

Original Article

e-ISSN: 2581-0545 - <https://journal.itera.ac.id/index.php/jsat/>

Received 19th October 2023
Accepted 13th February 2024
Published 30th June 2024

Open Access

DOI: [10.35472/jsat.v8i1.1635](https://doi.org/10.35472/jsat.v8i1.1635)

Studi Komparasi untuk *As-built Survey* dan Pengawasan Deformasi dari Gedung: Metode Terestris vs Metode Satelit di Gedung Kuliah Umum (GKU) Institut Teknologi Sumatera

Zulfikar Adlan Nadzir

Program Studi Teknik Geomatika, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan 356365, Indonesia.

* Corresponding E-mail: zulfikar.nadzir@gt.itera.ac.id

Abstract: Infrastructure development is one of the main points of the program by the Indonesian government, outlined in Nawacita. One of the manifestations of this program in 2019 was the construction of the Gedung Kuliah Umum (GKU) at the Institut Teknologi Sumatera (Itera). As an effort to realize sustainable development, Geodetic surveys named '*as-built surveys*' and periodic deformation observations need to be conducted. Both surveys can be done by terrestrial method using total station and satellite method using GPS-RTK. In this article, an analysis of the accuracy, precision and efficiency of the terrestrial method and satellite method for *as-built survey* and deformation observation at GKU Itera is reported along with a comparison between deformation calculation and direct observation. It was found that the terrestrial method produced better accuracy and precision level (19,5 cm compared to 43,3 cm) than the satellite method with 95% confidence level. In addition, the terrestrial method produces 3 times more data than the satellite method, although on the other hand, the total observation time of the terrestrial method is 100% longer than the satellite method. These results show that periodic monitoring is important for detecting the degree of deformation and realizing sustainable development. In addition, the terrestrial method is more suitable for accurate and precise periodic surveillance of a building than the satellite method. These findings could act as a contribution towards better sustainable deformation monitoring of a building and to underline the importance of having such periodic observations.

Keywords: *as built survey, deformation monitoring, accuracy test, gnss, total station, sustainable construction*

Abstrak: Pembangunan infrastruktur adalah satu poin utama dari program oleh pemerintah Indonesia, diuraikan dalam Nawacita. Salah satu perwujudan program ini pada tahun 2019 adalah terbangunnya Gedung Kuliah Umum (GKU) di Institut Teknologi Sumatera (Itera). Sebagai upaya untuk mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan, survei Geodetik bernama *as-built survey* dan pengamatan deformasi berkala perlu dilakukan. Kedua survey ini dapat dilakukan dengan metode terestris menggunakan alat total station dan metode satelit dengan alat GPS-RTK. Pada artikel ini, dilaporkan sebuah analisis terhadap tingkat ketelitian, presisi dan efisiensi dari metode terestris dan metode satelit untuk *as-built survey* dan pengamatan deformasi pada GKU Itera beserta dengan perbandingan antara hitungan deformasi dan pengamatan langsung. Ditemukan bahwa metode terestris menghasilkan tingkat akurasi dan presisi yang lebih baik (19,5 cm dibanding 43,3 cm) dibandingkan dengan metode satelit dengan tingkat kepercayaan 95%. Ditambah lagi, metode terestris menghasilkan jumlah data 3 kali lebih banyak daripada metode satelit, walaupun di sisi lain, total waktu pengamatan dari metode terestris lebih lama 100% daripada metode satelit. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pengawasan secara berkala penting untuk mendeteksi tingkat deformasi dan mewujudkan proses pembangunan yang berkelanjutan. Selain itu, metode terestris lebih tepat untuk digunakan pada proses pengawasan berkala dari sebuah gedung yang akurat dan tepat dibandingkan dengan metode satelit. Temuan ini menjadi kontribusi untuk mengawali studi pengawasan deformasi berkelanjutan pada GKU Itera dan menggaris bawahi pentingnya proses pengawasan tersebut.

Kata Kunci : *as-built survey, pengawasan deformasi, uji akurasi, gnss, total station, pembangunan berkelanjutan*



Pendahuluan

Pembangunan adalah sebuah proses pengembangan dari berbagai hal meliputi aspek politik, ekonomi, pertahanan, pendidikan, infrastruktur, pendidikan dan teknologi secara terencana ke arah yang lebih maju [1]. Salah satu elemen dari pembangunan sesuai definisi di atas adalah infrastruktur, yang memiliki arti sebagai sebuah kebutuhan fundamental fisik yang diperlukan sebagai jaminan ekonomi multi-sektor [2]. Hal ini berlaku sebagai layanan dan fasilitas penting untuk menjaga bergeraknya roda ekonomi. Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur diperlukan untuk mendukung sektor ekonomi secara terencana dan berkelanjutan yang meliputi aspek multi-temporal: perencanaan (pra-pembangunan), pembangunan, dan pasca-pembangunan. Ketiga bagian pembangunan di atas tidak dapat dipisahkan satu sama lain dan dapat diwujudkan dalam bentuk pengawalan secara berkala dan teratur, contohnya adalah proses *as-built survey* pada proses pasca-pembangunan.

