

Evaluasi Akurasi Modul GNSS Low-Cost Unicore UM982 terhadap Receiver GNSS Komersial pada Pengukuran Statik

Muhammad Khairul Iman*, Henri Kuncoro

Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung

*Koresponden email: imankhairul001@gmail.com

Diterima: 3 Agustus 2026

Disetujui: 15 Agustus 2026

Abstract

The high cost of professional geodetic GNSS receivers limits accessibility for educational institutions and survey practitioners with constrained budgets. The low-cost Unicore UM982 GNSS module offers a promising alternative; however, its technical feasibility for static observations requires evaluation. This study evaluates the positioning accuracy of the Unicore UM982 against a commercial Trimble R2 receiver as the reference benchmark in static GNSS measurements. Observations were conducted across the Bandung metropolitan area across varying baseline lengths to the CORS CANG station, categorized into short (<5 km), medium (5–10 km), and long (>10 km) baselines. RINEX data were post-processed using Trimble Business Center (TBC), establishing Trimble R2 Most Probable Value (MPV) coordinates as *ground truth*. Accuracy was evaluated using RMSE, standard deviation, coefficient of determination (R^2), and paired t-tests. Results indicate that the Unicore UM982 achieves coordinate accuracy comparable to the Trimble R2 on short-to-medium baselines, meeting geodetic control survey tolerances. Paired t-tests showed no statistically significant differences on short baselines. However, baseline length explained only 3.35% of horizontal RMSE variance ($R^2 = 0.0335$), demonstrating that site-specific errors such as multipath and satellite geometry dominated fluctuations. In conclusion, the Unicore UM982 provides a viable, cost-effective solution for centimeter-level geodetic positioning.

Keywords: *low-cost gnss, unicore um982, static measurement, positioning accuracy, gnss baseline*

Abstrak

Tingginya harga *receiver* GNSS geodetik profesional menjadi hambatan bagi institusi pendidikan dan praktisi survei. Modul GNSS low-cost Unicore UM982 hadir sebagai solusi alternatif, namun kelayakan teknisnya pada metode pengukuran statik perlu dievaluasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi akurasi posisi modul Unicore UM982 menggunakan *receiver* komersial Trimble R2 sebagai referensi pembandingan pada pengamatan statik GNSS. Pengukuran dilakukan di wilayah Kota Bandung dan sekitarnya dengan variasi panjang baseline terhadap CORS CANG (Soreang, Kabupaten Bandung), meliputi baseline pendek (<5 km), menengah (5–10 km), dan panjang (>10 km). Data RINEX diolah secara *post-processing* menggunakan Trimble Business Center (TBC), dengan koordinat *Most Probable Value* (MPV) hasil Trimble R2 ditetapkan sebagai *ground truth*. Evaluasi akurasi menggunakan parameter RMSE, standar deviasi, koefisien determinasi (R^2), dan uji-t berpasangan. Hasil penelitian menunjukkan modul Unicore UM982 mampu menghasilkan koordinat yang mendekati Trimble R2 pada baseline pendek hingga menengah, dengan nilai RMSE masih dalam toleransi survei kontrol geodesi. Uji statistik menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada baseline pendek. Panjang baseline hanya menjelaskan 3,35% variasi RMSE horizontal ($R^2 = 0,0335$), mengindikasikan bahwa kesalahan spesifik lokasi seperti *multipath* dan geometri satelit lebih mendominasi fluktuasi akurasi. Unicore UM982 berpotensi menjadi alternatif perangkat survei ekonomis untuk ketelitian level sentimeter.

Kata Kunci: *gnss low-cost, unicore um982, pengukuran statik, akurasi posisi, baseline gnss*

1. Pendahuluan

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan sistem penentuan posisi berbasis satelit yang mampu memberikan informasi posisi, navigasi, dan waktu secara kontinu selama 24 jam di seluruh permukaan bumi [1]. Prinsip dasar GNSS adalah trilaterasi spasial, yaitu pengukuran jarak dari *receiver* ke beberapa satelit yang posisinya diketahui untuk menentukan koordinat tiga dimensi *receiver* tersebut, dengan minimal empat satelit diperlukan untuk menentukan koordinat X, Y, Z serta koreksi kesalahan jam *receiver* [1]. Data posisi yang dihasilkan GNSS memiliki tingkat akurasi yang tinggi sehingga banyak dimanfaatkan untuk keperluan survei konstruksi, pemetaan presisi, dan monitoring deformasi struktur bangunan maupun infrastruktur [2]. Metode pengamatan statik khususnya mampu menghasilkan ketelitian

posisi hingga level sentimeter melalui resolusi ambiguitas fase carrier dalam durasi pengamatan yang cukup panjang [3].

Permasalahan utama yang kerap dihadapi praktisi survei adalah tingginya biaya pengadaan *receiver* GNSS geodetik profesional, yang untuk perangkat dari merek-merek terkemuka dapat mencapai ratusan juta rupiah per unit. Meskipun demikian, *receiver* GNSS geodetik tetap menjadi acuan utama dalam survei dan pemetaan karena telah terbukti memberikan data yang presisi dan akurat [2]. Keterbatasan biaya tersebut berpotensi memaksa pengguna menunda pengadaan atau beralih ke metode pengukuran yang kurang optimal, sehingga dapat memengaruhi kualitas data spasial yang diperoleh [4].

Perkembangan teknologi GNSS dalam beberapa tahun terakhir menghadirkan solusi alternatif berupa modul GNSS berbiaya rendah dengan spesifikasi yang kompetitif [4]. Unicore UM982 merupakan salah satu produk yang menarik perhatian karena mendukung 1408 channel dan mampu melacak seluruh konstelasi GNSS pada multi-frekuensi, dengan akurasi RTK yang diklaim mencapai 0,8 cm + 1 ppm untuk komponen horizontal pada harga yang jauh lebih terjangkau [5]. Penelitian Nguyen dkk. [6] menunjukkan bahwa perangkat GNSS *low-cost* multi-frekuensi memiliki performa yang cukup baik untuk *positioning*, namun kelayakan teknis setiap produk tetap perlu dibuktikan melalui pengujian langsung.

