



## Pengaruh Kepadatan Titik Kontrol Terhadap Akurasi Peta Topografi Menggunakan GNSS Geodetik

Natalino T. J. Lasaru<sup>#a</sup>, Lucia I. R. Lefrandt<sup>#b</sup>, Samuel Y. R. Rompis<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

<sup>a</sup>natalinolasar021@student.unsrat.ac.id, <sup>b</sup>lucia.lefrandt@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>semuel.rompis@unsrat.ac.id

### Abstrak

Pemetaan topografi merupakan dasar penting dalam bidang teknik sipil, geodesi, dan perencanaan wilayah, khususnya untuk perancangan infrastruktur dan analisis lahan. Akurasi peta topografi sangat menentukan keberhasilan perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, karena kesalahan pemetaan dapat berdampak pada ketidaktepatan desain, peningkatan biaya, serta risiko kegagalan struktur. Salah satu faktor yang memengaruhi akurasi peta topografi adalah kepadatan titik kontrol yang digunakan dalam proses pemetaan. Secara teoritis, titik kontrol berfungsi sebagai acuan geometris dalam pembentukan peta topografi. Kepadatan dan distribusi titik kontrol berpengaruh terhadap kualitas interpolasi elevasi dan pembentukan kontur. Evaluasi ketelitian peta dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan terhadap titik referensi (*checkpoint*) menggunakan parameter statistik seperti *Root Mean Square Error* (RMSE), mengacu pada standar ketelitian peta yang ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Penelitian ini dilakukan menggunakan metode survei GNSS Geodetik dengan pendekatan *Real Time Kinematic* (RTK) pada lahan *Agriculture & Landscape* di Wusa, Kota Manado. Tiga skenario kepadatan titik kontrol diterapkan, yaitu 1 titik per 1 hektar, 1 titik per 2,5 hektar, dan 1 titik per 5 hektar. Data pengukuran diolah menggunakan perangkat lunak pemetaan untuk menghasilkan peta topografi pada setiap skenario, kemudian dilakukan uji akurasi menggunakan perhitungan RMSE planimetris dan vertikal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan titik kontrol yang lebih tinggi menghasilkan nilai RMSE yang lebih kecil dan kualitas peta topografi yang lebih baik. Skenario dengan kepadatan 1 titik per 1 hektar memberikan tingkat akurasi tertinggi dan memenuhi standar ketelitian peta skala besar sesuai ketentuan BIG. Penelitian ini merekomendasikan pemilihan kepadatan titik kontrol yang sesuai dengan kebutuhan skala peta untuk memperoleh hasil pemetaan yang akurat dan efisien.

*Kata kunci: peta topografi, kepadatan titik kontrol, GNSS Geodetik*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Pemetaan topografi memegang peranan penting dalam bidang teknik sipil, geodesi, dan perencanaan wilayah. Peta topografi digunakan untuk berbagai tujuan, seperti perencanaan tata ruang, perancangan jalan, jembatan, bendungan, serta perhitungan volume galian dan timbunan. Akurasi peta topografi sangat krusial untuk keberhasilan suatu perencanaan, karena kesalahan dalam proses pemetaan dapat menyebabkan kesalahan dalam desain dan konstruksi, yang pada akhirnya dapat menimbulkan peningkatan biaya dan risiko kegagalan struktur.

Dalam pelaksanaan pemetaan, salah satu faktor yang memengaruhi ketepatan hasil adalah keberadaan titik kontrol (*Ground Control Point/GCP*). Titik kontrol berperan sebagai acuan koordinat dalam proses pengikatan dan penyesuaian data pengukuran. Kepadatan titik kontrol, yang diartikan sebagai jumlah titik kontrol per satuan luas wilayah, sangat berpengaruh terhadap akurasi peta yang dihasilkan. Semakin banyak titik kontrol yang digunakan, distribusi data menjadi lebih merata sehingga distorsi pada peta dapat dikurangi. Namun, penambahan jumlah titik kontrol juga akan berdampak pada peningkatan biaya, waktu, dan tenaga yang dibutuhkan dalam proses pengukuran.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi praktis terkait jumlah dan penyebaran titik kontrol yang paling efektif dalam pemetaan topografi menggunakan GNSS. Dengan pendekatan ini, diharapkan tingkat ketelitian peta dapat memenuhi standar nasional, seperti yang diatur oleh Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG), sekaligus menghindari pemborosan biaya dan waktu.

### 1.2. Rumusan Masalah

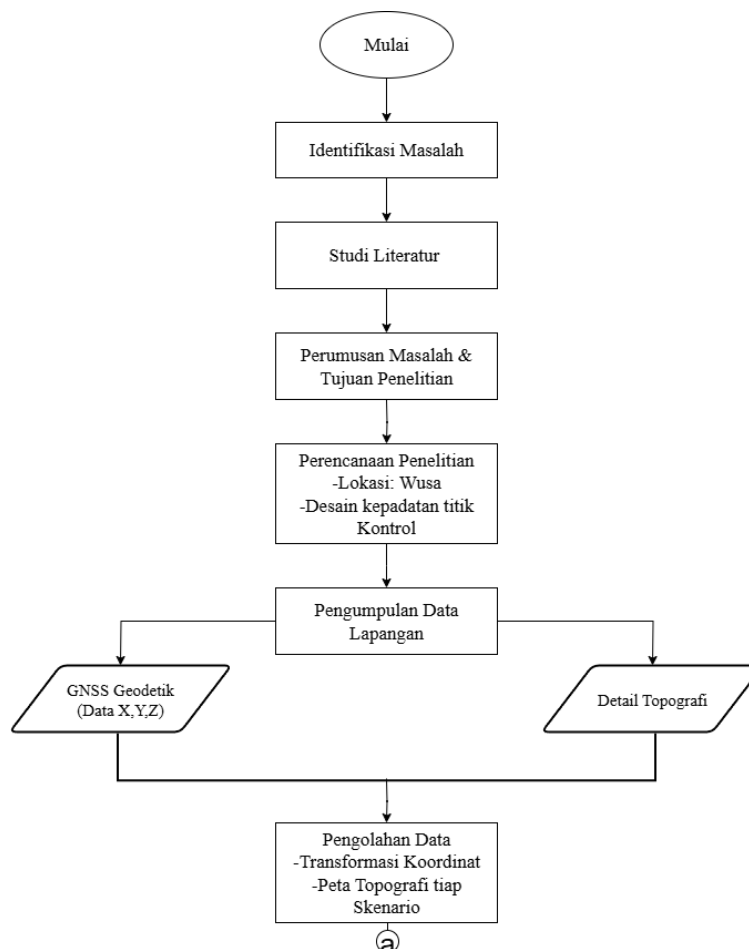
1. Bagaimana pengaruh kepadatan titik kontrol terhadap akurasi peta topografi menggunakan GNSS Geodetik?
2. Berapa jumlah titik kontrol minimal yang dapat menghasilkan akurasi sesuai standar pemetaan?
3. Apakah peningkatan kepadatan titik kontrol selalu memberikan peningkatan akurasi yang signifikan?

