

**UJI AKURASI PENGUKURAN GNSS METODE
MANUAL LEVELING DAN TILT COMPENSATION
PADA PENGUKURAN TITIK BATAS BIDANG TANAH**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Sebutan Sarjana Terapan
di Bidang Pertanahan Pada Program Studi Diploma IV Pertanahan



Disusun Oleh:

I DEWA GDE DWITA ARIRAMAWAN WIJAYA

NIT. 22314237

Dosen Pembimbing:

Dr. Kusmiarto, S.T., M.Sc.

**KEMENTERIAN AGRARIA DAN TATA RUANG/
BADAN PERTANAHAN NASIONAL
SEKOLAH TINGGI PERTANAHAN NASIONAL
YOGYAKARTA**

2026

ABSTRACT

Land parcel boundary measurements using GNSS RTK-NTRIP under non-ideal field conditions, such as building obstructions, vegetation, and boundary points located on walls or building corners, create difficulties in antenna leveling and may cause horizontal coordinate bias. This study evaluates the accuracy of an IMU-based GNSS receiver by comparing manual leveling and tilt compensation methods at tilt angles of 10° , 30° , and 60° under open-sky and obstructed conditions. The research used a quantitative comparative approach with a quasi-experimental design on 20 sample points, consisting of 10 open-sky points and 10 obstructed points. Each point was measured using four methods with three observation sessions, resulting in 240 RTK-NTRIP observations. Data were analyzed using the Friedman test, Repeated Measures ANOVA, and Cochran's Q test.

The results show significant differences among methods under open-sky conditions based on the Friedman test ($p = 0.0002$), with manual leveling producing the smallest error tendency and 60° tilt compensation producing the largest. Under obstructed conditions, the differences were not significant based on Repeated Measures ANOVA ($p = 0.155$), indicating that obstruction and multipath were more dominant than the measurement method. Open-sky observations had an average HDOP of 0.544 and 25.57 used satellites, while obstructed observations had an average HDOP of 0.749 and 17.93 used satellites. Compliance with the 10 cm cadastral survey tolerance based on PMNA/KaBPN No. 3 of 1997 under open-sky conditions was $M1 = 100\%$, $M2 = 100\%$, $M3 = 80\%$, and $M4 = 20\%$, while under obstructed conditions it decreased to $M1 = 40\%$, $M2 = 60\%$, $M3 = 50\%$, and $M4 = 40\%$. Therefore, small-angle tilt compensation can still be applied in cadastral measurements, but high tilt angles and obstructed environments require stricter quality control.

Keywords: IMU, tilt compensation, manual leveling, HRMS, cadastral surveying

INTISARI

Pengukuran batas bidang tanah menggunakan GNSS RTK-NTRIP pada kondisi lapangan yang tidak ideal, seperti obstruksi bangunan, vegetasi, serta titik batas pada tembok atau sudut bangunan, menyebabkan kesulitan leveling antenna dan dapat menimbulkan bias koordinat horizontal. Penelitian ini menguji akurasi receiver GNSS berbasis IMU dengan membandingkan metode manual leveling dan tilt compensation pada sudut kemiringan 10°, 30°, dan 60° pada kondisi terbuka dan terobstruksi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan desain kuasi-eksperimen pada 20 titik sampel, terdiri atas 10 titik terbuka dan 10 titik terobstruksi. Setiap titik diukur menggunakan empat metode dengan tiga sesi pengamatan, sehingga diperoleh 240 data RTK-NTRIP. Analisis dilakukan menggunakan uji Friedman, Repeated Measures ANOVA, dan Cochran's Q.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi terbuka terdapat perbedaan signifikan antar metode berdasarkan uji Friedman ($p = 0,0002$), dengan manual leveling menghasilkan kecenderungan kesalahan paling kecil dan tilt compensation 60° paling besar. Pada kondisi terobstruksi, perbedaan antar metode tidak signifikan berdasarkan Repeated Measures ANOVA ($p = 0,155$), yang menunjukkan bahwa obstruksi dan multipath lebih dominan daripada perbedaan metode pengukuran. Kondisi terbuka memiliki rata-rata HDOP 0,544 dan jumlah satelit terpakai 25,57 satelit, sedangkan kondisi terobstruksi memiliki rata-rata HDOP 0,749 dan jumlah satelit terpakai 17,93 satelit. Tingkat pemenuhan toleransi pengukuran kadastral 10 cm berdasarkan PMNA/KaBPN No. 3 Tahun 1997 pada kondisi terbuka adalah $M1 = 100\%$, $M2 = 100\%$, $M3 = 80\%$, dan $M4 = 20\%$, sedangkan pada kondisi terobstruksi menurun menjadi $M1 = 40\%$, $M2 = 60\%$, $M3 = 50\%$, dan $M4 = 40\%$. Dengan demikian, tilt compensation pada sudut kecil masih dapat digunakan, tetapi sudut kemiringan besar dan area terobstruksi memerlukan kontrol kualitas yang lebih ketat.