Secara spesifik di Indonesia, pembangunan infrastruktur pada tahun 2015-2023 terjadi dengan cukup pesat dan menjadi salah satu fokus utama pemerintah dalam Nawacita (9 harapan pemerintah Indonesia) [3]. Salah satu bentuk upaya pembangunan infrastruktur yang dilaksanakan pemerintah Indonesia adalah melalui skema Surat Berharga Syariah Negara (SBSN), yang mana pada tahun 2018, dilaksanakan pembangunan di Institut Teknologi Sumatera (ITERA) [4]. Dana SBSN tersebut di Itera digunakan untuk pembangunan dua Gedung, yaitu Gedung Kuliah Umum (GKU) dan Laboratorium Teknik 1 (Labtek 1), yang selesai dan diresmikan pada bulan Januari 2019 [5]. Dalam proses pembangunan kedua gedung ini, sama halnya seperti kondisi umum proses pembangunan di Indonesia, berakhir pada proses pembangunan saja, tanpa adanya proses pengawalan pasca-pembangunan. Hal ini terjadi dikarenakan beberapa faktor, salah satunya adalah belum adanya kesadaran akan pentingnya data dari pengawalan berkala dan juga belum meluasnya konsep pembangunan secara cerdas menggunakan *Building Information Management* (BIM) dan WebGIS [6].

Pemetaan merupakan suatu pekerjaan pembuatan gambar keadaan permukaan bumi melalui pengukuran-pengukuran geodesi pada titik-titik permukaan bumi yang telah ditentukan. Definisi lainnya, yaitu *surveying* menurut Wolf dan Ghilani [7] adalah sebuah ilmu, seni dan teknologi dalam menentukan posisi relatif dari sebuah titik di atas, pada permukaan maupun di bawah

bumi. Prinsip dasar dari pemetaan adalah pengukuran sudut dan jarak untuk menentukan posisi dari suatu titik. Jika dua sudut dan satu sisi dari sebuah segitiga diketahui, maka semua sudut dan jarak dari segitiga tersebut dapat ditentukan. Dengan demikian untuk mendapatkan koordinat suatu titik dapat dilakukan dengan cara mengukur sudut dan jarak dari titik yang sudah diketahui koordinatnya [8]. Terdapat dua metode yang umum digunakan dalam pemetaan, yaitu metode terestris dan metode satelit. Pada metode terestris, pengukuran posisi dilaksanakan langsung di lapangan dan menggunakan alat yang mengukur sudut dan jarak, seperti meteran dan busur, Theodolite, atau yang paling canggih, Total Station (TS). Pengukuran jarak adalah basis seluruh pengukuran tanah. Walaupun sudut-sudut dapat dibaca seksama dengan peralatan rumit, paling sedikit ada sebuah garis harus diukur panjangnya untuk melengkapi sudut-sudut dalam penentuan lokasi titik-titik [9]. Sedangkan pada metode Satelit, pengukuran menggunakan bantuan dari satelit yang berputar/mengorbit di dekat Bumi, dengan berbagai alternatif sistem, seperti *Global Positioning System* (GPS), GLONASS, GALILEO dan COMPASS. GPS adalah suatu sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Penentuan posisi secara kinematik (*Kinematic Positioning*) adalah penentuan posisi dari titik-titik yang bergerak. Hasil penentuan posisi bisa didapatkan saat pengamatan (*real-time*) ataupun sesudah pengamatan (*post-processing*). Pada sisi lain, metode *real-time differential positioning* diperlukan komunikasi data antara stasiun referensi dengan *receiver* yang bergerak [10]. Pemilihan penggunaan metode-metode di atas disesuaikan dengan kondisi lapangan dan kebutuhan. Salah satu aplikasi dari penggunaan metode terestris dan satelit dalam konteks pengawasan pembangunan adalah pada tahap *as-built survey* dan pengawasan deformasi [11].

