

**APLIKASI UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE) FOTOGRAMETRI
UNTUK PERENCANAAN PENGEMBANGAN
JALUR TRANSMISI SUTET 500 kV
(Studi Kasus : Kec. Ambarawa, Kab. Semarang)**

Agree Isnasatrianto, Yudo Prasetyo, Bambang Sudarsono^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : agree.satria@gmail.com

ABSTRAK

Pertumbuhan konsumsi listrik nasional semakin tinggi seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik ini diperkirakan akan terus tumbuh dengan rata-rata pertumbuhan 6,5% per tahun hingga tahun 2020. Salah satu upaya PLN yang bergerak pada bidang ketenagalistrikan di Indonesia untuk mengimbangi peningkatan kebutuhan listrik tersebut adalah dengan membangun SUTET untuk pendistribusian listrik dari sumber listrik ke gardu induk.

Pada penelitian ini UAV akan dimasukkan pada proses perencanaan penentuan jalur SUTET sesuai dengan peraturan yang berlaku dan dikombinasikan dengan survei GPS untuk menghasilkan data koordinat yang teliti. Data yang dihasilkan dari UAV berupa foto udara yang kemudian akan diolah menjadi orthofoto, DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*). Untuk penentuan jalur perencanaan SUTET memiliki kriteria ruang bebas dan jarak bebas minimum horizontal dapat digunakan orthofoto karena memiliki tingkat kedetailan visual yang tinggi. Sedangkan untuk ruang bebas dan jarak minimum vertikal digunakan DSM yang memiliki nilai ketinggian dari pohon maupun bangunan pada area perencanaan sebagai acuan dan data DTM yang memiliki nilai ketinggian tanah saja dapat digunakan untuk acuan penentuan lokasi menara SUTET didirikan. Sehingga dapat menentukan lokasi perencanaan SUTET sesuai dengan peraturan yang berlaku. Dilakukan validasi berupa koordinat X dan Y pada orthofoto dan koordinat Z pada DEM dengan menggunakan ICP (*Independent Check Point*) hasil pengukuran GPS metode statik.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa, hasil orthofoto maupun DEM dapat digunakan untuk perencanaan penentuan lokasi titik SUTET sesuai dengan peraturan ruang bebas dan jarak minimum yang berlaku dengan nilai RMSE horizontal untuk orthofoto sebesar 0,158 meter dan RMSE vertikal dari DEM 0,201 meter.

Kata Kunci : DSM, DTM, Listrik, SUTET, UAV

ABSTRACT

The growth of national electricity consumption is getting higher with the increase of population and national economic. This increase in electricity demand is expected to grow with an average growth of 6.5% per year until 2020. One of PLN's efforts as provider in the electricity sector in Indonesia to equal the electricity demand is to build SUTET for the distribution of electricity from a power source to the substation.

In this case, UAV will be incorporated in the planning process of determining SUTET lines in accordance with prevailing regulations and combined with GPS survey to produce accurate coordinate data. The data generated from the UAV in the form of aerial photography which will be processed into orthophoto, DSM (Digital Surface Model) and DTM (Digital Terrain Model). For the determination of the SUTET planning path which has certain criteria such as free space of horizontal minimum distance can be used orthophoto because it has a high level of visual detail then, the free space and minimum distance vertically used DSM which has the height value of trees and buildings in the planning area as a reference and DTM data has a value height of bare earth can be used for reference determination of tower location. So it can determine the location of SUTET planning in accordance with the applicable regulations. Product of orthophoto which have coordinate X, Y data and DEM which have X, Y, Z coordinate data will be validated with higher accuracy data using ICP (Independent Check Point) from GPS survey static method.

The results in this case indicate that orthophoto and DEM can be used for planning the determination of SUTET location accordance with the free space regulation and the minimum distance applicable with the horizontal RMSE value for orthophoto of 0.158 meters and the vertical RMSE of DEM 0.201 meters.

Keywords : DSM, DTM, Electricity, SUTET, UAV

^{*)} Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Tingkat konsumsi listrik penduduk Indonesia terus meningkat setiap tahunnya sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Peningkatan kebutuhan listrik ini diperkirakan akan terus tumbuh dengan rata-rata pertumbuhan 6,5% per tahun hingga tahun 2020. Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) tahun 2010-2019 menyebutkan, kebutuhan listrik diperkirakan mencapai 55.000 MW, jadi rata-rata peningkatan kebutuhan listrik pertahun adalah 5.500 MW, dari total daya tersebut, sebanyak 32.000 MW (57%) dibangun sendiri oleh PLN, sedangkan sisanya yakni 23.500 MW akan dipenuhi oleh pengembang listrik swasta.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang ketenagalistrikan di Indonesia, dalam upaya memenuhi kebutuhan tenaga listrik, maka dibangun sistem jaringan terpadu meliputi sistem interkoneksi pusat-pusat pembangkit tenaga listrik serta membangun sistem transmisi dari pusat pembangkit ke gardu induk. Jaringan kelistrikan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Selama ini, pemilihan jalur SUTT maupun SUTET diusahakan oleh PLN tidak melintas daerah pemukiman, hutan lindung maupun cagar alam, namun mengingat tidak semua jalur kelistrikan dapat dibangun pada area yang bebas gangguan dimana banyak terdapat di beberapa daerah seperti kota besar. Oleh karena itu, PLN memiliki peraturan untuk menjaga keamanan dan kenyamanan penduduk sekitar menara berupa Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015 tentang ruang bebas dan jarak bebas minimum pada saluran udara tegangan tinggi, saluran tegangan ekstra tinggi untuk penyaluran tenaga listrik.