### 1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh kepadatan titik kontrol terhadap akurasi peta topografi berbasis GNSS Geodetik
2. Menentukan jumlah titik kontrol yang optimal agar memenuhi ketelitian sesuai standar BIG.
3. Memberikan rekomendasi teknis penggunaan titik kontrol dalam pemetaan berbasis GNSS agar efisien dan akurat.

## 2. Metode

Desain penelitian yang dilakukan dengan menggunakan tahapan kerangka kerja yang ditunjukkan pada Gambar 1.





**Gambar 1.** Diagram Alir Kegiatan Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Gambaran Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Kawasan Rencana Lahan untuk Agriculture & Landscape di Desa Wusa, Kecamatan Talawaan, Kabupaten Minahasa Utara, yang terletak sekitar 4-7 km dari Bandara Internasional Sam Ratulangi Manado. Area ini berada pada koordinat sekitar  $1^{\circ}33'43.2''$  LU dan  $123^{\circ}45'00''$  BT, dengan batas wilayah berupa permukiman, lahan terbuka, dan akses jalan lokal. Kondisi geografis yang strategis serta lingkungan sekitar yang relative terbuka menjadikan Lokasi ini mudah dijangkau dan sangat mendukung kegiatan survei geospasial.

#### 3.2. Perencanaan Penelitian

Perencanaan penelitian ini sebagai tahap awal untuk menyusun seluruh rangkaian kegiatan penelitian secara sistematis, terarah, dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Dalam penelitian pemetaan topografi, perencanaan penelitian berfungsi untuk memastikan bahwa setiap langkah di lapangan maupun analisis data dapat berjalan efektif, efisien, dan menghasilkan data sesuai tujuan penelitian. Analisis karakteristik topografi di lahan Agriculture & Landscape Wusa diawali dengan membuat peta dasar menggunakan Google Earth Pro. Penentuan titik-titik batas lahan merupakan prosedur mengidentifikasi, menandai, dan mencatat posisi koordinat yang melambangkan batas fisik atau batas rencana area penelitian.

##### 1. Penentuan skema kepadatan titik kontrol

Penelitian ini membagi distribusi titik kontrol kedalam skenario kepadatan berdasarkan luas area guna menguji pengaruh variasi jumlah titik terhadap akurasi model elevasi dan kontur yang diperoleh.

##### 2. Perencanaan gambar kerja titik kontrol (Benchmark)

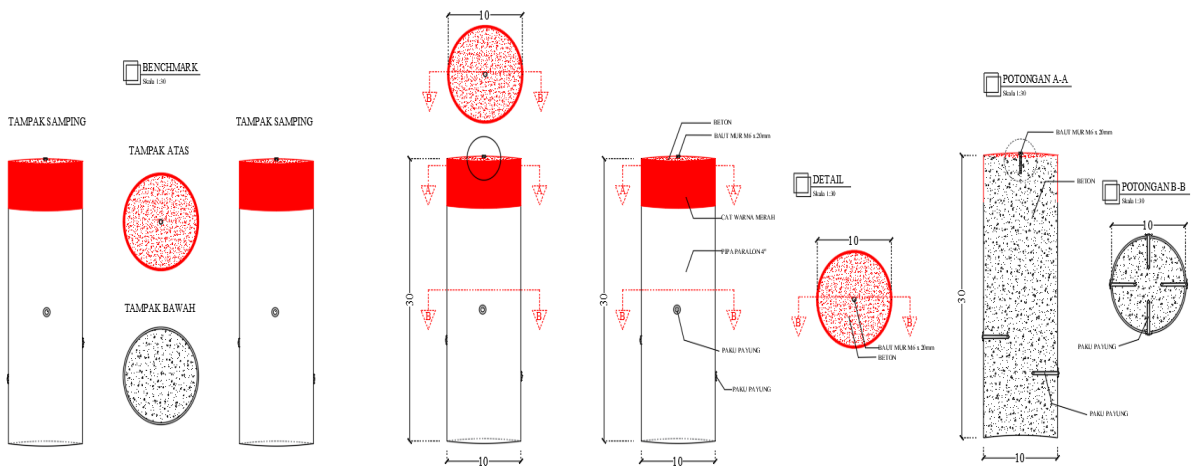
Perencanaan gambar kerja benchmark diperlukan untuk menjamin bahwa benchmark dibangun secara konsisten, presisi, dan mudah dikenali untuk pengukuran lanjutan.



Gambar 2. Peta Dasar dan Titik-titik Batas Lahan



Gambar 3. Pembagian Skema Skenario



Gambar 4. Perencanaan Benchmark

### 3.3. Pengumpulan Data Lapangan

Pengumpulan data lapangan dilakukan untuk memperoleh koordinat titik kontrol dan titik detail yang akan digunakan dalam pemodelan peta topografi pada tiga skenario kepadatan titik kontrol. Teknik pengukuran dilakukan menggunakan sistem GNSS geodetik berbasis RTK (Real Time Kinematic).