As-built survey adalah sebuah proses yang dilaksanakan setelah gedung berhasil dibangun, dimana dilakukan proses survei atau pengukuran terhadap bentuk dan muka gedung yang terbangun, untuk mendapatkan koordinat dan ketinggian dari titik-titik penting dan kritis dari gedung tersebut [12]. Di sisi lain, pengamatan deformasi adalah salah satu proses berkala yang penting dilakukan pada bangunan untuk mendapatkan nilai perubahan posisi horizontal dan vertikal dalam rangka pemeliharaan [13]. Proses *as-built survey* dan pengawasan deformasi sangatlah tergantung pada ketelitian pengukuran, waktu yang dibutuhkan dalam proses pengukuran dan biaya yang dibutuhkan dalam

pengerjaanya. Pada kedua proses tersebut, metode terestris dan satelit sama-sama digunakan, dengan perbedaan yang signifikan. Secara umum, semakin canggih alat yang digunakan, semakin baik pula tingkat ketelitian dan efektivitas dari metode tersebut. Hanya saja, seperti yang sudah dilakukan oleh Chekole [14] dan Jayapalan [15], ketelitian dari metode-metode yang disebutkan di atas walaupun hampir sama, masih dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti visibilitas satelit dan aksesibilitas lokasi. Oleh karena itu, penelitian mengenai ketelitian dan efektivitas dari kedua metode dalam mengukur posisi dari titik-titik penting pada sebuah bangunan diperlukan sebagai awalan untuk proses pembangunan infrastruktur berkelanjutan, khususnya sebagai usaha untuk memiliki daftar koordinat seiring berjalannya waktu.

Penelitian ini merupakan salah satu penelitian aplikatif yang bertemakan pengujian tingkat akurasi, presisi dan efektivitas waktu dari dua metode pengukuran terhadap bangunan yang baru dibangun dan perbandingan deformasi hitungan dan pengamatan. Tujuannya adalah menemukan metode yang paling tepat dari metode satelit dan terestris untuk *as-built survey* dan pengawasan deformasi di GKU Institut Teknologi Sumatera. Pemilihan GKU didasarkan pada ketersediaan data desain dan faktor kemudahan akses. Selain itu, penggunaan GKU berdasar pada asumsi terjadinya deformasi dan ketidakstabilan yang dirasakan beberapa pengguna GKU. Penentuan tingkat akurasi dan presisi dilakukan dengan parameter standar deviasi antara data desain dengan data pengukuran dengan rentang kepercayaan sebesar 95% dan jumlah data pengamatan yang didapatkan dari kedua metode. Selain itu, efektivitas ditentukan dari jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pengukuran dari kedua metode. Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai *proof of concept* dan menjadi data awal dalam proses pengawasan (*monitoring*) secara berkelanjutan (*regular and multi-years*) dari GKU Institut Teknologi Sumatera.

Metode

Lokasi

GPU ITERA yang berlokasi di kompleks kampus ITERA digunakan sebagai lokasi dari penelitian, tergambar pada Gambar 1. GPU ITERA memiliki koordinat geografis 5,356° Lintang Selatan dan 103,315° Bujur Timur, dalam sistem proyeksi koordinat *Universal Transverse*

Mercator (UTM) terletak pada zona 48 Selatan (48S) dengan koordinat 534.350 E dan 9.407.420 N dengan tampak atas yang tergambar pada Gambar 2. Pemilihan GPU ITERA ini dilandaskan dari usaha *proof of concept* dan awalan dari pengawasan berkelanjutan, keduanya merupakan tujuan dari penelitian.

Peralatan

Metode terestris dalam penelitian ini menggunakan alat *Total Station* GTS-235 dengan tingkat ketelitian alat sebesar 1" dan 3 cm untuk jarak 500 m.



Gambar 1. Tampak depan GPU ITERA.



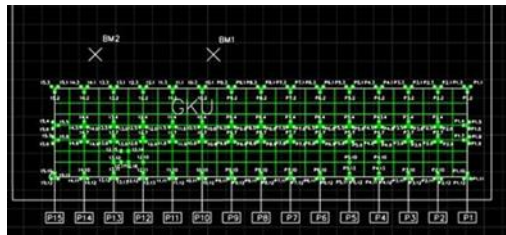
Gambar 2. Tampak atas GPU ITERA.

Sedangkan, satu set *receiver* GPS Topcon HiPer II digunakan dalam metode satelit, dengan tingkat ketelitian alat sebesar 5 mm untuk metode RTK (*real-time kinematic*). Spesifikasi kedua alat di atas mengakibatkan bahwa pada penelitian ini, secara pra-analisis, tingkat ketelitian maksimal yang bisa didapatkan untuk metode terestris adalah 6 mm dan metode satelit sebesar 5 mm. Hitungan pra-analisis ini digunakan sebagai usaha untuk memberikan kondisi yang sama secara matematis pada kedua metode. Sebagai titik kontrol pengamatan, dua titik kontrol tetap

ITERA (ITR-2 dan ITR-11) dengan asumsi tingkat ketelitian 1 cm digunakan.