Pada 2013, Kentjana melakukan penelitian tentang pemetaan topografi untuk perencanaan jalur migas dengan metode fotogrametri berbasis wahana udara tanpa awak (UAV). Pada penelitian tersebut menghasilkan peta topografi skala 1:1.000 dari wilayah perencanaan jalur migas. Sehingga memunculkan gagasan bahwa UAV dapat digunakan untuk proses perencanaan penentuan jalur SUTET sesuai dengan peraturan yang berlaku dan dikombinasikan dengan survei GPS untuk menghasilkan data koordinat yang teliti.

Data yang dihasilkan dari UAV berupa foto udara yang kemudian akan diolah menjadi orthofoto, DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*). Untuk penentuan ROW (*Right Of Way*) jalur perencanaan SUTET yang memiliki kriteria tertentu seperti ruang bebas dan jarak bebas minimum secara horizontal dapat digunakan orthofoto karena memiliki tingkat ketelitian visual yang tinggi. Sedangkan untuk memenuhi ruang bebas dan jarak minimum secara vertikal digunakan DSM yang memiliki nilai ketinggian dari pohon maupun bangunan pada area perencanaan sebagai acuan dan data DTM yang

memiliki nilai ketinggian tanah saja dapat digunakan untuk acuan penentuan lokasi menara SUTET didirikan. Sehingga dapat menentukan lokasi perencanaan SUTET sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Penelitian ini bertujuan mengaplikasikan fotogrametri UAV dalam proses perencanaan jalur transmisi SUTET yang lebih cepat dibanding dengan pengukuran langsung ke lapangan yang membutuhkan waktu lebih lama. Sehingga dapat membuat perencanaan yang lebih cepat dan berakibat pada proses pembangunan yang lebih cepat untuk mengimbangi kebutuhan konsumen yang semakin meningkat.

I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana tingkat kesesuaian hasil model perencanaan pengembangan jalur transmisi SUTET terhadap Peraturan Menteri ESDM NO. 18 Tahun 2015?
2. Bagaimana hasil verifikasi model perencanaan terhadap peta RTRW, dan peraturan Pemerintah Daerah ditinjau dari aspek zonasi?
3. Bagaimana kualitas hasil orthofoto berdasarkan uji statistik dan orde ketelitian peta?

I.3. Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Membuat model perencanaan pengembangan jalur transmisi SUTET sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 18 Tahun 2015.
2. Memverifikasi hasil model perencanaan terhadap peta RTRW, dan Peraturan Daerah yang berlaku.
3. Menguji hasil orthofoto dan DEM menggunakan sebaran titik- titik ICP dengan uji statistika dan ketelitian peta yang dihasilkan.

I.4. Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. SUTET yang digunakan dalam penelitian adalah SUTET 500 kv sirkuit ganda.
2. Panjang jalur perencanaan SUTET sepanjang 3,2 km
3. Penentuan jalur berdasarkan data survei yang didapat dan berpedoman pada Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015 Tentang Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum Pada SUTT, SUTET Untuk Penyaluran Tenaga Listrik.
4. Verifikasi dilakukan dengan peraturan daerah tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Semarang tahun 2011-2031 mengenai aspek zonasi.
5. Pengujian ketelitian peta dengan menggunakan acuan PERKA BIG Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar
6. Uji Statistika dilakukan dengan uji distribusi normal dan uji t.
7. Hasil penelitian ini berupa peta perencanaan jalur SUTET skala 1: 10.000.

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

I.5.1 Wilayah Penelitian

Pada penelitian ini lokasi titik awal perencanaan jalur ini berada di titik awal tepatnya di Desa Tambakjoyo Kecamatan Ambarawa pada koordinat 7°16'1,39" LS dan 110°25' 17,71" BT dan berakhir di Desa Pojoksari Kecamatan Ambarawa pada koordinat 7°16'24,64" LS dan 110°23'35,46" BT dengan panjang 3,2 km dan topografi cenderung datar.



Gambar 1. Lokasi penelitian

I.5.2 Alat dan Data Penelitian

Alat dan data penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 - Tabel 3.

Tabel 1. Alat yang digunakan

Alat	Jumlah	Keterangan
GPS Geodetik Hiper SR	3	Instrumen receiver survei GPS.
Statif	3	Tempat berdiri GPS.
Dji Phantom 4	1	Instrumen pesawat.
Remote control (RC)	1	Mengoperasikan pesawat dari jarak jauh.
Smartphone	1	Untuk menjalankan aplikasi DJI Go dan Pix4D.
Laptop	1	Untuk pemrosesan data.

Tabel 2. Software yang digunakan

Software	Keterangan
Topcon Tools	Software untuk pengolahan data koordinat GPS.
DJI Go	Software untuk melakukan kalibrasi RC, kompas dan gymbal pada pesawat.
Pix4Dcapture	Software pembuatan rencana terbang.
Pix4Dmapper	Software untuk mengolah foto udara.
Global Mapper	Software untuk melakukan filtering DEM.
AutoCAD Civil 3D 2017	Software untuk pengolahan profil memanjang.
ArcGIS	Software untuk pembuatan peta.
SPSS	Software untuk perhitungan statistika.

