

Penggunaan Data UAV dalam Menentukan Rute Kendaraan Menghindari Area Rentan Longsor Menggunakan Metode SMORPH dan Least Cost Path Analysis (Studi Kasus: Lapangan Semanggi PT Pertamina EP Cepu)

Talita Rifda Maulidini dan Teguh Hariyanto

Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: teguh_hr@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Tingginya kebutuhan masyarakat Indonesia akan energi migas menyebabkan industri migas harus mengimbangnya dengan meningkatkan produktivitas industri, salah satunya dengan pengembangan sumur eksplorasi minyak baru. Salah satu aset PT Pertamina EP Cepu adalah sumur yang terletak di Kecamatan Jepon, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Membuka area sumur baru membutuhkan jalan aman yang terlindung dari *geohazard* atau bencana alam. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh dari pemetaan menggunakan metode fotogrametri yang dilengkapi dengan GCP (*Ground Control Point*) untuk mendapatkan *orthoimage* dan DTM (*Digital Terrain Model*). Kemudian dilakukan identifikasi area rentan longsor dengan SMORPH (*Slope Morphology*) yang menghasilkan 8,952 ha daerah rawan longsor, 17,258 ha waspada dan 13,636 ha tidak stabil. Serta dilakukan analisis *Least Cost Path* yang menghasilkan rute jalur dengan panjang rata-rata sebesar 390,084 m pada area penelitian yaitu di Lapangan Semanggi PT Pertamina EP Cepu (SMG).

Kata Kunci— Fotogrametri, Tanah Longsor, Rute Alternatif, SMORPH, *Least Cost Path Analysis*.

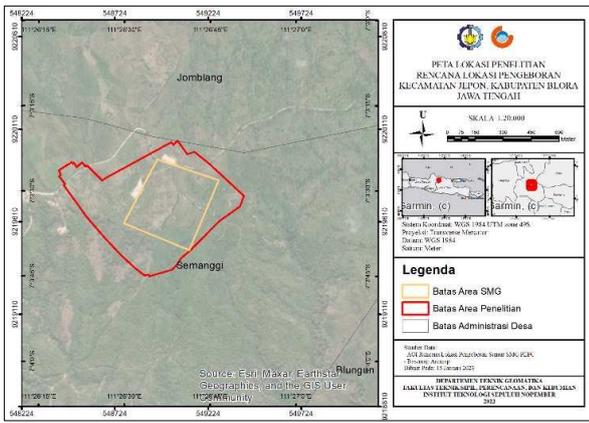
I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi di berbagai sektor industri membantu meningkatkan produktivitas dari berbagai sektor industri. Industri minyak dan gas merupakan salah satu industri yang berpengaruh dan sering memberikan kontribusi bagi perekonomian Indonesia. PT Pertamina EP merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri minyak dan gas. Seiring kebutuhan masyarakat Indonesia akan energi migas yang terus meningkat, industri migas mengimbangnya dengan meningkatkan produktivitas, salah satunya dengan mengoptimalkan pengembangan sumur eksplorasi minyak baru. Salah satu aset dari PT Pertamina EP adalah sumur-sumur yang berada di Kecamatan Jepon, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Dimana Kawasan Semanggi (SMG) merupakan wilayah yang akan dijadikan sebagai letak pengembangan sumur baru. Wilayah tersebut merupakan kawasan hutan dan lahan yang terbuka.