Tabel 1. Koordinat Hasil Pengukuran Lapangan

DATA PENGUKURAN																																							
1	B11	719944	12076	149.51	51	8151	718773	12071	149.43	10	8.21	719197	12086	149.91	81	8.21	719195	12087	147.91	201	K.13	719390	12000	141.16	261	K.10	719662	12098	141.08	301	K.129	719195	12062	148.78	351	K.191	719390	12002	145.2
2	B12	719000	12076	149.7	52	8152	718771	12076	149.27	102	8.22	719191	12085	149.16	82	8.22	719188	12086	147.48	202	K.12	719388	12002	141.78	262	K.11	719658	12094	142.36	302	BH-2	719191	12081	147.93	352	K.120	719191	12004	146.7
3	B13	719071	12082	149.78	53	8153	718866	12080	149.21	103	8.23	719191	12089	149.15	83	8.23	719187	12090	147.38	203	K.13	719387	12003	142.08	263	K.12	719659	12096	142.81	303	B3	719081	12082	149.52	353	K.121	719081	12004	146.7
4	B14	719094	12087	149.91	54	8154	718959	12085	149.14	104	8.24	719222	12089	149.91	84	8.24	719218	12092	147.30	204	K.14	719382	12003	142.07	264	K.13	719653	12102	144.12	304	B4	719081	12084	149.28	354	K.122	719081	12005	146.43
5	B15	719071	12091	149.91	55	8155	718811	12087	149.69	105	8.25	719201	12094	150.04	85	8.25	719197	12097	147.28	205	K.15	719381	12004	142.66	265	K.14	719666	12103	144.46	305	B5	719082	12084	149.28	355	K.123	719082	12006	146.43
6	B16	719091	12096	150.75	56	8156	718845	12091	149.18	106	8.26	719214	12093	150.13	86	8.26	719211	12096	147.2	206	K.16	719380	12005	143.2	266	K.15	719668	12104	144.93	306	K.124	719083	12084	149.24	356	K.124	719083	12007	146.6
7	B17	719001	12101	150.19	57	8157	718844	12094	149.37	107	8.27	719222	12099	150.17	87	8.27	719217	12102	147.11	207	K.17	719379	12006	143.74	267	K.16	719667	12106	144.42	307	K.125	719084	12084	149.21	357	K.125	719084	12008	146.35
8	B18	719022	12106	150.2	58	8158	718835	12096	144.24	108	8.28	719227	12102	150.23	88	8.28	719222	12105	147.08	208	K.18	719378	12007	144.5	268	K.17	719672	12107	144.75	308	K.126	719085	12084	149.2	358	K.126	719085	12010	146.38
9	B19	719044	12110	150.25	59	8159	718834	12101	144.22	109	8.29	719235	12108	150.34	89	8.29	719230	12111	147.2	209	K.19	719382	12008	145.78	269	K.18	719671	12108	143.66	309	K.127	719086	12084	149.21	359	K.127	719086	12012	146.4
10	B20	719025	12115	150.29	60	8160	718832	12106	142.47	110	8.30	719241	12115	150.38	90	8.30	719236	12118	147.25	210	K.20	719381	12009	146.58	270	K.19	719670	12110	143.92	310	K.128	719087	12084	149.2	360	K.128	719087	12014	146.3
11	B21	719027	12120	150.41	61	8161	718830	12111	148.6	111	8.31	719249	12120	150.25	91	8.31	719244	12123	147.21	211	K.21	719380	12010	147.89	271	K.20	719669	12112	144.97	311	K.129	719088	12084	149.2	361	K.129	719088	12016	146.3
12	B22	719025	12125	150.27	62	8162	718827	12116	148.53	112	8.32	719255	12125	150.19	92	8.32	719250	12128	147.18	212	K.22	719380	12011	148.2	272	K.21	719668	12114	144.26	312	K.130	719089	12084	149.2	362	K.130	719089	12020	146.3
13	B23	719001	12130	150.11	63	8163	718825	12121	148.75	113	8.33	719263	12130	150.13	93	8.33	719258	12133	147.16	213	K.23	719380	12012	148.58	273	K.22	719667	12116	143.78	313	K.131	719090	12084	149.2	363	K.131	719090	12024	146.32
14	B24	719013	12135	149.94	64	8164	718823	12126	148.18	114	8.34	719271	12135	149.13	94	8.34	719266	12138	147.14	214	B2	719380	12013	149.12	274	B2	719666	12118	144.2	314	K.132	719091	12084	149.2	364	K.132	719091	12028	146.28
15	B25	719035	12140	149.59	65	8165	718821	12131	142.13	115	8.35	719281	12140	149.18	95	8.35	719276	12143	147.1	215	K.24	719380	12014	149.82	275	K.23	719665	12120	143.98	315	K.133	719092	12084	149.2	365	K.133	719092	12032	146.28
16	B26	719017	12144	149.25	66	8166	718818	12136	142.56	116	8.36	719289	12144	149.22	96	8.36	719284	12147	147.08	216	K.25	719380	12015	149.51	276	K.24	719664	12122	143.76	316	K.134	719093	12084	149.2	366	K.134	719093	12036	146.28
17	B27	719019	12149	148.94	67	8167	718816	12141	142.1	117	8.37	719297	12149	149.27	97	8.37	719292	12152	147.06	217	K.26	719380	12016	149.8	277	K.25	719663	12124	143.54	317	K.135	719094	12084	149.2	367	K.135	719094	12040	146.28
18	B28	719041	12154	148.78	68	8168	718814	12146	144.54	118	8.38	719305	12154	149.32	98	8.38	719300	12157	147.04	218	K.27	719380	12017	149.61	278	K.26	719662	12126	143.32	318	K.136	719095	12084	149.2	368	K.136	719095	12044	146.28
19	B29	719042	12159	148.61	69	8169	718812	12151	144.9	119	8.39	719313	12159	149.37	99	8.39	719308	12162	147.02	219	K.28	719380	12018	149.82	279	K.27	719661	12128	143.1	319	K.137	719096	12084	149.2	369	K.137	719096	12048	146.28
20	B30	719044	12164	148.54	70	8170	718810	12156	145.3	120	8.40	719321	12164	149.42	100	8.40	719316	12167	147.0	220	K.29	719380	12019	149.89	280	K.28	719660	12130	142.88	320	K.138	719097	12084	149.2	370	K.138	719097	12052	146.28
21	B31	719046	12169	148.45	71	8171	718808	12161	145.72	121	8.41	719329	12169	149.47	101	8.41	719324	12172	146.98	221	BH-3	719380	12020	149.8	281	BH-3	719659	12132	142.66	321	K.139	719098	12084	149.2	371	K.139	719098	12056	146.28
22	B32	719048	12174	148.3	72	8172	718806	12166	146.1	122	8.42	719337	12174	149.52	102	8.42	719332	12177	146.96	222	K.30	719380	12021	149.77	282	K.29	719658	12134	142.44	322	K.140	719099	12084	149.2	372	K.140	719099	12060	146.28
23	B33	719050	12179	148.15	73	8173	718804	12171	146.49	123	8.43	719345	12179	149.57	103	8.43	719340	12180	146.94	223	K.31	719380	12022	149.67	283	K.30	719657	12136	142.22	323	K.141	719100	12084	149.2	373	K.141	719100	12064	146.28
24	B34	719052	12184	148.04	74	8174	718802	12176	146.87	124	8.44	719353	12184	149.62	104	8.44	719348	12183	146.9	224	K.32	719380	12023	149.58	284	K.31	719656	12138	142.0	324	K.142	719101	12084	149.2	374	K.142	719101	12070	146.28
25	B35	719054	12189	147.91	75	8175	718800	12181	147.25	125	8.45	719361	12189	149.67	105	8.45	719356	12186	146.88	225	K.33	719380	12024	149.49	285	K.32	719655	12140	141.78	325	K.143	719102	12084	149.2	375	K.143	719102	12076	146.28
26	B36	719056	12194	147.78	76	8176	718798	12186	147.64	126	8.46	719369	12194	149.72	106	8.46	719364	12189	146.86	226	K.34	719380	12025	149.4	286	K.33	719654	12142	141.56	326	K.144	719103	12084	149.2	376	K.144	719103	12082	146.28
27	B37	719058	12199	147.65	77	8177	718796	12191	148.02	127	8.47	719377	12199	149.77	107	8.47	719372	12192	146.84	227	K.35	719380	12026	149.31	287	K.34	719653	12144	141.34	327	K.145	719104	12084	149.2	377	K.145	719104	12080	146.28
28	B38	719060	12204	147.52	78	8178	718794	12196	148.4	128	8.48	719385	12204	149.82	108	8.48	719380	12197	146.82	228	K.36	719380	12027	149.22	288	K.35	719652	12146	141.12	328	K.146	719105	12084	149.2	378	K.146	719105	12076	146.28
29	B39	719062	12209	147.39	79	8179	718792	12201	148.78	129	8.49	719393	12209	149.87	109	8.49	719388	12200	146.8	229	K.37	719380	12028	149.13	289	K.36	719651	12148	140.9	329	K.147	719106	12084	149.2	379	K.147	719106	12084	149.2
30	B40	719064	12214	147.26	80	8180	718790	12206	149.16	130	8.50	719401	12214	149.92	110	8.50	719396	12205	146.78	230	K.38	719380	12029	149.04	290	K.37	719650	12150	140.68	330	K.148	719107	12084	149.2	380	K.148	719107	12084	149.2
31	B41	719066	12219	147.13	81	8181	718788	12211	149.54	131	8.51	719409	12219	149.97	111	8.51	719404	12212	146.76	231	K.39	719380	12030																

