

## Analisis Pola Deformasi Tanah Pembangunan Kawasan Ekonomi Khusus Mandalika

Didik Nugroho<sup>1</sup>, Abdul Rochim<sup>2</sup>, Sumirin<sup>3</sup>

Magister teknik sipil, fakultas teknik, Universitas Islam Sultan Agung

[20202300010@std.unissula.ac.id](mailto:20202300010@std.unissula.ac.id), [abdulrochim@unissula.ac.id](mailto:abdulrochim@unissula.ac.id), [sumiri@unissula.ac.id](mailto:sumiri@unissula.ac.id)

### Article History

Received: 25-9-2024

Revised: 5-10-2024

Published: 14-10-2024

### Keywords:

Deformation,  
Geotechnics,  
Infrastructure,  
Mandalika

**Abstract:** *The development of infrastructure in KEK Mandalika has increased rapidly between 2020 and 2023. This has led to changes in soil morphology and potential geotechnical deformations. The methodology includes high-level geodetic monitoring technology, analysis of results, and numerical modeling to understand the holistic dynamics of soil changes. The detailed survey results and data analysis reveal that soil deformation in KEK Mandalika is not only local but also shows significant regional patterns. Deformation patterns are influenced by various factors such as soil type, topography, land use, and human activities. The monitoring data shows an average shift of 0.035 m per year in the X-axis and 0.015 m per year in the Y-axis recorded during that period. Additionally, the Z-axis shows a decrease of -0.015 m per year.*

### KataKunci:

Deformasi, Geoteknik,  
Infrastruktur, Mandalika

**Abstrak:** Peningkatan pesat dalam pembangunan infrastruktur di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika selama periode 2020-2023 telah memunculkan kompleksitas baru terkait perubahan morfologi tanah dan potensi deformasi geoteknik. Metodologi yang digunakan mencakup penggunaan teknologi pemantauan geodetik tingkat tinggi, analisis hasil, serta model numerik untuk memahami dinamika perubahan tanah secara holistik. Hasil survei dan analisis data yang terperinci mengungkapkan bahwa deformasi tanah di KEK Mandalika tidak hanya bersifat lokal tetapi juga menunjukkan pola regional yang signifikan. Pola deformasi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis tanah, topografi, penggunaan lahan, dan aktivitas manusia. Hasil monitoring data diperoleh rata-rata pergeseran sumbu X sebesar 0.035 m pertahun dan sumbu Y sebesar 0.015 m per tahun yang tercatat selama periode tersebut. Selain itu, juga diperkirakan terjadi penurunan pada sumbu Z dengan nilai mencapai -0.015 m per tahun.

## PENDAHULUAN

Pembangunan merupakan kegiatan untuk memenuhi ruang gerak bagi manusia untuk dapat berkegiatan serta berinteraksi. Dalam perjalanannya pembangunan memiliki berbagai macam tahap yang harus dijalankan. Adapun tahap yang umum yang biasa dilakukan dalam kegiatan pembangunan yaitu pengkajian dan studi lokasi, perencanaan tahap awal, pengkajian tahap awal, perencanaan major, pengkajian pra-konstruksi, monitoring, konstruksi dan kemudian pemeliharaan. Penyelenggaraan pembangunan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) diharapkan dapat mewujudkan percepatan pembangunan ekonomi yang merata di Indonesia. Tujuan utama pengembangan KEK adalah mendorong pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, KEK ditentukan berdasarkan kebijakan pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah RI Nomor 2 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Kawasan Ekonomi Khusus, Pasal 1 ayat 1, KEK adalah kawasan tertentu di Indonesia yang ditetapkan menyelenggarakan fungsi perekonomian, dan memperoleh fasilitas tertentu.

Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika merupakan kawasan strategis yang dikembangkan *Indonesia Tourism Development Corporation* (ITDC) membentang dari barat ke timur terletak di sebelah selatan pulau Lombok, KEK Mandalika berlokasi di Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat, dan memiliki luas 1.035 hektar. Di



kawasan tersebut terdapat banyak infrastruktur antara lain berupa bangunan sirkuit, jalan, jembatan, utilitas dan bangunan gedung yang terbangun untuk menunjang fasilitas di KEK Mandalika. Namun, pada bagian tertentu infrastruktur yang ada mengalami kerusakan fasilitas yang disebabkan oleh gempa, keadaan alam, bencana alam, kerusakan pemakaian maupun usia infrastruktur. Sumber gempa bumi yang mengancam wilayah Lombok berasal dari zona subduksi antara Lempeng Indo-Australia dengan Eurasia di selatan dan sesar naik Busur Belakang di utara. Lempeng Indo-Australia menunjani di bawah Lempeng Benua Eurasia dengan kecepatan  $67 \pm 7$  mm/th dengan arah  $N11^\circ E \pm 4^\circ$  (Tregoning, drr., 1994). Hasil survei secara periodik di Pulau Lombok menunjukkan pergeseran horizontal titik ukur GPS ke timur laut dengan kecepatan 6,65 mm/th hingga 22,76 mm/th. Sementara secara vertikal umumnya naik dengan kecepatan 2,40 mm/ th hingga 559,86 mm/th (Lingkungan Dan Bencana Geologi *et al*, 2017). Pulau Lombok bagian tengah dan selatan mengalami ekspansi negatif yang besar, sedangkan di bagian timur laut nilainya positif.