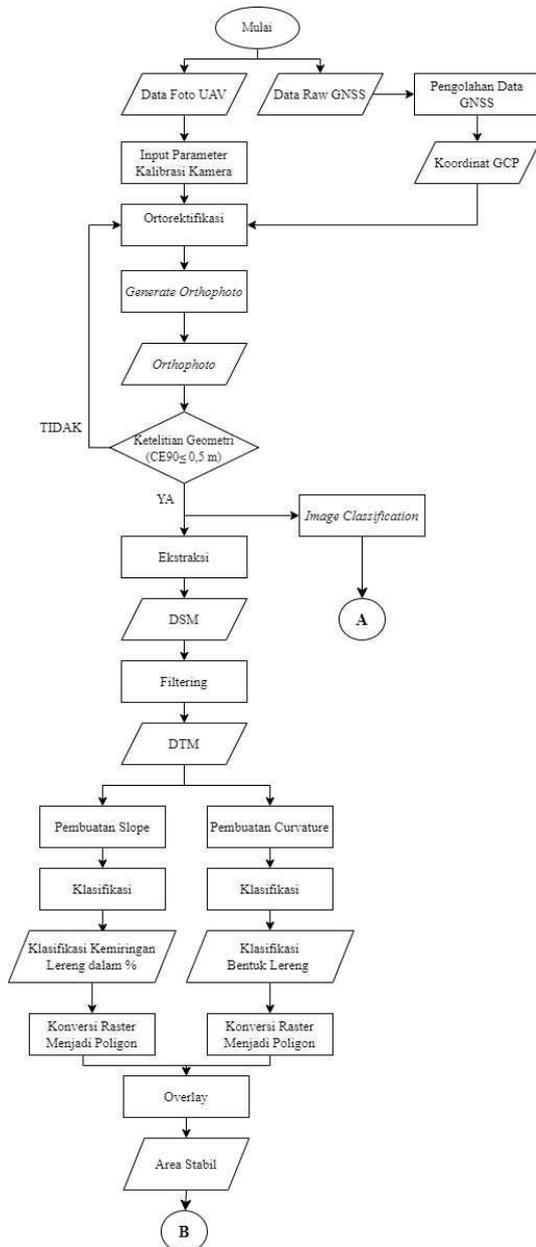
Untuk membuka kawasan sumur baru, diperlukan ruas jalan yang aman dan terhindar dari *geohazard* atau bencana yang berasal dari alam. Hal tersebut diperlukan untuk meningkatkan produktivitas dan K3 (Keamanan dan Keselamatan Kerja) untuk para pekerja PT Pertamina EP

Cepu. Pada laman BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah) Kabupaten Blora, tercatat pada 2022, Kabupaten Blora mengalami berbagai *geohazard*, dimana salah satunya yaitu tanah longsor yang mencapai 24 kejadian. Dimana bencana tanah longsor terdekat telah terjadi pada radius 5,52 km dari wilayah SMG yang merupakan area penelitian dan rencana lokasi pengeboran sumur migas. Hal tersebut didukung juga pada Peta Kawasan Rentan Bencana Kabupaten Blora dengan Skala 1:25.000 oleh BAPPEDA (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah) Kabupaten Blora yang menunjukkan bahwa wilayah rencana lokasi pengeboran Migas SMG, termasuk dalam klasifikasi daerah rentan longsor. Menurut BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), tanah longsor termasuk dalam bencana alam atau bencana yang diakibatkan oleh serangkaian peristiwa alam. Tanah longsor merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah dan/ atau batuan dengan keluar lereng atau menurunnya yang disebabkan karena terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng.

Menimbang tanah longsor yang berpotensi menimbulkan kerusakan, yang juga dapat mempengaruhi siklus produksi pada wilayah rencana pengeboran sumur migas, terutama terkait keselamatan para pekerja, sehingga diperlukan manajemen resiko bencana yang baik. Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk membantu manajemen hal tersebut adalah dibuatnya pemodelan spasial terkait area rentan longsor dan jalur kendaraan untuk menghindarinya di lokasi rencana pengeboran sumur migas. Pada studi kasus dalam penelitian ini, analisis spasial terkait area rentan longsor yang digunakan adalah metode SMORPH (*Slope Morphology*). Metode ini memiliki kelebihan yaitu memiliki akurasi yang cukup baik digunakan pada wilayah dengan curah hujan rendah, skala besar dengan luasan wilayah yang lebih kecil [1]. Oleh karena itu pula, data foto udara dapat menjadi opsi sebagai data utama dalam analisis spasial area rentan longsor pada rencana lokasi pengeboran sumur migas SMG. Dikarenakan data foto udara yang telah diolah akan menghasilkan informasi yang lebih detail/ resolusi spasial yang lebih tinggi daripada citra satelit mau pun SRTM. Dimana gambar yang dihasilkan dengan menggunakan sensor kamera disebut dengan citra foto. Sedangkan foto udara merupakan citra foto yang dibuat dengan cara menggunakan wahana pesawat atau balon udara [2]. Pada

