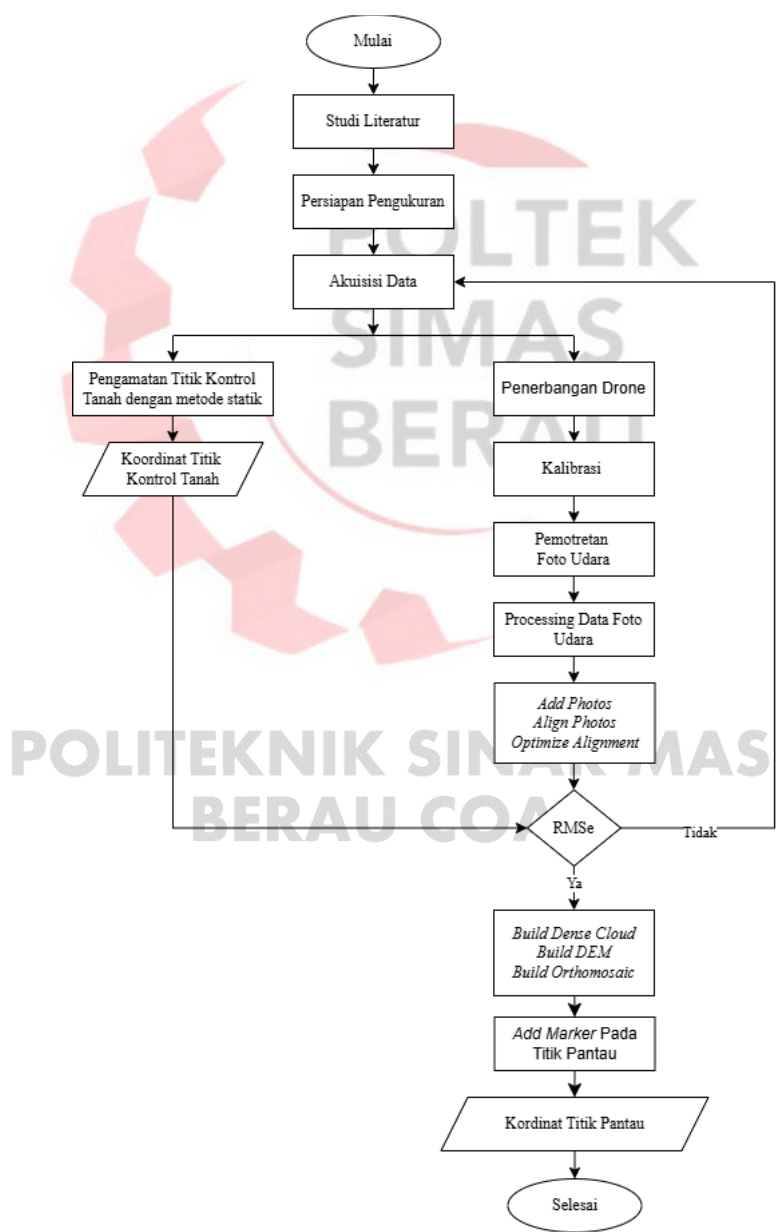


BAB III
METODE PENELITIAN

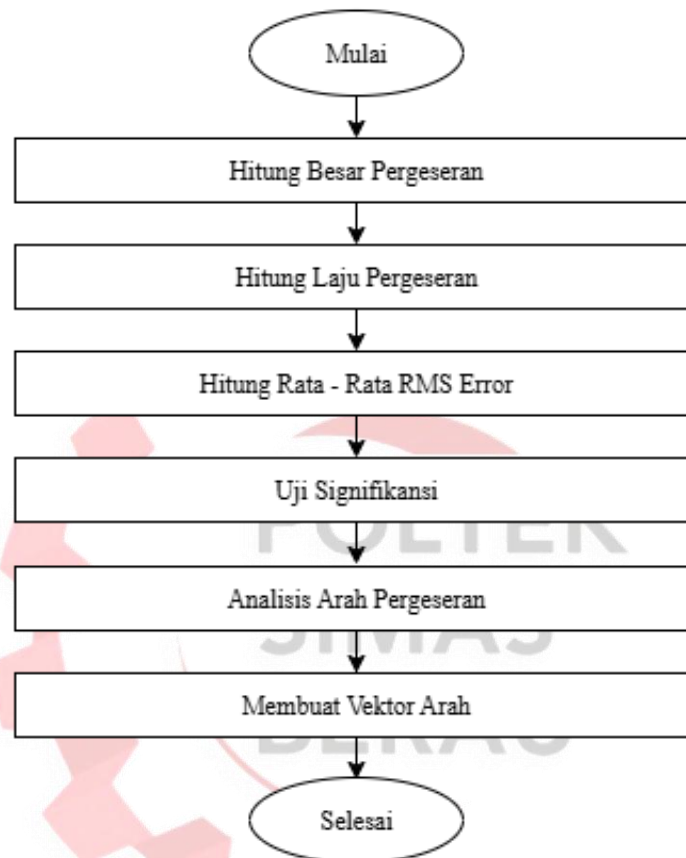
3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian yang akan digunakan untuk melakukan proses persiapan, akuisisi dan pengolahan data hasil pengukuran :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Proses Akuisisi dan Pengolahan Data Pengukuran

Gambar 3.2 merupakan diagram alir yang akan digunakan untuk melakukan analisis signifikansi deformasi dengan metode kuadrat terkecil:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Proses Analisis Deformasi Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil

3.1.1 Proses Akuisisi Dan Pengolahan Data Pengukuran

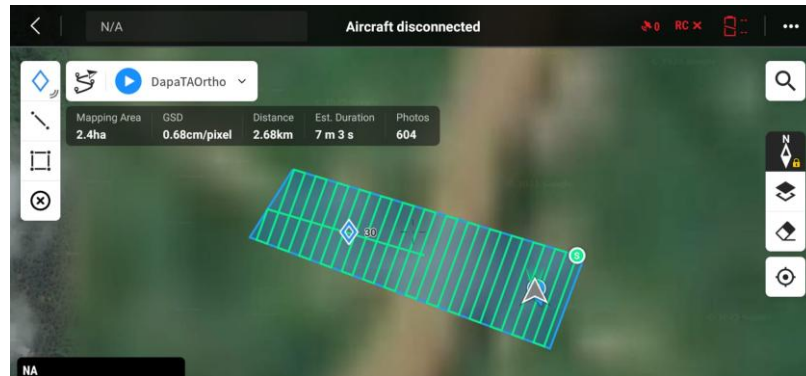