Tabel 3. Data yang digunakan

No	Jenis Data	Tahun	Keterangan
1	Foto Udara	2017	Data berupa foto udara hasil survei menggunakan UAV pada tanggal 30 Mei 2017 dengan resolusi spasial 4.11 cm/ piksel.
2	Data CORS CSEM BIG	2017	CORS CSEM digunakan sebagai titik referensi yang diketahui koordinatnya untuk menentukan koordinat GCP dan ICP dengan akuisisi pada tanggal 30 Mei 2017.
3	Data GCP dan ICP	2017	Data GCP digunakan untuk proses orthofoto dan rektifikasi foto udara dengan akuisisi pada tanggal 30 Mei 2017. Data ICP digunakan untuk proses validasi.
4	Peta RTRW	2015	Peta RTRW yang digunakan memiliki skala 1:25.000 sebagai verifikasi terhadap jalur yang telah dibuat.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. CRP (Close Range Photogrammetry)

Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai suatu seni, ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu objek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan atau pengukuran dan interpretasi citra fotografis (Dipokusumo, 2010). Sedangkan fotogrametri rentang dekat didefinisikan sebagai kegiatan pengukuran suatu objek dengan menggunakan kamera dalam jarak yang relatif dekat. Penggunaan metode ini dapat dilakukan dengan cepat dan menghasilkan ketelitian yang tinggi. Untuk hasil maksimal, dalam pelaksanaannya harus diperhatikan semua aspek fotogrametri baik dimulai dari besar sudut pengambilan antar titik yang terkait langsung dengan pertampalan antar citra, hingga fokus kamera yang digunakan (Irawan, 2012).

II.2. Orthofoto

Orthofoto adalah foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi ortografik yang benar (Wolf, 1993). Beda utama antara orthofoto dan peta adalah bahwa orthofoto terbentuk oleh objek sebenarnya, sedangkan peta menggunakan garis dan simbol yang digambarkan sesuai dengan skala untuk mencerminkan kenampakan. Foto yang dihasilkan dari UAV adalah foto udara yang masih mengandung distorsi yang disebabkan sistem proyeksi foto udara yang masih perspektif sehingga foto udara belum bisa dijadikan untuk pengukuran karena tidak mempunyai skala yang seragam. Sedangkan untuk membuat peta yang digunakan adalah orthofoto telah dikoreksi, sehingga distorsinya hilang dan memiliki skala yang seragam.

II.3. UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

UAV merupakan sebuah wahana terbang yang dapat beroperasi tanpa adanya pilot di dalam wahana tersebut dengan cara dikendalikan dari jarak jauh. UAV dapat berupa, pesawat atau helikopter yang menggunakan sistem navigasi mandiri. Pada dasarnya pesawat, atau helikopter dapat dipertimbangkan untuk menjadi kendaraan udara yang dapat melakukan misi yang berguna dan dapat dikendalikan dari jauh atau memiliki kemampuan terbang secara otomatis (Togatro, 2016).

II.4. DEM (Digital Elevation Model)

DEM merupakan data *digital* yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil *sampling* dari permukaan (Tempfli, 1991). Dari definisi yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan bahwa DEM merujuk pada pemodelan permukaan bumi ke dalam suatu model digital permukaan tanah tiga dimensi dari titik-titik yang mewakili permukaan tanah tersebut.

DEM dibagi menjadi 2 yaitu DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*) (Jensen, 2007). DTM memiliki informasi ketinggian permukaan tanah tanpa adanya objek lain seperti bangunan, sedangkan DSM memiliki informasi ketinggian termasuk objek yang berada di atas tanah seperti bangunan maupun vegetasi.

II.5. Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum

Menurut Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral no 18 tahun 2015, ruang bebas adalah ruang yang dibatasi oleh bidang vertikal dan horizontal di sekeliling atau di sepanjang konduktor di mana tidak boleh ada benda di dalamnya demi keselamatan manusia, makhluk hidup serta kewanaman operasi. Sedangkan jarak bebas minimum adalah jarak yang tidak boleh kurang dari jarak yang ditentukan demi keselamatan dan keamanan operasi. Ketentuan ruang bebas dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Ruang bebas vertikal

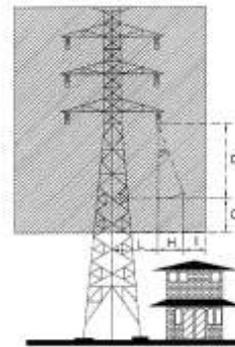
No	Lokasi	SUTET		
		150 kV (m)	275 kV (m)	500 kV (m)
1	Lapangan terbuka atau daerah terbuka	8,5	10,5	12,5
2	Daerah dengan keadaan tertentu			
	- Bangunan, jembatan	5,0	7,0	9,0
	- Tanaman/ tumbuhan, hutan perkebunan	5,0	7,0	9,0
	- Jalan/jalan raya/ rel kereta api	9,0	11,0	15,0
	- Lapangan umum	13,5	15,0	18,0

Keterangan :

- a. Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari konduktor ke permukaan bumi atau permukaan jalan atau rel.
- b. Jarak bebas minimum vertikal dihitung dari konduktor ke titik tertinggi atau terdekatnya.

Tabel 5. Ruang bebas horizontal

No	Saluran Udara	Jarak L (m)	Jarak H (m)	Jarak I (m)	Total (m)
1	SUTT 150 Kv	4,20	3,76	1,50	9,46
2	SUTET 275 kV	5,80	5,13	1,80	12,73
3	SUTET 500 kV	7,30	6,16	3,10	16,56



Gambar 2. Ruang bebas horizontal

Keterangan :

- L : Jarak dari sumbu vertikal tiang ke konduktor
- H : Jarak horizontal akibat ayunan konduktor
- I : Jarak bebas *impuls switching*
- C : Jarak bebas minimum vertikal
- D : Jarak andongan terendah di tengah gawang

II.6. Sagging (Andongan)