Kata kunci: GNSS-IMU, RTK-NTRIP, tilt compensation, manual leveling, HRMS, pengukuran kadastral

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INTISARI	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kajian Terdahulu.....	7
2.2 Kerangka Teoritik.....	12
2.3 Kerangka Pemikiran.....	21
2.4 Hipotesis	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Format Penelitian	27
3.2 Lokasi Penelitian.....	27
3.3 Populasi dan Sampel.....	28
3.4 Definisi Operasional	28
3.5 Alat dan Bahan Penelitian.....	33
3.6 Jenis atau Sumber dan Teknik Pengumpulan Data	33
3.7 Teknik Analisis Data	36
BAB IV GAMBARAN UMUM LOKASI PENELITIAN	45
4.1 Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional (STPN).....	45
4.2 Kalurahan Banyuraden.....	46
4.3 Sebaran Titik Sampel Penelitian	46

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	47
5.1 Pengaruh Manual Leveling Dan Tilt Compensation Kondisi Terbuka	51
5.2 Pengaruh Manual Leveling Dan Tilt Compensation Kondisi Terobstruksi	57
5.3 Evaluasi Kesesuaian HRMS Terhadap Toleransi Pengukuran	63
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	66
6.1 Kesimpulan	66
6.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

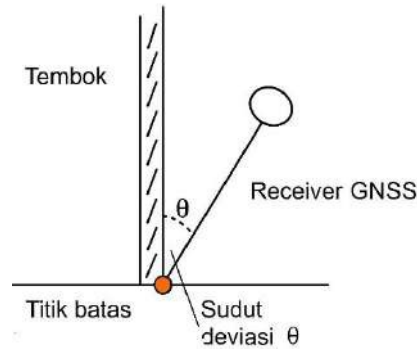
Peraturan Presiden Nomor 176 Tahun 2024 pasal 6 menyatakan bahwa Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN) mempunyai tugas menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang pertanahan dan suburusan tata ruang membantu presiden dengan menyelenggarakan survei dan pemetaan pertanahan dan ruang (Perpres Nomor 176, 2024). Pelaksanaan kegiatan survei dan pemetaan dilakukan dengan cara pemetaan bidang tanah dengan metode terestris, fotogrametris dan ekstraterestris. Metode terestris yaitu pengukuran secara langsung di lapangan dengan cara mengukur data ukuran yang berbentuk sudut dan atau jarak. Metode fotogrametris yaitu metode pengukuran yang menggunakan foto udara ber skala untuk memperoleh informasi sudut maupun jarak tanpa harus turun ke lapangan dan dapat juga dikombinasikan dengan pengukuran langsung dilapangan sebagai data ukuran tambahan (suplesi). Metode ekstraterestris yaitu metode penentuan posisi yang melakukan pengukuran atau pengamatan pada satelit navigasi yang terletak di luar angkasa (Bambang Suyudi dkk., 2014; Rassarandi dkk., 2021; Thirmidzi dkk., 2021).

Pengukuran batas bidang tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara bergantung pada kebutuhan dan kriteria pengukuran. Hasil berbeda beda sesuai dengan alat serta metode yang digunakan mempertimbangkan aspek seperti biaya, waktu dan lokasi (Irianto & Rassarandi, 2021). Metode pengukuran bidang tanah yang paling umum dilakukan adalah metode pengukuran terestris yang pada prinsipnya mengukur sudut dan jarak pada bidang datar menggunakan metode – metode pengambilan data yang sesuai. Metode terestris memerlukan peralatan yang relatif lebih murah jika dibandingkan dengan metode pengukuran yang lainnya (Bambang Suyudi dkk, 2014). Seiring dengan perkembangan teknologi dan semakin luasnya