1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan ini meliputi kegiatan seperti studi literatur, penentuan jalur terbang, menentukan lokasi titik kontrol atau GCP dan penentuan lokasi titik pantau pada struktur jembatan yang akan dilakukan penelitian.

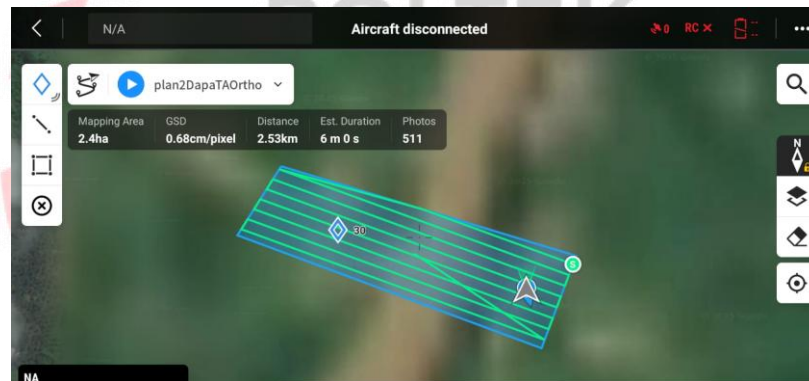
- Melakukan studi literatur terkait penelitian yang akan dilakukan, bertujuan agar dapat mengetahui lebih mendalam terkait metode serta objek yang akan dilakukan penelitian.
- Penentuan jalur terbang ini bertujuan untuk memastikan bahwa pengambilan area ini sudah mencakup sesuai dengan penelitian yang

dilakukan, seperti mempersiapkan perencanaan misi, analisis resiko, dan melakukan simulasi penerbangan.