## **METODE PENELITIAN**

### **Data Awal**

Master Plan (Rencana Induk) merupakan dokumen strategis yang menjadi landasan utama dalam pengembangan KEK Mandalika. Dokumen tersebut menguraikan visi dan tujuan yang merinci rencana pengembangan infrastruktur dan fasilitas di dalam KEK dengan cermat. Dalam analisis deformasi tanah, Master Plan menjadi sumber informasi kunci yang memberikan gambaran komprehensif tentang berbagai aspek terkait pembangunan dan dampaknya. Rencana induk menggambarkan visi dan tujuan pembangunan KEK Mandalika secara keseluruhan. Rencana Induk mencakup misi KEK, strategi pengembangan, serta target-target yang ingin dicapai dalam jangka panjang. Master plan menjadi panduan utama bagi semua aktivitas pembangunan di KEK, termasuk infrastruktur yang menjadi fokus analisis deformasi tanah. Master Plan merinci rencana pengembangan infrastruktur dan fasilitas di dalam KEK.

Pada pengembangan rencana induk mencakup pembangunan jalan raya, jembatan, bangunan komersial dan residensial, sistem transportasi, fasilitas publik, dan lain-lain. Dokumen tersebut memuat informasi tentang lokasi strategis dari infrastruktur utama, seperti jalan arteri utama, pusat bisnis, area pariwisata, dan zona industri. Dalam konteks analisis deformasi tanah, informasi termasuk menentukan area-area yang rentan terhadap perubahan deformasi akibat aktivitas konstruksi. Master Plan memuat perkiraan dampak yang mungkin timbul akibat aktivitas konstruksi yang direncanakan. Dampak deformasi tanah, terutama pada infrastruktur kritis seperti jalan, jembatan, dan bangunan, menjadi bagian penting dalam analisis yang dilakukan. Informasi didalamnya membantu dalam menetapkan strategi pemantauan deformasi yang efektif untuk meminimalkan risiko kerusakan.. Master Plan menjadi dokumen yang memberikan pandangan menyeluruh tentang kondisi dan rencana pembangunan. Informasi yang terdapat dalam Master Plan menjadi dasar untuk menentukan strategi pemantauan, lokasi pengambilan data, serta evaluasi dampak deformasi tanah terhadap infrastruktur dan lingkungan di KEK Mandalika.

Detail Engineering Drawing (DED) menjadi salah satu data awal yang digunakan dalam analisis deformasi infrastruktur pada proyek Kawasan Khusus Mandalika. DED merupakan dokumen teknis yang merinci rancangan dan spesifikasi infrastruktur yang akan dibangun di KEK Mandalika. Dokumen tersebut menggambarkan secara detail bagaimana infrastruktur seperti jalan, jembatan, bangunan, dan fasilitas lainnya

direncanakan dan diatur. DED memberikan informasi tentang geometri dan dimensi infrastruktur yang direncanakan. Di dalamnya termasuk ukuran, bentuk, dan konfigurasi struktur bangunan dan jalan. Informasi diperlukan dalam analisis deformasi karena perubahan dimensi atau geometri dapat menjadi indikasi potensial terjadinya deformasi. DED memuat spesifikasi material yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur. Informasi tersebut mencakup jenis material, kualitas, kekuatan, dan karakteristik lainnya yang menjadi komponen penting dalam menilai kestabilan infrastruktur terhadap deformasi. Misalnya, pemilihan material yang tidak sesuai atau kualitas yang buruk dapat meningkatkan risiko terjadinya deformasi. DED menggambarkan detail konstruksi infrastruktur, termasuk metode pembangunan, konstruksi struktur, dan penggunaan teknologi atau alat khusus dalam proses pembangunan. Informasi didalamnya membantu dalam memahami proses pembangunan yang dapat memengaruhi kondisi deformasi, seperti gaya dan tekanan yang diberikan selama konstruksi. DED mencakup rencana pemeliharaan dan perawatan infrastruktur. Wawasan tentang faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemantauan dan evaluasi deformasi. Informasi desain termasuk penempatan titik pengamatan, metode pengukuran, frekuensi monitoring, dan parameter-parameter lain yang relevan untuk analisis deformasi.