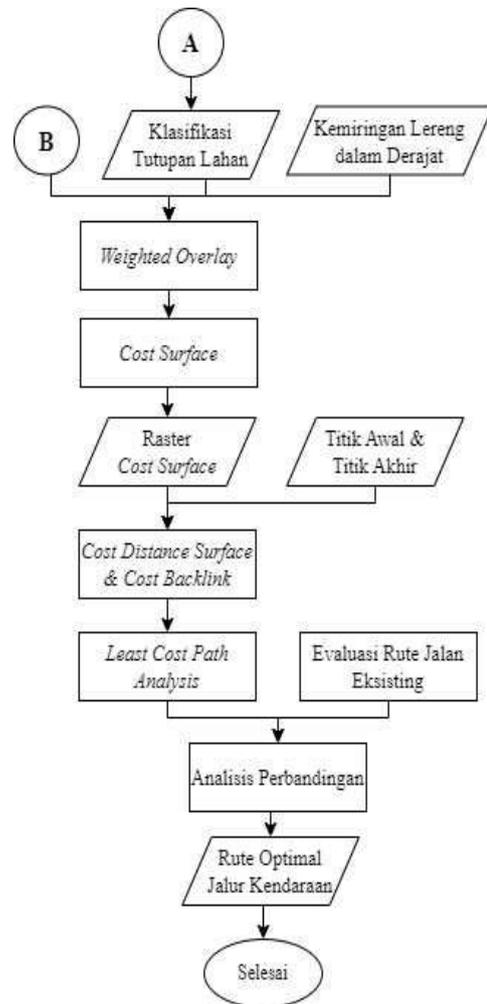


Gambar 2. Lokasi penelitian.



Gambar 3. Diagram alir pengolahan data untuk analisis rentan longsor.

penelitian ini, wahana yang digunakan untuk mendapatkan data foto adalah wahana tak berawak atau yang biasa disebut dengan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Sedangkan terkait jalur kendaraan menghindari area rentan longsor, akan menggunakan metode *Least Cost Path* dalam menentukan



Gambar 1. Diagram alir pengolahan data untuk analisis *Least Cost Path*.

Tabel 1. Hasil koordinat GCP

Titik	Easting (m)	Northing (m)	Elevation (m)
GCP1	549022,681	9219896,946	239,303
GCP2	549191,354	9219685,622	219,023
GCP3	549012,447	9219672,136	224,926
GCP4	548921,45	9219596,633	221,771

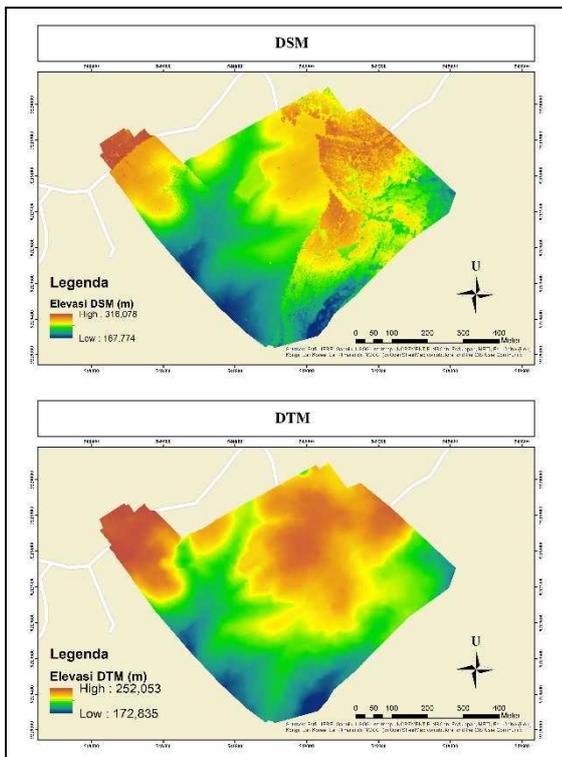
jalur alternatif berdasarkan analisis rentan bencana longsor yang telah dianalisis. Metode ini akan menemukan jalur termurah antara 2 lokasi. Sehingga dapat meminimalisir biaya dan meningkatkan keamanan selama proses produksi pengembangan sumur baru dan lama dilakukan.

Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemodelan skala besar area rentan longsor dan simulasi penentuan jalur alternatif menghindarinya untuk para pekerja PT Pertamina EP Cepu di wilayah SMG dari data foto udara UAV.