### 3.4. Uji Akurasi (RMSE)

Akurasi model elevasi ditentukan oleh nilai RMSE; semakin kecil nilainya, semakin akurat representasi medan aslinya. Sebaliknya, RMSE yang besar mengindikasikan ketidakakuratan model, yang umumnya disebabkan oleh distribusi titik kontrol yang kurang memadai. Dalam pekerjaan pemetaan dan pengukuran, RMSE planimetris dihitung dengan rumus:

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta x^2 + \Delta y^2)}{n}}$$

keterangan:

- $\Delta x = X_{baru} - X_{lama}$
- $\Delta y = Y_{baru} - Y_{lama}$
- $n$  adalah jumlah titik uji
- $X =$  Koordinat Easting
- $Y =$  Koordinat Northing

$\Delta x$  dan  $\Delta y$  merupakan selisih koordinat horizontal antara:

- Koordinat (X,Y), Elevasi (Z) hasil pengukuran lama (referensi) dan
- Koordinat (X,Y), Elevasi (Z) hasil pengukuran baru (hasil survei ulang).

Sehingga data Koordinat yang akan digunakan pada uji akurasi RMSE ini harus ada pembandingnya. Maka dilakukan survei ulang untuk mendapatkan data pembanding pada beberapa titik (Terutama titik kontrol pada 3 skenario) yang akan di bandingkan dengan perhitungan RMSE.

- Data Koordinat Skenario 1, 2, dan 3:

**Tabel 2.** Data Hasil Survei Ulang

Titik	Easting Lama (m)	Northing Lama (m)	Elevasi lama (m)	Easting Baru (m)	Northing Baru (m)	Elevasi baru (m)
BT1	713903.7	172876	149.628	713903.74	172876.1	149.728
BT2	713940.2	172973.8	148.285	713940.2	172973.8	148.385
BT3	713924	173062.1	147.806	713924.1	173062.1	147.906
BT4	713930	173062.1	147.49	713930.1	173062.1	147.59
BT5	713943.5	173081.5	142.771	713943.5	173081.5	142.971
BT6	713685.5	173083.1	136.042	713685.5	173083.1	136.042
BT7	713683.9	173053	139.773	713683.9	173053.1	139.873
BT8	713630	172886.8	139.802	713630.1	172886.8	139.902
BT9	713692.4	172844	144.896	713692.4	172844.1	144.996
BT10	713712.6	172870.7	146.667	713712.6	172870.7	146.667
BM1	713818.0	172881.0	148.05	713818.0	172881.0	148.05
BM2	713937.3	172981.8	147.925	713937.3	172981.8	147.925
BM3	713831.0	173070.0	146.21	713831.0	173070.0	146.21
BM4	713685.0	173036.0	140.427	713685.0	173036.0	140.427
BM5	713639.3	172927.8	143.973	713639.3	172927.8	143.973

### 3.5. Perhitungan Selisih Koordinat

Perhitungan selisih koordinat dilakukan untuk mengetahui perbedaan posisi horizontal antara koordinat hasil pemetaan dan koordinat acuan di lapangan. Selisih ini dihitung pada masing-masing sumbu, yaitu sumbu X (Easting) dan Y (Northing).

Secara Matematis:

$$\Delta x = X_{baru} - X_{lama}$$

$$\Delta y = Y_{baru} - Y_{lama}$$

**Tabel 3.** Selisih Koordinat Skenario 1

No	Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X^2 + \Delta Y^2$ (m <sup>2</sup> )
1	BT1	0.0	0.10	0.0100
2	BT2	0.0	0.00	0.0000
3	BT3	0.1	0.00	0.0100
4	BT4	0.1	0.00	0.0100
5	BT5	0.0	0.00	0.0000
6	BT6	0.0	0.00	0.0000
7	BT7	0.0	0.10	0.0100
8	BT8	0.1	0.00	0.0100
9	BT9	0.0	0.10	0.0100
10	BT10	0.0	0.0	0.0
11	BM1	0.0	0.0	0.0
12	BM2	0.0	0.0	0.0
13	BM3	0.0	0.0	0.0
14	BM4	0.0	0.0	0.0
15	BM5	0.0	0.0	0.0
<b>Jumlah</b>				<b>0.0600</b>

**Tabel 4.** Selisih Koordinat Skenario 2

No.	Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X^2 + \Delta Y^2$ (m <sup>2</sup> )
1	BT1	0.0	0.10	0.0100
2	BT2	0.0	0.00	0.0000
3	BT3	0.1	0.00	0.0100
4	BT4	0.1	0.00	0.0100
5	BT5	0.0	0.00	0.0000
6	BT6	0.0	0.00	0.0000
7	BT7	0.0	0.10	0.0100
8	BT8	0.1	0.00	0.0100
9	BT9	0.0	0.10	0.0100
10	BT10	0.0	0.0	0.0
11	BM1	0.0	0.0	0.0
12	BM3	0.0	0.0	0.0
<b>Jumlah</b>				<b>0.0600</b>

**Tabel 5.** Selisih Koordinat Skenario 3

No	Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X^2 + \Delta Y^2$ (m <sup>2</sup> )
1	BT1	0.0	0.10	0.0100
2	BT2	0.0	0.00	0.0000
3	BT3	0.1	0.00	0.0100
4	BT4	0.1	0.00	0.0100
5	BT5	0.0	0.00	0.0000
6	BT6	0.0	0.00	0.0000
7	BT7	0.0	0.10	0.0100
8	BT8	0.1	0.00	0.0100
9	BT9	0.0	0.10	0.0100
10	BT10	0.0	0.0	0.0
11	BM1	0.0	0.0	0.0
<b>Jumlah</b>				<b>0.0600</b>

**Perhitungan RMSE Koordinat:**

Skenario 1, Diketahui:

Jumlah  $\sum \Delta X^2 + \Delta Y^2$  (m<sup>2</sup>) = 0.0600 m<sup>2</sup>

Jumlah titik (n) = 15

Maka:

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{0,0600}{15}}$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{0,004}$$

$$RMSE_{xy} = \mathbf{0,063\ m}$$

Skenario 2:

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{0,0600}{12}}$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{0,005}$$

$$RMSE_{xy} = \mathbf{0,070\ m}$$

Skenario 3:

$$RMSE_{xy} = \sqrt{\frac{0,0600}{11}}$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{0,005454}$$

$$RMSE_{xy} = \mathbf{0,074\ m}$$

**3.6. Perhitungan Selisih Elevasi**

Uji akurasi elevasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perbedaan antara elevasi lama ( $Z$  lama) dari peta atau model topografi dengan elevasi baru ( $Z$  baru) hasil pengukuran langsung menggunakan GNSS.