### **Titik Pengamatan**

Penentuan lokasi pengambilan data monitoring dilakukan dengan pertimbangan terhadap titik-titik strategis yang mencakup area infrastruktur utama, bangunan kritis, dan titik-titik yang rentan terhadap deformasi tanah. Proses pemilihan data melibatkan beberapa parameter untuk memastikan akurasi data yang diambil. Parameter tersebut meliputi penentuan titik-titik pengambilan data pada lokasi-lokasi yang dianggap strategis dan mewakili berbagai jenis infrastruktur di KEK Mandalika, seperti jalan, jembatan, dan bangunan utama. Pemilihan titik-titik yang terkait dengan infrastruktur kritis dan fasilitas yang memiliki dampak signifikan pada operasional KEK Mandalika. Penentuan rentang waktu pengambilan data yang mencakup periode sebelum dan setelah pembangunan Proyek Mandalika 2020-2023, untuk memungkinkan analisis perubahan deformasi tanah.

Pemilihan titik pantau (benchmark) untuk monitoring dalam penentuan lokasi pengambilan data merupakan langkah kritis dalam memastikan keakuratan dan representasi yang baik dalam analisis deformasi tanah di KEK Mandalika. Proses awal melibatkan serangkaian pertimbangan dan parameter yang harus dipenuhi untuk memastikan data yang dihasilkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang perubahan deformasi yang terjadi selama periode tertentu. Pertimbangan pertama dalam pemilihan titik pantau adalah representasi yang baik dari area infrastruktur utama di KEK Mandalika. Tahapan tersebut termasuk memilih titik-titik yang mencakup jaringan jalan utama, struktur jembatan yang penting, serta bangunan-bangunan kritis lainnya yang memiliki peran vital dalam operasional KEK. Pemilihan titik-titik yang mewakili berbagai jenis infrastruktur, analisis deformasi dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi keseluruhan area. Selain itu, pemilihan titik pantau juga mempertimbangkan lokasi titik-titik yang rentan terhadap deformasi tanah. Lokasi titik pantau termasuk area-area dengan kemungkinan geologi yang kompleks, lereng yang curam, atau bahkan dampak lingkungan yang signifikan. Pemahaman tentang titik-titik yang rentan dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi risiko deformasi yang perlu mendapatkan perhatian khusus dalam pemantauan dan manajemen infrastruktur.

Sistem koordinat dalam pengamatan ini sepenuhnya mengacu pada sistem koordinat dan elevasi :

Koordinat horizontal, menggunakan

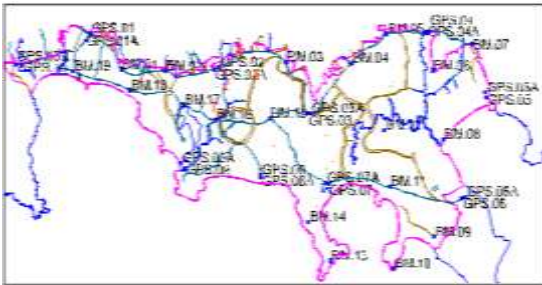
Datum horisontal : SRGI 2013

Sistem proyeksi. : UTM (Universal Tranverse Mercator), Zone 50.

Titik referensi : Station GPS Nasional N1-3074

Sistem tinggi

Berdasar penjelasan yang diberikan oleh Konsultan Perencana Master plan sebelumnya PT Bitu Engineering & EGIS, acuan elevasi dalam Kawasan Ekonomi Khusus Mandalika ada TTG (Tanda Tinggi Geodesi) dari BIG (Badan Informasi Geospasial) yang ada di dekat lokasi. Acuan elevasi dalam monitoring adalah mean sea level sebagai datum (elevasi +0.000 m) dari sistem TTG. Mean sea level dari TTG ini tidak berarti sama dengan mean sea level setempat, baik karena faktor akurasi pengukuran maupun karena variasi muka air laut akibat variasi massa gravitasi bumi.



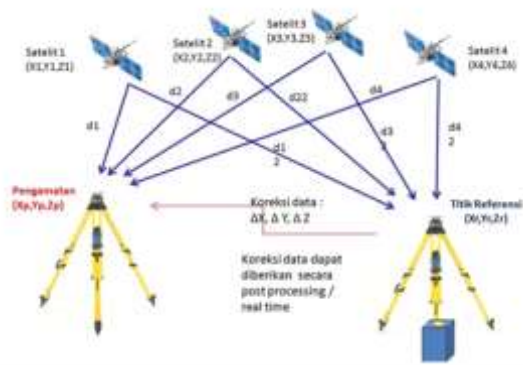
**Gambar 1.** Lokasi Distribusi *Bench Mark*

Sumber : Laporan Perencanaan PT Perentjana Djaja tahun 2019

### **Metode Global Positioning Sistem (GPS)**

GPS (Global Positioning System) merupakan sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti serta informasi waktu secara kontinu di seluruh dunia. Teknologi GPS ini terdiri atas tiga segmen, yaitu segmen kontrol, segmen angkasa, dan segmen pengguna (Abidin, 2009). GPS atau Global Positioning System adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Sistem yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu, secara kontinu di seluruh dunia (Abidin, 2010)

Penentuan posisi dengan GPS pada dasarnya dilakukan dengan prinsip pengikatan ke belakang yaitu dengan mengukur jarak dari beberapa satelit yang diketahui posisinya sehingga posisi pengamat dapat dihitung. Pengamatan dengan teknologi GPS menghasilkan koordinat dalam sistem koordinat geodetik ( $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), koordinat kartesi tiga dimensi (X,Y,Z) dan parameter waktu.



