayoga, O., & Efendi, J. (2016). Uji Akurasi Penentuan Posisi Metode GPS-RTK Menggunakan Perangkat Chc X91. *Seminar Nasional Peran Geospasial Dalam Membingkai NKRI*, 109, 116.
- Xu, G. (2007). GPS: Theory, algorithms and applications. In *GPS: Theory, Algorithms and Applications*.

<https://doi.org/10.1007/978-3-540-72715-6>

Zhao, L., Jiang, J., Li, L., Jia, C., & Cheng, J. (2021). High-Accuracy Real-Time Kinematic Positioning with Multiple Rover Receivers Sharing Common Clock. *Remote Sensing*, 13(4), 823.