kebutuhan data geospasial di berbagai bidang, metode ekstraterestris juga berkembang pesat. Kondisi tersebut mendorong produsen GNSS receiver berkompetisi memasarkan produknya, sehingga pasar tidak hanya dikuasai merek ternama, tetapi juga banyak merek baru hadir dengan harga relatif lebih murah dan kini banyak digunakan dalam pengukuran bidang tanah (Wiyono, 2020). Teknologi yang sedang berkembang di Indonesia yaitu *Global Navigation Satellite System Continuously Operating Refrence Station* (GNSS CORS). CORS berfungsi menerima sinyal GNSS kemudian mengirimkan data koreksi melalui *Network Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP). Metode ini disebut metode *Real Time Kinematic* (RTK) yang menggunakan data pengamatan fase dan mengirimkan koreksi fasenya untuk penentuan posisi secara *real time* (Sampurna Jaya dkk, 2022).

Ketelitian dari pengukuran menggunakan metode RTK-NTRIP dapat mencapai kurang dari 5cm pada lingkungan yang ideal (Mukti & Hanafi, 2022). Berbeda halnya dengan keadaan yang tidak ideal dimana terdapat gangguan yang menyebabkan receiver GNSS tidak menerima sinyal secara langsung dari satelit. Kondisi tersebut menyebabkan bias atau pantulan sinyal karena adanya objek yang menghalangi sinyal yang disebut *terobstruksi* (Li dkk, 2025). *Multipath* sangat mempengaruhi hasil pengamatan dimana semakin banyak *multipath* hasil pengamatan menjadi *float*. Sebaliknya jika *multipath* sedikit, maka ketelitian baik dan menjadi *fix* (Mukti & Hanafi, 2022). Pengukuran juga sulit dilakukan pada ujung bangunan maupun batas bidang berupa tembok dikarenakan tidak dimungkinkan untuk menegakkan tiang antena secara vertikal (*leveling*)

tepat di tengah yang mengakibatkan terjadinya penyimpangan koordinat (Pirri & Yücel, 2023) yang dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi pengukuran pada batas tembok / ujung bangunan

sumber: (Peneliti,2026)

Untuk menghadapi tantangan tersebut, produsen receiver GNSS mengintegrasikan sensor *Inertial Measurement Units* (IMU), yang membantu mengkompensasi kemiringan antena (*tilt compensation*) sehingga dapat menjaga tingkat akurasi pada pengukuran yang tidak memungkinkan untuk dilakukan leveling pada rover GNSS (Chen dkk., 2020).

Penelitian sebelumnya terhadap IMU (Pirri & Yücel, 2023) menguji ketelitian pengukuran pada sudut bangunan menggunakan teknologi *Topcon Inertial Leveling Technology* (TILT) pada GNSS receiver Topcon hiper VR. Penelitian (Luo dkk., 2018) menguji kemampuan GNSS receiver mempertahankan akurasi koordinat pada sudut kemiringan lebih dari 30° dan membandingkannya dengan hasil dari RTK konvensional menggunakan GNSS receiver Leica GS18 T. Penelitian (Charoenkalunyuta dkk., 2024) menguji dua receiver GNSS yang telah terintegrasi dengan sensor IMU dengan merk Tersus Oscar dan e-Survey E600 pada scenario pengukuran *tilt compensation* menggunakan Teknik NRTK di Thailand. Penelitian (Gučević dkk., 2024) meneliti keterbatasan penggunaan fitur *tilt compensation* pada tujuh receiver GNSS yang telah terintegrasi dengan IMU pada sudut kemiringan 30°- 45° dalam kondisi *open sky*. Penelitian lain yang berjudul “Rapid and Accurate Initial Alignment of the Low-Cost MEMS IMU Chip

Dedicated for Tilted RTK Receiver” menguji keakuratan perangkat IMU berbiaya rendah yang diintegrasikan pada receiver GNSS.