**Gambar 2.** Penentuan Posisi dengan GPS

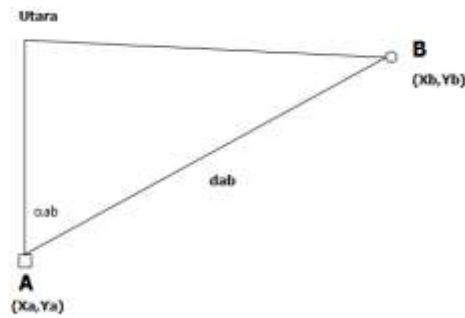
Konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi tiga dimensi (X,Y,Z) yang dinyatakan dalam datum WGS 1984. Sistem WGS 1984 adalah sistem terestrial konvensional. Pendefinisian sistem koordinatnya sebagai berikut (Prihandito, 2010) :

1. Titik nol sistem koordinat adalah titik pusat massa Bumi,
2. Skalanya adalah kerangka bumi lokal dalam terminologi teori relativitas dari gravitasi.
3. Sumbu Z mengarah ke IERS reference pole. Sumbu X-nya berada di ekuator dan pada bidang IERS Reference Meridian (IRM). Sumbu Y tegak lurus sumbu X dan Z, dan membentuk sistem koordinat tangan kanan.
4. Evolusi waktu dari orientasinya tidak mempunyai residu pada rotasi global terhadap kerak bumi. Pada sistem koordinat WGS 1984, referensi elipsoid yang digunakan adalah elipsoid geosentrik WGS 1984.

### Metode Survey Terestris

Survei terestris merupakan kegiatan pengukuran yang dilakukan di permukaan bumi di mana pengamat melakukan kontak langsung dengan objek yang akan dilakukan pengamatan. Survei terestris memiliki ketelitian informasi topografi (detil situasi, ketinggian/kontur, ukuran luas) yang cenderung tinggi apabila dibandingkan dengan teknik survei dan pemetaan lainnya. Untuk wilayah pemetaan yang tidak terlalu luas, survei terestris sangat efektif dilakukan.

Kelebihan teknik terestris menggunakan Total Station adalah bisa digunakan diberbagai medan, hasil akurat, efisien dan memiliki presisi tinggi. Total station juga mudah melakukan pengolahan data seperti penggambaran dan perhitungan luas. Teknik ini juga lebih menghemat waktu dibanding teknik terestris menggunakan pita ukur. Teknik ini juga mengurangi dari human error.



**Gambar 3.** Konsep Koordinat

$$X_b = X_a + d_{ab} \sin a_{ab} \pm f_x$$

$$Y_b = Y_a + d_{ab} \cos a_{ab} \pm f_y$$

dimana :

$X_a, Y_a$  = Koordinat titik A

$X_b, Y_b$  = Koordinat titik B

$d_{ab}$  = Jarak datar antara titik A ke titik B

$a_{ab}$  = Azimuth sisi titik A ke titik B

$f_x, f_y$  = Koreksi

(1)

Sedangkan untuk koreksi absis dan ordinat digunakan metode Bowditch berikut ini

$$f_{x_i} = \frac{d_i \cdot f_x}{\sum d} \quad ; \quad f_{y_i} = \frac{d_i \cdot f_y}{\sum d}$$

dimana :

$f_{x_i}, f_{y_i}$  = Koreksi absis dan ordinat masing-masing koordinat

$f_x, f_y$  = Koreksi absis dan ordinat keseluruhan

$d_i$  = Jarak sisi-i

$\sum d$  = Jumlah jarak keseluruhan

### Metode Analisis Geometrik

Analisis pergerakan bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengukur perubahan dalam pergerakan suatu objek dalam ruang dan waktu. Penelitian pergerakan sering dilakukan secara berulang pada berbagai waktu untuk mendapatkan data koordinat titik-titik observasi, yang kemudian digunakan untuk menentukan besaran dan parameter-parameter pergerakan (Apriyanti, 2015). Dalam menganalisis pergerakan, terdapat dua pendekatan utama, yaitu interpretasi fisik dan analisis geometrik (Sulasdi, 1995). Analisis geometrik lebih fokus pada penentuan parameter pergerakan, seperti translasi, rotasi, dan regangan, dengan mentransformasikan perubahan posisi menjadi parameter-parameter tersebut. Untuk melakukan analisis geometrik, diperlukan pengamatan dengan ketelitian hingga satuan millimeter (mm), sehingga diperlukan teknologi dan metode yang sesuai untuk mengamati pergerakan dengan tingkat akurasi tersebut. Pergerakan titik pada suatu benda diukur dalam suatu sistem referensi koordinat tertentu, dan dinamika bumi menjadi penyebab utama perubahan posisi tersebut, terutama disebabkan oleh ketidakstabilan lempeng bumi (Fajriyanto dkk, 2013).