a. Jalur terbang *Orthofoto*



Gambar 3. 3 Jalur Terbang *Orthofoto* plan 1



Gambar 3. 4 Jalur Terbang *Orthofoto* plan 2

Pada jalur ini menggunakan overlap 80% dan sidelap 70% dengan tinggi terbang 25 meter. *Orthofoto* memiliki 2 plan jalur terbang dapat dilihat pada gambar 3.5 dan gambar 3.6.

- Menempelkan *marker* di area penelitian, bentuk *marker* yang ditempel dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3. 5 Marker yang telah ditempel (Sumber: Foto 2025)

- Penentuan lokasi *Ground Control Point* (GCP) dan *marker*, GCP atau titik kontrol tanah merupakan sebuah titik ikat yang bertujuan sebagai acuan untuk memastikan bahwa garis lintang dan bujur telah sesuai dengan koordinat yang sebenarnya dan *marker* sebagai titik area yang diamati deformasinya. Lokasi titik GCP dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3. 6 Lokasi Titik Kontrol dan Marker

- Menyiapkan alat untuk melakukan penelitian dilapangan, alat yang digunakan yaitu:
 - 1 set *DJI Mavic 3 Enterprise*
 - 2 set *GPS Geodetic* beserta alat pendukung pengukuran
2. Tahap Pengukuran Data

Tahap ini meliputi kegiatan pada saat melakukan akuisisi data lapangan terdapat 2 akuisisi data yaitu proses pengambilan data titik kontrol menggunakan GPS geodetik metode statik dan pengambilan data foto udara menggunakan drone *set DJI Mavic 3 Enterprise*

- Pengamatan terhadap titik kontrol menggunakan GPS geodetik dengan metode statik.
- Pengamatan *geodetik* dilakukan selama 2 jam dan pengikatan menggunakan *CORS* Tanjung Redeb.
- Hasil dari pengamatan titik kontrol tersebut berupa data koordinat.

Point List

ID	Easting (Meter)	Northing (Meter)	Elevation (Meter)	Feature Code
BM1	546304.995	225085.648	7.253	
BM2	546298.339	225048.803	7.204	
ctju	622026.248	251528.363	9.739	

Gambar 3. 7 Hasil Kordinat BM 1 dan BM 2

Point List

ID	Easting (Meter)	Northing (Meter)	Elevation (Meter)	Feature Code
BM3	546524.769	225010.854	23.352	
BM4	546501.498	224976.925	17.689	
ctju	622026.248	251528.363	9.739	

Gambar 3. 8 Hasil Kordinat BM 3 dan BM 4

- Hasil akurasi dari BM yang digunakan.

Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (m)	Vert. Precision (m)	RMS	Length
☒	ctju --- BM2	Fixed	0.0240	0.0473	0.0272	80248.8531
☒	ctju --- BM1	Fixed	0.0222	0.0477	0.0220	80230.4093
☒	BM1 --- BM2	Fixed	0.0020	0.0022	0.0098	37.4623

Save	Observation	Solution T	Horiz. Precision (m)	Vert. Precision (m)	RMS	Length
☒	ctju --- BM3	Fixed	0.0233	0.0474	0.0177	80047.7435
☒	ctju --- BM4	Fixed	0.0409	0.0409	0.0195	80080.9218
☒	BM3 --- BM4	Fixed	0.0014	0.0015	0.0074	41.5615

Gambar 3. 9 Hasil akurasi BM 1 – 4

- Pengambilan data foto udara menggunakan drone *DJI Mavic 3 Enterprise* metode *orthofoto* (*epoch 1 - epoch 9*)
 - Melakukan kalibrasi terhadap drone sebelum melakukan penerbangan, proses kalibrasi kamera dilakukan untuk memastikan parameter internal kamera (seperti *focal length* dan distorsi lensa)

diketahui dan dapat digunakan dalam pengolahan fotogrametri agar hasil lebih akurat.