Prosedur Pengamatan

Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menentukan titik-titik penting sebagai target pengamatan dan hitungan deformasi teoretis. 34 titik-titik desain pilar yang didapatkan lokasi desainnya dari *site plan* digunakan, tergambar pada Gambar 3 dengan nomor P1 sampai P15 yang mewakili titik pusat pilar. Sebagai catatan, titik-titik desain tersebut perlu didekati dengan titik-titik bantuan apabila tidak dapat diakses dalam tahap pengukuran. Selanjutnya, beberapa titik berdiri alat terestris sebagai bagian utama dari proses pengamatan ditentukan, seperti tergambar pada Gambar 4 dan terdaftar pada Tabel 1. Penentuan titik berdiri alat terestris ini dilakukan karena lokasi referensi BM1 dan BM2 pada Gambar 3 tidak terdapat lokasi fisiknya lagi. Pemilihan 6 titik pengamatan ini dilakukan sesuai dengan hitungan pra-analisis, yaitu kurang dari 100 meter, dapat mengamati titik-titik minimal 2 kali untuk redundansi, dan tidak terdapat obstruksi (halangan), serta tidak mengganggu kegiatan pihak lain di area GUKU ITERA.



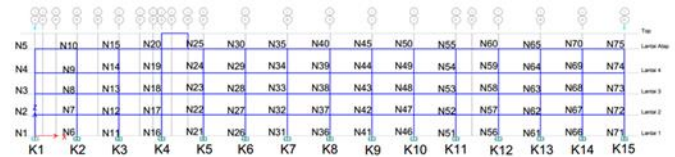
Gambar 3. Site plan GUKU ITERA tampak atas dengan P1 sampai P15 dan titik hijau lainnya adalah titik desain pilar bangunan.



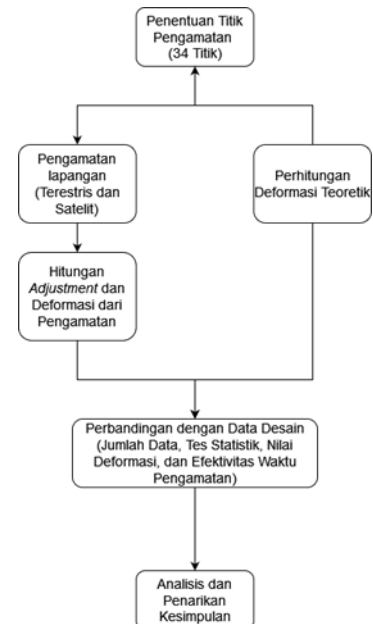
Gambar 4. Titik-titik pengamatan pada metode Terestris.

Tabel 1. Koordinat titik pengamatan.

| Nomor titik | Koordinat | |
|-------------|-----------|------------|
| | X (m) | Y (m) |
| Titik 1 | 534469,59 | 9407470,90 |
| Titik 2 | 534389,82 | 9407453,11 |
| Titik 3 | 534316,99 | 9407464,00 |
| Titik 4 | 534324,50 | 9407405,73 |
| Titik 5 | 534381,74 | 9407402,49 |
| Titik 6 | 534460,64 | 9407409,83 |



Gambar 5. Titik-titik hitungan deformasi teoretis tampak depan dengan titik K1 sampai K15 adalah titik yang sama dengan P1 sampai P15



Gambar 6. Diagram alir penelitian.

Selain pengamatan secara terestris dan satelit, perhitungan deformasi secara teoretis juga dilakukan secara struktural untuk GUKU ITERA, dengan pembagian titik yang tergambar pada Gambar 5. Perhitungan deformasi teoretis ini dibagi menjadi kondisi beban penuh (siang hari) dan kondisi beban kosong (pagi hari). Sebagai perbandingan, pengamatan terestris dan satelit diasumsikan dalam kondisi beban penuh. Seluruh tahapan dari pengamatan dan pengolahan data tergambar pada diagram alir di Gambar 6.

Pengolahan Data

Koordinat-koordinat yang didapatkan dari pengamatan menggunakan metode terestris dan satelit awalnya dilakukan proses *adjustment* yang sesuai dengan teorema kuadrat terkecil (*least square adjustment*) yang tertulis pada persamaan 1 di bawah ini [16], dengan \hat{x} sebagai nilai estimasi dari parameter (koordinat tiap titik pilar) dan \hat{y} sebagai residual atau nilai kesalahan pengamatan untuk setiap titik pilar. Kesalahan pengamatan dapat juga dihitung menggunakan rumus standar deviasi (STD) pada persamaan 2. Nilai σ ini merupakan parameter tingkat presisi pengamatan, yang mana tergantung pada jumlah pengamatan di satu titik pilar (N).

$$\tilde{\omega} + A\hat{x} + B\hat{y} = 0 \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (2)$$

Proses selanjutnya adalah melakukan proses perbandingan antara data pengamatan kedua metode dengan data *site plan* GKU ITERA, ditulis pada persamaan 3 untuk kedua sumbu, X dan Y. Parameter selisih ini digunakan sebagai penentu tingkat ketelitian yang mana didetailkan lebih jauh dengan tes statistik menggunakan tingkat kepercayaan 95% (dan nilai c terkait) yang terwakili pada persamaan 4.