Analisis pergerakan perubahan geometrik sering dilakukan dengan memeriksa pergerakan posisi titik bench mark (BM). Uji signifikansi antara dua parameter digunakan untuk menilai signifikansi perbedaan antara dua parameter pergerakan. Proses pengujian ini melibatkan distribusi dengan statistik derajat kebebasan dan tingkat kepercayaan sebagai pembanding. Pada penelitian ini, uji signifikansi beda parameter digunakan untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara pergerakan horizontal dan vertical pada waktu yang berbeda.

Pendekatan berfokus pada penentuan parameter-parameter pergerakan seperti



translasi, rotasi, dan regangan, dengan mentransformasikan perubahan posisi menjadi parameter-parameter tersebut. Dalam analisis geometrik, pergerakan titik pada suatu benda diukur dalam suatu sistem referensi koordinat tertentu. Pergerakan titik ini dapat direpresentasikan dalam bentuk vektor perpindahan, yang terdiri dari komponen perpindahan horizontal ( $dX$ ,  $dY$ ) dan komponen perpindahan vertikal ( $dZ$ ). Vektor perpindahan ini kemudian digunakan untuk menghitung parameter-parameter pergerakan seperti translasi, rotasi, dan regangan.

Translasi merupakan pergeseran posisi suatu objek secara keseluruhan, tanpa perubahan orientasi atau bentuk objek tersebut. Translasi dapat dihitung dengan mengambil rata-rata dari vektor perpindahan seluruh titik pada objek tersebut. Rumus untuk menghitung translasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_x &= \Sigma(dX) / n \\ T_y &= \Sigma(dY) / n \\ T_z &= \Sigma(dZ) / n \end{aligned} \tag{2}$$

Dimana  $T_x$ ,  $T_y$ , dan  $T_z$  adalah komponen translasi pada sumbu X, Y, dan Z, sedangkan n adalah jumlah titik yang diamati.

Rotasi merupakan perputaran suatu objek terhadap sumbu X, Y, atau Z. Rotasi dapat dihitung dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, yang meminimalkan jumlah kuadrat residual antara perpindahan aktual dan perpindahan yang dimodelkan dengan parameter rotasi. Rumus untuk menghitung rotasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \omega_x &= \Sigma[(dY * Z) - (dZ * Y)] / \Sigma(X^2 + Y^2) \\ \omega_y &= \Sigma[(dZ * X) - (dX * Z)] / \Sigma(X^2 + Z^2) \\ \omega_z &= \Sigma[(dX * Y) - (dY * X)] / \Sigma(Y^2 + Z^2) \end{aligned}$$

Dimana  $\omega_x$ ,  $\omega_y$ , dan  $\omega_z$  adalah parameter rotasi pada sumbu X, Y, dan Z, sedangkan X, Y, dan Z adalah koordinat titik yang diamati.

Regangan (strain) merupakan perubahan bentuk suatu objek, yang dapat diukur dengan membandingkan jarak antara titik-titik sebelum dan sesudah pergerakan. Regangan dapat dihitung dengan menggunakan metode analisis regangan, yang melibatkan perhitungan tensor regangan. Rumus untuk menghitung regangan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \epsilon_{xx} &= \Sigma(dX^2) / \Sigma(X^2) \\ \epsilon_{yy} &= \Sigma(dY^2) / \Sigma(Y^2) \\ \epsilon_{zz} &= \Sigma(dZ^2) / \Sigma(Z^2) \\ \epsilon_{xy} &= \Sigma(dX * dY) / \Sigma(X * Y) \\ \epsilon_{xz} &= \Sigma(dX * dZ) / \Sigma(X * Z) \\ \epsilon_{yz} &= \Sigma(dY * dZ) / \Sigma(Y * Z) \end{aligned}$$

Dimana  $\epsilon_{xx}$ ,  $\epsilon_{yy}$ ,  $\epsilon_{zz}$  adalah regangan normal pada sumbu X, Y, dan Z, sedangkan  $\epsilon_{xy}$ ,  $\epsilon_{xz}$ , dan  $\epsilon_{yz}$  adalah regangan geser.

