Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21704 - 21712
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

Perbandingan Akurasi, Presisi dan Efisiensi Operasional RTK Mini Berbiaya Rendah dan RTK Geodetik Profesional pada Penentuan Koordinat GNSS

Nazma Tasyariani*, Henri Kuncoro

Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
***Koresponden email**: nazmatasyariani614@gmail.com

Diterima: 22 Agustus 2026 Disetujui: 28 Agustus 2026

Abstract
Low-cost GNSS receivers provide a more affordable option for Real Time Kinematic (RTK) surveying. This study compares the accuracy, precision, and operational efficiency of the Tri Bhumi low-cost RTK receiver with the CHC i80 professional geodetic GNSS receiver. Measurements were conducted at four test points at the Bandung Regency Land Office, with five repetitions per receiver. Both receivers operated as rovers using NTRIP corrections. CHC i80 measurements at Point A were verified against Benchmark (BM) 16.12.2022, and mean CHC i80 coordinates at each point were used as reference coordinates. Accuracy was evaluated using horizontal RMSE, precision using standard deviation, operational efficiency using recording duration, and mean coordinate differences using Welch's t-test. Tri Bhumi produced horizontal RMSE values of 2.23–3.97 cm and horizontal standard deviations of 0.00–3.70 cm, compared with 0.27–1.73 cm for CHC i80. Average recording times were 10.25 and 11.75 seconds, respectively. Significant mean coordinate differences occurred at Points A and C, while insufficient statistical evidence of a difference was found at Points B and D. Tri Bhumi achieved centimeter-level positioning, although its repeatability was less stable at most test points.
Keywords: *GNSS, low-cost RTK, accuracy, precision, operational efficiency*

Abstrak
Ketersediaan *receiver* GNSS berbiaya rendah memberikan alternatif yang lebih terjangkau untuk pengukuran *Real Time Kinematic* (RTK). Penelitian ini membandingkan akurasi, presisi, dan efisiensi operasional RTK mini Tri Bhumi dengan GNSS geodetik profesional CHC i80. Pengukuran dilakukan pada empat titik uji di Kantor Pertanahan Kabupaten Bandung dengan lima kali pengulangan untuk setiap perangkat. Kedua perangkat dioperasikan sebagai *rover* menggunakan koreksi NTRIP. Hasil CHC i80 pada Titik A diverifikasi terhadap *Benchmark* (BM) 16.12.2022, sedangkan rata-rata koordinat CHC i80 pada setiap titik digunakan sebagai koordinat pembanding. Akurasi dianalisis menggunakan RMSE horizontal, presisi menggunakan standar deviasi, efisiensi operasional berdasarkan durasi perekaman, dan perbedaan rata-rata koordinat diuji menggunakan *Welch's t-test*. Tri Bhumi menghasilkan RMSE horizontal 2,23-3,97 cm dan standar deviasi horizontal 0,00-3,70 cm, sedangkan CHC i80 0,27-1,73 cm. Waktu perekaman rata-rata masing-masing perangkat adalah 10,25 detik dan 11,75 detik. Perbedaan rata-rata koordinat yang signifikan ditemukan pada Titik A dan C, sedangkan pada Titik B dan D belum ditemukan bukti statistik yang cukup. Tri Bhumi mampu menghasilkan posisi tingkat sentimeter, tetapi keterulangan hasilnya belum sebaik CHC i80 pada sebagian besar titik uji.
Kata Kunci: *GNSS, RTK mini, akurasi, presisi, efisiensi operasional*

1. Pendahuluan

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan teknologi penentuan posisi yang banyak digunakan dalam kegiatan survei dan pemetaan. Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh posisi secara waktu nyata dengan ketelitian tinggi adalah *Real Time Kinematic* (RTK). Metode ini memanfaatkan data koreksi dari stasiun referensi sehingga posisi *rover* dapat diperoleh secara langsung. Perkembangan *receiver* GNSS multi-konstelasi dan multi-frekuensi juga meningkatkan kemampuan metode RTK untuk berbagai kebutuhan pengukuran [1].

Perangkat GNSS geodetik profesional umumnya digunakan pada pekerjaan yang membutuhkan ketelitian tinggi, tetapi harga perangkat yang relatif mahal menjadi salah satu kendala dalam penggunaannya. Kondisi tersebut mendorong berkembangnya *receiver* GNSS berbiaya rendah yang memiliki ukuran lebih ringkas dan telah mendukung pengamatan multi-frekuensi serta metode RTK. Kajian

terhadap *receiver* berbiaya rendah menunjukkan bahwa perangkat tersebut dapat menghasilkan posisi pada tingkat sentimeter pada kondisi pengamatan tertentu, walaupun kualitas observasi dan kestabilan hasilnya masih berada di bawah *receiver* geodetik profesional [1].

Kemampuan *receiver* GNSS berbiaya rendah telah diuji pada berbagai kondisi pengamatan. Janos dan Kuras [2] menunjukkan bahwa kualitas hasil *Network* RTK dari *receiver* berbiaya rendah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama keberadaan penghalang dan *multipath*. Pengujian lain terhadap *receiver* RTK berbiaya rendah juga menunjukkan bahwa kualitas posisi dapat dipertahankan pada tingkat sentimeter pada kondisi tertentu, tetapi kestabilannya dapat menurun ketika kondisi pengamatan menjadi lebih sulit [3]. Hamza dkk. [4] memperoleh hasil bahwa receiver GNSS berbiaya rendah dengan dukungan dual-frequency dapat digunakan untuk survei RTK, namun performanya tetap dipengaruhi kondisi penerimaan sinyal dan lingkungan.