Meskipun spesifikasi Unicore UM982 terlihat menjanjikan, belum ada penelitian yang mengevaluasi akurasinya secara khusus pada pengukuran statik GNSS. Beberapa studi telah menguji performa GNSS *low-cost* lain, seperti evaluasi Trimble BD982 dan U-blox F9 pada berbagai metode pengukuran [7], serta perbandingan akurasi horizontal berbagai *brand receiver* geodetik [8]. Akurasi posisi tidak hanya bergantung pada spesifikasi *chipset*, tetapi juga kualitas antena, stabilitas *firmware*, kondisi lingkungan, dan algoritma pemrosesan [9], sehingga dibutuhkan evaluasi menyeluruh untuk mengetahui sejauh mana Unicore UM982 dapat mendekati akurasi *receiver* profesional seperti Trimble R2, terutama pada jarak baseline yang bervariasi.

Sistem GNSS tersusun atas tiga segmen utama, yaitu segmen ruang angkasa berupa konstelasi satelit, segmen kontrol berupa *ground station* pemantau, dan segmen pengguna berupa *receiver* yang mengolah sinyal menjadi informasi posisi [1]. Konstelasi global GNSS saat ini mencakup GPS, GLONASS, Galileo, dan BeiDou dengan karakteristik orbit yang berbeda-beda [10], [11]. Sinyal multi-frekuensi seperti L1, L2, dan L5 memungkinkan *receiver* melakukan koreksi *delay* ionosfer secara lebih efektif dibanding *receiver* frekuensi tunggal [10], sementara integrasi *multi-constellation multi-frequency* (MFMF) terbukti meningkatkan *availability*, akurasi, dan reliabilitas *positioning* [12]. Selain kesalahan ionosfer, sumber kesalahan lain yang memengaruhi akurasi *positioning* meliputi *delay* troposfer, *multipath*, *clock bias*, kesalahan *ephemeris*, serta geometri satelit yang direpresentasikan melalui *Dilution of Precision* (DOP) [13].

Metode statik mengandalkan pengamatan fase *carrier* dalam durasi yang cukup panjang untuk memperoleh resolusi ambiguitas integer yang tepat, sehingga sangat sesuai untuk pekerjaan yang memerlukan akurasi tinggi seperti survei geodetik dan pembangunan *control network* [14]. Baseline GNSS adalah vektor tiga dimensi yang menghubungkan dua titik yang diukur secara simultan, di mana pengukuran diferensial antar-*receiver* memungkinkan eliminasi sebagian besar kesalahan *common-mode* seperti kesalahan orbit satelit dan *delay* atmosfer [15]. Di Indonesia, Badan Informasi Geospasial menyediakan jaringan *Continuously Operating Reference Station* (CORS) yang disebut InaCORS dengan data RINEX yang dapat diunduh untuk keperluan *post-processing* [16]. *Workflow post-processing* menggunakan *software* seperti Trimble Business Center (TBC) dimulai dari konversi data *raw* ke format RINEX [17], dilanjutkan dengan *site-specific errors carrier phase* untuk mengeliminasi kesalahan *common-mode*, serta *network adjustment* menggunakan metode *least squares* untuk memperoleh koordinat *Most Probable Value* (MPV) yang optimal dari setiap titik [18].

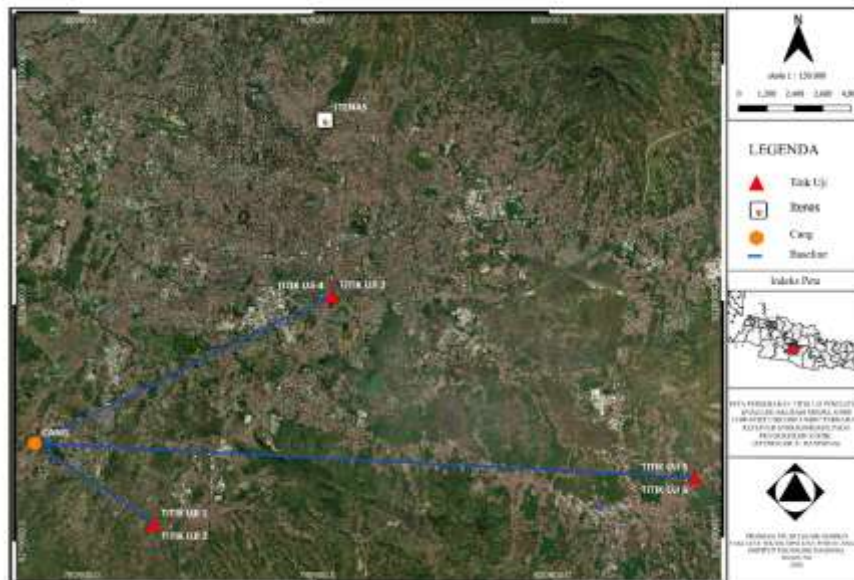
Sejumlah penelitian internasional telah mendokumentasikan performa *receiver* GNSS berbiaya rendah. Hamza dkk. [19] mengevaluasi *receiver low-cost* multi-frekuensi (u-blox ZED-F9P) dan menemukan *noise* pengukuran fase di bawah level sub-milimeter ketika dipasangkan dengan antena berkualitas baik. Odolinski dan Teunissen [20] menunjukkan bahwa *receiver low-cost* dual-frekuensi multi-GNSS memiliki performa *best integer equivariant estimation* yang kompetitif pada baseline pendek hingga panjang. Poluzzi dkk. [21] menyimpulkan bahwa *receiver low-cost* yang dilengkapi model filter yang sesuai dapat meningkatkan presisi koordinat hingga 25%, dengan RMSE horizontal di bawah 2 mm dan vertikal sekitar 5 mm pada observasi statik satu jam. Nguyen dkk. [6] turut membuktikan bahwa perangkat *low-cost* multi-frekuensi mampu mencapai akurasi level milimeter pada *short baseline* dan level sentimeter pada *medium baseline* dalam mode RTK. Temuan-temuan tersebut memperkuat relevansi evaluasi Unicore UM982 pada konteks Indonesia, mengingat belum ada studi yang secara spesifik mengevaluasi modul ini pada kondisi pengukuran statik dengan variasi jarak baseline yang representatif.

Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi akurasi posisi modul Unicore UM982 secara komprehensif menggunakan metode statik GNSS, dengan Trimble R2 sebagai *benchmark*, pada variasi baseline pendek (<5 km), menengah (5-10 km), dan panjang (>10 km) terhadap CORS CANG. Metode statik dan penggunaan referensi CORS telah terbukti efektif untuk uji akurasi pengukuran GNSS [22]. Evaluasi dilakukan menggunakan parameter RMSE, standar deviasi, koefisien determinasi (R^2), dan uji-t berpasangan, dengan harapan dapat memberikan informasi objektif tentang kelayakan teknis Unicore UM982 sebagai alternatif *receiver low-cost* serta mendorong aksesibilitas teknologi GNSS presisi tinggi di Indonesia, khususnya bagi institusi pendidikan, lembaga penelitian, dan praktisi dengan keterbatasan anggaran.

2. Metode Penelitian

Area Studi

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kota Bandung dan sekitarnya, Provinsi Jawa Barat, yang secara astronomis terletak pada $6^{\circ}49'00''$ – $7^{\circ}10'00''$ Lintang Selatan dan $107^{\circ}22'00''$ – $108^{\circ}05'00''$ Bujur Timur. Wilayah ini berada pada cekungan (basin) yang dikelilingi pegunungan dengan ketinggian rata-rata sekitar 768 meter di atas permukaan laut, sehingga memiliki kondisi open-sky yang optimal untuk pengamatan GNSS. Batas wilayah penelitian sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1** meliputi Kabupaten Purwakarta dan Kabupaten Subang di sebelah utara, Kabupaten Sumedang dan Kabupaten Garut di sebelah timur, Kabupaten Cianjur dan Kota Cimahi di sebelah barat, serta Kabupaten Cianjur dan Kabupaten Garut di sebelah selatan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data dan Alat

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) dari stasiun CORS CANG milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang diunduh melalui portal Spyder Web BIG sebagai titik referensi, serta data RINEX hasil pengamatan lapangan dari modul GNSS Unicore UM982 dan *receiver* komersial Trimble R2 yang direkam secara bersamaan pada titik-titik pengamatan yang telah ditentukan (**Tabel 1**).

Tabel 1. Data Penelitian

Jenis Data	Sumber Data
RINEX CORS CANG	CORS (Spyder Web BIG)
RINEX pengamatan Unicore UM982	Data lapangan
RINEX pengamatan Trimble R2	Data lapangan

Peralatan penelitian terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak sebagaimana disajikan pada **Tabel 2**. *Receiver* Trimble R2 digunakan sebagai perangkat pembanding (*benchmark*) karena kemampuannya menghasilkan akurasi *positioning* yang konsisten pada metode statik GNSS, mendukung *tracking* pada konstelasi GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, dan QZSS melalui 220 saluran GNSS [8]. Modul Unicore UM982 (**Gambar 2**) sebagai perangkat uji mendukung *tracking* multi-konstelasi (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, dan NavIC) dengan multi-frekuensi untuk mengurangi kesalahan ionosfer [5].



Gambar 2. Modul Unicore UM982

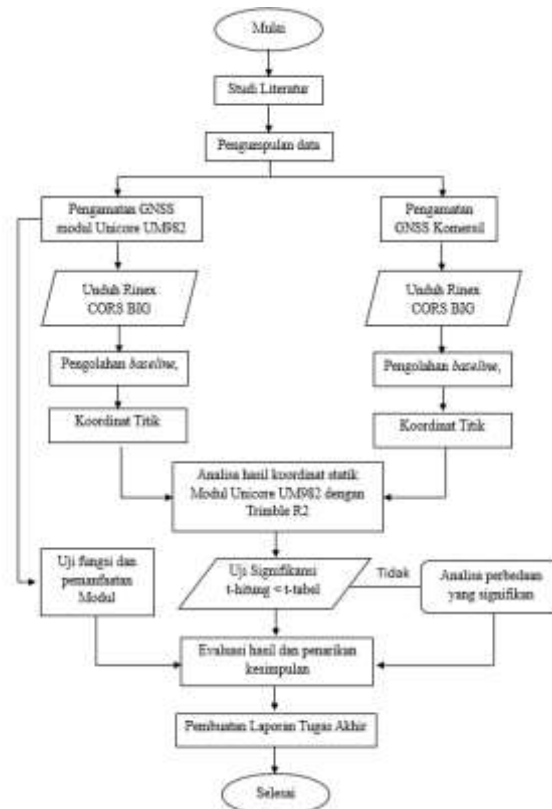
Tabel 2. Peralatan Penelitian

Jenis	Nama Peralatan	Fungsi
Hardware	Trimble R2	Pengambilan data statik GNSS komersial (referensi pembanding)
Hardware	Modul GNSS Unicore UM982 dan Antena Receiver	Penerima data satelit GNSS (perangkat uji)
Hardware	Laptop	Pengolahan dan analisis data lapangan maupun kantor
Software	Trimble Business Center (TBC)	Pengolahan data statik dan perhitungan baseline
Software	U-Precise	Konfigurasi dan perekaman data statik modul Unicore UM982
Software	ArcGIS	Pembuatan layout dan visualisasi hasil penelitian
Software	Microsoft Excel	Pengolahan data dan analisis statistik (RMSE, R^2 , uji-t)

Metode

Metode penelitian ini (**Gambar 3**) diawali dengan studi literatur untuk memahami konsep dasar GNSS, metode pengukuran statik, serta penelitian terdahulu terkait evaluasi *receiver* GNSS *low-cost*. Tahap pengumpulan data dilakukan dengan pengambilan data statik menggunakan modul Unicore UM982 dan *receiver* Trimble R2 secara simultan pada titik-titik pengamatan yang telah direncanakan, dilengkapi data RINEX CORS CANG yang diunduh melalui portal Spyder Web BIG sebagai titik referensi.