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Melalui pengumpulan data dan analisis yang teliti, berhasil diidentifikasi pola deformasi tanah yang terjadi selama periode pembangunan KEK Mandalika. Analisis hasil penelitian tentang deformasi tanah selama periode pembangunan KEK Mandalika dari tahun 2020 hingga 2023 mengungkapkan temuan yang sangat penting dan kompleks. Melalui pengumpulan data yang sistematis dan analisis yang mendalam, berhasil diidentifikasi pola deformasi yang mencakup pergeseran horizontal dan vertikal yang signifikan. Hasil analisis menjadi cerminan langsung dari intensitas aktivitas konstruksi yang melibatkan pembangunan infrastruktur vital seperti jalan raya,

jembatan, dan bangunan komersial di KEK Mandalika.

Sementara itu, aspek yang tidak kalah penting adalah temuan terkait kerusakan pada titik pantau (benchmark) selama fase pembangunan proyek. Analisis mencatat bahwa pada awal tahun 2020 tidak terjadi kerusakan pada titik pantau yang tercatat. Namun, seiring berjalannya waktu, terjadi peningkatan signifikan dalam jumlah titik pantau yang mengalami kerusakan. Pada tahun 2021, tercatat kerusakan pada 15 titik pantau, yang disebabkan oleh pembangunan yang masif dan simultan di area tersebut. Peningkatan kerusakan ini terus berlanjut pada tahun 2022, dengan 4 titik pantau tambahan yang rusak, sehingga total titik pantau yang mengalami kerusakan mencapai 19 titik pada akhir tahun 2022. Data kerusakan titik pantau menggambarkan eskalasi kerusakan yang berkorelasi dengan tingkat pembangunan yang semakin intensif.

Dari segi implikasi, temuan ini memiliki dampak yang sangat relevan terhadap keselamatan infrastruktur dan lingkungan sekitarnya. Peningkatan kerusakan pada titik pantau menandakan risiko yang lebih tinggi bagi stabilitas infrastruktur yang dibangun di KEK Mandalika. Deformasi tanah yang signifikan juga dapat mempengaruhi keselamatan pengguna jalan dan bangunan, serta memiliki potensi dampak negatif terhadap lingkungan sekitarnya.

**Tabel 1.** Vektor Hasil Pergeseran Koordinat

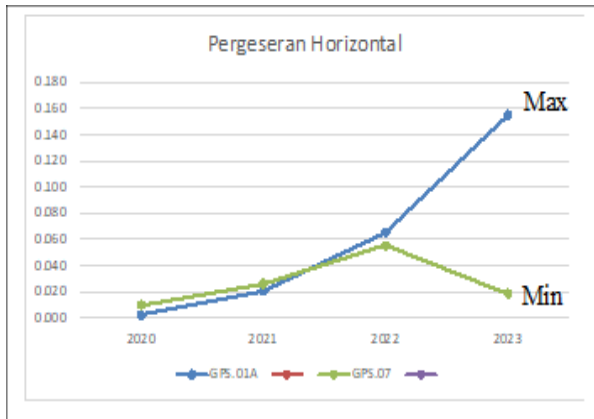
Vektor Pergeseran Koordinat (m)								
BM	Pergeseran Horizontal (X-Y)				Pergeseran Vertikal (Z)			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
BM.1	0.025	0.048	0.084	0.089	-0.005	-0.017	-0.070	-0.078
BM.2	0.012	0.031	0.077	0.122	-0.004	-0.019	-0.049	-0.068
BM.3	0.007	0.030	0.075	0.037	-0.011	-0.020	-0.034	-0.048
BM.4	0.011	0.018	0.071	0.052	-0.012	-0.036	-0.067	-0.075
BM.5	0.031	0.016	0.045	0.041	-0.008	-0.028	-0.038	-0.051
BM.6	0.008	0.019	0.045	Rusak	-0.007	-0.016	-0.028	Rusak
BM.7	0.008	0.015	Rusak	Rusak	-0.006	-0.011	Rusak	Rusak
BM.8	0.007	0.023	0.087	0.065	-0.004	-0.028	-0.065	-0.072
BM.9	0.011	0.009	Rusak	Rusak	-0.003	-0.020	Rusak	Rusak
BM.10	0.021	0.024	0.080	0.057	-0.010	-0.022	-0.022	-0.033
BM.11	0.009	0.025	0.082	0.077	-0.005	-0.017	-0.022	-0.030
BM.12	0.011	0.015	Rusak	Rusak	0.005	0.015	Rusak	Rusak
BM.13	0.009	0.019	0.060	0.059	-0.005	-0.037	-0.051	-0.056
BM.14	0.009	0.022	Rusak	Rusak	-0.004	-0.021	Rusak	Rusak
BM.15	0.009	0.023	0.019	0.037	-0.004	-0.008	-0.028	-0.045
BM.16	0.008	0.023	0.074	Rusak	0.004	0.017	0.027	Rusak
BM.17	0.009	0.021	0.039	0.053	-0.006	-0.010	-0.040	-0.046
BM.18	0.007	0.021	Rusak	Rusak	-0.006	-0.010	Rusak	Rusak
BM.19	0.008	0.020	Rusak	Rusak	-0.004	-0.010	Rusak	Rusak
GPS.01	0.013	0.018	0.067	0.081	-0.006	-0.018	-0.049	-0.052
GPS.02	0.006	0.021	Rusak	Rusak	-0.005	-0.010	Rusak	Rusak
GPS.03	0.009	0.034	0.037	Rusak	-0.006	-0.011	-0.025	Rusak
GPS.04	0.009	0.018	Rusak	Rusak	-0.007	-0.020	Rusak	Rusak