Karakteristik antena menjadi salah satu faktor yang turut memengaruhi hasil penentuan posisi. Pengaruh *multipath* dan variasi pusat fase antena pada perangkat berbiaya rendah telah ditunjukkan oleh Krzan dkk. [5]. Dawidowicz dkk. [6] juga menilai penerapan antena GNSS berbiaya rendah untuk pekerjaan survei presisi dan menunjukkan bahwa karakteristik antena perlu diperhatikan dalam penggunaan perangkat tersebut. Perbedaan kualitas antena dapat memengaruhi bias observasi dan hasil RTK [7]. Pengujian perangkat multi-frekuensi berbiaya rendah pada aplikasi penentuan posisi lainnya juga menunjukkan bahwa kemampuan perangkat sangat bergantung pada konfigurasi pengamatan dan lingkungan tempat perangkat digunakan [8], [9].

Kondisi lingkungan merupakan faktor penting dalam penentuan posisi RTK. Pengujian menggunakan *survey-grade receiver* pada area dengan tutupan vegetasi menunjukkan bahwa lingkungan pengamatan dan lamanya observasi dapat memengaruhi kualitas posisi [10]. Geometri satelit yang dinyatakan melalui nilai DOP juga memberikan gambaran mengenai konfigurasi satelit pada saat pengamatan [11]. Nilai geometrik tersebut dapat membantu menjelaskan kondisi pengamatan, tetapi tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya ukuran kualitas posisi karena hasil GNSS tetap dipengaruhi sumber kesalahan lainnya [12].

Evaluasi hasil RTK juga perlu memperhatikan prosedur pengujian dan ketelitian hasil pengukuran. Lee [13] menunjukkan penerapan pengujian GNSS-RTK berdasarkan ISO 17123-8 untuk menilai ketelitian pengukuran lapangan. Pengujian perangkat GNSS yang dikembangkan di Indonesia juga menunjukkan pentingnya evaluasi akurasi sebelum suatu perangkat digunakan untuk kegiatan pemetaan [14]. Selain jenis perangkat, arsitektur sistem koreksi dan teknik koreksi GNSS turut menentukan keandalan penentuan posisi presisi [15].

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kemampuan *receiver* berbiaya rendah tidak dapat dinilai hanya dari keberhasilannya memperoleh solusi RTK *fixed*. Jenis *receiver*, antena, kondisi lingkungan, geometri satelit, koreksi yang digunakan, serta karakteristik perangkat dapat menyebabkan perbedaan hasil. Kinerja suatu perangkat berbiaya rendah juga tidak dapat langsung digunakan untuk mewakili perangkat lain. RTK mini Tri Bhumi memiliki karakteristik perangkat dan sistem pengoperasian tersendiri, sehingga pengujian langsung diperlukan untuk mengetahui kualitas posisi yang dihasilkan.

Penelitian ini membandingkan RTK mini berbiaya rendah Tri Bhumi dengan GNSS geodetik profesional CHC i80 pada empat titik uji di Kantor Pertanahan Kabupaten Bandung. Kedua perangkat dioperasikan sebagai *rover* menggunakan koreksi NTRIP. Hasil pengukuran CHC i80 pada Titik A yang berimpit dengan *Benchmark* (BM) 16.12.2022 terlebih dahulu diverifikasi terhadap koordinat BM. Rata-rata hasil CHC i80 pada setiap titik kemudian digunakan sebagai koordinat pembanding bagi Tri Bhumi.

Penilaian kinerja dilakukan berdasarkan akurasi, presisi, dan efisiensi operasional. Akurasi Tri Bhumi dianalisis menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) horizontal, sedangkan presisi kedua perangkat dianalisis menggunakan standar deviasi hasil pengukuran berulang. Efisiensi operasional dibandingkan berdasarkan durasi perekaman ketika perangkat telah memperoleh solusi RTK *fixed*. Perbedaan rata-rata koordinat *Easting* dan *Northing* juga dianalisis menggunakan *Welch's t-test*, sedangkan PDOP digunakan sebagai data pendukung kondisi geometri satelit. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja kedua perangkat serta menilai penggunaan RTK mini Tri Bhumi untuk beberapa pekerjaan survei dan pemetaan pada kondisi lingkungan relatif terbuka.