Penelitian – penelitian tersebut menunjukkan bahwa *tilt compensation* pada receiver GNSS berbasis IMU telah banyak dikaji, tetapi masih terbatas yang mengaitkan variasi sudut kemiringan, kondisi lingkungan pengukuran serta toleransi ketelitian pengukuran kadastral sesuai PMNA/KaBPN No. 3 Tahun 1997.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan penelitian mengenai uji akurasi metode *manual leveling* dan *tilt compensation* berbasis IMU. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui sejauh mana ketelitian dari *tilt compensation* yang memberikan kontribusi dalam mempermudah dan menghilangkan sumber – sumber kesalahan pada pengukuran batas bidang tanah di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Pada pelaksanaan pengukuran batas bidang tanah menggunakan GNSS RTK-NTRIP, kondisi lapangan yang tidak ideal, seperti adanya obstruksi bangunan atau vegetasi serta posisi titik batas bidang tanah yang berada pada tembok atau sudut bangunan, menyebabkan kesulitan dalam melakukan leveling antena secara vertikal. Kondisi tersebut dapat menimbulkan bias koordinat horizontal yang pada akhirnya memengaruhi ketelitian penentuan luas bidang tanah. Dalam penelitian ini digunakan receiver GNSS berbasis IMU yang secara teoritis dapat mengurangi tantangan leveling tersebut, karena koordinat yang terekam telah mengalami proses perhitungan sehingga mewakili posisi antena yang tegak lurus terhadap titik batas bidang tanah. Namun, hingga saat ini belum diketahui secara jelas seberapa besar perbedaan ketelitian pengukuran antara GNSS tanpa IMU dan GNSS dengan IMU pada berbagai sudut kemiringan, serta bagaimana pengaruh kondisi lingkungan terhadap akurasi koordinat titik batas yang dihasilkan.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut :

1. Bagaimana pengaruh dari *manual leveling* dan *tilt compensation* dengan sudut kemiringan 10° , 30° dan 60° terhadap akurasi koordinat horizontal (HRMS) pada kondisi terbuka?
2. Bagaimana pengaruh dari *manual leveling* dan *tilt compensation* dengan sudut kemiringan 10° , 30° dan 60° terhadap akurasi koordinat horizontal (HRMS) pada kondisi terobstruksi?
3. Bagaimana kesesuaian ketelitian akurasi koordinat horizontal (HRMS) terhadap toleransi ketelitian pengukuran kadastral sesuai dengan PMNA/KaBPN No. 3 Tahun 1997 pada setiap metode pengukuran dan masing – masing kondisi, serta bagaimana ringkasan nilai HRMS pada tiap metode?

1.3 Tujuan dan Kegunaan Penelitian

1. Tujuan Penelitian
 - a. Menganalisis pengaruh *manual leveling* dan *tilt compensation* pada sudut kemiringan 10° , 30° , dan 60° terhadap akurasi koordinat horizontal (HRMS) pada kondisi terbuka.
 - b. Menganalisis pengaruh *manual leveling* dan *tilt compensation* pada sudut kemiringan 10° , 30° , dan 60° terhadap HRMS pada kondisi terobstruksi.
 - c. Mengevaluasi kesesuaian ketelitian akurasi koordinat horizontal (HRMS) terhadap toleransi ketelitian pengukuran kadastral sesuai dengan PMNA/KaBPN No. 3 Tahun 1997 pada setiap metode pengukuran dan masing – masing kondisi, serta bagaimana ringkasan nilai HRMS pada tiap metode.

2. Kegunaan Penelitian

- a. Manfaat ilmiah/akademis dari penelitian ini adalah memberi gambaran tentang akurasi dari *tilt compensation* menggunakan IMU jika dibandingkan dengan *manual leveling*.
- b. Manfaat praktis dari penelitian ini adalah memberi masukan tentang dasar memilih metode yang cocok digunakan pada batas yang tidak memungkinkan leveling secara langsung, sehingga efisiensi pengukuran dapat meningkat tanpa mengurangi mutu hasil ukur.
- c. Menjadi referensi tambahan guna penelitian sejenis lainnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi terbuka, terdapat perbedaan ketelitian koordinat horizontal (HRMS) antar metode (uji Friedman $p = 0,0002$). Metode dengan kemiringan tinggi 60° (M4) cenderung menghasilkan HRMS paling besar, sedangkan manual leveling (M1) paling kecil.
2. Pada kondisi terobstruksi, perbedaan HRMS antar metode tidak signifikan (RM-ANOVA $p = 0,155$). Namun secara umum HRMS pada terobstruksi lebih besar dan pada beberapa sesi muncul nilai ekstrim hingga sekitar 40 cm, yang dapat mengindikasikan pengaruh obstruksi/pantulan sinyal lebih dominan daripada perbedaan metode.
3. Terhadap toleransi kadastral 10 cm (PMNA/KaBPN No. 3 Tahun 1997), pada terbuka tingkat pemenuhan adalah M1 = 100%, M2 = 100%, M3 = 80%, dan M4 = 20%. Pada terobstruksi, pemenuhan hanya 40–60% untuk seluruh metode (M1 = 40%, M2 = 60%, M3 = 50%, dan M4 = 40%). Uji Cochran's Q menunjukkan proporsi pemenuhan berbeda antar metode pada terbuka ($p < 0,001$) tetapi tidak berbeda pada terobstruksi ($p = 0,666$).