Vektor Pergeseran Koordinat (m)								
BM	Pergeseran Horizontal (X-Y)				Pergeseran Vertical (Z)			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
GPS.05	0.011	0.035	0.067	0.064	0.005	0.023	0.039	0.057
GPS.06	0.012	0.028	Rusak	Rusak	-0.004	-0.005	Rusak	Rusak
GPS.07	0.010	0.026	0.056	0.019	-0.009	-0.014	-0.058	-0.070
GPS.08	0.014	0.030	0.111	0.095	-0.004	-0.009	-0.054	-0.064
GPS.09	0.014	0.016	Rusak	Rusak	0.004	0.019	Rusak	Rusak
GPS.10	0.010	0.025	0.071	0.067	-0.005	-0.008	-0.048	-0.057
GPS.01A	0.003	0.021	0.065	0.155	-0.004	-0.014	-0.046	-0.056
GPS.02A	0.010	0.020	Rusak	Rusak	-0.005	-0.013	Rusak	Rusak
GPS.03A	0.007	0.021	0.087	Rusak	-0.004	-0.010	-0.053	Rusak
GPS.04A	0.009	0.015	Rusak	Rusak	-0.006	-0.014	Rusak	Rusak
GPS.05A	0.008	0.025	0.063	0.050	-0.005	-0.010	-0.042	-0.059
GPS.06A	0.007	0.016	Rusak	Rusak	-0.006	-0.029	Rusak	Rusak
GPS.07A	0.009	0.010	Rusak	Rusak	-0.003	-0.015	Rusak	Rusak
GPS.08A	0.009	0.017	0.059	0.060	-0.005	-0.020	-0.070	-0.078
GPS.09A	0.010	0.015	Rusak	Rusak	-0.003	-0.005	Rusak	Rusak
GPS.10A	0.008	0.028	0.048	0.044	-0.003	-0.014	-0.064	-0.081
max	0.031	0.048	0.111	0.155	0.005	0.023	0.039	0.057
min	0.003	0.009	0.019	0.019	-0.012	-0.037	-0.070	-0.081
avg	0.010	0.022	0.065	0.066	-0.005	-0.013	-0.040	-0.053

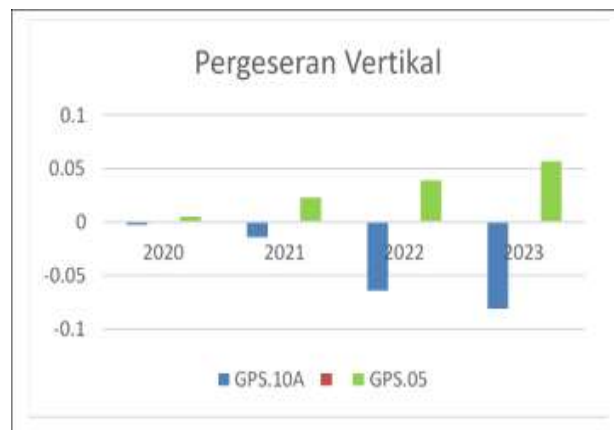
Dari data yang diinterpretasikan dari Tabel monitoring, terdapat peningkatan signifikan dalam rata-rata pergeseran horizontal dan vertikal di area KEK Mandalika, Nusa Tenggara Barat, dari tahun 2020 hingga 2023. Pada dimensi horizontal, rata-rata pergeseran mengalami kenaikan dari 0.010 m menjadi 0.066 m selama periode tersebut. Sementara itu, pergeseran vertikal juga menunjukkan tren yang serupa, dengan nilai awal -0.005 m meningkat menjadi -0.053 m, di mana tanda negatif (-) menunjukkan adanya penurunan elevasi permukaan tanah.