$$\Delta x_k = \hat{x}_k - \hat{x}_k \quad (3)$$

pengamatan pada sebuah titik pilar dianggap teliti (H_0) apabila memasuki selisih

$$\hat{y}_k - \frac{c\hat{y}_k}{\sqrt{N}} \leq \Delta x_k \leq \hat{y}_k + \frac{c\hat{y}_k}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

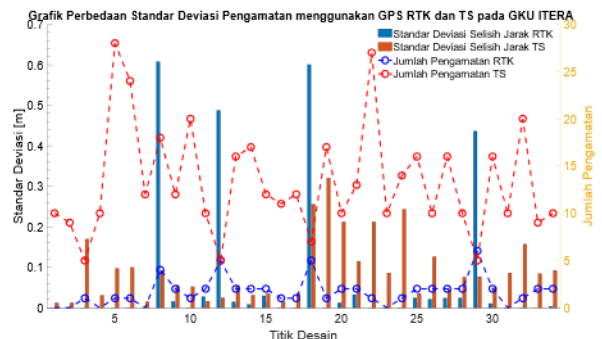
Setelah proses di atas, selisih pada sumbu X dan sumbu Y dari pengamatan dan pembanding lalu dianggap sebagai deformasi, yang mana lalu dibandingkan dengan nilai deformasi teoretis pada sumbu yang sama. Pengolahan data ditutup dengan penentuan tingkat efisiensi dari dua metode menggunakan total waktu $\sum t_j$ dengan j sebagai jumlah proses pengamatan dari masing-masing metode.

Hasil dan Diskusi

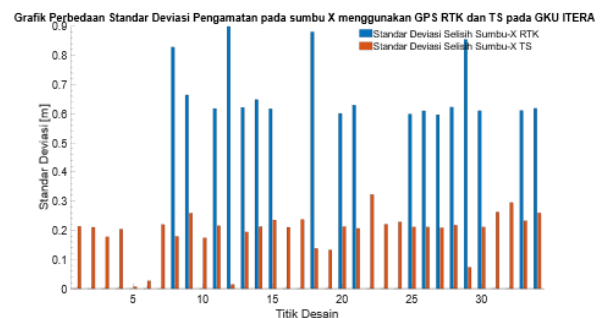
Jumlah Data dan Elips Kesalahan

Hasil pengamatan dari kedua metode yang telah menjalani proses di persamaan 1 dikelompokkan berdasarkan jumlah data (N) dari setiap titik pilar dan nilai standar deviasinya (σ) pada Gambar 7. Dapat dilihat dalam grafik bahwa jumlah data dari metode terestris di

warna merah secara konsisten berjumlah 3-4 kali lipat lebih banyak daripada data dari metode satelit yang berwarna biru. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode terestris lebih *reliable* untuk meminimalisir kesalahan acak karena memiliki lebih banyak pengukuran redundan untuk masing-masing titik pengamatan. Selain itu, menilik grafik batang di Gambar 7 yang mewakili nilai standar deviasi tiap titik, bisa dilihat bahwa batang berwarna oranye (dari metode terestris) secara jumlah lebih banyak daripada batang berwarna biru (dari metode satelit), dan juga secara konsisten memiliki nilai yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa selain lebih *reliable*, metode terestris sedikit lebih baik daripada metode satelit dalam parameter tingkat presisi, dengan selisih standar deviasi pada tingkat milimeter (16,35 cm untuk metode terestris dibanding dengan 17,17 cm untuk metode satelit). Melihat standar deviasi pada setiap sumbu (X dan Y, pada Gambar 8), ditemukan bahwa metode terestris yang berwarna oranye memiliki nilai yang lebih kecil secara konsisten (19,5 cm v 43,3 cm) daripada metode satelit dengan batang berwarna biru, walaupun perlu diperhatikan bahwa selisih dari standar deviasi dalam kedua metode di sumbu Y lebih kecil daripada perbedaan standar deviasi di sumbu X. Dengan kata lain, sumbu Y bertindak sebagai jari-jari besar pada elips kesalahan masing-masing titik pengamatan.



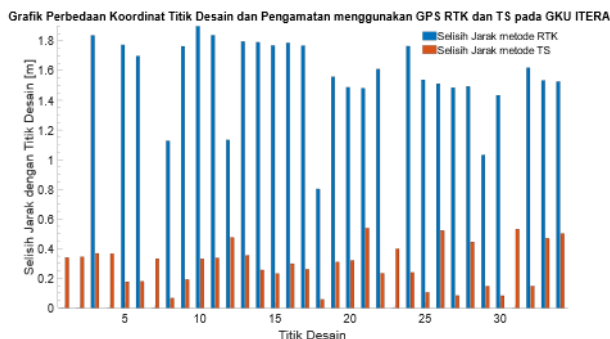
Gambar 7. Grafik jumlah pengamatan di setiap titik beserta standar deviasi dari setiap titik.



