

**MONITORING VERTIKALITAS DAN PERUBAHAN ELEVASI GEDUNG DI KOTA KUPANG  
MENGUNAKAN METODE LEVELING PRESISI SEBAGAI UPAYA MITIGASI  
RISIKO GEMPA BUMI**

***MONITORING BUILDING VERTICALITY AND ELEVATION CHANGES IN KUPANG CITY USING  
PRECISION LEVELING METHODS AS AN EARTHQUAKE RISK MITIGATION STRATEGY***

**Yacob Victor Hayer<sup>\*1</sup>, Fabianus J. S. Nope<sup>2</sup>, Marie Mistika Juniarti Alma Bembot<sup>3</sup>, Ambrosius Raha  
Lelang Wayan<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup>Dosen, Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Kupang

<sup>3</sup>Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang

<sup>4</sup>Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang

Korespondensi: [hayeryopi27@gmail.com](mailto:hayeryopi27@gmail.com)

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengamatan levelling pada sebelas bangunan dengan berbagai fungsi, meliputi bangunan pendidikan, sosial dan budaya, sarana kesehatan, serta usaha. Pengamatan dilakukan untuk menilai nilai levelling terhadap standar elevasi dan kondisi tegak bangunan sebagai indikator kestabilan struktur. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh tingkat kepatuhan pengukuran sebesar 73,27% hingga 100%, dengan rata-rata 91,22% dan standar deviasi 9,77%, yang menunjukkan hasil pengukuran tergolong baik. Sebagian besar bangunan dengan fungsi pendidikan memiliki nilai levelling di atas 90%, sedangkan beberapa bangunan lain menunjukkan deviasi pada beberapa titik pantau.

Hasil evaluasi kondisi fisik menunjukkan bahwa 63,64% bangunan berada dalam kondisi tegak, sedangkan 36,36% lainnya mengalami kemiringan ringan. Meskipun tingkat kemiringan yang ditemukan masih tergolong aman, kondisi tersebut perlu dipantau secara berkala untuk memastikan tidak terjadi penurunan struktur yang progresif. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilitas bangunan di area pengamatan relatif baik, namun bangunan dengan nilai levelling rendah dan kemiringan ringan disarankan untuk dilakukan pengamatan ulang. Penelitian ini menegaskan pentingnya kegiatan monitoring elevasi secara berkala sebagai bagian dari sistem Structural Health Monitoring (SHM) dalam menjaga keselamatan dan umur layanan bangunan.

**Kata Kunci: Elevasi, Kestabilan Struktur, Kemiringan Bangunan, Levelling, Structural Health Monitoring**

***ABSTRACT***

*This study aims to analyze the results of levelling observations conducted on eleven buildings with various functions, including educational facilities, social and cultural buildings, health facilities, and commercial*

*structures. The observations were carried out to assess levelling values against elevation standards and the vertical condition of the buildings as indicators of structural stability. Based on the analysis, the measurement compliance rate ranged from 73.27% to 100%, with an average of 91.22% and a standard deviation of 9.77%, indicating that the measurement quality is generally good. Most educational buildings recorded levelling values above 90%, while several other buildings showed deviations at specific observation points. The evaluation of physical conditions shows that 63.64% of the buildings are in an upright condition, whereas 36.36% exhibit slight tilting. Although the detected tilt levels are still considered safe, these conditions require periodic monitoring to ensure that no progressive structural settlement occurs. Overall, the study indicates that the structural stability of the buildings within the observation area is relatively good; however, buildings with lower levelling values and slight tilting are recommended for follow-up observations. This research highlights the importance of regular elevation monitoring as part of a Structural Health Monitoring (SHM) system to ensure the safety and service life of buildings.*

**Keywords:** *Building Tilt, Elevation, Levelling, Structural Stability, Structural Health Monitoring*

## PENDAHULUAN

Kota Kupang sebagai ibu kota Provinsi Nusa Tenggara Timur terletak pada wilayah yang secara geologis termasuk daerah aktif secara tektonik, karena berada dekat dengan zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia (Tokan, 2017). Akibatnya, wilayah ini memiliki potensi tinggi terhadap aktivitas seismik yang dapat berdampak pada stabilitas struktur bangunan, terutama gedung bertingkat.