6.2 Saran

1. Untuk pengukuran kadastral pada kondisi terbuka, disarankan menggunakan metode manual leveling (M1) atau IMU pada kemiringan rendah sampai dengan 10° (M2) dan membatasi penggunaan IMU pada kemiringan tinggi 60° (M4) pada pekerjaan yang menuntut ketelitian tinggi.

2. Penelitian selanjutnya dapat memperbesar jumlah sampel dan variasi lingkungan terobstruksi serta menambahkan parameter kualitas sinyal (mis. jumlah satelit dan PDOP) untuk memperkuat penentuan batas kemiringan optimum pada pekerjaan kadastral.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Keilmuan, K., Fakultas, G., Dan, I., & Kebumian, T. (2021). *Pemanfaatan Teknologi GNSS Untuk Survei dan Pemetaan Pertanahan*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28381.54249>
- Artato, M. Y. (2023). *Pengukuran Kecepatan Menggunakan Sensor GNSS* [Universitas Islam Sultan Agung]. <https://repository.unissula.ac.id/29993/>
- Aziza, N. (2024). *PENGANTAR STATISTIK : Analisis Varian (ANOVA)* (pp. 122–129).
- Bambang Suyudi, Arief Syaifullah, & Kusmiarto. (2014). *Modul Praktikum Survey Kadastral*. <https://repository.stpn.ac.id/532/1/Modul%20Praktikum%20SK.pdf>
- Cahyadi, M. N., Asfihani, T., Suhandri, H. F., & Erfianti, R. (2024). Unscented Kalman Filter for a Low-Cost GNSS/IMU-Based Mobile Mapping Application under Demanding Conditions. *Geodesy and Geodynamics*, *15*(2), 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2023.05.001>
- Cahyadi, M. N., & Rwabudandi, I. (2019). Integration of GNSS-IMU for increasing the observation accuracy in Condensed Areas (Infrastructure and Forest Canopies). *E3S Web of Conferences*, *94*, 3015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199403015>
- Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Anantakarn, K., & Thongtan, T. (2024). An Evaluation of the Accuracy of GNSS Receivers Integrated with MEMS-IMU Sensors for Optimal Angle Determination in Tilted Observation Scenarios Using the NRTK GNSS Technique in Thailand. *Engineering Journal*, *28*(11). <https://engj.org/index.php/ej/article/view/4591>
- Chen, Q., Lin, H., Guo, R., & Niu, X. (2020a). Rapid and accurate initial alignment of the low-cost MEMS IMU chip dedicated for tilted RTK receiver. *GPS Solutions*, *24*(4). <https://doi.org/10.1007/s10291-020-01032-8>
- Chen, Q., Lin, H., Guo, R., & Niu, X. (2020b). Rapid and Accurate Initial Alignment of the Low-Cost MEMS IMU Chip Dedicated for Tilted RTK Receiver. *GPS Solutions*, *24*(4), 119. <https://doi.org/10.1007/s10291-020-01032-8>
- Eren, O., & Hajiyev, C. (2013, November). *Aircraft Position and Velocity Determination Based On GPS Measurements Using Distance Difference and Doppler Methods*.