Gambar 8. Grafik standar deviasi pada sumbu X untuk kedua metode pengamatan.

Selisih koordinat dan tes statistik dengan tingkat kepercayaan 95%

Selanjutnya, menggunakan selisih Δx_k dari setiap sumbu yang tergambar pada Gambar 9 dan Tabel 2, ditemukan bahwa hasil metode terestris memiliki rerata nilai 29,5 cm, sedangkan metode satelit bernilai 5 kali lipat (156,7 cm), yang mana secara tren senada dengan hasil dari perbandingan jumlah data dan tingkat presisi. Mengingat selisih ini adalah parameter yang mewakili tingkat akurasi, ketika digabungkan dengan hasil perbandingan dari standar deviasi setiap titik (tingkat presisi), ditemukan bahwa metode terestris lebih teliti dan presisi dibandingkan hasil dari metode satelit, satu suara dengan hasil penelitian terdahulu yang menyampaikan bahwa metode terestris lebih unggul secara presisi dan akurasi dibanding metode satelit [14] [15]. Lebih detail, menggunakan tingkat kepercayaan 95% pada Gambar 10, ditemukan bahwa metode terestris memiliki jumlah titik yang diterima hipotesis awalnya sebesar 76,5% dibandingkan dengan 67,8% dari hasil metode satelit. Contoh dari hasil test statistik 95% tergambar pada Gambar 11, dengan rentang 95% terwakili oleh warna oranye muda. Hasil-hasil di atas kembali mendukung temuan awal bahwa metode terestris memiliki tingkat presisi, tingkat akurasi dan masuk dalam rentang kepercayaan 95% lebih baik daripada hasil pengamatan dari metode satelit.

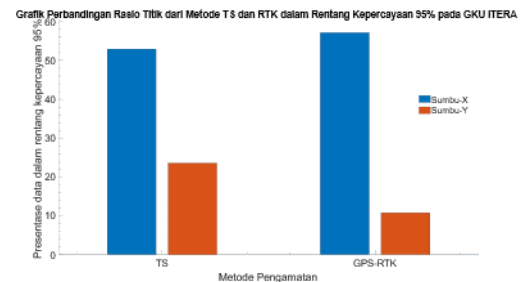


Gambar 9. Grafik selisih rerata kedua metode pengamatan dengan data *site plan* GKU ITERA.

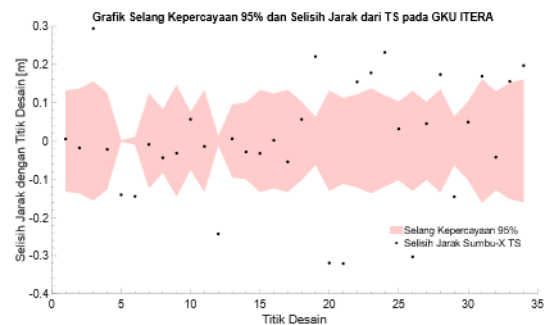
Tabel 2. Tabel selisih jarak per-titik dari dua metode (terestris dan satelit).

| Nomor | Selisih Jarak (cm) | | Nomor | Selisih Jarak (cm) | |
|---------|--------------------|---------|----------|--------------------|---------|
| | TS | RTK | | TS | RTK |
| Titik 1 | 33.954 | NaN | Titik 18 | 5.650 | 80.156 |
| Titik 2 | 34.349 | NaN | Titik 19 | 30.939 | 155.748 |
| Titik 3 | 36.748 | 183.734 | Titik 20 | 31.940 | 148.757 |
| Titik 4 | 36.548 | NaN | Titik 21 | 53.834 | 148.079 |
| Titik 5 | 17.594 | 177.334 | Titik 22 | 23.291 | 160.963 |

| Nomor | Selisih Jarak (cm) | | Nomor | Selisih Jarak (cm) | |
|----------|--------------------|---------|----------|--------------------|---------|
| | TS | RTK | | TS | RTK |
| Titik 6 | 17.822 | 169.846 | Titik 23 | 39.900 | NaN |
| Titik 7 | 33.238 | NaN | Titik 24 | 23.908 | 176.432 |
| Titik 8 | 6.531 | 112.620 | Titik 25 | 10.441 | 153.802 |
| Titik 9 | 19.206 | 176.394 | Titik 26 | 52.237 | 151.151 |
| Titik 10 | 33.067 | 191.112 | Titik 27 | 8.264 | 148.511 |
| Titik 11 | 33.651 | 183.889 | Titik 28 | 44.426 | 149.383 |
| Titik 12 | 47.474 | 113.166 | Titik 29 | 14.636 | 103.111 |
| Titik 13 | 35.367 | 179.715 | Titik 30 | 8.165 | 143.388 |
| Titik 14 | 25.522 | 179.074 | Titik 31 | 53.101 | NaN |
| Titik 15 | 23.077 | 176.969 | Titik 32 | 14.646 | 161.938 |
| Titik 16 | 29.773 | 178.702 | Titik 33 | 46.966 | 153.325 |
| Titik 17 | 26.002 | 176.844 | Titik 34 | 50.072 | 152.615 |