Secara Matematis:

$$E = Z_{baru} - Z_{lama}$$

**Tabel 6.** Selisih Elevasi Skenario 1

Titik	Elevasi lama	Elevasi baru	$(Z_{baru} - Z_{lama})^2$
BT1	149.628	149.728	0.0100
BT2	148.285	148.385	0.0100
BT3	147.806	147.906	0.0100
BT4	147.49	147.59	0.0100
BT5	142.771	142.971	0.0200
BT6	136.042	136.042	0.0000
BT7	139.773	139.873	0.0100
BT8	139.802	139.902	0.0100
BT9	144.896	144.996	0.0100
BT10	146.667	146.667	0.0000
BM1	148.05	148.05	0.0000
BM2	147.925	147.925	0.0000
BM3	146.21	146.21	0.0000
BM4	140.427	140.427	0.0000
BM5	143.973	143.973	0.0000
<b>Jumlah</b>			<b>0.0900</b>

**Tabel 7.** Selisih Elevasi Skenario 2

Titik	Elevasi lama	Elevasi baru	$(Z_{baru} - Z_{lama})^2$
BT1	149.628	149.728	0.0100
BT2	148.285	148.385	0.0100
BT3	147.806	147.906	0.0100
BT4	147.49	147.59	0.0100
BT5	142.771	142.971	0.0200
BT6	136.042	136.042	0.0000
BT7	139.773	139.873	0.0100
BT8	139.802	139.902	0.0100
BT9	144.896	144.996	0.0100
BT10	146.667	146.667	0.0000
BM1	148.05	148.05	0.0000
BM3	146.21	146.21	0.0000
<b>Jumlah</b>			<b>0.0900</b>

**Tabel 8.** Selisih Elevasi Skenario 3

Titik	Elevasi lama	Elevasi baru	$(Z_{baru} - Z_{lama})^2$
BT1	149.628	149.728	0.0100
BT2	148.285	148.385	0.0100
BT3	147.806	147.906	0.0100
BT4	147.49	147.59	0.0100
BT5	142.771	142.971	0.0200
BT6	136.042	136.042	0.0000
BT7	139.773	139.873	0.0100
BT8	139.802	139.902	0.0100
BT9	144.896	144.996	0.0100
BT10	146.667	146.667	0.0000
BM1	148.05	148.05	0.0000
<b>Jumlah</b>			<b>0.0900</b>

**Perhitungan RMSE Elevasi:**

Skenario 1, Diketahui:

Jumlah Selisih = 0.0900 m<sup>2</sup>

Jumlah titik (n) = 15

Maka:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{baru} - Z_{lama})^2}{n}}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{0,0900}{15}}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{0,006}$$

$$RMSE_Z = \mathbf{0,0774\ m}$$

Skenario 2:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{0,0900}{12}}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{0,0075}$$

$$RMSE_Z = \mathbf{0,0866\ m}$$

Skenario 3:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{0,0900}{12}}$$

$$RMSE_Z = \sqrt{0,0075}$$

$$RMSE_Z = \mathbf{0,0866\ m}$$

a. Evaluasi Terhadap Ketelitian Peta Skala 1:1.000

**Tabel 9.** Parameter Terhadap Ketelitian Koordinat

Parameter RMSE hasil perhitungan	Nilai
Skenario 1	0.063
Skenario 2	0.07
Skenario 3	0.074
Batas RMSE skala 1:1.000 (Kelas 1)	0.2
Status	<b>MEMENUHI</b>

**Tabel 10.** Parameter Terhadap Ketelitian Elevasi

Parameter RMSE hasil perhitungan	Nilai
Skenario 1	0.0774
Skenario 2	0.0866
Skenario 3	0.09
Batas RMSE skala 1:1.000 (Kelas 1)	0.2
Status	<b>MEMENUHI</b>

b. Tabel Syarat RMSE Horizontal Berdasarkan Skala Peta  
(Mengacu pada Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014)

**Tabel 11.** Syarat RMSE BIG Nomor 15 Tahun 2014

No.	Skala Peta	RMSE Horizontal Kelas 1 (m)	RMSE Horizontal Kelas 2 (m)	RMSE Horizontal Kelas 3 (m)
1	1 : 500	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,25
2	1 : 1.000	≤ 0,20	≤ 0,30	≤ 0,50
3	1 : 2.500	≤ 0,50	≤ 0,75	≤ 1,25
4	1 : 5000	≤ 1,00	≤ 1,50	≤ 2,50
5	1 : 10.000	≤ 2,00	≤ 3,00	≤ 5,00
6	1 : 25.000	≤ 5,00	≤ 7,50	≤ 12,50
7	1 : 50.000	≤ 10,00	≤ 15,00	≤ 25,00

### 3.7. Perbandingan Skenario

Untuk menilai dampak distribusi titik terhadap kualitas pemetaan, dilakukan komparasi

tiga skenario kepadatan (1 titik per 1 ha, 2,5 ha, dan 5 ha). Nilai RMSE dari setiap skenario digunakan sebagai indikator untuk menentukan sejauh mana variasi jumlah dan jarak titik kontrol memengaruhi akurasi koordinat serta elevasi model permukaan.

**Tabel 12.** Perbandingan Kepadatan Ketiga Skenario

Skenario	Kepadatan Titik	RMSE xy (m)	RMSE z (m)	Keakuratan
1	1 titik / 1 ha	0.063	0.077	Sangat akurat
2	1 titik / 2,5 ha	0.07	0.086	Cukup akurat
3	1 titik / 5 ha	0.074	0.09	Kurang akurat