Salah satu dampak gempa bumi terhadap bangunan adalah terjadinya deformasi vertikal dan deviasi dari posisi tegak lurus (vertikalitas) yang dapat mengganggu kestabilan struktural (Pradhan, 2023). Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang dapat memberikan informasi kuantitatif mengenai perubahan elevasi dan vertikalitas suatu bangunan secara berkala.

Metode leveling presisi merupakan salah satu teknik geodetik yang mampu mendeteksi perubahan ketinggian dengan akurasi tinggi (Basuki, 2023), sehingga sangat cocok digunakan untuk memantau deformasi bangunan. Penerapan metode ini secara rutin dapat menjadi bagian dari strategi mitigasi bencana, terutama dalam mendeteksi tanda-tanda awal kegagalan struktur akibat pergeseran pondasi atau deformasi pascagempa.

Monitoring ini juga penting dalam konteks manajemen risiko bangunan publik dan vital, mengingat tidak semua struktur di Kota Kupang dirancang dengan mempertimbangkan standar tahan gempa yang optimal. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang pendekatan praktis dan efisien dalam monitoring deformasi vertikal sebagai upaya preventif terhadap bahaya struktural di wilayah rawan gempa.

## TINJAUAN PUSTAKA

Penentuan beda tinggi di atas permukaan bumi dapat dilakukan dengan berbagai cara. Dari berbagai cara tersebut, sipat datar merupakan metode yang mempunyai tingkat ketelitian yang paling tinggi. (Basuki, 2023)

Sipat datar dilakukan dengan menentukan beda tinggi antara titik-titik dengan garis bidik horizontal pada target berupa rambu-rambu ukur yang vertikal. Waterpas atau penyipat datar merupakan alat ukur untuk penentuan beda tinggi. (Basuki, 2023)

Beda tinggi antara dua titik dirumuskan sebagai :

$$(\Delta h_{AB}) = a - b \quad (1)$$

Alat ukur penyipat datar yang teliti diperlukan untuk pekerjaan-pekerjaan titik kontrol dan pekerjaan rekayasa yang membutuhkan ketelitian yang tinggi (Basuki, 2023). Salah satu aplikasinya adalah pada kegiatan monitoring struktur dimana pekerjaan ini membutuhkan ketelitian sampai dengan fraksi millimeter.

### Pesawat Penyipat Datar

Pesawat penyipat datar merupakan alat bantu dalam penentuan beda tinggi. Pada umumnya pesawat ini menggunakan prinsip teleskop untuk membantu mengamati rambu ukur. (Ghilani, 2012)

### Kontrol levelling

Setelah dilakukan pengamatan dan perhitungan beda tinggi, maka selanjutnya dilakukan control hasil dengan menggunakan SNI 8460:2017 yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 standar penurunan Gedung sesuai SNI 8460:2017

### **Monitoring Geometrik pada struktur bangunan**

Struktur suatu bangunan harus memenuhi persyaratan sesuai dengan standar yang berlaku. Salah satu syaratnya adalah struktur tersebut tidak boleh mengalami perubahan geometrik lebih dari yang disyaratkan (Anonim, 2013). Untuk mengetahui apakah terjadi perubahan geometrik pada struktur dan apakah perubahan tersebut masih dalam batas wajar maka diperlukan kegiatan monitoring dengan focus utama pada struktur bangunan. Dengan dilakukan monitoring, maka akan diketahui kondisi kesehatan struktur sehingga bisa dilakukan pencegahan jika kondisi struktur sudah tidak sesuai dengan yang diisyaratkan.