Titik pantau GPS.01A menjadi sorotan utama karena mengalami pergeseran horizontal terbesar sejauh 0.155 m, menandakan adanya deformasi yang signifikan pada titik tersebut selama periode pemantauan. Di sisi lain, titik pantau GPS.07 memiliki pergeseran horizontal terkecil, hanya sejauh 0.019 m, yang mungkin mengindikasikan adanya stabilitas yang lebih baik pada titik tersebut. Sedangkan untuk pergeseran vertikal (sumbu Z), titik pantau GPS.10A mencatatkan perubahan terbesar dengan nilai -0.081 m, di mana tanda negatif (-) menunjukkan adanya penurunan elevasi permukaan tanah. Posisi Titik pantau GPS.05 mengalami perubahan terkecil dengan nilai +0.057 m, di mana tanda positif (+) menunjukkan adanya kenaikan elevasi permukaan tanah. Pergeseran vertikal yang signifikan seperti pada titik GPS.10A dengan nilai -0.081 dapat menjadi perhatian serius dalam evaluasi stabilitas struktural dan keselamatan infrastruktur di sekitarnya.



Min

**Gambar 4.** Grafik pergeseran horizontal GPS.01A dan GPS.07



**Gambar 5.** Grafik pergeseran Vertikal GPS.10A dan GPS.05

## KESIMPULAN

1. Deformasi tanah yang terjadi di KEK Mandalika memiliki keterkaitan erat dengan infrastruktur yang ada dan rencana pembangunan di masa depan. Pengamatan yang teliti terhadap perubahan deformasi menjadi kunci dalam memastikan keberlangsungan dan keamanan infrastruktur tersebut. Bukti Kuantitatif berupa pengukuran deformasi tanah menunjukkan pergeseran horizontal rata-rata sebesar 0.035 m per tahun dan pergeseran vertikal rata-rata sebesar -0.015 m per tahun pada titik pengamatan di sekitar infrastruktur kritis.
2. Titik pantau GPS.01A menjadi sorotan utama karena mengalami pergeseran horizontal terbesar sejauh 0.155 m, menandakan adanya deformasi yang signifikan pada titik tersebut selama periode pemantauan. Titik pantau GPS.07 memiliki pergeseran horizontal terkecil, hanya sejauh 0.019 m, yang mungkin mengindikasikan adanya stabilitas yang lebih baik pada titik tersebut.
3. Titik pantau GPS.05 mengalami perubahan permukaan tanah dengan nilai +0.057 m, di mana tanda negatif (+) menunjukkan adanya kenaikan elevasi permukaan tanah. Pergeseran vertikal yang signifikan seperti pada titik GPS.10A dengan nilai -0.081 dapat menjadi perhatian serius dalam evaluasi stabilitas struktural dan keselamatan infrastruktur di sekitarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., & Abdullah, C.I. (2009). Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, 4(4), 275-284.
- Apriyanti, D. (2015). Analisis Pergerakan Aspek Geometrik 3D Pada Titik Kontrol Pemantauan Bendungan Waduk Sermo (Tesis, Jurusan Pascasarjana Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta).
- Barla, G. (2018). Numerical modeling of deep-seated landslides interacting with man-made structures. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(6), 1020-1036.
- Chen, Y. Q. (1983). Analysis of Deformation Surveys – A Generalized Method. University of New Brunswick, Canada.
- Fajriyanto, Suyadi, Citra, D., & Irwan, M. (2013). Estimasi Laju Geser dan Pembuatan Model Deformasi di Selat Sunda dengan Menggunakan GPS Kontinyu. Seminar Nasional Sains dan Teknologi V, Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Lampung.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (1992). GPS, Theory and Practice. Springer-Verlag, Wien - New York.
- Krakhmal, R. A., Evtushenko, S.I., & Krakhmal, M.P. (2016). New System of Monitoring of a Condition of Cracks of Small Reinforced Concrete Bridge Constructions. *Procedia Engineering*, 150, 2369-2374.
- Kuang, S. (1996). Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications. Michigan: Ann Arbor Press. Inc.
- Lestari, D. (2006). GPS Study for Resolving the Stability of Borobudur Temple Site (Thesis, School of Surveying and Spatial Information System, University of New South Wales).
- Marani, M. I. R. (2018). Penentuan Zona Gerakan Tanah dan Analisis Kemantapan Lereng di Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah. Teknik Geologi, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Ekonomi Khusus. Jakarta.
- Sulasdi, W.N. (1995). Makna Kerangka Referensi dalam Analisis Deformasi. Pertemuan Ilmiah Tahunan XX Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, Yogyakarta.
- Sunantyo, T.A., & Basuki, S. (2012). Pendefinisian Base Station untuk Pemantauan Deformasi di Waduk Sermo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Proceeding of Annual Engineering Seminar 2012*, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University.
- Tregoning, P., Brunner, F.K., Bock, Y., Puntodewo, S.S.O., McCaffrey, R., Genrich, J.F., Calais, E., Rais, J., & Subarya, C. (1994). First Geodetic Measurement of Convergence Across the Java Trench. *Geophysical Research Letters*, 21(19), 2135-2138.
- Yang, Q., Leng, K., & Liu, Y. (2011). Mechanical basis and engineering significance of deformation reinforcement theory. *Rock and Soil Mechanics*, 32.