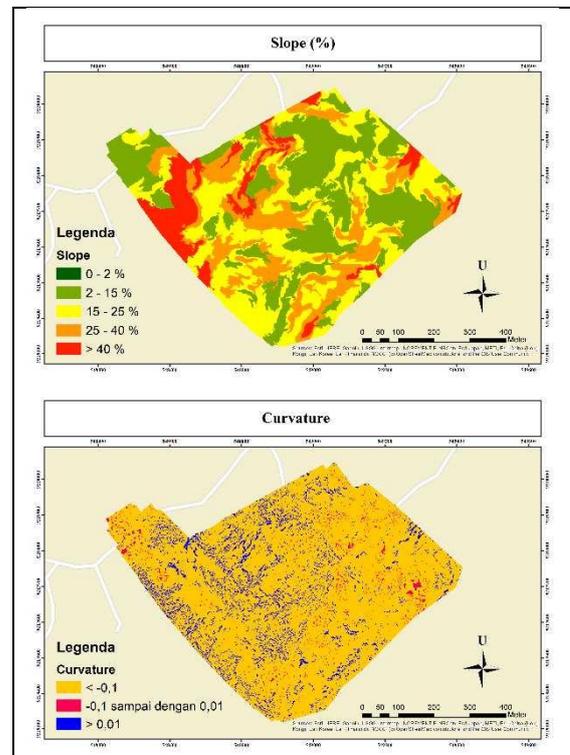
II. URAIAN PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Area studi yang digunakan dalam penelitian ini adalah area lapangan Semanggi SMG milik PT Pertamina EP Cepu yang terletak pada Semanggi, Kecamatan Jepon, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Dimana luasan wilayah yang terfoto untuk dilakukannya simulasi yaitu sebesar ± 39,9 hektar, dengan koordinat *centroid* area yaitu 7°3'33,23"S; 111°26'37,76"E,



Gambar 4. Peta DSM dan DTM



Gambar 5. Peta Parameter SMORPH.

Tabel 2.
Hasil perhitungan ketelitian geometri.

RMSEr	0.278
CE90	0.422
RMSEz	0.263
LE90	0.435

Tabel 3.
Matriks SMORPH dengan modifikasi.

Bentuk Lereng	Sudut Kelerengan (%)				
	0-2%	2-15%	15-25%	25-40%	>40%
Cembung (Convex)	Stabil	Stabil	Stabil	Stabil	Waspadada
Datar (Planar)	Stabil	Stabil	Stabil	Waspadada	Tidak Stabil
Cekung (Concave)	Stabil	Waspadada	Tidak Stabil	Tidak Stabil	Tidak Stabil

dapat dilihat pada Gambar 1.

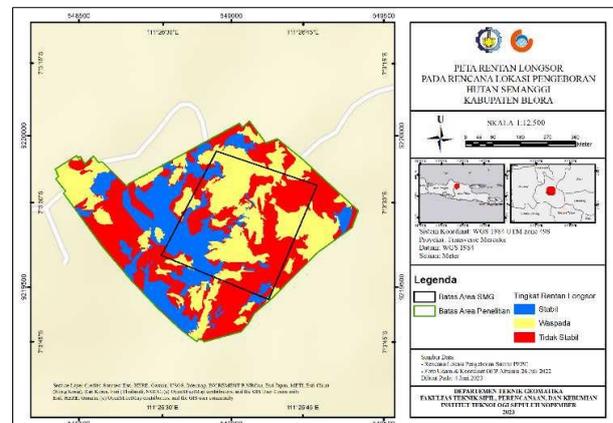
B. Data dan Peralatan

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data foto UAV wilayah SMG hasil akuisisi pada 26 Juli 2022 sejumlah 1.672 foto (dengan spesifikasi tinggi terbang 110 m, free fly manual, dan foto dipotret setiap pergerakan ± 2 detik). Data yang digunakan merupakan data dari Kerja Praktik di PT Pertamina EP Cepu Zona 11
2. Data GCP (*Ground Control Point*) yang diamati menggunakan metode statik-radial dengan waktu pengamatan ± 30 menit.