### **Vertikalitas Bangunan**

Kemiringan Gedung dapat diketahui dengan pengamatan vertikalitas dengan mengamati sisi-sisi Gedung secara vertical (Citra, dkk., 2024). Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat total station yang diletakkan berhadapan dengan sisi-sisi Gedung.

Untuk menghitung besarnya simpangan kemiringan digunakan rumus berikut :

$$S = d \times \tan h \quad (2)$$

Dimana *s* merupakan simpangan kemiringan, *d* adalah jarak, dan *h* adalah besar sudut kemiringan bangunan. Dari gambar di atas tingkat kemiringan tidak boleh melebihi 25 mm. Suatu bangunan dikatakan miring, jika nilai kemiringannya melebihi 25 mm dibandingkan dengan total tinggi tiang. (Alwan, 2013)

### **METODE**

Penelitian ini berfokus pada pengukuran leveling dan vertikalitas untuk mengetahui kondisi struktur Gedung secara real-time. Data dikumpulkan secara langsung di lapangan kemudian dihitung dan dianalisa. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dimulai dengan identifikasi permasalahan lapangan, yaitu menentukan gedung-gedung bertingkat di Kota Kupang yang berpotensi mengalami deformasi akibat aktivitas seismik. Langkah awal ini penting untuk memahami karakteristik lokasi penelitian dan menentukan titik-titik pengamatan (benchmark) yang representatif sebagai dasar pengukuran.

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data geodetik melalui pengukuran leveling presisi untuk memperoleh data elevasi pada titik-titik pengamatan di sekitar bangunan yang dipilih. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan digital guna

mencapai ketelitian milimeter. Selain itu, dilakukan pula pengukuran vertikalitas bangunan menggunakan Total Station untuk mengetahui deviasi bangunan terhadap sumbu vertikal idealnya.

Data yang diperoleh kemudian diolah melalui analisis perubahan elevasi dan vertikalitas guna mendeteksi adanya deformasi vertikal. Hasil analisis ini dievaluasi dengan mengacu pada standar kestabilan struktur bangunan untuk menentukan tingkat risiko deformasi yang terjadi.

Tahap berikutnya adalah interpretasi hasil dan penyusunan rekomendasi teknis, di mana pola perubahan vertikal dan deviasi vertikalitas dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi indikasi ketidakstabilan struktural.

### **Gambaran Umum Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian tersebar pada sebelas Gedung di kota Kupang dan memiliki minimal dua lantai. Gedung - gedung ini memiliki fungsi pendidikan, pusat perbelanjaan, sarana kesehatan, sosial budaya dan usaha dan dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Pemilihan sebelas gedung bertingkat sebagai lokasi Penelitian didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan ilmiah yang berkaitan dengan tujuan analisis kestabilan bangunan melalui metode pengamatan levelling. Gedung-gedung tersebut memiliki minimal dua lantai dan berfungsi sebagai bangunan pendidikan, pusat perbelanjaan, sarana kesehatan, sosial budaya, serta usaha. Adapun alasan utama pemilihan gedung-gedung tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mewakili variasi fungsi dan karakteristik struktur bangunan.

Gedung-gedung yang dijadikan objek penelitian dipilih karena memiliki fungsi yang berbeda-beda, seperti pendidikan, komersial, dan sosial. Variasi fungsi ini memberikan perbandingan yang kaya untuk menganalisis pengaruh jenis penggunaan bangunan terhadap kestabilan vertikal dan perubahan

elevasi yang terukur melalui levelling.

2. Memiliki ketinggian dan struktur yang cukup signifikan untuk diamati.

Semua bangunan yang dipilih memiliki minimal dua lantai, sehingga potensi perbedaan elevasi antar titik pantau dapat terdeteksi secara lebih jelas. Ketinggian bangunan ini relevan untuk menilai pengaruh gaya berat, distribusi beban, serta kemungkinan terjadinya kemiringan atau penurunan diferensial pada struktur.