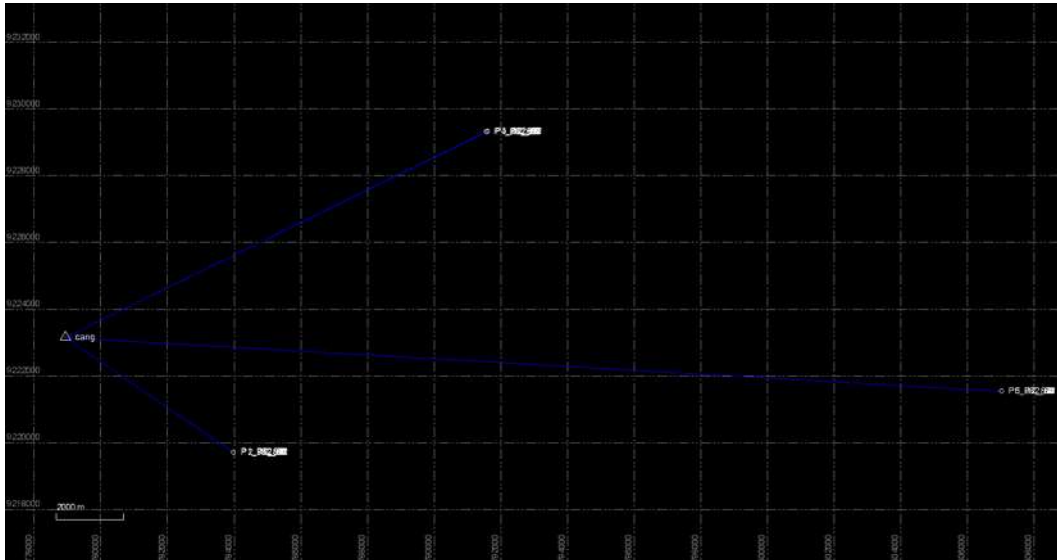
Tahap perencanaan baseline menetapkan CORS CANG (Soreang, Kabupaten Bandung) sebagai titik referensi, dengan sebaran titik uji dikelompokkan ke dalam tiga kategori panjang baseline, yaitu pendek (<5 km), menengah (5–10 km), dan panjang (>10 km), untuk mengkaji pengaruh panjang baseline terhadap akurasi kedua perangkat. Sebelum pengambilan data, modul UM982 dikonfigurasi melalui perangkat lunak U-Precise untuk melacak seluruh konstelasi GNSS (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS) pada multi-frekuensi (L1, L2, L5 untuk GPS; B1, B2, B2a/c untuk BeiDou; E1, E5a/b untuk Galileo; G1, G2 untuk GLONASS), serta pengaturan parameter logging data (epoch rate, time tagging, model ionosfer, dan jenis efemerida) yang disimpan pada memori internal modul agar konsisten pada setiap sesi pengamatan.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Pengambilan data lapangan dilakukan secara simultan pada kedua perangkat agar mengamati konstelasi satelit yang sama pada kondisi atmosfer dan geometri satelit yang identik. Durasi pengamatan disesuaikan dengan panjang baseline, yaitu sekitar 1 jam per sesi untuk baseline kurang dari 10 km dan sekitar 2 jam per sesi untuk baseline 20–50 km, dengan tiga kali pengulangan (sesi) pada setiap titik untuk masing-masing perangkat guna meningkatkan keandalan hasil. Seluruh pengamatan dilaksanakan pada area terbuka (*open-sky*) dengan elevasi *masking angle* minimal 15° untuk meminimalkan *multipath* dan obstruksi sinyal [23].

Data *raw* hasil perekaman UM982 dikonversi ke format RINEX menggunakan U-Precise, dengan parameter *offset* antenna dikonfigurasi secara akurat karena berpengaruh langsung terhadap kualitas komponen vertikal koordinat [17]. Seluruh data RINEX baik dari UM982, Trimble R2 (format .t02), maupun CORS CANG selanjutnya diimpor ke perangkat lunak *Trimble Business Center* (TBC) untuk pengolahan baseline menggunakan metode *least squares carrier phase* dan *network adjustment least squares*, setelah terlebih dahulu diverifikasi rentang waktu tumpang tindih (*overlapping period*) antara data referensi dan data titik uji. **Gambar 4** menampilkan jaringan baseline titik uji UM982 terhadap CORS CANG yang terbentuk dari proses ini; jaringan baseline Trimble R2 diproses secara terpisah menggunakan parameter pengolahan yang sama agar hasil koordinat dapat dibandingkan secara setara. Koordinat *Most Probable Value* (MPV) hasil pengolahan Trimble R2 ditetapkan sebagai *ground truth* untuk evaluasi akurasi UM982 [18].