- Melakukan pengambilan data dilapangan secara berkala sebanyak 9 kali dan penerbangan dilakukan sesuai dengan jalur misi yang telah direncanakan pada tahap persiapan.
- Setelah melakukan pengambilan data maka terdapat hasil berupa foto udara mentah yang perlu dilakukan pengolahan untuk mendapatkan kualitas serta hasil akurasi yang baik.

3. Tahap Pengolahan Data

Tahap ini merupakan proses pengolahan menggunakan *software* pemetaan yang dapat menghasilkan produk foto udara yang berkualitas baik dan akurasi yang tinggi. Terdapat beberapa tahap dalam melakukan pengolahan menggunakan *software* pemetaan dengan beberapa tahapan pengolahan sebagai berikut:

- *Add Photos*
Pada tahap ini merupakan proses menambahkan foto udara yang telah dilakukan pengambilan menggunakan drone.
- *Align Photos*
Pada tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik – titik yang sama, terdiri dari 2 atau lebih foto udara dan melakukan matching titik untuk menghasilkan visualisasi gambar.
- *Optimize Alignment*
Pada tahap ini bertujuan untuk melakukan peningkatan akurasi dari model yang dihasilkan seperti melakukan marker terhadap GCP yang telah diinput.
- *Root Mean Square Error (RMSE)*
Pada tahap ini bertujuan untuk memastikan foto udara terkoreksi. Koreksi tidak boleh melebihi ukuran RMSE dari titik kontrol tanah. Titik kontrol tanah memiliki RMSE sebesar 0.02 m. sehingga RMSE pengolahan harus kurang dari 0.02 m, jika lebih dari 0.02 m maka perlu melakukan pengolahan kembali hingga RMSE mencapai kurang dari 0.02 m.
- *Build Dense Cloud*
Pada tahap ini *build dense cloud* merupakan proses membangun titik-titik tinggi yang lebih banyak dari pemrosesan foto udara untuk menghasilkan *Digital Surface Model (DSM)* dan *Digital Terrain Model (DTM)*.
- *Build DEM*

Tahap *build* DEM dilakukan untuk menghasilkan model elevasi digital dari permukaan lahan yang diperoleh melalui interpolasi dari titik-titik 3D hasil dense matching. Model ini menjadi dasar dalam proses ortorektifikasi foto udara pada tahap selanjutnya

- *Build Orthomosaic*

Pada Tahap ini merupakan sebuah proses hasil gabungan dari seluruh citra udara yang telah dikoreksi secara geometrik dan radiometrik, sehingga dapat digunakan dalam pengukuran spasial dan mampu menghasilkan akurasi yang tinggi.

- *Add Marker*

Pada Tahap ini merupakan suatu proses penandaan *marker* (titik pantau) yang telah dipasang pada struktur jembatan melalui hasil *orthomosaic*.

- Kordinat titik pantau, Setelah melakukan *add marker* maka koordinat titik pantau didapatkan, dan terdapat 9 data yang akan dilakukan analisis perhitungan deformasi di tahap selanjutnya

3.1.2 Proses Analisis Deformasi Metode Kuadrat Terkecil

1. Mulai

Tahap awal analisis, di mana data hasil pengukuran atau pengolahan citra sudah siap untuk diproses. Pada fase ini, peneliti menyiapkan koordinat titik pengamatan dari beberapa *epoch* sebagai input utama.

2. Hitung Besar Pergeseran

Pada tahap ini ditentukan nilai pergeseran tiap titik dengan cara menghitung selisih koordinat antar *epoch* pengamatan. Besarnya pergeseran diperoleh dari jarak *Euclidean* antara posisi awal dan posisi akhir suatu titik. Tahap ini menghasilkan informasi mengenai seberapa jauh suatu titik berpindah dari posisi awalnya.