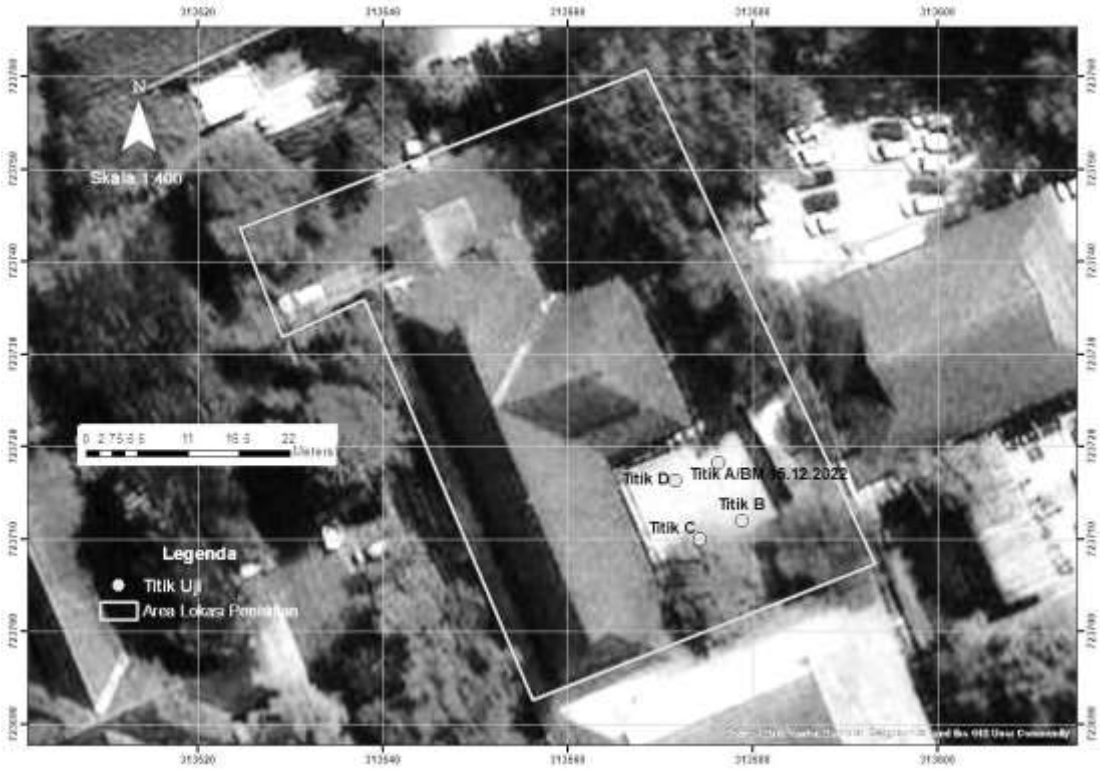
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif untuk membandingkan hasil pengukuran RTK mini berbiaya rendah Tri Bhumi dengan GNSS geodetik profesional CHC i80. Pengukuran dilakukan di area Kantor Pertanahan Kabupaten Bandung pada empat titik uji, yaitu Titik A, B, C, dan D. Kondisi lokasi pengamatan termasuk lingkungan relatif terbuka, meskipun pada beberapa

Jurnal Serambi Engineering JSE
Volume XI, No.4, Oktober 2026 Hal 21704 - 21712
p-ISSN : 2528-3561
e-ISSN : 2541-1934

bagian masih terdapat bangunan dan vegetasi di sekitar titik. Titik A berada pada lokasi yang sama dengan *Benchmark* (BM) 16.12.2022 dan digunakan untuk memverifikasi hasil pengukuran CHC i80 sebelum perangkat tersebut digunakan sebagai pembanding.

Data utama penelitian berupa koordinat *Easting* dan *Northing* hasil pengukuran Tri Bhumi dan CHC i80. Setiap titik diukur sebanyak lima kali menggunakan masing-masing perangkat sehingga diperoleh 20 hasil pengukuran Tri Bhumi dan 20 hasil pengukuran CHC i80, atau sebanyak 40 hasil pengukuran koordinat. Data pendukung yang digunakan meliputi nilai *Position Dilution of Precision* (PDOP), durasi perekaman, status solusi RTK, kondisi lingkungan, koordinat BM 16.12.2022, serta informasi stasiun Ina-CORS yang digunakan sebagai sumber koreksi. Seluruh koordinat diolah dalam sistem proyeksi TM-3° zona 48.2. Sebaran titik uji penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi dan Sebaran Titik Uji Penelitian

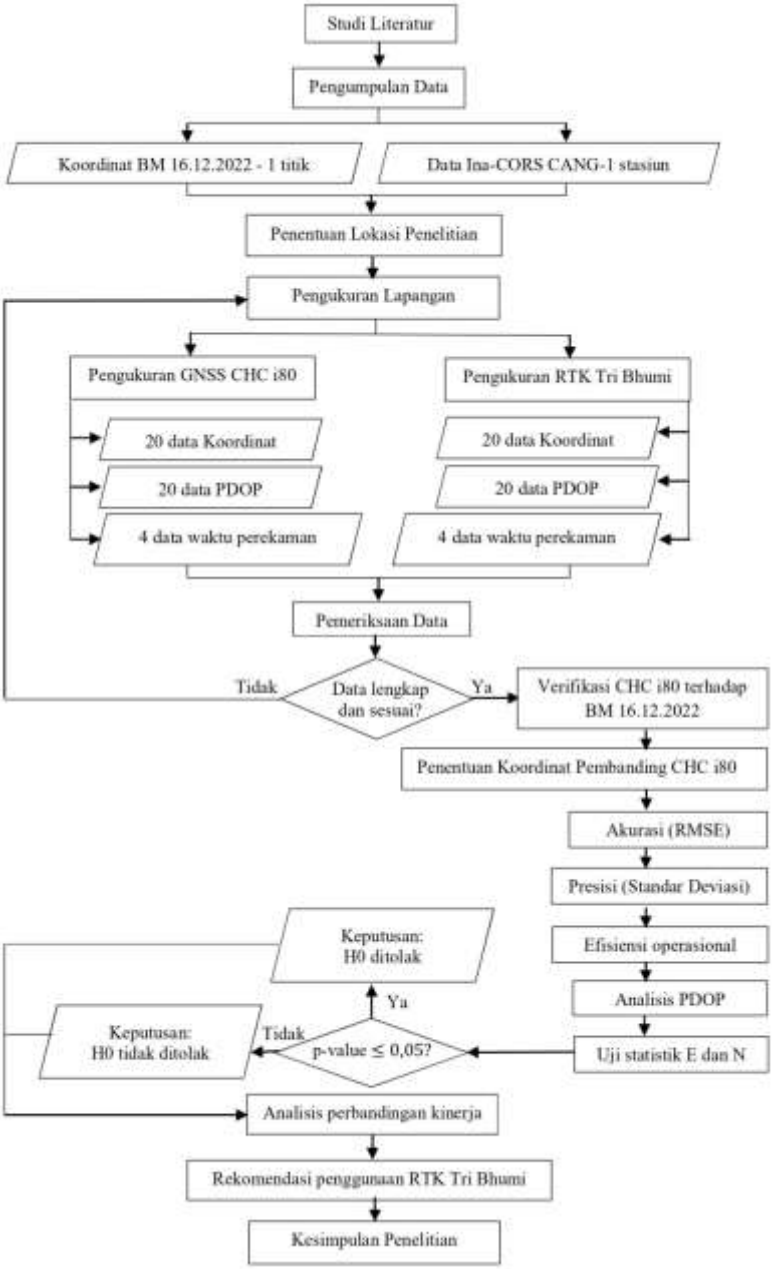
Perangkat utama yang digunakan adalah RTK mini Tri Bhumi dan GNSS geodetik profesional CHC i80. Tri Bhumi menggunakan *receiver* GNSS multi-band dengan *engine* u-blox F9 dan mendukung koreksi NTRIP, sedangkan CHC i80 merupakan receiver GNSS geodetik multi-konstelasi yang mendukung RTK dan NTRIP. Kedua perangkat dipasang pada pole GNSS dan digunakan secara bergantian pada tanda titik yang sama. Keduanya dioperasikan sebagai *rover* dengan koreksi RTK melalui NTRIP dari Ina-CORS Soreang berkode CANG yang berjarak sekitar 0,4 km dari lokasi penelitian. Koordinat hanya direkam ketika solusi telah berstatus RTK *fixed*. Setiap titik direkam lima kali; Tri Bhumi menggunakan sistem *one touch* tanpa perataan otomatis, sedangkan CHC i80 menyimpan satu pasangan koordinat pada setiap perekaman.