Gambar 4. Jaringan Baseline Titik Uji UM982 terhadap CORS CANG

Analisis Data

Analisis akurasi diawali dengan perhitungan selisih koordinat per komponen dalam sistem proyeksi UTM Zona 48S, yaitu komponen Utara ($\Delta N = N_{\text{UM982}} - N_{\text{Trimble}}$), Timur ($\Delta E = E_{\text{UM982}} - E_{\text{Trimble}}$), dan Tinggi ($\Delta h = h_{\text{UM982}} - h_{\text{Trimble}}$), serta selisih posisi horizontal dua dimensi dan tiga dimensi:

$$\Delta 2D = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$$

$$\Delta 3D = \sqrt{(\Delta N^2 + \Delta E^2 + \Delta h^2)}$$

Akurasi dievaluasi menggunakan Root Mean Square Error (RMSE) yang dihitung terpisah untuk komponen horizontal (RMSE-H), vertikal (RMSE-V), dan tiga dimensi (RMSE-3D) dengan formula:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{ref}})^2}{n}}$$

di mana x_i adalah koordinat hasil pengukuran UM982, x_{ref} adalah koordinat referensi Trimble R2, dan n adalah jumlah titik pengamatan [18]. Standar deviasi (σ) dihitung untuk mengukur konsistensi hasil pengukuran, sedangkan koefisien determinasi (R^2) dihitung untuk mengukur kekuatan korelasi linier antara koordinat UM982 dan Trimble R2. Uji-t berpasangan (*paired t-test*) pada tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan koordinat kedua perangkat, dengan hipotesis nol (H_0) menyatakan tidak terdapat perbedaan signifikan dan hipotesis alternatif (H_1) menyatakan sebaliknya; H_0 diterima apabila $|t\text{-hitung}| < t\text{-tabel}$ [24]. Analisis regresi linier turut dilakukan untuk mengkaji hubungan antara panjang baseline sebagai variabel independen dengan nilai RMSE horizontal ($\Delta 2D$) sebagai variabel dependen [25], serta analisis spasial menggunakan ArcGIS untuk memvisualisasikan sebaran titik uji dan distribusi deviasi posisi dalam sistem proyeksi UTM Zona 48S.

Hasil penelitian selanjutnya dibandingkan dengan standar ketelitian survei kontrol horizontal yang berlaku, yaitu toleransi ≤ 2 cm untuk kelas 1 dan ≤ 5 cm untuk kelas 2 (**Tabel 3**), sebagai dasar penilaian kelayakan modul Unicore UM982 sebagai alternatif perangkat survei geodesi [26].

Tabel 3. Standar Toleransi Survei Kontrol Horizontal

Kelas	Toleransi
Kelas 1	≤ 2 cm
Kelas 2	≤ 5 cm

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Koordinat

Pengolahan baseline pada TBC menghasilkan koordinat titik-titik uji dalam dua representasi, yaitu koordinat geografis (lintang, bujur, tinggi elipsoid) dan koordinat proyeksi UTM Zona 48S (Northing, Easting, tinggi). Koordinat dalam sistem UTM Zona 48S digunakan sebagai basis utama analisis

perbandingan karena memberikan representasi linier yang lebih intuitif untuk perhitungan selisih dan deviasi posisi antara kedua perangkat. Koordinat Most Probable Value (MPV) hasil pengolahan Trimble R2 ditetapkan sebagai *ground truth* untuk evaluasi akurasi UM982. Hasil pengolahan data statik menunjukkan presisi horizontal Trimble R2 berkisar 0,020–0,128 m dan vertikal 0,06–0,096 m, dengan modul Unicore UM982 menghasilkan nilai presisi pada rentang yang serupa, mencerminkan tingkat konsistensi internal pengolahan baseline yang baik pada kedua perangkat.

Selisih Koordinat per Komponen

Selisih koordinat per komponen (ΔN , ΔE , Δh) serta selisih posisi horizontal ($\Delta 2D$) dan tiga dimensi ($\Delta 3D$) bervariasi sesuai kategori panjang baseline. Pada baseline pendek (<5 km), deviasi posisi horizontal dan vertikal relatif kecil, mengindikasikan bahwa UM982 mampu menghasilkan solusi *fixed* yang stabil pada jarak dekat dari CORS CANG. Sebaliknya, pada baseline panjang (>10 km), deviasi cenderung meningkat akibat *spatial decorrelation* kesalahan atmosfer yang tidak dapat dieliminasi sempurna melalui proses *differencing* pada jarak yang lebih jauh [11]. Secara umum tidak terdapat kecenderungan sistematis yang konsisten pada seluruh titik uji, sehingga deviasi yang terjadi lebih didominasi oleh komponen *random error* dibanding *systematic bias*.

Evaluasi RMSE dan Koefisien Determinasi (R^2)

Nilai RMSE horizontal pada baseline pendek menunjukkan bahwa UM982 mampu mencapai akurasi level sentimeter yang berada dalam rentang toleransi survei kontrol horizontal kelas 2 (≤ 5 cm). Pada baseline menengah, nilai RMSE masih berada dalam ambang toleransi yang dapat diterima, sementara pada baseline panjang nilai RMSE mengalami degradasi yang mencerminkan meningkatnya pengaruh kesalahan atmosfer yang tidak terkoreksi [23], [25]. Koefisien determinasi (R^2) antara koordinat UM982 dan Trimble R2 menunjukkan korelasi linier yang sangat kuat, dengan nilai mendekati 1 baik untuk komponen horizontal maupun vertikal, mengindikasikan bahwa UM982 secara konsisten mengikuti pola pengukuran Trimble R2 pada seluruh rentang baseline yang diuji.

Uji Signifikansi Statistik (Paired t-test)

Hasil uji-t berpasangan pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa pada kategori baseline pendek dan menengah, nilai absolut t-hitung lebih kecil dari t-tabel sehingga H_0 diterima, yang berarti performa UM982 secara statistik setara dengan Trimble R2 pada jarak tersebut. Pada baseline panjang, nilai t-hitung mulai mendekati atau melebihi t-tabel pada beberapa komponen, menandakan bahwa pengaruh panjang baseline terhadap perbedaan kinerja kedua perangkat mulai signifikan secara statistik [24].