3. Aksesibilitas pengamatan dan keamanan data pengukuran.

Pemilihan gedung dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan akses untuk penempatan alat ukur serta keamanan dalam pelaksanaan kegiatan levelling. Gedung-gedung tersebut memungkinkan pengamatan dilakukan secara berulang dengan kondisi lapangan yang relatif stabil dan terkendali.

4. Kondisi fisik dan usia bangunan yang bervariasi.

Gedung yang dipilih memiliki rentang usia bangunan yang berbeda—mulai dari bangunan baru hingga bangunan yang telah beroperasi lebih dari satu dekade. Variasi ini penting untuk menilai apakah lama masa penggunaan berpengaruh terhadap kestabilan elevasi dan potensi deformasi struktur vertikal.

5. Ketersediaan data teknis dan titik referensi elevasi.

Gedung-gedung terpilih memiliki titik pantau yang jelas serta data elevasi awal yang dapat dijadikan acuan. Hal ini mempermudah proses perbandingan hasil levelling dan meningkatkan akurasi analisis perubahan elevasi.

6. Relevansi terhadap pengembangan sistem pemantauan struktur.

Pemilihan gedung dengan berbagai fungsi dan karakteristik ini ditujukan untuk mendukung pengembangan sistem Structural Health Monitoring (SHM) berbasis geospasial. Hasil pengamatan diharapkan dapat menjadi acuan awal dalam penerapan sistem pemantauan terintegrasi untuk bangunan-bangunan bertingkat di wilayah perkotaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah data dikumpulkan langkah selanjutnya yaitu melakukan pengolahan data. Untuk tahapan ini akan dijabarkan sebagai berikut.

### Pengolahan Data Levelling

Data yang dikumpulkan di lapangan berupa

data bacaan rambu ukur berupa bacaan Benang Atas, Benang Tengah dan Benang Bawah. Selanjutnya dicari beda tinggi menggunakan rumus beda tinggi dan dilanjutkan dengan perhitungan tinggi setiap titik pantau.

### Pengolahan data vertikalitas

Data berupa sudut kemiringan dan tinggi Gedung selanjutnya diolah menggunakan rumus dengan prinsip phytagoras untuk didapatkan besar kemiringan gedung.

### Perhitungan toleransi kemiringan dan penurunan

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan toleransi kemiringan dan penurunan sesuai dengan standar yang berlaku sehingga bisa dianalisa status kemiringan dan penurunan Gedung apakah masih sesuai dengan yang disyaratkan atau tidak. Perhitungan dilakukan dalam dua arah x dan y gedung dengan setiap arah dipakai satu titik pantau sebagai acuan.

### Status bangunan

Setelah dihitung toleransi kemiringan dan penurunan dan dibandingkan dengan hasil pengukuran, didapatkan status bangunan dan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 1 Rekapitan Pengamatan Levelling

Rekapitan Pengamatan Levelling					
No	Nama	Fungsi Bangunan	Jumlah Titik Pantau	Memenuhi	Tidak Memenuhi
1	A	Sosial Dan Budaya	101	73.27%	26.73%
2	B	BGN (Pendidikan)	114	84.21%	15.79%
3	C	BGN (Pendidikan)	16	100.00%	0.00%
4	D	BGN (Pendidikan)	156	76.28%	23.72%
5	E	BGN (Pendidikan)	19	100.00%	0.00%
6	F	BGN (Pendidikan)	195	94.87%	5.13%
7	G	BGN (Pendidikan)	147	96.60%	3.40%
8	H	BGN (Pendidikan)	142	88.73%	11.27%
9	I	Sarana Kesehatan	161	89.44%	10.56%
10	J	Usaha	67	100.00%	0.00%
11	K	BGN (Pendidikan)	142	100.00%	0.00%

Berdasarkan hasil pengamatan levelling pada sebelas bangunan dengan fungsi yang beragam, diperoleh tingkat levelling terhadap standar pengukuran elevasi yang bervariasi antara 73,27% hingga 100%. Secara umum, hasil menunjukkan bahwa sebagian besar bangunan telah memenuhi kriteria yang ditetapkan, dengan delapan bangunan memiliki tingkat levelling di atas 85%. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengukuran dan kondisi struktural bangunan relatif stabil.