3. Hitung Laju Pergeseran

Besarnya pergeseran yang sudah diperoleh kemudian dibandingkan dengan interval waktu pengukuran untuk mendapatkan nilai laju pergeseran. Hasil perhitungan ini menggambarkan seberapa cepat titik tersebut mengalami pergeseran per satuan waktu, yang penting untuk mengetahui tingkat deformasi.

4. Hitung Rata-Rata RMS *error*

Selanjutnya dilakukan perhitungan Root Mean Square (RMS) *error* untuk mengevaluasi tingkat ketelitian data. RMS *error* memberikan gambaran tentang tingkat penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Dengan

menghitung rata-rata *RMS error*, peneliti dapat menilai kualitas data sebelum digunakan untuk analisis lebih lanjut. Nilai *RMS error* yang digunakan yaitu sebesar 0.0216 m yang di dapat dengan merata - ratakan 4 *RMS error* dari titik control tanah yang digunakan pada saat akuisisi data

5. Uji hipotesis signifikansi deformasi

Pada tahap ini, dilakukan pengujian statistik untuk mengevaluasi apakah nilai deformasi yang diperoleh dari estimasi laju pergeseran memiliki signifikansi secara statistik. Pengujian ini menggunakan *RMS error* dari titik kontrol tanah yang digunakan yaitu 0.0216 m. Hasil pengujian akan menunjukkan apakah deformasi tersebut tergolong signifikan atau tidak signifikan, yang menjadi dasar dalam pengambilan keputusan lebih lanjut. Hasil keputusan uji hipotesis:

- Signifikan (Ya): Apabila hasil uji menunjukkan bahwa pergeseran yang diamati secara statistik signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa deformasi benar-benar terjadi. Dengan demikian. Pengujian dilakukan dengan membandingkan laju pergeseran koordinat x, y, dan z dengan *RMS error* titik kontrol tanah yang digunakan.
- Signifikan (Tidak): Sebaliknya, apabila hasil uji menyatakan bahwa pergeseran tidak signifikan, maka pergeseran tersebut kemungkinan hanya berasal dari kesalahan pengukuran atau tidak cukup besar untuk dikategorikan sebagai deformasi yang nyata. Dalam kasus ini, data tidak dilibatkan lebih lanjut dalam pengambilan keputusan terkait identifikasi wilayah terdampak deformasi, dan langsung disajikan sebagai bagian dari hasil analisis.

6. Analisis Arah Pergeseran

Apabila pergeseran dinyatakan signifikan, tahap berikutnya adalah menentukan arah pergeseran. Analisis arah dilakukan dengan menghitung sudut azimuth berdasarkan perubahan koordinat titik. Tahap ini bertujuan untuk memahami pola pergerakan titik terhadap sistem koordinat.

7. Membuat Vektor Arah

Dari hasil analisis arah, kemudian dibuat representasi vektor pergeseran. Vektor ini menggambarkan besarnya pergeseran sekaligus arah perpindahan dalam bentuk grafis, misalnya panah pada peta atau model ortofoto. Visualisasi ini memudahkan interpretasi deformasi secara spasial.

8. Selesai

Tahap akhir dari alur adalah diperolehnya hasil analisis lengkap berupa nilai besar pergeseran, laju, arah, serta uji signifikansi. Informasi ini selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk interpretasi deformasi pada struktur yang diamati.