Hasil pengukuran CHC i80 pada Titik A terlebih dahulu diverifikasi terhadap BM 16.12.2022 dengan koordinat *Easting* 313576,314 m dan *Northing* 723718,208 m. Verifikasi dilakukan berdasarkan selisih komponen *Easting*, *Northing*, dan posisi horizontal dari lima hasil pengukuran. Tahap ini hanya digunakan untuk melihat kedekatan hasil CHC i80 terhadap titik kontrol dan tidak digunakan untuk mengoreksi koordinat. Rata-rata lima hasil CHC i80 pada Titik A, B, C, dan D kemudian digunakan sebagai koordinat pembanding bagi Tri Bhumi.

Akurasi Tri Bhumi dianalisis menggunakan RMSE horizontal terhadap koordinat pembanding CHC i80. Presisi kedua perangkat dinilai berdasarkan standar deviasi hasil lima kali pengukuran pada komponen *Easting* dan *Northing*, kemudian dihitung sebagai standar deviasi horizontal. Nilai RMSE yang lebih kecil menunjukkan hasil Tri Bhumi semakin dekat terhadap koordinat pembanding, sedangkan standar deviasi digunakan untuk menilai keterulangan hasil pengukuran.

Efisiensi operasional dibandingkan berdasarkan durasi lima kali perekaman koordinat pada setiap titik setelah kedua perangkat memperoleh status RTK *fixed*. Waktu CHC i80 diperoleh dari *timestamp*, sedangkan waktu Tri Bhumi dicatat menggunakan *stopwatch*. Durasi ini tidak mencakup waktu sejak perangkat diaktifkan hingga memperoleh solusi *fixed*. Perbedaan rata-rata koordinat *Easting* dan *Northing* kedua perangkat diuji menggunakan *Welch's t-test* dua arah pada tingkat signifikansi 5% ($\alpha = 0{,}05$). Nilai p-value $\leq 0{,}05$ digunakan sebagai dasar penolakan hipotesis nol.

Nilai PDOP digunakan sebagai data pendukung untuk menggambarkan kondisi geometri satelit saat koordinat direkam. Nilai DOP berkaitan dengan konfigurasi geometris satelit terhadap posisi receiver [11], [12], tetapi tidak digunakan dalam perhitungan RMSE, standar deviasi, maupun keputusan uji statistik karena kualitas posisi GNSS juga dipengaruhi oleh multipath, kualitas observasi, antena, dan kondisi lingkungan [1], [4]. Tahapan penelitian ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Verifikasi CHC i80 terhadap Benchmark

Verifikasi CHC i80 dilakukan pada Titik A yang berimpit dengan *Benchmark* (BM) 16.12.2022. Koordinat BM yang digunakan sebagai acuan adalah *Easting* 313576,314 m dan *Northing* 723718,208 m pada sistem proyeksi TM-3° zona 48.2. Lima hasil pengukuran CHC i80 dibandingkan dengan koordinat

tersebut untuk mengetahui kedekatan posisi yang diperoleh sebelum hasil CHC i80 digunakan sebagai koordinat pembanding pada analisis berikutnya. Hasil verifikasi CHC i80 terhadap BM 16.12.2022 disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Verifikasi CHC i80 terhadap BM 16.12.2022

Data	Easting (m)	Northing (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	Selisih Horizontal (m)
A1	313576,336	723718,198	0,022	-0,010	0,0242
A2	313576,333	723718,190	0,019	-0,018	0,0262
A3	313576,333	723718,187	0,019	-0,021	0,0283
A4	313576,330	723718,186	0,016	-0,022	0,0272
A5	313576,331	723718,200	0,017	-0,008	0,0188
Rata-rata	313576,3326	723718,1922	0,0186	-0,0158	0,0244