Pengaruh Panjang Baseline terhadap Akurasi

Analisis lebih lanjut dilakukan untuk mengkaji hubungan antara panjang baseline dan nilai deviasi posisi horizontal ($\Delta 2D$) menggunakan 18 pasang data pengamatan dari 6 titik uji (P1–P6) dengan 3 sesi masing-masing, tersebar pada kategori baseline menengah (6,089–6,092 km) dan panjang (14,047–28,112 km), sebagaimana disajikan pada **Tabel 4**.

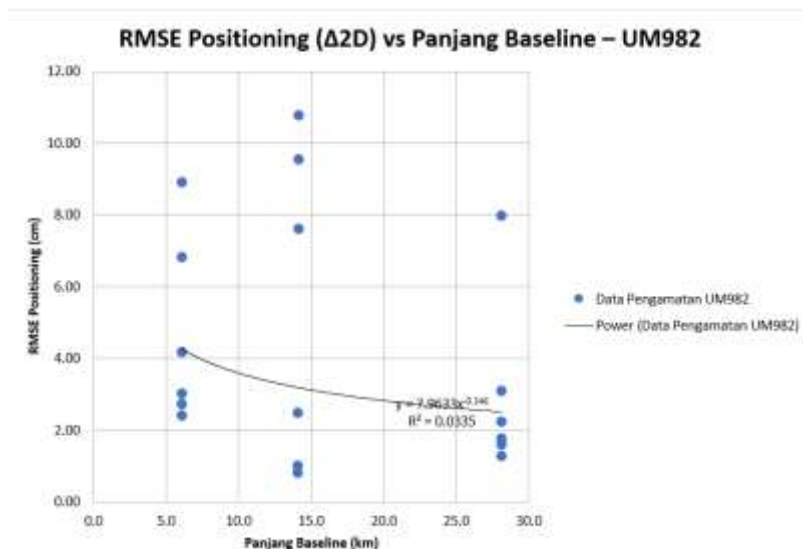
Tabel 4. Data $\Delta 2D$ terhadap Panjang Baseline

Titik-Sesi	Panjang Baseline (km)	$\Delta 2D$ / RMSE Positioning (cm)
P1-S1	6,089	4,173
P1-S2	6,089	3,015
P1-S3	6,089	6,826
P2-S1	6,092	2,417
P2-S2	6,092	8,902
P2-S3	6,092	2,729
P3-S1	14,097	9,543
P3-S2	14,097	10,770
P3-S3	14,097	7,606
P4-S1	14,047	1,005
P4-S2	14,047	0,806

Titik-Sesi	Panjang Baseline (km)	$\Delta 2D$ / RMSE Positioning (cm)
P4-S3	14,047	2,484
P5-S1	28,112	2,247
P5-S2	28,112	1,603
P5-S3	28,112	3,089
P6-S1	28,111	7,981
P6-S2	28,111	1,273
P6-S3	28,111	1,772

Pada baseline menengah (≈ 6 km), nilai $\Delta 2D$ berkisar antara 2,417 cm hingga 8,902 cm dengan rata-rata sekitar 4,677 cm. Pada baseline panjang kategori pertama (≈ 14 km), nilai $\Delta 2D$ bervariasi signifikan antar titik: P3 (7,606–10,770 cm) dan P4 (0,806–2,484 cm), mengindikasikan bahwa kondisi lokal seperti multipath dan konfigurasi satelit turut memengaruhi hasil selain panjang baseline itu sendiri. Pada baseline panjang kategori kedua (≈ 28 km), nilai $\Delta 2D$ pada titik P5 relatif kecil (1,603–3,089 cm), sementara P6-S1 mencatat nilai tertinggi sebesar 7,981 cm yang kemungkinan dipengaruhi kondisi PDOP dan multipath setempat.

Hubungan antara $\Delta 2D$ dan panjang baseline divisualisasikan pada **Gambar 5**. Pendekatan regresi non-linear (*power regression*) menghasilkan persamaan $y = 7,9633x^{-0,346}$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,0335$, yang menunjukkan bahwa panjang baseline hanya menjelaskan sekitar 3,35% dari total variasi RMSE horizontal ($\Delta 2D$), sedangkan 96,65% sisanya dikendalikan oleh faktor lain. Kurva tren yang melandai ini justru bertolak belakang dengan teori fundamental GNSS, di mana penambahan jarak baseline seharusnya memicu degradasi akurasi akibat melemahnya korelasi spasial (*spatial decorrelation*) refraksi ionosfer dan troposfer [11], [23]. Rendahnya nilai determinasi mengindikasikan bahwa pada rentang pengujian 6–28 km, kualitas posisi modul UM982 tidak didominasi oleh faktor jarak ke CORS CANG, melainkan lebih dipengaruhi oleh gangguan lingkungan lokal tempat perekaman data (*site-specific errors*), seperti kekuatan geometri satelit (PDOP/GDOP), efek *multipath* akibat obstruksi sekitar, stabilitas pusat fase antena (*phase center stability*), serta dinamika kualitas resolusi ambiguitas fase selama pengamatan berlangsung [9], [20].