Karena beratnya, maka penghantar yang direntangkan antara dua tiang transmisi dapat membentuk suatu lengkungan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti berat kawat, modulus elastisitas, koefisien perubahan panjang, diameter kawat, jarak antara dua menara dan kondisi lingkungan sekitar. Andongan merupakan jarak ledutan dari suatu bentangan kawat penghantar antara dua tiang penyangga jaringan. Nilai andongan dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.1 :

$$D = \frac{ws^2g}{8T} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- D = Andongan (m)
- w = Berat kawat (kg/m)
- S = Jarak antar dua menara atau *span* (m)
- T = Kuat tarik penghantar (kg)
- g = Gaya gravitasi bumi (9,81 N)

II.7. Ketelitian Peta Dasar

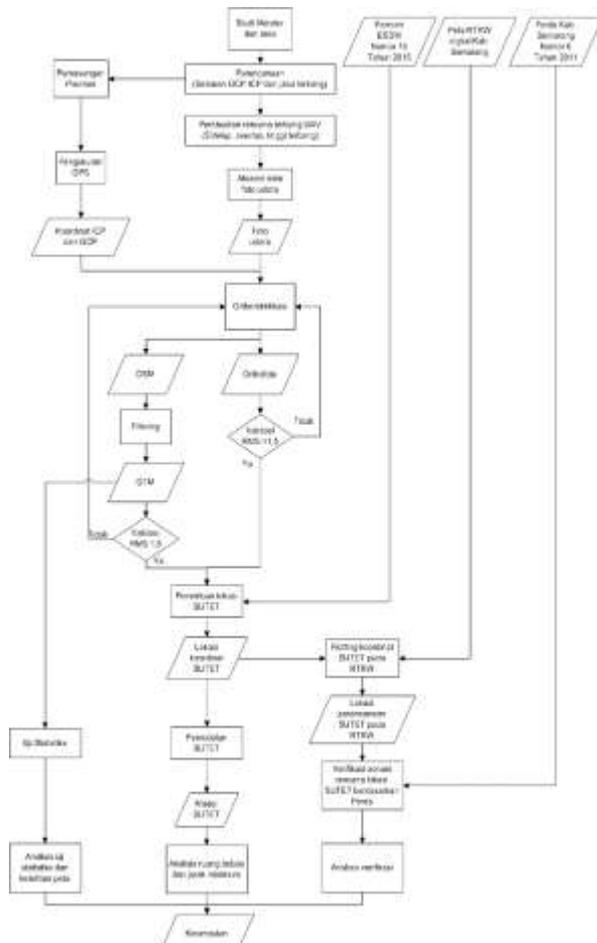
Pada pengujian peta *Orthophoto* dapat diuji menggunakan pengujian ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang dikeluarkan melalui Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) No 15 Tahun 2014. Menurut Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) No 15 Tahun 2014, ketelitian peta RBI diperoleh berdasarkan ketentuan seperti Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Ketelitian peta RBI

No.	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300	500	500
2.	1:500.000	200	100	100	150	150	250	250
3.	1:250.000	100	50	50	75	75	125	125
4.	1:100.000	40	20	20	30	30	50	50
5.	1:50.000	20	10	10	15	15	25	25
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,5	12,5	12,5
7.	1:10.000	4	2	2	3	3	5	5
8.	1:5.000	2	1,25	1,25	1,5	1,5	2,5	2,5
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5

III. Metodologi Penelitian

Secara umum tahapan metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Analisis Pengolahan Data GCP dan ICP

Koordinat pengolahan data GCP dan ICP hasil pengukuran survei GPS dilakukan dengan metode statik dengan menggunakan titik referensi CORS CSEM, sedangkan pengolahan data dilakukan dengan metode radial. Berikut disajikan pada Tabel 7 koordinat hasil pengolahan data GPS.

Tabel 7. Koodinat hasil pengolahan

Nama Titik	Koordinat Y (m)	Koordinat X (m)	Elevevasi (m)
CSEM	9227612,974	431178,902	37,729
GCP1	9196587,436	436087,075	491,654
GCP2	9196131,715	435389,662	492,038
GCP3	9195819,678	434696,353	490,915
GCP4	9195644,691	434244,143	492,111
GCP5	9196086,342	433391,566	491,222
ICP1	9196627,944	436008,423	491,634
ICP2	9196135,767	435276,138	492,510
ICP3	9195943,742	433654,390	491,360

Selain pengolahan hasil koordinat pengolahan data didapatkan juga kontrol kualitas data berupa nilai RMS untuk mengetahui kualitas data secara horizontal maupun vertikal. Nilai RMS pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Koodinat hasil pengolahan

Nama Titik	Horizontal RMS (m)	Vertikal RMS (m)
GCP1	0,011	0,019
GCP2	0,011	0,021
GCP3	0,011	0,019
GCP4	0,008	0,023
GCP5	0,012	0,021
ICP1	0,006	0,023
ICP2	0,007	0,023
ICP3	0,012	0,022

Berdasarkan hasil RMS horizontal yang didapat, nilai RMS terendah terdapat pada titik ICP 1 yaitu 0,006 meter dan RMS tertinggi terdapat pada titik GCP 5 dan ICP 3 yaitu 0,012 meter. Nilai rata-rata RMS horizontal keseluruhan untuk titik GCP dan ICP yaitu 0,09 meter. Sedangkan hasil RMS vertikal yang didapat nilai RMS terendah terdapat pada titik GCP 1 yaitu 0,019 meter dan RMS tertinggi terdapat pada titik GCP 4, ICP1 dan ICP 2 yang mencapai 0,023 meter. Nilai rata-rata RMS vertikal keseluruhan untuk GCP dan ICP yaitu 0,021 meter. Besarnya nilai RMS GCP dan ICP baik untuk horizontal maupun vertikal karena kurangnya waktu pengamatan survei GPS pada masing- masing titik karena perubahan titik ikat referensi yang digunakan dari CORS UDIP sejauh 25 km menjadi 31 km ke CORS CSEM BIG dimana untuk *baseline* sejauh 31 km untuk alat GPS *dual frequency* metode statik idealnya adalah 90 – 120 menit waktu pengamatan.