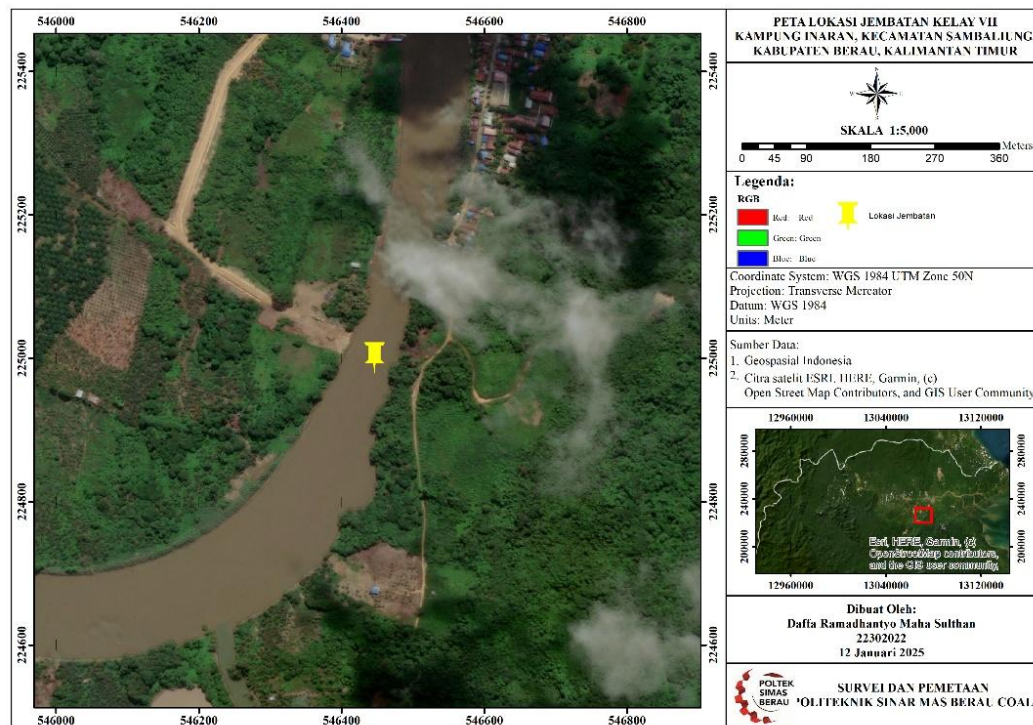
3.2 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang didukung oleh metode analisis deskriptif dan inferensial. Data yang dianalisis bersifat numerik dan diperoleh melalui foto udara drone yang sudah melalui proses pengolahan. Data tersebut kemudian diolah untuk mengidentifikasi pola laju pergeseran dan deformasi menggunakan perangkat lunak *microsoft excel*.

Analisis deskriptif berfungsi untuk menggambarkan data sesuai kondisi sebenarnya tanpa melakukan generalisasi, misalnya melalui perhitungan statistik sederhana (rata-rata, median, standar deviasi), penyusunan tabel atau grafik pergeseran, serta penyajian arah pergerakan tiap titik pengamatan. Sementara itu, analisis inferensial digunakan untuk menarik kesimpulan dan menguji hipotesis berdasarkan data sampel sehingga hasilnya dapat digeneralisasikan, misalnya dengan uji signifikansi untuk membedakan pergeseran nyata dari *error* pengukuran, atau analisis regresi untuk melihat hubungan antar variabel. Dengan kombinasi keduanya, hasil penelitian tidak hanya mampu menampilkan pola data secara informatif, tetapi juga memberikan dasar yang kuat dalam pengambilan keputusan ilmiah terkait deformasi struktur.

3.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian akan dilakukan di Jembatan Kelay VII yang menghubungkan antara Kampung Inaran dengan Kampung Pegat Bukur, Kecamatan Sambaliung, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Jembatan Kelay VII ini memiliki ukuran dengan panjang 105 Meter dan lebar 6 yang membentang diatas Sungai Kelay yang menghubungkan antar kedua kampung meter dengan berat beban maksimal mencapai 8 Ton. Pada peta lokasi tersebut, simbol point kuning merupakan lokasi area Jembatan Kelay VII yang akan dilakukan penelitian. Peta pada gambar 3.1 ini telah sesuai skalanya dengan *layout* peta ukuran kertas A4.



Gambar 3. 10 Peta Lokasi Penelitian

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan selama melakukan penelitian, dengan tahap pengumpulan data dan pengolahan data, terdapat dibawah ini:

- Alat
 1. 1 set Drone Mavic 3 Enterprise
 2. 2 set GNSS Geodetic
 3. 4 Patok BM
 4. Marker
 5. *Software* Pemetaan
 6. Ms. Excel
- Bahan
 1. Koordinat titik BM
 2. Data Koordinat pengukuran M1 - M10 sebanyak 9 *epoch*
 3. SD Card