Selisih horizontal hasil CHC i80 terhadap BM berada pada rentang 0,0188-0,0283 m dengan nilai rata-rata 0,0244 m atau 2,44 cm. Rata-rata koordinat hasil pengukuran CHC i80 pada Titik A adalah *Easting* 313576,3326 m dan *Northing* 723718,1922 m, dengan rata-rata selisih sebesar 0,0186 m pada komponen *Easting* dan -0,0158 m pada komponen *Northing*.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa posisi CHC i80 berada dalam orde sentimeter terhadap koordinat BM pada kondisi pengukuran penelitian. Verifikasi ini tidak digunakan untuk mengoreksi koordinat hasil CHC i80 dan tidak dimaksudkan sebagai pengujian kualitas jaringan kontrol. Hasilnya digunakan sebagai pemeriksaan awal sebelum rata-rata lima pengukuran CHC i80 pada setiap titik dijadikan koordinat pembanding bagi Tri Bhumi. Pendekatan ini dipilih agar evaluasi Tri Bhumi tidak langsung bergantung pada hasil satu kali pengukuran perangkat pembanding.

3.2. Akurasi RTK Mini Tri Bhumi

Akurasi Tri Bhumi dianalisis berdasarkan RMSE horizontal terhadap rata-rata koordinat CHC i80 pada masing-masing titik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa RMSE horizontal Tri Bhumi berada pada rentang 2,23-3,97 cm. Nilai terkecil diperoleh pada Titik B, sedangkan nilai terbesar terdapat pada Titik C. Hasil akurasi dan presisi pengukuran disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Akurasi dan Presisi Pengukuran

Titik	RMSE horizontal Tri Bhumi (cm)	SD horizontal Tri Bhumi (cm)	SD horizontal CHC i80 (cm)
A	3,10	0,00	0,68
B	2,23	2,34	1,73
C	3,97	2,03	0,27
D	3,43	3,70	1,11

Nilai RMSE tersebut menunjukkan bahwa Tri Bhumi mampu menghasilkan posisi pada tingkat sentimeter pada seluruh titik yang diuji. Akan tetapi, besarnya RMSE tidak seragam antar titik. Titik B menghasilkan RMSE horizontal 2,23 cm, sedangkan Titik C mencapai 3,97 cm. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kualitas hasil pengukuran tidak hanya ditentukan oleh kemampuan perangkat memperoleh solusi RTK *fixed*, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh kondisi pengamatan pada masing-masing titik.

Hasil pada tingkat sentimeter tersebut masih sejalan dengan sejumlah penelitian mengenai *receiver* GNSS berbiaya rendah. Janos dan Kuras [2] serta Janos dkk. [3] menunjukkan bahwa perangkat RTK berbiaya rendah dapat menghasilkan posisi tingkat sentimeter pada kondisi pengamatan yang mendukung. Hamza dkk. [4] juga memperoleh performa pada tingkat sentimeter menggunakan *receiver* dual-frequency berbiaya rendah. Perbedaan nilai antar titik pada penelitian ini tetap perlu diperhatikan karena kualitas hasil RTK dapat berubah akibat kondisi lingkungan, kualitas antena, dan karakteristik observasi [5]-[7].

Kemampuan memperoleh hasil yang baik pada lingkungan relatif terbuka tidak dapat langsung digeneralisasikan untuk kondisi lain. Pengujian pada lingkungan bervegetasi menunjukkan bahwa hambatan terhadap penerimaan sinyal dapat memengaruhi kualitas RTK [10]. Hasil perangkat GNSS berbiaya rendah pada berbagai aplikasi juga menunjukkan bahwa performanya bergantung pada kondisi pengamatan dan konfigurasi perangkat [8], [9].

3.3. Presisi Tri Bhumi dan CHC i80

Presisi dinilai berdasarkan standar deviasi horizontal dari lima kali pengukuran berulang pada setiap titik. CHC i80 menghasilkan standar deviasi horizontal sebesar 0,68 cm pada Titik A, 1,73 cm pada Titik B, 0,27 cm pada Titik C, dan 1,11 cm pada Titik D. Tri Bhumi menghasilkan nilai 0,00 cm pada Titik A, 2,34 cm pada Titik B, 2,03 cm pada Titik C, dan 3,70 cm pada Titik D.

Pada Titik B, C, dan D, standar deviasi Tri Bhumi lebih besar daripada CHC i80. Hal ini menunjukkan bahwa pada tiga dari empat titik pengujian, hasil pengukuran CHC i80 memiliki keterulangan yang lebih stabil. Perbedaan paling besar terlihat pada Titik D, dengan standar deviasi Tri Bhumi 3,70 cm dan CHC i80 1,11 cm. Pada Titik C, CHC i80 juga menunjukkan kestabilan tinggi dengan standar deviasi 0,27 cm, sedangkan Tri Bhumi mencapai 2,03 cm.

Nilai standar deviasi Tri Bhumi sebesar 0,00 cm pada Titik A perlu dibaca secara hati-hati. Nilai tersebut terjadi karena lima koordinat yang tersimpan pada titik tersebut identik, bukan karena posisi yang dihasilkan tidak memiliki kesalahan. Hal ini terlihat dari RMSE horizontal Titik A yang masih sebesar 3,10 cm terhadap koordinat pembanding. Presisi yang tinggi tidak selalu menunjukkan akurasi yang tinggi karena kedua parameter menilai karakteristik yang berbeda.

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kemampuan Tri Bhumi memperoleh posisi pada tingkat sentimeter belum selalu diikuti oleh kestabilan hasil yang sama dengan perangkat geodetik profesional. Temuan ini juga mendukung hasil penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa *receiver* berbiaya rendah dapat memberikan hasil RTK yang baik, tetapi konsistensi pengukurannya masih sangat dipengaruhi oleh konfigurasi perangkat dan kondisi pengamatan [2]-[5].