IV.2. Analisis Orthofoto

Berikut adalah hasil dari pembentukan orthofoto dari proses pengolahan foto udara yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Orthofoto hasil pengolahan

Pada orthofoto memiliki resolusi spasial sebesar 4,12 cm tiap pikselnya. Nilai resolusi spasial pada orthofoto tersebut dipengaruhi oleh ukuran sensor kamera, tinggi terbang, panjang fokal kamera. Secara visual, resolusi spasial tersebut memiliki tingkat detail yang bagus dan mampu digunakan untuk proses mengidentifikasi objek apa saja yang terdapat pada lokasi penelitian secara jelas seperti objek bangunan, jalan dan pohon. Contoh objek yang terdapat pada orthofoto dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Objek yang terlihat pada orthofoto

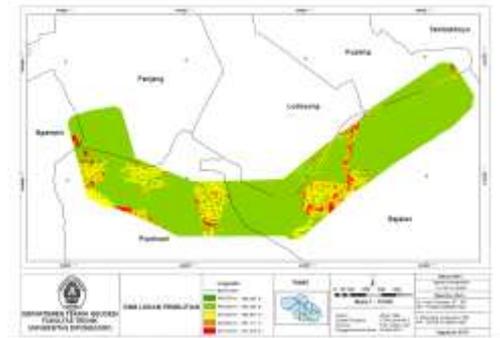
Pada proses pembentukan orthofoto dilakukan rektifikasi yaitu proses transformasi koordinat tanah berupa GCP yang didapat dari survei GPS menjadi koordinat pada orthofoto berupa koordinat X dan koordinat Y. Setelah dilakukan proses rektifikasi, kemudian dilakukan validasi untuk menguji kualitas koordinat hasil transformasi pada orthofoto dengan koordinat ICP yang didapat dari survei GPS pada titik yang sama dan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. RMS ICP Orthofoto

Titik Cek	Kesalahan Koordinat X [m]	Kesalahan koordinat Y [m]
ICP 1	-0,0445	0,0766
ICP 2	0,0082	0,1447
ICP 3	-0,2167	-0,0147
Rata-rata	-0,084329	0,068871
Jumlah	0,096057	0,065309
RMS Error	0,127821	0,094913

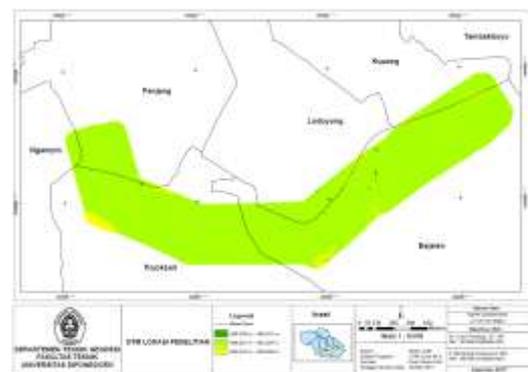
IV.3. Analisis DSM dan DTM

Berikut adalah hasil dari DSM yang dihasilkan dari proses pengolahan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. DSM lokasi penelitian

DSM yang terbentuk memiliki titik terendah sebesar 480 meter dan titik tertinggi sebesar 514 meter yang masih terdapat objek seperti bangunan atau tumbuhan. Kemudian dilakukan *filtering* untuk mendapatkan DTM yang memiliki data tinggi permukaan tanah saja. DTM yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. DTM lokasi penelitian

Dari hasil tersebut dapat diketahui DTM yang terbentuk memiliki titik terendah 480 meter sama dengan data pada DSM sedangkan untuk titik tertinggi pada daerah penelitian memiliki ketinggian menjadi 496 meter dari bidang elipsoid yang berarti memiliki beda tinggi sebesar 18 meter dari DSM. Kemudian akan dilakukan validasi ketinggian baik dari data DSM dan DTM dengan menggunakan ICP. Hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. RMS ICP DSM dan DTM

Titik Cek	Kesalahan tinggi DSM (m)	Kesalahan tinggi DTM (m)
ICP 1	0,306	0,307
ICP 2	0,062	0,063
ICP 3	0,157	0,160
Rata-rata	0,525	0,530
Jumlah	0,175	0,176
RMS Error	0,201	0,203

Pada Tabel hasil validasi dengan ICP memiliki RMSE pada DSM yaitu 0,201 m dan pada DTM 0,203 m. Perbedaan tinggi yang cukup signifikan terjadi karena pada saat pembuatan *point cloud* tingkat kepadatannya diatur pada level *medium* sehingga mempengaruhi jumlah dan kepadatan *point cloud* untuk pemrosesan dan dilakukan *filter* pada pembuatan DSM dari *point cloud*. Proses *filter* ini menghilangkan *point cloud* yang tidak memiliki korelasi dengan *point cloud* yang lain. Sehingga *point cloud* yang memiliki tinggi tidak terdapat korelasi dengan titik lain akan dihilangkan sehingga berpengaruh pada tinggi DSM maupun DTM.

IV.4. Analisis Ketelitian Orthofoto dan DEM

Untuk mengetahui ketelitian orthofoto maupun DEM mengacu pada Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014. Uji ketelitian secara horizontal ditunjukkan dengan nilai CE90 dan vertikal berdasarkan nilai LE90. Nilai tersebut dapat diketahui apabila nilai RMSE diketahui. Pada penelitian ini, nilai RMSE didapatkan dari pengujian dengan ICP. Berdasarkan dari proses proses pengolahan, maka dapat diketahui tingkat ketelitian pada orthofoto maupun DEM yang dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil ketelitian horizontal

RMSE _h (m)	CE90 (m)	Skala Peta	Kelas
0,158	0,239	1:1.000	2

Tabel 12. Hasil ketelitian vertikal

RMSE _z (m)	LE90 (m)	Skala Peta	Kelas
0,201	0,331	1:1.000	3

IV.5. Analisis Ruang Bebas Minimum Pemodelan SUTET.