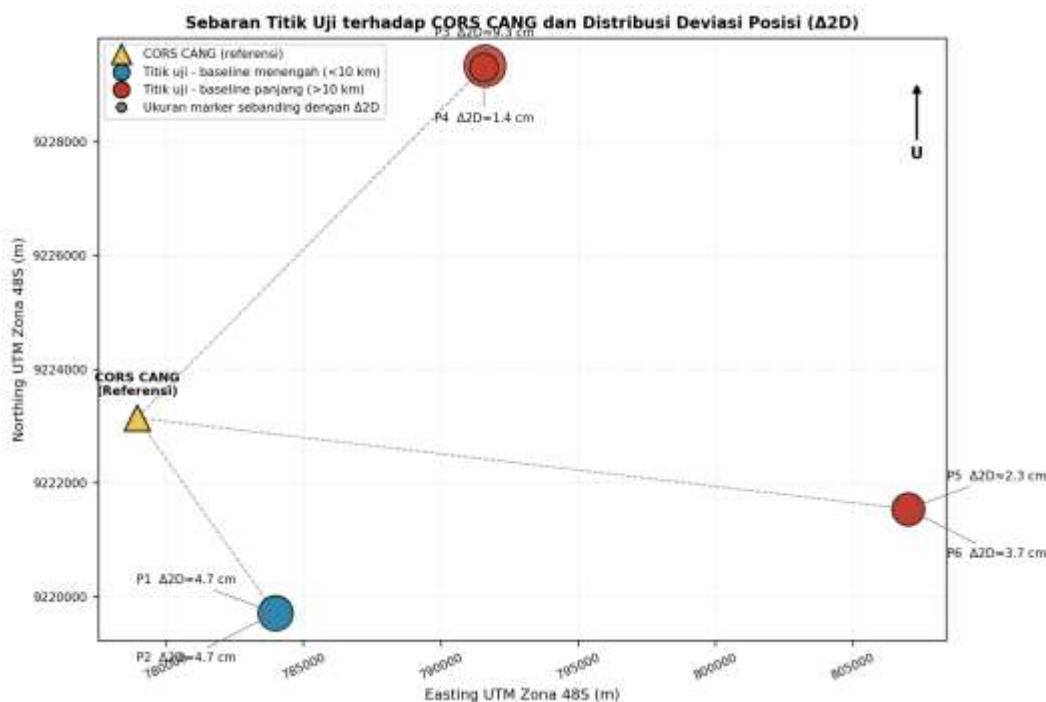


Gambar 5. Scatterplot RMSE Positioning ($\Delta 2D$) terhadap Panjang Baseline

Analisis Spasial

Visualisasi spasial sebaran titik uji dan distribusi deviasi posisi menggunakan ArcGIS dalam sistem proyeksi UTM Zona 48S ditunjukkan pada **Gambar 6**. Titik-titik yang berada pada jarak dekat dari CORS CANG (kategori baseline pendek) menunjukkan nilai deviasi yang lebih kecil dan distribusi yang lebih konsisten, sedangkan titik-titik pada kategori baseline panjang menunjukkan variasi yang lebih besar, mengindikasikan pengaruh kondisi troposfer lokal pada wilayah yang lebih jauh dari titik referensi.

Representasi spasial ini mempertegas hasil analisis statistik bahwa panjang baseline bukan satu-satunya faktor dominan yang memengaruhi akurasi pengukuran modul UM982 pada metode statik GNSS, melainkan berinteraksi dengan kondisi lingkungan pengamatan setempat.



Gambar 6. Peta Sebaran Titik Uji dan Distribusi Deviasi Posisi

Secara keseluruhan, hasil evaluasi ini menegaskan bahwa modul GNSS *low-cost* Unicore UM982 memiliki potensi signifikan sebagai alternatif *receiver* geodetik berbiaya rendah, khususnya pada baseline pendek hingga menengah yang akurasi mendekati standar *receiver* profesional dan memenuhi toleransi survei kontrol geodesi. Temuan ini konsisten dengan hasil Hamza dkk. [19] dan Poluzzi dkk. [21] yang menunjukkan bahwa *receiver* GNSS *low-cost* mampu mencapai akurasi tinggi apabila dipasangkan dengan antena dan konfigurasi yang memadai, serta sejalan dengan Odolinski dan Teunissen [20] yang mengonfirmasi performa kompetitif *receiver* dual-frekuensi berbiaya rendah pada berbagai panjang baseline. Meskipun demikian, dominasi faktor *site-specific errors* dibanding panjang baseline pada penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan lokasi pengamatan yang optimal dalam pemanfaatan modul *low-cost* untuk aplikasi survei geodesi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa modul GNSS *low-cost* Unicore UM982 mampu menghasilkan koordinat posisi tiga dimensi yang mendekati *receiver* komersial tingkat geodetik Trimble R2 pada pengamatan statik, dengan nilai akurasi yang masih berada dalam rentang toleransi survei kontrol geodesi tingkat sentimeter. Uji-t berpasangan pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara kedua perangkat pada baseline pendek hingga menengah (≈ 6 km), dengan rata-rata deviasi horizontal sekitar 4,677 cm, yang membuktikan konsistensi internal UM982 dalam merekam fase carrier secara simultan melalui konfigurasi multi-frequency multi-constellation. Pengujian pada rentang jarak 6–28 km menunjukkan bahwa degradasi akurasi tidak didominasi secara linier oleh panjang baseline ($R^2 = 0,0335$, hanya menjelaskan 3,35% variasi RMSE horizontal), melainkan lebih dipengaruhi oleh faktor *site-specific errors* seperti multipath, obstruksi sinyal, dan variasi geometri satelit setempat.

Berdasarkan temuan tersebut, modul Unicore UM982 layak dan berpotensi besar untuk diintegrasikan sebagai perangkat alternatif survei geodesi yang ekonomis, khususnya untuk aplikasi pemetaan praktis, survei rekayasa, maupun keperluan akademis yang memerlukan ketelitian level sentimeter pada baseline pengamatan yang optimal dan area open-sky. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji performa UM982 dengan variasi jenis antena eksternal, memvariasikan durasi perekaman data pada baseline panjang, serta menguji modul ini pada metode pengamatan dinamis (RTK atau PPK) guna mengeksplorasi batas kemampuan operasionalnya secara lebih menyeluruh.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, atas fasilitas dan dukungan akademik yang disediakan sepanjang penelitian ini. Penulis turut menyampaikan apresiasi kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) atas penyediaan data CORS CANG melalui portal Spyder Web, yang menjadi acuan penting dalam penelitian ini.