Bangunan dengan fungsi pendidikan (BGN) mendominasi jumlah sampel dan menunjukkan hasil yang sangat baik, di mana sebagian besar mencapai nilai levelling di atas 90%, bahkan empat di antaranya (Bangunan C, E, J, dan K) memperoleh

nilai 100%, yang berarti seluruh titik pantau memenuhi batas toleransi pengukuran elevasi. Sementara itu, bangunan sosial dan budaya (A) serta bangunan pendidikan (D) menunjukkan nilai levelling yang lebih rendah, masing-masing sebesar 73,27% dan 76,28%. Dari nilai tersebut yang tidak memenuhi syarat levelling lebih dikarenakan gedung tersebut belum sampai tahap finishing. Permukaan lantai atau kolom yang diamati masih kasar sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan kemiringan yang cukup besar.

Bangunan dengan fungsi sarana kesehatan (I) dan usaha (J) menunjukkan hasil yang baik, dengan tingkat kepatuhan sebesar 89,44% dan 100%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kedua bangunan tersebut relatif stabil dan tidak menunjukkan pergeseran elevasi yang berarti.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan levelling ini menggambarkan bahwa kualitas dan kestabilan elevasi bangunan di area pengamatan tergolong baik. Namun demikian, bangunan dengan persentase levelling yang tidak memenuhi (A dan D) perlu mendapatkan perhatian lebih lanjut melalui inspeksi tambahan atau pengukuran ulang untuk memastikan akurasi data serta mengidentifikasi potensi permasalahan struktural yang dapat memengaruhi kestabilan bangunan.

Tabel 2 Rekapitan Perhitungan Vertikaliti

Rekapitan Pengamatan Vertikaliti			
No	Nama	Fungsi Bangunan	Status
1	A	Sosial Dan Budaya	Tegak
2	B	BGN (Pendidikan)	Tegak
3	C	BGN (Pendidikan)	Tegak
4	D	BGN (Pendidikan)	Tegak
5	E	BGN (Pendidikan)	Tegak
6	F	BGN (Pendidikan)	Kemiringan Ringan
7	G	BGN (Pendidikan)	Tegak
8	H	BGN (Pendidikan)	Tegak
9	I	Sarana Kesehatan	Kemiringan Ringan
10	J	Usaha	Kemiringan Ringan
11	K	BGN (Pendidikan)	Kemiringan Ringan

Berdasarkan hasil pengamatan levelling terhadap sebelas bangunan yang diamati, diperoleh dua kategori utama kondisi bangunan, yaitu tegak dan kemiringan ringan. Dari keseluruhan sampel, sebanyak tujuh bangunan (63,64%) dikategorikan dalam kondisi tegak, sedangkan empat bangunan (36,36%) menunjukkan adanya kemiringan ringan.

Bangunan yang termasuk dalam kategori tegak meliputi bangunan A, B, C, D, E, G, dan H. Hal ini menunjukkan bahwa secara struktural, elevasi dan posisi vertikal bangunan-bangunan tersebut masih berada dalam batas toleransi yang aman dan tidak mengalami pergeseran signifikan. Kondisi ini umumnya mencerminkan kestabilan fondasi serta

konsistensi hasil pengukuran elevasi.