Hasil pemodelan jalur rencana SUTET dapat dilihat pada Gambar 8 dan untuk mengetahui lokasi titik SUTET dapat dilihat pada Tabel 13.



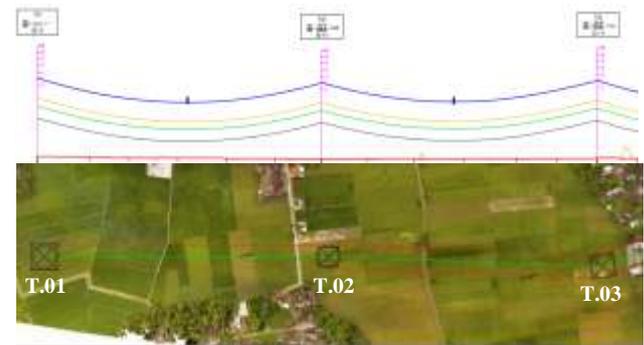
Gambar 8. Jalur rencana SUTET

Tabel 13. Koordinat lokasi SUTET

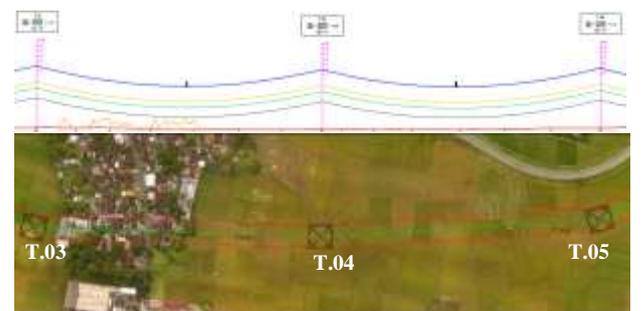
No	Nama	Koordinat X (m)	Koordinat Y (m)
1	T.01	433298,578	9195886,293
2	T.02	433690,083	9195781,200
3	T.03	434065,329	9195666,214
4	T.04	434478,678	9195698,001
5	T.05	434876,288	9195767,252
6	T.06	435215,902	9195997,953
7	T.07	435507,499	9196223,564
8	T.08	435853,617	9196428,464
9	T.09	436186,737	9196674,979

Persyaratan ruang bebas horizontal dan vertikal SUTET maupun SUTT telah ditetapkan dan telah dibuat standarisasinya dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 tahun 2015 tentang ruang bebas dan jarak bebas minimum pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).

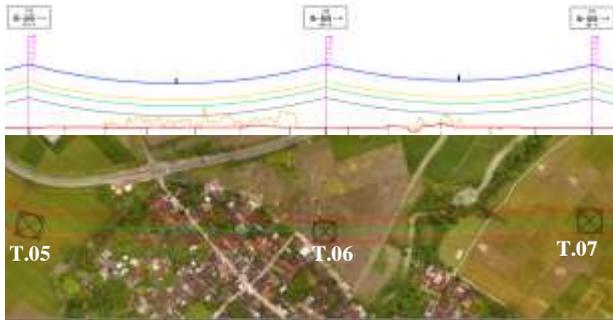
Pada penelitian ini SUTET yang digunakan 500 kV sehingga untuk ruang bebas horizontal memiliki jarak sebesar 17 meter dari as menara sedangkan untuk ruang bebas vertikal ruang bebas dihitung dari lengkungan konduktor maksimal pada saat memuai ke objek yang ada di bawahnya berdasarkan kategori. Untuk ruang bebas vertikal dibagi menjadi tiga yaitu warna kuning untuk bangunan dan tumbuhan dengan jarak 9 meter, daerah terbuka berwarna hijau dengan jarak 12,5 meter dan lapangan terbuka sebesar 18 meter dari objek ke lengkungan konduktor. Gambaran model yang akan dianalisis mengenai ruang bebasnya dapat dilihat pada Gambar 9 sampai Gambar 12.



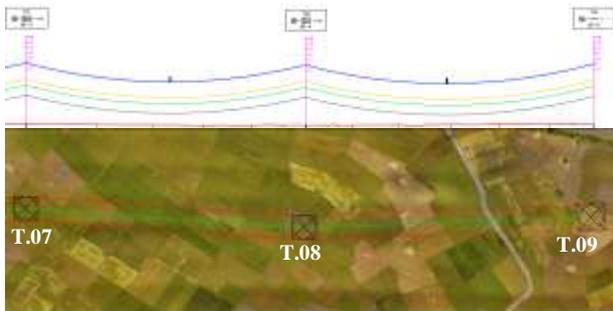
Gambar 9. Menara SUTET T.01-T.03



Gambar 10. Menara SUTET T.03-T.05

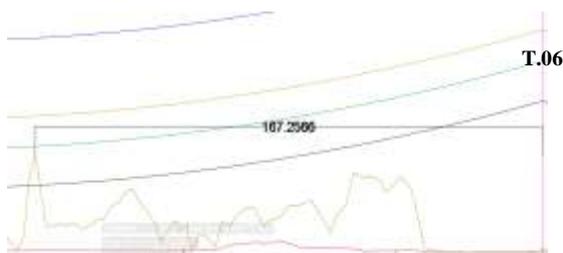


Gambar 11. Menara SUTET T.05-T.07



Gambar 12. Menara SUTET T.07-T.09

Pada seluruh pemodelan untuk ruang bebas horizontal dapat disimpulkan aman karena tidak terdapat objek yang berada pada ruang bebas tersebut, sedangkan pada *span* antara menara T.05-T.06 terdapat *surface* dari DSM yang menembus ruang bebas minimum vertikal berwarna hitam untuk kategori ruang bebas lapangan umum dan untuk melihat lebih jelas objek yang berada pada area tersebut dapat dilihat pada Gambar 13 sampai Gambar 15.