Ada pun peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain:

1. Instrumen Survei Lapangan
 - a. Satu set Drone Dji Mavic Air 2
 - b. Dua set GNSS Geodetik Trimble 5700
2. Perangkat Keras



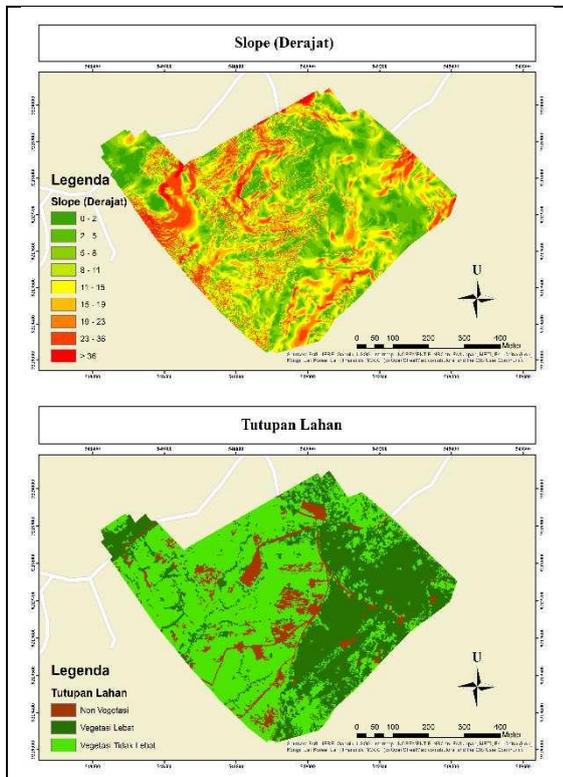
Gambar 6. Peta rentan longsor dengan SMORPH.

- a. Laptop/ Komputer
- b. Mouse
3. Perangkat Lunak
 - a. Trimble Business Center versi 5.20
 - b. Agisoft Metashape
 - c. Perangkat lunak filtering
 - d. ArcMap 10.3
 - e. Microsoft Word
 - f. Microsoft Excel

C. Tahapan Pengolahan Data

Penelitian dimulai dari proses akuisisi data di lapangan SMG. Proses tersebut meliputi perencanaan survey, orientasi lapangan/scouting, penentuan base GPS yaitu titik eksisting dari PT Pertamina, pemasangan patok yang dilanjut dengan pemasangan premark, hingga dilakukannya akuisisi data foto udara dari UAV dan data GPS sebagai GCP pada tanggal 26 Juli 2022.

Setelah didapatkannya raw data dari akuisisi di lapangan, dilakukan pengolahan data seperti tahapan diagram alir pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 7. Kriteria yang Digunakan untuk Jalur Selain Area Rentan Longsor.

Tabel 4.
Luasan area rentan longsor

Tingkat Potensi	Luas Area (Ha)	Persentase (%)
Stabil	8,952	22
Waspada	17,258	43
Tidak Stabil	13,636	34
Jumlah	39,846	100

Berikut merupakan penjelasan dari diagram alir pada Gambar 2 dan 3.

1) *Pengolahan Foto Udara dan GCP*

Pengolahan foto udara dilakukan dengan *Agisoft Metashape*, sedangkan pengolahan titik-titik GCP yang berupa data GNSS diolah menggunakan *Trimble Business Center*. Untuk referensi elevasi yang digunakan adalah Geoid EGM 2008.

2) *Ortorektifikasi*

Tahapan ini merupakan tahapan *georeference* dengan cara melakukan retriifikasi foto objek pada model menggunakan data dari GCP (*Ground Control Point*).