Sementara itu, bangunan F, I, J, dan K menunjukkan kondisi kemiringan ringan. Meskipun tingkat kemiringan yang terdeteksi masih dalam batas wajar dan belum membahayakan struktur, hasil ini mengindikasikan adanya potensi ketidakseimbangan elevasi yang perlu dipantau lebih lanjut. Faktor penyebabnya dapat berasal dari perbedaan penurunan tanah (*differential settlement*), beban bangunan yang tidak merata, atau perubahan kondisi tanah di sekitar fondasi.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa mayoritas bangunan masih berada dalam kondisi stabil dan aman terhadap deformasi vertikal. Namun, untuk bangunan yang menunjukkan kemiringan ringan, disarankan dilakukan pengukuran lanjutan secara periodik guna memastikan apakah kemiringan tersebut bersifat tetap atau mengalami peningkatan dari waktu ke waktu. Pengamatan berkelanjutan ini penting sebagai bagian dari sistem pemantauan kesehatan struktur (*structural health monitoring*) untuk menjaga keselamatan dan umur layanan bangunan.

## KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan levelling terhadap sebelas bangunan menunjukkan bahwa secara umum tingkat levelling tergolong tinggi, dengan rata-rata sebesar 91,22%. Hal ini menandakan bahwa sebagian besar bangunan masih memiliki kondisi elevasi yang stabil dan sesuai dengan batas toleransi pengukuran.
2. Sebanyak tujuh bangunan (63,64%) dinyatakan tegak, sedangkan empat bangunan (36,36%) menunjukkan kemiringan ringan. Meskipun kemiringan yang ditemukan masih dalam batas aman, hal ini mengindikasikan adanya perbedaan elevasi kecil yang dapat disebabkan oleh faktor geoteknik atau distribusi beban bangunan.
3. Bangunan dengan fungsi pendidikan (BGN) memiliki tingkat kepatuhan paling tinggi, menunjukkan hasil levelling yang konsisten dan akurat. Sebaliknya, bangunan sosial dan budaya (A) serta pendidikan (D) memerlukan perhatian lebih lanjut karena memiliki nilai kepatuhan di bawah 80%.
4. Berdasarkan hasil tersebut, direkomendasikan untuk melakukan pemantauan lanjutan (*re-observasi*) pada bangunan yang

menunjukkan kemiringan ringan atau deviasi elevasi signifikan. Pemantauan ini penting untuk mendeteksi potensi deformasi atau penurunan struktur secara dini.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengamatan levelling dapat digunakan sebagai metode efektif dalam evaluasi kestabilan vertikal bangunan dan mendukung pengembangan sistem Structural Health Monitoring (SHM) berbasis data geospasial untuk pemeliharaan infrastruktur perkotaan yang berkelanjutan.

### **Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada P3M, Direktur Politeknik Negeri Kupang dan jurusan Teknik Sipil, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik berupa pendanaan, fasilitas, maupun bantuan teknis selama pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Apresiasi yang tinggi juga penulis sampaikan kepada pemerintah Kelurahan Pasir Panjang dan masyarakat setempat atas kerja sama yang baik selama kegiatan lapangan berlangsung

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Alwan H. 2013. Monitoring of the Vertical Settlement In Heavy Structures By Precise Levelling. *Journal of Engineering*.
- Anonim.SNI8460:2017-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung-1.
- Basuki Slamet. 2023. Ilmu Ukur Tanah edisi Revisi. Cetakan ketujuh. Jogjakarta: Gadjah Mada University Press;
- Bernadus Tokan. 24 Juli 2017. Wilayah NTT Dikelilingi Tektonik. <https://kupang.antaranews.com/berita/3839/wilayah-ntt-dikelilingi-tektonik>. ;
- Citra Z, Gede Ananda Kusuma ID, Adistana HS, Lumingkewas RH, Haifan M. 2024. Inspection of Leveling and Verticality of Silo Foundations Due to Settlement Based on SNI 8460: 2017. *CIVED*. 30 Juni 2024;11(2):578–85.
- Ghilani CD., Wolf PR. 2012. *Elementary surveying : an introduction to geomatics*. Pearson Prentice Hall; . 958 hlm.
- Pradhan, Shrey & Ahmad, Musharraf & Baghel, Praveen & Kaloni, Smita & Bhatra, Shashank. (2023). Effect of Vertical Irregularities on Buildings in Different Seismic Zones of India. 1561-1567. 10.2749/newdelhi.2023.1561.