Standar deviasi Tri Bhumi yang lebih besar pada Titik B, C, dan D menunjukkan bahwa kestabilan pengukuran masih menjadi aspek yang perlu diperhatikan. Kondisi tersebut sejalan dengan kajian yang menunjukkan bahwa kualitas observasi *receiver* berbiaya rendah pada umumnya masih lebih sensitif terhadap lingkungan dan karakteristik antena dibandingkan perangkat geodetik profesional [1], [5], [6].

3.4. Efisiensi Operasional

Efisiensi operasional dibandingkan berdasarkan waktu yang diperlukan untuk mencatat lima koordinat ketika kedua perangkat telah berada pada status RTK *fixed*. Durasi CHC i80 pada Titik A, B, C, dan D masing-masing sebesar 16, 16, 4, dan 11 detik. Tri Bhumi memerlukan waktu 17, 11, 5, dan 8 detik. Perbandingan durasi perekaman koordinat disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perbandingan Durasi Perekaman Koordinat

Titik	CHC i80 (detik)	Tri Bhumi (detik)	Selisih Waktu (detik)
A	16	17	1
B	16	11	-5
C	4	5	1
D	11	8	-3
Rata-rata	**11,75**	**10,25**	**-1,50**

Rata-rata waktu perekaman Tri Bhumi sebesar 10,25 detik per titik, sedangkan CHC i80 sebesar 11,75 detik per titik. Selisih rata-rata sebesar 1,50 detik atau sekitar 12,77% menunjukkan bahwa Tri Bhumi sedikit lebih cepat secara rata-rata. Perbedaan tersebut tidak terjadi pada seluruh titik. Pada Titik A dan C, Tri Bhumi justru membutuhkan waktu satu detik lebih lama daripada CHC i80.

Perbedaan waktu perekaman kedua perangkat relatif kecil sehingga hasil ini lebih tepat dipahami sebagai kesetaraan efisiensi operasional pada tahap pencatatan koordinat. Durasi yang dihitung tidak mencakup waktu sejak perangkat dinyalakan sampai memperoleh status *fixed*. Hasil penelitian ini karena itu tidak menggambarkan *time to first fix* atau keseluruhan waktu persiapan alat. Penilaian efisiensi terbatas pada kondisi ketika kedua perangkat telah siap merekam posisi.

3.5. Uji Statistik dan Kondisi PDOP

Uji *Welch's t-test* digunakan untuk melihat perbedaan rata-rata koordinat *Easting* dan *Northing* antara Tri Bhumi dan CHC i80 pada setiap titik. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada Titik A dan C, sedangkan pada Titik B dan D tidak ditemukan bukti statistik yang cukup untuk menyatakan adanya perbedaan rata-rata koordinat pada taraf signifikansi 5%. Hasil uji *Welch's t-test* disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Uji *Welch's t-test*

Titik	p-value *Easting*	p-value *Northing*	Hasil
A	<0,001	<0,001	H_0 ditolak
B	0,461	0,678	H_0 tidak ditolak
C	0,019	0,003	H_0 ditolak
D	0,651	0,565	H_0 tidak ditolak

Hasil pada Titik B dan D tidak berarti bahwa kedua perangkat menghasilkan koordinat yang sama. Keputusan H_0 tidak ditolak hanya menunjukkan bahwa berdasarkan lima pengukuran yang tersedia, belum terdapat bukti statistik yang cukup untuk menyatakan adanya perbedaan rata-rata koordinat. Sebaliknya, pada Titik A dan C, perbedaan rata-rata pada kedua komponen koordinat terdeteksi secara statistik.

Nilai PDOP rata-rata Tri Bhumi pada keseluruhan titik sebesar 1,2805, sedangkan CHC i80 sebesar 1,7106. Nilai PDOP Tri Bhumi yang lebih rendah tidak selalu menghasilkan RMSE atau standar deviasi yang lebih kecil. PDOP pada dasarnya memberikan informasi mengenai kekuatan geometri satelit yang digunakan dalam penentuan posisi [11], [12]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PDOP tidak dapat digunakan secara langsung untuk menyimpulkan kualitas koordinat karena faktor seperti multipath, karakteristik antena, kualitas observasi, dan koreksi RTK berpengaruh terhadap hasil posisi [1], [5], [15].

3.6. Evaluasi Kinerja dan Rekomendasi Penggunaan

Secara keseluruhan, Tri Bhumi mampu menghasilkan posisi pada tingkat sentimeter pada kondisi lingkungan relatif terbuka dengan koreksi NTRIP dan status solusi RTK *fixed*. RMSE horizontal berada pada rentang 2,23-3,97 cm dan waktu perekaman rata-ratanya sedikit lebih singkat daripada CHC i80. Keterbatasan utama terlihat pada aspek presisi karena standar deviasi Tri Bhumi lebih besar pada tiga dari empat titik pengujian. Perbedaan rata-rata koordinat yang signifikan pada Titik A dan C juga menunjukkan bahwa performa perangkat belum seragam pada seluruh titik.

Penilaian kinerja RTK juga perlu dilakukan melalui prosedur pengujian yang terukur dan tidak hanya didasarkan pada status solusi *fixed*. Evaluasi lapangan GNSS-RTK berdasarkan prosedur pengujian ketelitian telah dilakukan oleh Lee [13], sedangkan pengujian perangkat GNSS buatan dalam negeri oleh Sari dkk. [14] juga menunjukkan perlunya uji akurasi secara langsung sebelum perangkat digunakan untuk pekerjaan pemetaan.