Gambar 13. Jarak objek berbahaya dari model menara T.06 vertikal



Gambar 14. Jarak objek berbahaya dari model menara T.06 horizontal



Gambar 15. Objek yang terlihat

Setelah objek diketahui yaitu pohon, dari hasil interpretasi orthofoto kemudian dilakukan pengukuran jarak antara batas ruang bebas pepohonan dengan objek tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Jarak objek berbahaya pada ruang bebas

Pada Gambar 16 dapat diketahui bahwa jarak antara titik tertinggi DSM yang diidentifikasi berupa pohon memiliki jarak sebesar 4,47 meter dari ruang bebas bangunan dan pohon yang berwarna kuning. Apabila jarak tersebut diakumulasikan ke jarak lendutan konduktor memiliki nilai sebesar 13,47 meter dan berarti dapat dikatakan aman karena memenuhi persyaratan.

Untuk lebih jelas dapat di lihat pada Tabel 14 hasil analisis menara tiap segmen, yang menjelaskan tentang hasil secara menyeluruh dari area studi.

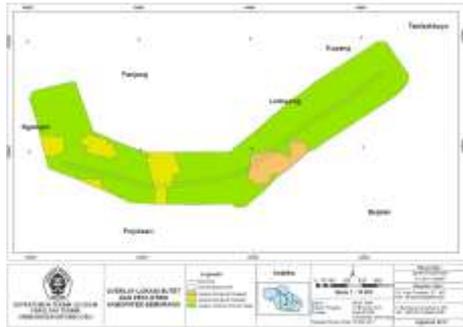
Tabel 14. Hasil analisis ruang bebas minimum

Segmen	Jarak Antara Menara	Ruang Bebas minimum	
		Vertikal	Horizontal
T.01-T.02	405,364	Memenuhi	Memenuhi
T.02-T.03	392,466	Memenuhi	Memenuhi
T.03-T.04	414,565	Memenuhi	Memenuhi
T.04-T.05	403,551	Memenuhi	Memenuhi
T.05-T.06	410,558	Memenuhi	Memenuhi
T.06-T.07	368,690	Memenuhi	Memenuhi
T.07-T.08	402,221	Memenuhi	Memenuhi
T.08-T.09	414,388	Memenuhi	Memenuhi

IV.6 Analisis Verifikasi Terhadap Peraturan Daerah

Verifikasi pemodelan terhadap peraturan daerah yang berlaku menggunakan pasal 49 huruf b untuk peraturan zonasi. Pada pasal tersebut menjelaskan

bahwa untuk zonasi SUTET digunakan ruang bebas dan jarak minimum sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku sehingga pada perencanaan SUTET penelitian ini memenuhi syarat dari Peraturan Daerah. Selain itu akan dilakukan *plotting* lokasi titik ke koordinat peta RTRW kemudian dilakukan *overlay*. Hasil *overlay* dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Overlay jalur SUTET dengan RTRW

Setelah dilakukan *overlay* dapat diketahui luas daerah terdampak ROW SUTET. Untuk mengetahui luas daerah yang terdampak dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Luas area terdampak perencanaan SUTET

No	Rencana Pola Ruang	Luasan Dampak (Ha)
1	Kawasan pemukiman pedesaan	0,843
2	Kawasan pemukiman perkotaan	0,566
3	Kawasan pertanian tanaman pangan	9,594

IV.7 Analisis Uji Statistik

IV.7.1 Uji normalitas

Uji normalitas dilakukan terhadap 6 titik dengan hasil koordinat orthofoto dan ICP hasil GPS. Adapun hasil uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil uji normalitas Test of Normality Shapiro-Wilk

	Statistic	df	Sig.
X_ICP	.955	3	.590
Y_ICP	.940	3	.526
Z_ICP	.916	3	.439
X_Orthofoto	.955	3	.590
Y_Orthofoto	.940	3	.527
Z_Orhtofoto	.882	3	.331

IV.7.2 Uji t

Variabel yang diuji adalah koordinat X,Y,Z pada orthofoto dengan koordinat X,Y,Z hasil ICP GPS. Hasil uji t dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil uji t

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	X_Orthofoto - X_ICP	-.08466	.11762	.06791	-.37687	.20753	-1.247	2	.339
Pair 2	Y_Orthofoto - Y_ICP	-.06900	.08029	.04636	-.26847	.13047	-1.488	2	.275
Pair 3	Z_Orhtofoto - Z_ICP	-.07866	.05553	.03206	-.21662	.05929	-2.453	2	.134

Hasil uji normalitas pada Tabel 16 dilakukan terhadap 6 variabel data penelitian koordinat X, Y, Z hasil orthofoto dan koordinat X, Y, Z hasil ICP. Dari enam variabel tersebut didapatkan nilai sig lebih dari 0,05 untuk masing-masing variabel. Hal ini mengartikan bahwa hasil tersebut memenuhi syarat pertama yakni data penelitian berdistribusi normal karena sig > 0,05. Oleh hasil koordinat X, Y dan Z orthofoto maupun ICP memiliki data yang berdistribusi normal.