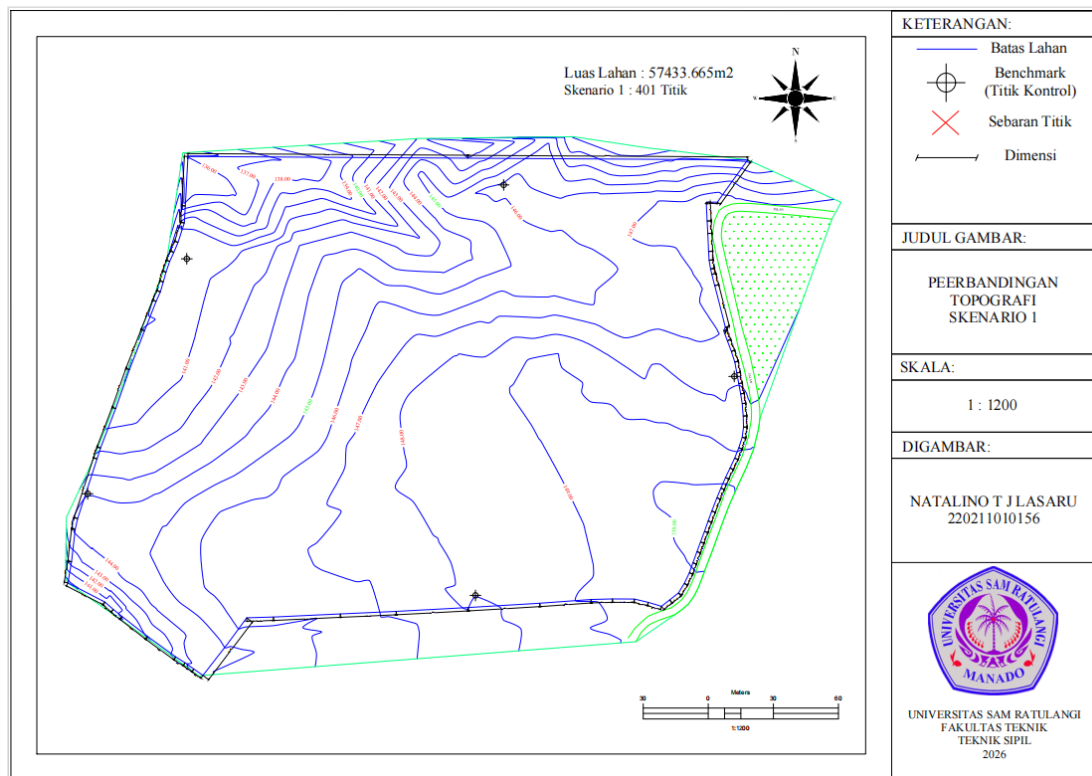
**Perbandingan Sederhana:**

Skenario 1 → titik banyak → model sangat mendekati kondisi asli.

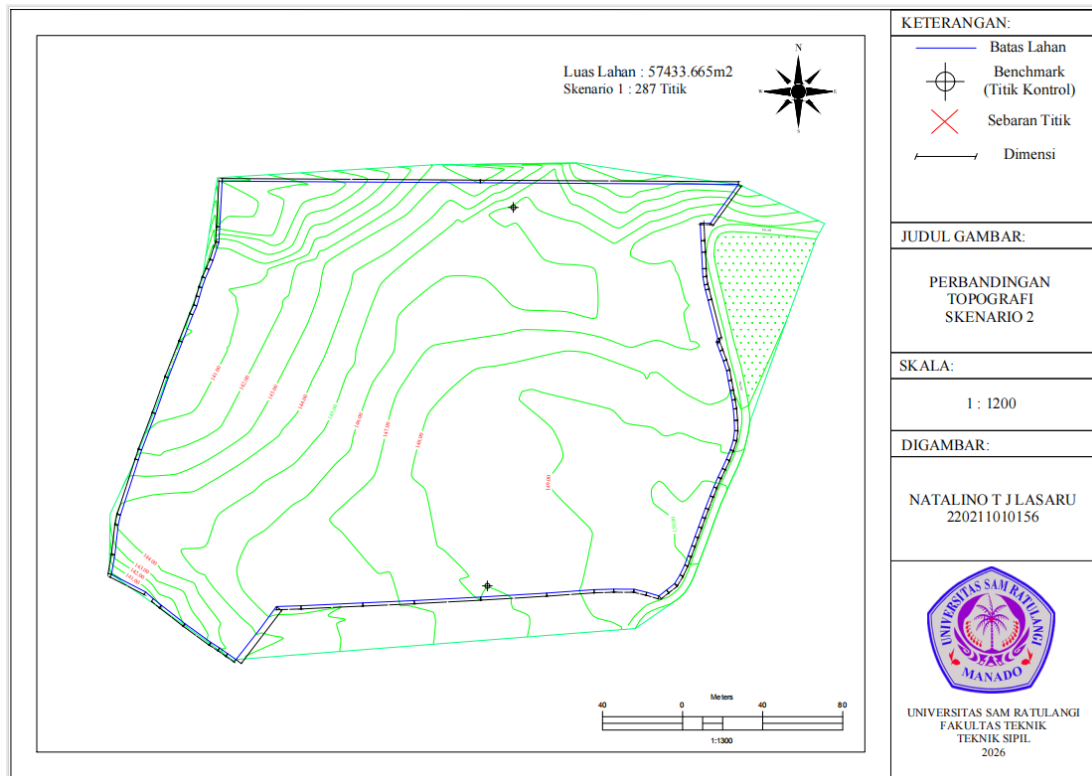
Skenario 2 → titik sedang → beberapa detail hilang.

Skenario 3 → titik jarang → model kurang akurat, kontur lebih kasar.

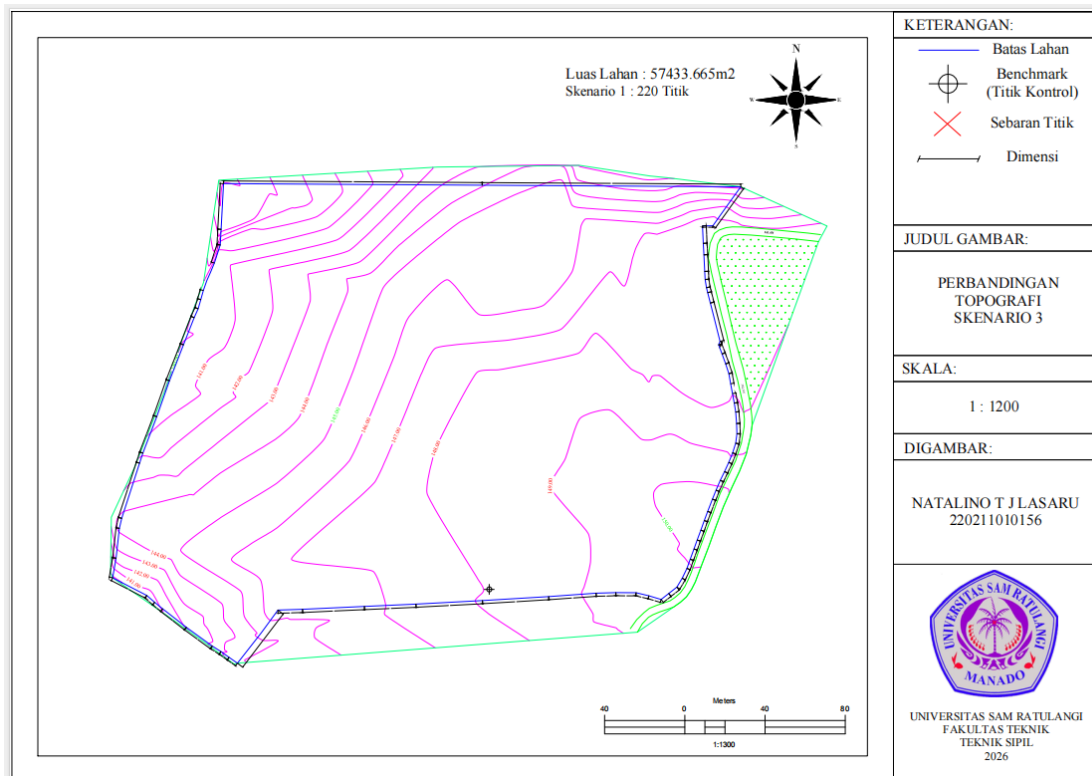
Yang dapat dilihat pada hasil penggambaran dibawah ini:



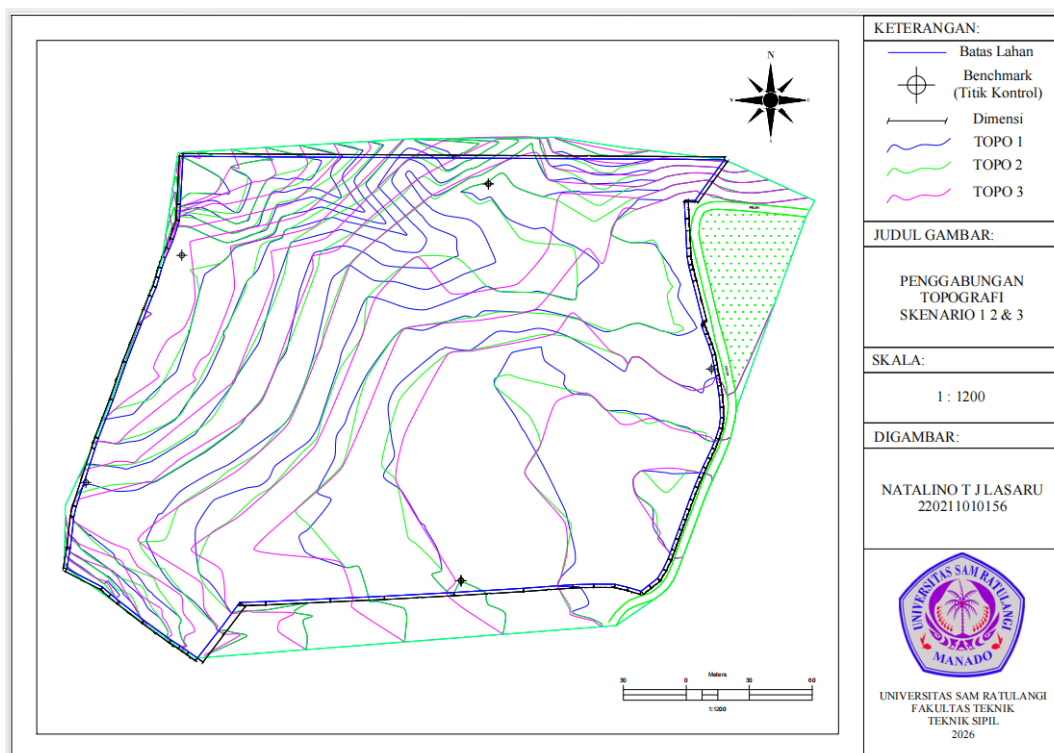
**Gambar 5.** Topografi Skenario 1



Gambar 6. Topografi Skenario 2



Gambar 7. Topografi Skenario 3



Gambar 8. Penggabungan Topografi Skenario 1,2 & 3

### 3.8. Interpretasi Hasil

Interpretasi dilakukan untuk menjelaskan bagaimana jumlah dan distribusi titik kontrol memengaruhi presisi pemetaan topografi. Proses ini mengevaluasi temuan dari berbagai skenario kepadatan dengan merujuk pada parameter akurasi statistik serta ketajaman visual pada Digital Elevation Model (DEM) dan struktur kontur lahan.

#### 1. Pengaruh Kepadatan Titik Kontrol terhadap Kualitas Peta Topografi

Temuan penelitian mengonfirmasi bahwa densitas titik kontrol berkorelasi positif dengan kualitas peta topografi. Penggunaan titik kontrol yang rapat menghasilkan akurasi lebih tinggi, yang ditandai dengan penurunan nilai RMSE serta visualisasi DEM dan kontur yang lebih representatif.

#### 2. Penentuan Kepadatan Titik Kontrol Optimal

Berdasarkan evaluasi komparatif antar skenario, kepadatan titik kontrol yang paling optimal berada pada rentang tinggi hingga sedang. Skenario 1 titik/ha direkomendasikan untuk pemetaan dengan tingkat kedetailan tinggi, seperti perencanaan Agriculture & Landscape, karena menghasilkan akurasi maksimal.

## 4. Kesimpulan

- Hasil penelitian menunjukkan bahwa kepadatan titik kontrol memiliki pengaruh yang signifikan terhadap akurasi peta topografi. Semakin rapat kepadatan titik kontrol yang digunakan, semakin kecil nilai kesalahan posisi dan elevasi yang ditunjukkan oleh nilai RMSE skenario 1 yaitu sebesar 0.063 m untuk nilai RMSE<sub>xy</sub>, dan 0.077 m untuk nilai RMSE<sub>z</sub> yang mempunyai tingkat keakuratan paling tinggi sesuai standar BIG.
- Berdasarkan perhitungan akurasi dan evaluasi terhadap standar ketelitian peta, kepadatan titik kontrol 1 titik per 1 hektar menghasilkan nilai RMSE paling kecil dan memenuhi persyaratan ketelitian peta sesuai standar Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk peta skala besar. Kepadatan 1 titik per 2,5 hektar masih memberikan tingkat ketelitian yang cukup baik dan dapat digunakan untuk pemetaan skala menengah, sedangkan kepadatan 1 titik per 5 hektar menunjukkan penurunan akurasi yang signifikan dan kurang direkomendasikan untuk pemetaan detail.

3. Penggunaan GNSS Geodetik dengan koneksi ke jaringan CORS memungkinkan pengukuran titik kontrol secara efisien tanpa memerlukan base station di lapangan. Namun demikian, efisiensi pengukuran tetap harus diimbangi dengan kepadatan titik kontrol yang memadai agar akurasi peta topografi tetap terjaga. Oleh karena itu, pemilihan kepadatan titik kontrol yang tepat menjadi faktor kunci dalam menghasilkan peta topografi yang akurat dan efisien.