Hasil tersebut digunakan untuk menyusun rekomendasi penggunaan Tri Bhumi pada beberapa jenis pekerjaan survei dan pemetaan. Rekomendasi ini dibatasi pada kondisi yang serupa dengan penelitian, yaitu lingkungan relatif terbuka, koreksi NTRIP yang stabil, dan perekaman ketika solusi RTK telah berada pada status *fixed*. Rekomendasi penggunaan RTK mini Tri Bhumi disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rekomendasi Penggunaan RTK Mini Tri Bhumi

Jenis Pekerjaan	Rekomendasi
Pengukuran bidang tanah	Direkomendasikan secara terbatas
Penetapan dan penegasan batas desa	Direkomendasikan secara terbatas
Pemetaan situasi/topografi	Direkomendasikan secara terbatas
Stake out	Direkomendasikan secara terbatas
Penentuan titik kontrol geodetik berketelitian tinggi	Tidak direkomendasikan berdasarkan hasil penelitian ini

Kategori "direkomendasikan secara terbatas" menunjukkan bahwa Tri Bhumi dapat dipertimbangkan untuk pekerjaan tersebut apabila toleransi pekerjaan masih sesuai dengan kemampuan perangkat dan kondisi pengamatan mendukung. Tri Bhumi tidak direkomendasikan sebagai perangkat utama untuk penentuan titik kontrol geodetik berketelitian tinggi. Penelitian ini tidak menguji pembentukan jaringan kontrol, pengamatan *baseline*, maupun proses penyesuaian jaringan. Oleh sebab itu, hasil penelitian tidak dapat digunakan untuk menyatakan kelayakan perangkat dalam pekerjaan kontrol geodetik presisi tinggi.

Rekomendasi tersebut juga tidak dapat digeneralisasikan untuk lingkungan dengan hambatan berat, kondisi *multipath* tinggi, jarak sumber koreksi yang jauh, atau sistem koreksi yang berbeda. Pengujian lebih lanjut pada kondisi lapangan yang lebih beragam diperlukan untuk menilai batas kinerja Tri Bhumi secara lebih menyeluruh.

Penggunaan Tri Bhumi untuk pengukuran bidang tanah ditempatkan pada kategori direkomendasikan secara terbatas. Pekerjaan pendaftaran tanah memiliki ketentuan teknis yang diatur dalam Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala BPN Nomor 16 Tahun 2021 [16]. Penelitian ini

hanya mengevaluasi kinerja posisi perangkat dan tidak menguji seluruh prosedur teknis maupun administratif pengukuran bidang tanah. Oleh karena itu, penggunaan Tri Bhumi tetap perlu disesuaikan dengan ketelitian dan prosedur yang berlaku pada pekerjaan tersebut.

Penetapan dan penegasan batas desa juga ditempatkan pada kategori direkomendasikan secara terbatas. Kegiatan tersebut tidak hanya melibatkan aspek pengukuran posisi, tetapi juga mengikuti tahapan teknis dan administratif sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 45 Tahun 2016 [17]. Hasil penelitian ini hanya memberikan gambaran kemampuan posisi Tri Bhumi dan tidak mengevaluasi seluruh proses penetapan maupun penegasan batas desa.

Penggunaan Tri Bhumi untuk pemetaan situasi atau topografi dapat dipertimbangkan secara terbatas dengan memperhatikan skala dan ketelitian produk peta yang akan dihasilkan. Ketelitian peta dasar di Indonesia diatur dalam Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 [18] dan perubahannya melalui Peraturan BIG Nomor 6 Tahun 2018 [19]. Penelitian ini tidak melakukan pengujian CE90 terhadap suatu produk peta pada skala tertentu, sehingga nilai RMSE hasil pengukuran tidak dapat langsung digunakan untuk menyatakan bahwa perangkat memenuhi seluruh kelas ketelitian peta.

Penggunaan Tri Bhumi untuk *stake out* juga perlu dibatasi pada pekerjaan yang toleransi teknisnya masih sesuai dengan ketelitian perangkat, karena kebutuhan ketelitian *stake out* berbeda menurut jenis pekerjaan konstruksi.

4. Kesimpulan

RTK mini berbiaya rendah Tri Bhumi mampu menghasilkan posisi pada tingkat sentimeter pada kondisi lingkungan relatif terbuka dengan koreksi NTRIP dan solusi RTK *fixed*. Nilai RMSE horizontal yang diperoleh berada pada rentang 2,23-3,97 cm. Hasil verifikasi CHC i80 terhadap BM 16.12.2022 menunjukkan selisih horizontal rata-rata sebesar 2,44 cm, sehingga rata-rata hasil CHC i80 pada setiap titik digunakan sebagai koordinat pembanding dalam analisis Tri Bhumi. Uji *Welch's t-test* menunjukkan perbedaan rata-rata koordinat yang signifikan pada Titik A dan C, sedangkan pada Titik B dan D belum ditemukan bukti statistik yang cukup untuk menyatakan adanya perbedaan rata-rata koordinat.