Hasil uji T yang tertera pada Tabel 17 dilakukan terhadap keenam variabel didapatkan hasil nilai sig pada koordinat X orhotofoto dan koordinat X ICP sebesar 0,339, nilai sig pada koordinat Y orhotofoto dan koordinat Y ICP sebesar 0,275, dan nilai sig pada koordinat Z orhotofoto dan koordinat Z ICP 0,134. Ketiga nilai sig hasil pengolahan menunjukkan nilai yang lebih besar dari 0,05 atau < 0,05. Hal ini berarti Ho ditolak dan Ha diterima. Jadi ketiga pasang variabel tersebut menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan analisis pemodelan SUTET yang telah dibuat secara horizontal maupun vertikal tidak ditemukan objek berbahaya yang melanggar ruang bebas dan memenuhi segala persyaratan dari Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2015 tentang ruang bebas dan jarak bebas minimum pada SUTET untuk penyaluran tenaga listrik. Untuk jarak objek berbahaya terdekat terdapat pada *span* antara T.05 dan T.06 secara vertikal, objek tersebut

berupa pohon yang memiliki jarak ke ruang bebas bangunan dan tumbuhan sebesar 4,47 meter.

2. Setelah dilakukan verifikasi terhadap Peraturan Daerah Kabupaten Semarang mengenai aspek zonasi SUTET yang terdapat pada pasal 49 huruf b, untuk zonasi SUTET digunakan ruang bebas dan jarak bebas minimum sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku sehingga kesesuaian perencanaan untuk zonasi telah memenuhi persyaratan. Untuk hasil *overlay* terhadap peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Semarang tahun 2011-2031, ROW SUTET yang direncanakan mempunyai dampak sebesar 0,843 Ha untuk kawasan pemukiman pedesaan, 0,566 Ha untuk kawasan pemukiman perkotaan, 9,594 Ha untuk kawasan pertanian tanaman pangan.
3. Hasil validasi dengan menggunakan ICP hasil pengukuran GPS geodetik menunjukkan bahwa nilai RMSE horizontal untuk orthofoto sebesar 0,158 m dan untuk DEM memiliki RMSE vertikal sebesar 0,201 m. Untuk ketelitian peta yang dihasilkan mempunyai nilai CE90 sebesar 0,239 m yang memenuhi persyaratan untuk skala 1:1.000 kelas 2 horizontal dan nilai LE90 sebesar 0,331 m yang memenuhi persyaratan untuk skala 1:1.000 kelas 3 vertikal. Dari 6 data yang digunakan sampel berupa koordinat X, Y, Z orthofoto dan koordinat X, Y, Z ICP dilakukan uji normalitas dan uji t metode *Paired Sample T Test* dan hasilnya semua data terdistribusi normal, serta dari ketiga pasang data tersebut tidak didapatkan perbedaan hasil yang signifikan setelah dilakukan uji t.

V.2 Saran

1. Diperlukan persiapan yang matang baik dari segi materi pengetahuan, persiapan dan perencanaan agar didapatkan hasil akuisisi data yang sesuai harapan.
2. Pada pengamatan GPS, perlu ditentukan secara spesifik titik ikat yang akan digunakan sehingga tahu jarak *baseline* yang terbentuk yang berdampak pada lama pengamatan GPS.
3. Pada pemotretan dengan UAV, tinggi terbang UAV diusahakan serendah mungkin dan tetap memperhatikan tinggi *obstacle* agar resolusi yang didapatkan dapat secara maksimal dan nilai *sidelap*, *overlap* dibuat tinggi agar tidak terjadi lubang data karena kurangnya pertampalan.
4. Apabila pengolahan data foto udara menggunakan *software* Pix4Dmapper, maka sebelum melakukan pengambilan data harus membaca buku panduan dari *software* tersebut karena akan sangat membantu untuk teknik pelaksanaan dari pengambilan data hingga ke pengolahan.
5. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, pengolahan dilakukan dengan menggunakan

opsi *high* agar tidak terjadi penurunan kualitas data dari hasil *report*.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. 2015. *Peraturan Kepala BIG Nomor 15 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Cibinong: Badan Informasi Geospasial
- Dipokusumo, B. 2010. *DTM dan Interpolasi*. Bandung: ITB
- Furqon, H. 2008. *Ekstrasi DEM Dari Data ALOS PRISM*. Skripsi Sarjana Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan. Institut Teknologi Bandung.
- Irawan, F. 2012. *Penggunaan Fotogramteri Rentang Dekat Sebagai Alat Bantu Pembuatan AS-Built Drawing*. Tugas Akhir. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Jensen, J. R. 2007. *Remote Sensing of the Environment: An earth resource perspective*. 2nd Edition. Prentice-Hall series in Geographic Information Science: USA
- Peraturan Daerah Kabupaten Semarang Nomor 6 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Semarang Tahun 2011 – 2031
- Peraturan Menteri Sumber Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2015 tentang Ruang Bebas dan Jarak Minimum Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi, dan Saluran Udara Tegangan Tinggi Arus Searah Untuk Penyaluran Tenaga Listrik
- Tempfli, K. 1991: *DTM and Differential Modeling*, Dalam Suharyadi, R., Sapta, B., Purwanto, T.H., Rosyadi. R.I., Farda, N.M., Wijaya, M.S. 2012. *Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Geografis : Pemodelan Spasial*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta.
- Togatrop, H. P. B. 2016. *Skripsi: Pembuatan Peta Ortofoto Pelabuhan Perikanan Pantai Sadeng dengan Menggunakan Wahana Udara Tanpa Awak*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Wolf, P. R. 1993. *Elemen Fotogrametri*. Gadjah Mada University Press : Yogyakarta.