6. Singkatan

GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
CORS	<i>Continuously Operating Reference Station</i>
TBC	Trimble Business Center
MPV	<i>Most Probable Value</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
R ²	Koefisien Determinasi
RTK	<i>Real-Time Kinematic</i>
PPK	<i>Post-Processed Kinematic</i>
DOP	<i>Dilution of Precision</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
BIG	Badan Informasi Geospasial

7. Referensi

- [1] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, *GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and More*. Vienna: Springer-Verlag, 2008. doi: 10.1007/978-3-211-73017-1.
- [2] M. Paudel, B. Bhattarai, and S. Karki, "Application of GNSS for structural deformation monitoring: A review," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 10, p. 2408, 2022. doi: 10.3390/rs14102408.
- [3] H. Z. Abidin, *Geodesi Satelit*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2007.
- [4] M. I. Hadi, "Kajian penggunaan receiver GNSS berbiaya rendah untuk survei dan pemetaan," *Jurnal Teknik Geodesi*, vol. 7, no. 2, pp. 112–125, 2019.
- [5] Unicore Communications, Inc., *UM982 All-Frequency Multi-Constellation High Precision Positioning Module Datasheet*. Beijing: Unicore Communications, Inc., 2024. [Online]. Available: <https://www.unicorecomm.com/en/products/um982.html>
- [6] N. V. Nguyen, W. Cho, and K. Hayashi, "Performance evaluation of a typical low-cost multi-frequency multi-GNSS device for positioning and navigation in agriculture—Part 1: Static testing," *Smart Agricultural Technology*, vol. 1, p. 100004, 2021. doi: 10.1016/j.atech.2021.100004.
- [7] F. A. Ubaidillah and M. N. Cahyadi, "Evaluasi akurasi pengukuran GNSS statik menggunakan receiver Trimble BD982 dan U-blox F9 di berbagai jarak baseline," *Geoid*, vol. 17, no. 2, pp. 234–246, 2022.
- [8] E. Yavuz, "Comparison of the horizontal positioning accuracy of different GNSS receiver brands," *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 85–93, 2022. doi: 10.35814/jsei.1021482.
- [9] F. Zangenehnejad and Y. Gao, "GNSS smartphones positioning: Advances, challenges, opportunities, and future perspectives," *Satellite Navigation*, vol. 2, no. 1, p. 24, 2021. doi: 10.1016/s43020-021-00054-y.
- [10] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, Eds., *Understanding GPS/GNSS: Principles and Applications*, 3rd ed. Norwood, MA: Artech House, 2017.
- [11] P. J. G. Teunissen and O. Montenbruck, Eds., *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-42928-1.

- [12] X. Li, X. Zhang, X. Ren, M. Fritsche, J. Wickert, and H. Schuh, "Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou," *Scientific Reports*, vol. 5, no. 1, p. 8328, 2015. doi: 10.1038/srep08328.
- [13] R. B. Langley, "Dilution of precision," *GPS World*, vol. 10, no. 5, pp. 52–59, 1999.
- [14] A. Leick, L. Rapoport, and D. Tatarnikov, *GPS Satellite Surveying*, 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2015. doi: 10.1002/9781119018612.
- [15] C. Rizos and R. Dach, "Part D: Positioning and navigation," in *Geoid Determination: Theory and Methods*, F. Sansò and R. Barzaghi, Eds. Berlin: Springer, 2014.
- [16] A. Aditiya, C. B. Pribadi, and S. Susilo, "Jaringan CORS BIG (InaCORS) dan pemanfaatannya," *Buletin Informasi Geospasial*, Badan Informasi Geospasial, Cibinong, 2014.
- [17] W. Gurtner and L. Estey, "RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 3.03," International GNSS Service Technical Report, 2013. [Online]. Available: <https://files.igs.org/pub/data/format/rinex303.pdf>
- [18] C. D. Ghilani and P. R. Wolf, *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics*, 13th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.
- [19] V. Hamza, B. Stopar, and O. Sterle, "Testing the performance of multi-frequency low-cost GNSS receivers and antennas," *Sensors*, vol. 21, no. 6, p. 2029, 2021. doi: 10.3390/s21062029.
- [20] R. Odolinski and P. J. G. Teunissen, "Best integer equivariant estimation: Performance analysis using real data collected by low-cost, single- and dual-frequency, multi-GNSS receivers for short- to long-baseline RTK positioning," *Journal of Geodesy*, vol. 94, no. 9, p. 91, 2020. doi: 10.1007/s00190-020-01423-2.
- [21] L. Poluzzi, L. Tavasci, F. Corsini, M. Barbarella, and S. Gandolfi, "Low-cost GNSS sensors for monitoring applications," *Applied Geomatics*, vol. 12, no. 1, pp. 35–44, 2020. doi: 10.1007/s12518-019-00268-5.
- [22] Y. Hardiyoso and A. Taftazani, "Uji akurasi pengukuran GNSS metode statik dan RTK-NTRIP menggunakan referensi CORS," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2025.
- [23] G. Seeber, *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*, 2nd ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003. doi: 10.1515/9783110200089.
- [24] D. C. Montgomery, G. C. Runger, and N. F. Hubele, *Engineering Statistics*, 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- [25] M. Alif, L. Prayogi, and M. Yusuf, "Evaluasi akurasi pengukuran GNSS statik pada berbagai kondisi baseline di Indonesia," *Jurnal Geodesi dan Geomatika*, vol. 3, no. 1, pp. 45–58, 2025.
- [26] Badan Informasi Geospasial, "Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2013 tentang Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013," Badan Informasi Geospasial, Cibinong, 2014.