Pada aspek presisi, CHC i80 menunjukkan hasil yang lebih stabil pada tiga dari empat titik pengujian. Standar deviasi horizontal Tri Bhumi berada pada rentang 0,00-3,70 cm, sedangkan CHC i80 berada pada rentang 0,27-1,73 cm. Nilai standar deviasi 0,00 cm pada Titik A tidak menunjukkan bahwa hasil Tri Bhumi bebas kesalahan, karena RMSE horizontal pada titik tersebut masih sebesar 3,10 cm. Dari sisi efisiensi operasional, rata-rata waktu perekaman Tri Bhumi sebesar 10,25 detik per titik dan CHC i80 sebesar 11,75 detik per titik. Selisih waktu tersebut relatif kecil dan hanya menggambarkan tahap perekaman setelah kedua perangkat memperoleh status *fixed*. Berdasarkan hasil penelitian, Tri Bhumi dapat dipertimbangkan secara terbatas untuk pengukuran bidang tanah, penetapan dan penegasan batas desa, pemetaan situasi atau topografi, serta *stake out* pada kondisi yang sebanding dengan penelitian. Perangkat ini belum direkomendasikan sebagai perangkat utama untuk penentuan titik kontrol geodetik berketelitian tinggi.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Bandung serta Kantor Pertanahan Kabupaten Bandung atas dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu proses pengukuran dan pengumpulan data di lapangan.

6. Singkatan

GNSS	*Global Navigation Satellite System*
RTK	*Real Time Kinematic*
NTRIP	*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*
RMSE	*Root Mean Square Error*
SD	*Standard Deviation*
PDOP	*Position Dilution of Precision*
BM	*Benchmark*
CORS	*Continuously Operating Reference Station*

7. Daftar Pustaka

[1] V. Hamza, B. Stopar, O. Sterle, and P. Pavlovcic-Preseren, "Observations and positioning quality of low-cost GNSS receivers: A review," *GPS Solutions*, vol. 28, art. no. 149, 2024, doi: 10.1007/s10291-

024-01686-8.
[2] D. Janos and P. Kuras, "Evaluation of low-cost GNSS receiver under demanding conditions in RTK network mode," *Sensors*, vol. 21, no. 16, art. no. 5552, 2021, doi: 10.3390/s21165552.
[3] D. Janos, P. Kuras, and L. Ortyl, "Evaluation of low-cost RTK GNSS receiver in motion under demanding conditions," *Measurement*, vol. 201, art. no. 111647, 2022, doi: 10.1016/j.measurement.2022.111647.
[4] V. Hamza, B. Stopar, O. Sterle, and P. Pavlovcic-Preseren, "Low-cost dual-frequency GNSS receivers and antennas for surveying in urban areas," *Sensors*, vol. 23, no. 5, art. no. 2861, 2023, doi: 10.3390/s23052861.
[5] G. Krzan, K. Dawidowicz, and J. Paziewski, "Low-cost GNSS antennas in precise positioning: A focus on multipath and antenna phase center models," *GPS Solutions*, vol. 28, art. no. 103, 2024, doi: 10.1007/s10291-024-01645-3.
[6] K. Dawidowicz, J. Paziewski, K. Stępniak, and G. Krzan, "On the applicability of low-cost GNSS antennas to precise surveying applications," *Measurement Science and Technology*, vol. 36, no. 1, art. no. 016306, 2025, doi: 10.1088/1361-6501/ad83e7.
[7] L. Li, Y. Yuan, and P. Zhang, "On low-cost GNSS observables under different grades of antennas: Receiver-related biases and RTK results," *Measurement*, vol. 214, art. no. 112771, 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.112771.
[8] 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, art. no. 100004, 2021, doi: 10.1016/j.atech.2021.100004.
[9] L. Wanninger, A. Heßelbarth, and V. Frevert, "Garmin GPSMAP 66sr: Assessment of its GNSS observations and centimeter-accurate positioning," *Sensors*, vol. 22, no. 5, art. no. 1964, 2022, doi: 10.3390/s22051964.
[10] M. Cateanu and M. A. Moroianu, "Performance evaluation of Real-Time Kinematic Global Navigation Satellite System with survey-grade receivers and short observation times in forested areas," *Sensors*, vol. 24, no. 19, art. no. 6404, 2024, doi: 10.3390/s24196404.
[11] J. Jang, D. Park, S. Sung, and Y. J. Lee, "HDOP and VDOP analysis in an ideal placement environment for dual GNSSs," *Sensors*, vol. 22, no. 9, art. no. 3475, 2022, doi: 10.3390/s22093475.
[12] M. Alghisi and L. Biagi, "Positioning with GNSS and 5G: Analysis of geometric accuracy in urban scenarios," *Sensors*, vol. 23, no. 4, art. no. 2181, 2023, doi: 10.3390/s23042181.
[13] H. Lee, "Field tests for accuracy of GNSS-RTK surveys by ISO 17123-8 standard," *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, vol. 40, no. 4, pp. 333–342, 2022, doi: 10.7848/ksgpc.2022.40.4.333.
[14] E. F. Sari et al., "Uji akurasi GNSS TGS EQ1: Perangkat GNSS dalam negeri akurasi tinggi sebagai upaya percepatan pemetaan desa secara mandiri," *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 135–143, 2025, doi: 10.22146/jgise.102396.
[15] A. Sukhenko, N. Meirambekuly, A. Syzdykov, A. Mukhamedgali, and Y. Mellatova, "GNSS for high-precision and reliable positioning: A review of correction techniques and system architectures," *Applied Sciences*, vol. 15, no. 22, art. no. 12304, 2025, doi: 10.3390/app152212304.
[16] Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2021 tentang Perubahan Ketiga atas Peraturan Menteri Negara Agraria/Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 3 Tahun 1997 tentang Ketentuan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 24 Tahun 1997 tentang Pendaftaran Tanah*, 2021.
[17] Kementerian Dalam Negeri Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 45 Tahun 2016 tentang Pedoman Penetapan dan Penegasan Batas Desa*, 2016.
[18] Badan Informasi Geospasial, *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*, 2014.
[19] Badan Informasi Geospasial, *Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*, 2018.