Gambar 10. Grafik batang perbandingan hasil tes statistik 95% untuk kedua metode pengamatan.



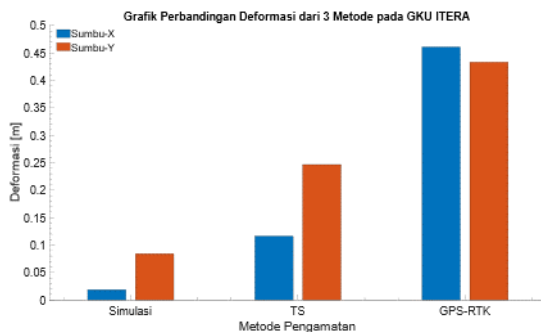
Gambar 11. Plot tingkat kepercayaan 95% pada sumbu X.

Deformasi dari pengamatan v deformasi teoretis

Perbandingan dari selisih koordinat dari pengamatan kedua metode yang diasumsikan sebagai nilai deformasi observasi ($\Delta x_{\Delta t}$) dengan nilai deformasi teoretis tergambar pada Gambar 12 dan Tabel 3. Ditemukan bahwa deformasi pengamatan bernilai 10 kali lebih besar daripada deformasi teoretis. Perbedaan yang besar ini perlu penelitian lebih lanjut, yang mana untuk sekarang dapat diatribusikan pada jumlah parameter yang digunakan dalam proses simulasi. Setelah dipisahkan untuk masing-masing sumbu, didapatkan bahwa nilai dari sumbu Y lebih besar deformasinya daripada nilai deformasi dari sumbu X.

Tabel 3. Nilai rerata deformasi dari ketiga metode yang berbeda.

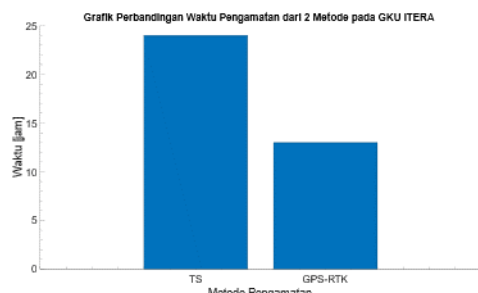
| Metode | Sumbu-X [cm] | Sumbu-Y [cm] |
|-----------|--------------|--------------|
| Simulasi | 1.849 | 8.392 |
| Terestris | 11.60 | 24.64 |
| Satelit | 46.08 | 43.32 |



Gambar 12. Grafik perbandingan deformasi simulasi v dua metode pengamatan.

Efektivitas waktu pengamatan

Perbandingan selanjutnya digunakan untuk menentukan tingkat efektivitas kedua metode pengamatan menggunakan waktu observasi sebagai parameter pada Gambar 13. Ditemukan bahwa metode terestris membutuhkan, secara rata-rata, waktu pengamatan 2 kali lipat dibandingkan dengan metode satelit, lebih tepatnya 24 jam dalam 5 kali pengamatan dibandingkan dengan 13 jam dari 3 pengamatan. Temuan di bagian ini berbeda dengan hasil di bagian sebelumnya yang cenderung bernilai lebih baik untuk metode terestris.



Gambar 13. Grafik perbandingan waktu pengamatan dari kedua metode.

Kesimpulan

Hasil-hasil dan analisis yang sudah dilakukan terhadap beberapa parameter presisi, akurasi dan efektivitas menunjukkan bahwa metode terestris memiliki tingkat presisi dan akurasi yang lebih baik daripada metode satelit. Di sisi lain, dalam konteks efektivitas, metode