## Referensi

- Abdelazeem, M., Abazeed, A., Kamal, H. A., & Mohamed, M. O. A. (2024). Towards an Accurate Real-Time Digital Elevation Model Using Various GNSS Techniques. *Sensors*, 24(24), 8147. <https://doi.org/10.3390/s24248147>
- Andhini, C. R. R., & Sulistyono, T. (n.d.). PERENCANAAN CUT AND FILL PADA PROYEK PENGEBANGAN BLOK BARU PERUMAHAN PERMATA GADING BALIKPAPAN.
- Arham, Y., Arifin, D., Fadlin, F., & Sofyan A. P., A. B. (2025). Perbandingan Pengamatan Benchmark Menggunakan Alat Spectra SP80 dan Comnav T300 dengan Software Trimble Business Center. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, 3(2), 67–72. <https://doi.org/10.51967/gets.v3i2.53>
- Ariyantoni, J., Ahmad Ridho Sastra, & Annisa Mustika. (2024a). ANALISIS OPTIMALISASI PENGUKURAN GNSS STATIK MENGGUNAKAN JARING RADIAL. *Jurnal Tekno Global*, 13(02), 51–57. <https://doi.org/10.36982/jtg.v13i02.4847>
- Ariyantoni, J., Ahmad Ridho Sastra, & Annisa Mustika. (2024b). ANALISIS OPTIMALISASI PENGUKURAN GNSS STATIK MENGGUNAKAN JARING RADIAL. *Jurnal Tekno Global*, 13(02), 51–57. <https://doi.org/10.36982/jtg.v13i02.4847>
- Bakota, M., Kos, S., Mrak, Z., & Brčić, D. (2022). A New Approach for Improving GNSS Geodetic Position by Reducing Residual Tropospheric Error (RTE) Based on Surface Meteorological Data. *Remote Sensing*, 15(1), 162. <https://doi.org/10.3390/rs15010162>
- Dilmaç, H., İlçi, V., Şaşmaz, N. T., & Ozulu, İ. M. (2025). The Effect of Ground Control Points Located on Roofs on Building Facade Accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(2), 164–172. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1535675>
- Dlamini, S. M., & Ouma, Y. O. (2025). Large-Scale Topographic Mapping Using RTK-GNSS and Multispectral UAV Drone Photogrammetric Surveys: Comparative Evaluation of Experimental Results. *Geomatics*, 5(2), 25. <https://doi.org/10.3390/geomatics5020025>
- Duckworth, A. L., Quirk, A., Gallop, R., Hoyle, R. H., Kelly, D. R., & Matthews, M. D. (2019). Cognitive and noncognitive predictors of success. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(47), 23499–23504. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910510116>
- Eren, M., Kurtulgu, Z., & Pirti, A. (2025). Evaluation of the Repeatability and Accuracy of RTK GNSS under Tree Canopy. *Jurnal Sylva Lestari*, 13(2), 392–405. <https://doi.org/10.23960/jsl.v13i2.1110>
- Fauzi, F. (2020). KEMENTERIAN AGRARIA DAN TATA RUANG/ BADAN PERTANAHAN NASIONAL SEKOLAH TINGGI PERTANAHAN NASIONAL YOGYAKARTA.
- Ferrer-González, E., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P. (2020). UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*, 12(15), 2447. <https://doi.org/10.3390/rs12152447>
- Garcia, M. V. Y., & Oliveira, H. C. (2020). THE INFLUENCE OF GROUND CONTROL POINTS CONFIGURATION AND CAMERA CALIBRATION FOR DTM AND ORTHOMOSAIC GENERATION USING IMAGERY OBTAINED FROM A LOW-COST UAV. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-1–2020, 239–244. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-1-2020-239-2020>
- Heliani, L. S., & Noviantara, H. (2025). Pengaruh Densitas Topografi Terhadap Ketelitian Model Geoid: Studi kasus Pulau Sulawesi. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 7(2), 191. <https://doi.org/10.22146/jgise.102122>
- Humaro, R., Karsono, B., Aiyub, H., & Saputra, E. (2023). Workshop: Memahami Peta Topografi dan Kontur Bagi Pelajar Kota Lhokseumawe.
- Jaud, Š., & Clemen, C. (2024). GeoMVD: The Journey to High-Quality Georeferencing Profiles in IFC Datasets. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-4/W5-2024, 203–210. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W5-2024-203-2024>
- Kameyama, S. (2025). Influence of Ground Control Point Placement and Surrounding Environment on Unmanned Aerial Vehicle-Based Structure-from-Motion Forest Resource Estimation. *Drones*, 9(4), 258. <https://doi.org/10.3390/drones9040258>
- Khomsin, -, Anjasmara, I. M., & Romadhon, R. (2020). GNSS Accuracy Analysis for Efficiency of Ground Control Point (GCP) Measurement. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(2), 501–506. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.2.7908>
- Latifa, D. P., & Nurtyawan, D. R. (n.d.). Analisis Perbandingan Ketelitian Vertikal DTM (Digital Terrain

Model) dari Foto Udara dan LiDAR (Light Detection And Ranging) (Wilayah Studi: Sungai Gelam Timur Jambi).

Lee, E., Park, S., Jang, H., Choi, W., & Sohn, H.-G. (2024). Enhancement of low-cost UAV-based photogrammetric point cloud using MMS point cloud and oblique images for 3D urban reconstruction. *Measurement*, 226, 114158. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114158>

Lesawengen, V. F., Jansen, F., & Manoppo, F. J. (2019). MINIMALISASI KESALAHAN SURVEY TOPOGRAFI DALAM PEMETAAN DIGITAL DENGAN KOORDINAT GLOBAL MENGGUNAKAN AUTOCAD LAND DESKTOP DAN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM.

Liu, X., Lian, X., Yang, W., Wang, F., Han, Y., & Zhang, Y. (2022). Accuracy Assessment of a UAV Direct Georeferencing Method and Impact of the Configuration of Ground Control Points. *Drones*, 6(2), 30. <https://doi.org/10.3390/drones6020030>

Ozofu Olatunde, F., & Banji Olatunde, M. (2025). Comparative Analysis of GNSS (RTK) and Total Station-Derived Results in Topographical Mapping. *International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies*, 5(2), 1376–1382. <https://doi.org/10.62225/2583049X.2025.5.2.3989>

Panjaitan, P. S., & Supit, J. M. (2021). KAJIAN TINGKAT AKURASI DAN KETELITIAN GEOMETRI PETA DASAR DARI HASIL PENGOLAHAN DATA FOTO UDARA UNTUK PEMANFAATANNYA DI SEKTOR PERTAMBAGAN. 4.

Pârvu, I. M., Picu, I. A. C., & Spiroiu, I. (2024). The Importance of Ground Control Points In A Photogrammetric Workflow. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 14(1), 139–146. <https://doi.org/10.2478/jaes-2024-0017>

Pipitone, C., Maltese, A., Lo Brutto, M., & Dardanelli, G. (2023). A Review of Selected Applications of GNSS CORS and Related Experiences at the University of Palermo (Italy). *Remote Sensing*, 15(22), 5343. <https://doi.org/10.3390/rs15225343>

Prasidya, A. S., & Rahardjo, U. (2019). Analisis Ketelitian Titik Kontrol Dalam Rangka Pemetaan Topografi Skala Besar di Lahan Field Research Center (FRC) Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. *JURNAL GEOGRAFI*, 11(2), 193–205. <https://doi.org/10.24114/jg.v11i2.11171>

Prayogo, L. M., & Muhsoni, F. F. (2025). Pengukuran Topografi Ketinggian: Studi Kasus Menggunakan Metode Real-Time Kinematic (RTK) GPS Geodetik R6. *Rekayasa*, 17(3), 526–535. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v17i3.27337>

Rabins, L. F., Theuerkauf, E. J., & Bunting, E. L. (2023). Using existing infrastructure as ground control points to support citizen science coastal UAS monitoring programs. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1101458. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1101458>

Ramadhon, S. (2021). Perbandingan Posisi Tiga Dimensi Pengukuran GNSS Menggunakan Metode Diferensial Statik dengan Berbagai Variasi Epoch Rate. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1), 49. <https://doi.org/10.22146/jgise.66327>