- Faisal, I., Purboyo, T., & Ansori, A. (2019). A Review of Accelerometer Sensor and Gyroscope Sensor in IMU Sensors on Motion Capture. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15, 826–829. <https://doi.org/10.36478/jeasci.2020.826.829>
- Ferre, R., Richter, P., Falletti, E., Fuente, A., & Lohan, E. S. (2019). A Survey on Coping With Intentional Interference in Satellite Navigation for Manned and Unmanned Aircraft. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, PP, 1. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2949178>
- Forsberg, R., Strykowski, G., & Tscherning, C. C. (n.d.). *Great Britain's GPS Height Corrector Surface*.
- Ghilani, C. D., & Wolf, P. R. (2006). *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Gio, P. U., Caraka, R. E., Kurniawan, R., & Sutiksno, D. U. (2018). *Repeated-Measures ANOVA dan Uji Friedman dengan STATCAL, SPSS & Minitab* (Number 4p3n9). <https://doi.org/10.31219/osf.io/4p3n9>
- Gučević, J., Delčev, S., & Vasović Šimšić, O. (2024). Practical Limitations of Using the Tilt Compensation Function of the GNSS/IMU Receiver. *Remote Sensing*, 16(8), 1327. <https://doi.org/10.3390/rs16081327>
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more*. Springer.
- Hofmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2005). *Physical Geodesy* (2nd ed.). Springer.
- Irianto, R., & Rassarandi, F. D. (2021). Kajian Perbandingan Luas Hasil Pengukuran Bidang Tanah Menggunakan GPS RTK-Radio dan RTK-NTRIP. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1). <https://doi.org/10.22146/jgise.63947>
- Kellman, P., Arai, A., & Xue, H. (2013). T1 and extracellular volume mapping in the heart: Estimation of error maps and the influence of noise on precision. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance: Official Journal of the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance*, 15, 56. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-15-56>
- Li, B., Zhang, Z., & Miao, W. (2025). *GNSS Error Sources in RTK* (pp. 17–34). https://doi.org/10.1007/978-981-96-9116-6_2

- Luo, X., Schaufler, S., Carrera, M., & Celebi, I. (2018). High-Precision RTK Positioning with Calibration-Free Tilt Compensation. *FIG Congress 2018: Embracing Our Smart World Where the Continents Connect: Enhancing the Geospatial Maturity of Societies*. https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2018/papers/ts04e/TS04E_luo_schaufler_et_al_9407.pdf
- Madeira, S., Yan, W., Bastos, L., & Gonçalves, J. A. (2014). Accuracy Assessment of the Integration of GNSS and a MEMS IMU in a Terrestrial Platform. *Sensors*, *14*(11), 20866–20881. <https://doi.org/10.3390/s141120866>
- Merminod, B., & Rizos, C. (1994). Optimisation of rapid static GPS surveys. *Manuscripta Geodaetica*, *19*(4), 231–246. <https://doi.org/10.1007/BF03655454>
- Mukti, F. D., & Hanafi, F. (2022). Uji Ketelitian Data GNSS dengan Metode NTRIP terhadap Variasi Terobstruksi di Lingkungan Universitas Negeri Semarang. *Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, *19*(2). <https://doi.org/10.15294/jg.v19i2.39094>
- Peraturan Presiden Nomor 176 Tahun 2024 (2024).
- Pırtı, A., & Yücel, M. A. (2023). Evaluating the Accuracy of Determining Coordinates of Corners of the Building Surveyed in Tilt Technology. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *27*(6). <https://doi.org/10.1007/s12205-023-3309-5>
- Rafiq, A. A., Rohman, W., & Riyanto, S. (2020). Development of a Simple and Low-cost Smartphone Gimbal with MPU-6050 Sensor. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, *1*. <https://doi.org/10.18196/jrc.1428>
- Rassarandi, F. Dinda., Firmanda, & Nusuki, H. R. A. M. A. (2021). Pengukuran dan Pemetaan Bidang Tanah Menggunakan Metode Ekstraterestris di Desa Ridan Permai Kecamatan Bangkinang Kabupaten Kampar. *9th Applied Business and Engineering Conference*.
- Sainani, K. L. (2012). Dealing With Non-normal Data. *PM&R*, *4*(12), 1001–1005. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2012.10.013>
- Sampurna Jaya, M. R. N., Murdapa, F., & Rahmadi, E. (2022). Analisis Pengukuran Bidang Tanah Menggunakan Metode RTK NTRIP Dengan Beberapa Provider 4G. *Datum: Journal of Geodesy and Geomatics*, *2*(01). <https://doi.org/10.23960/datum.v2i01.2661>

- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Thirmidzi, A., Cahyono, A. B., & Darminto, M. R. (2021). Analisis Peta Skala 1:1000 Hasil Pemotretan dengan Wahana DJI Phantom 4 Pro untuk Updating Master Plan ITS. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.67837>
- Wijanarto, A., Geospasial, S., & Abidin, H. Z. (2019). *InaCORS BIG Satu Referensi Pemetaan Indonesia*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28041.70248>
- Wiyono, N. E. P. (2020). Uji Akurasi Pengukuran Gns Comnav T300 Dan South G1 Menggunakan Metode Rtk-Ntrip Pada Variasi Jarak Terhadap Base Station. *Gastronomía Ecuatoriana y Turismo Local.*, 1(69).