satelit lebih unggul daripada metode terestris, ditandai dengan waktu pengamatan yang lebih kecil. Selanjutnya, dibanding dengan nilai deformasi teoretis, hasil deformasi pengamatan memiliki nilai 10 kali lebih besar, menunjukkan pentingnya memiliki nilai koordinat dari titik-titik kritis sebuah gedung dalam rangka melakukan pengawasan secara berkelanjutan. Selanjutnya, ditemukan pula bahwa sumbu-X memiliki tingkat presisi dan ketelitian yang lebih baik dibanding sumbu-Y, yang mana berhubungan dengan ditemukannya tingkat deformasi yang lebih besar di sumbu-Y dibandingkan dengan sumbu-X. Terakhir, studi ini menemukan bahwa metode terestris adalah metode yang lebih tepat digunakan jika seseorang mencari tingkat presisi dan akurasi yang baik. Tetapi, jika seseorang mencari pengamatan dengan waktu yang lebih singkat, metode satelit adalah pilihannya. Terlebih lagi, penelitian ini menunjukkan pentingnya proses *as-built survey* secara berkala, dimulai sejak terbangunnya sebuah gedung, sebagai usaha pengawasan gedung secara berkelanjutan. Dalam kata lain, pengamatan langsung dapat melengkapi simulasi deformasi sebagai informasi kesehatan dari sebuah gedung.

Konflik Kepentingan

Penulis dengan ini menyatakan bahwa dalam penelitian yang dilakukan ini tidak ada konflik kepentingan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis (Z.A.N) mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas program Hibah Penelitian Institut Teknologi Sumatera Tahun 2019 dengan nomor kontrak B/366/IT9.C1/PT.01.03/2019 yang telah menjadikan penelitian ini terwujud dan berjalan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] G. Kartasmita, PEMBANGUNAN : KONSEP DAN IMPLIKASI, Jogjakarta: Jurusan Manajemen dan kebijakan Publik, Fakultas Ilmu Sosial dan Politik, Universitas Gadjah Mada, 2011.
- [2] A. O'Sullivan and S. M. Sheffrin, Economics: Principles in Action, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2003.
- [3] Kementerian Komunikasi dan Informatika, [Online]. Available: <https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/KSP%20%20Tahun%20Jokowi%20JK.pdf>. [Accessed 10 March 2019]
- [4] Biro Kerja Sama dan Komunikasi Publik Ristekdikti, "Melalui Skema Dana SBSN, Menristekdikti Akan Lakukan Pengawasan Pembangunan di Perguruan Tinggi," 21 December 2018.

- [Online]. Available: <https://ristekdikti.go.id/kabar/melalui-skema-dana-sbsn-menristekdikti-akan-lakukan-pengawasan-pembangunan-di-perguruan-tinggi/>. [Accessed 12 March 2019].
- [5] Institut Teknologi Sumatera, “Resmikan GKU dan Labtek, Menristekdikti Dorong Terwujudnya ITERA for Sumatera,” 19 January 2019. [Online]. Available: <https://www.itera.ac.id/resmikan-gku-dan-labtek-menristekdikti-dorong-terwujudnya-itera-sumatera/>. [Accessed 12 March 2019].
- [6] Z. A. Nadzir, T. K. Welly, M. U. Nuha, E. L. Isnaini, R. A. Yudanegara, A. P. Nugroho and O. Anggara, “Smart Village Map: Peta Desa Way Huwi Berbasis Web Untuk Pembangunan Berkelanjutan,” *TeknoKreatif: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 2, pp. 149-158, 2021.
- [7] C. D. Ghilani and P. R. Wolf, *Elementary Surveying: an Introduction to Geomatics*, New Jersey: Pearson Education Inc., 2012.
- [8] S. Wongsotjitro, *Ilmu Ukur Tanah*, Yogyakarta: Kanisius, 2002.
- [9] C. S. Nurjati, *Ilmu Ukur Tanah 1*, Surabaya: Program Studi Teknik Geomatika FTSP ITS, 2004.
- [10] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and E. Wasle, *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Vienna: Springer-Verlag, 2007.
- [11] I. da Silva, W. Ibañez and G. Poleszuk, “Experience of Using Total Station and GNSS Technologies for Tall Building Construction Monitoring,” in *Facing the Challenges in Structural Engineering*, 2017.
- [12] D. L. Lawrence and S. M. Low, “The built environment and spatial form,” *Annual review of anthropology*, pp. 453-505, 1990.
- [13] W. Mukupa, G. W. Roberts, C. M. Hancock and K. Al-Manasir, “A review of the use of terrestrial laser scanning application for change detection and deformation monitoring of structures,” *Survey review*, vol. 49, no. 353, pp. 99-116, 2017.
- [14] S. D. Chekole, *Surveying with GPS, total station and terrestrial laser scanner: a comparative study*, Stockholm: Master Thesis, 2014.
- [15] K. Jeyapalan, “As Built Surveys of Road Side Features on GIS, Visualization, and Virtual Reality,” in *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, 2000.
- [16] Z. A. Nadzir, N. Simarmata and A. Aliffia, “Pengembangan Algoritma Identifikasi Sawah Padi Berdasarkan Spektra Fase Padi (Studi Kasus: Lampung Selatan),” *Jurnal Sains Informasi Geografi (J SIG)*, pp. 23-36, 2020.