3) *Generate Orthophoto, dan DSM*

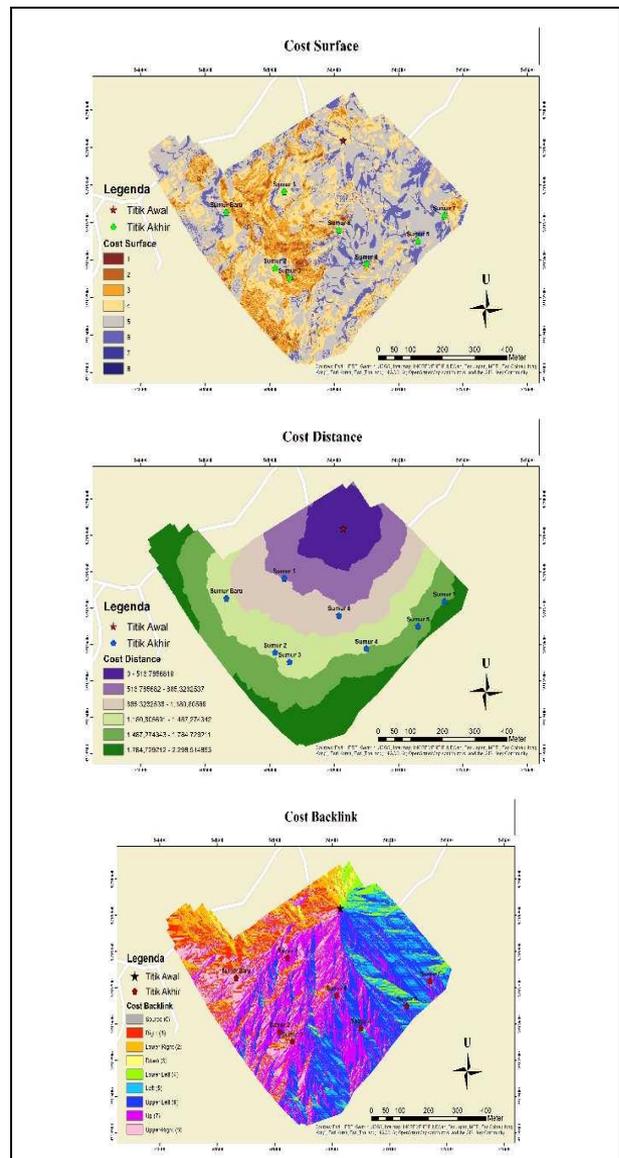
Pembuatan *orthophoto* dan *DSM* dilakukan menggunakan *Agisoft Metashape* dengan tahapan mulai dari *build mesh*, *build DEM*, *build orthomosaic*. Sehingga menghasilkan Raster *Orthophoto* dan *DSM*.

4) *Uji Ketelitian Geometri*

Dilakukan perhitungan CE90, dan LE90 serta menyesaikannya dengan standar Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial untuk peta skala besar. Dimana untuk nilai CE90 & LE90 $\leq 0,5$ m, serta resolusi spasial *orthophoto* ≤ 8 cm.

5) *Filtering DSM menjadi DTM*

Filtering dilakukan menggunakan perangkat lunak *filtering* dengan metode *filtering* semi-otomatis. Dimana dilakukan



Gambar 8. Peta *Cost Surface*, *Cost Distance*, dan *Cost Backlink*.

Tabel 5.
Perbandingan jalur berdasarkan panjang

Titik Akhir	Least Cost Path (m)	Jalur Eksisting (m)	Selisih (m)
Sumur 1	250,642	257,074	6,432
Sumur 2	470,434	507,438	37,004
Sumur 3	481,185	510,570	29,386
Sumur 4	378,140	446,944	68,804
Sumur 5	411,440	414,394	2,954
Sumur 6	263,078	272,577	9,499
Sumur 7	400,259	524,450	124,191
Sumur Baru	465,496	-	-

digitasi pada area tertentu yang ingin dilakukan *filtering* (pada studi kasus ini merupakan pepohonan).

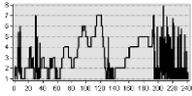
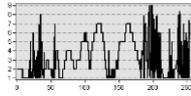
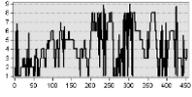
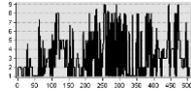
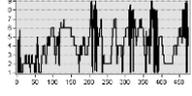
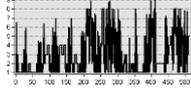
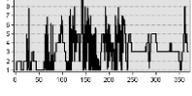
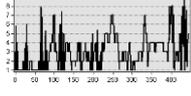
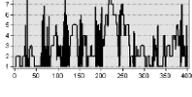
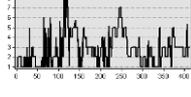
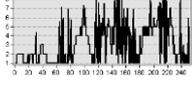
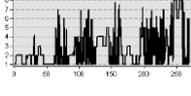
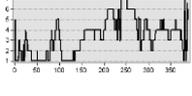
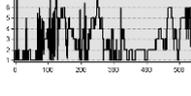
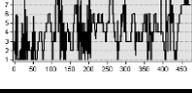
6) *Pembuatan Slope*

Pembuatan kemiringan lereng dilakukan dengan tool pada *ArcMap* dari data utama berupa data *DTM* yang telah diolah sebelumnya, sehingga dapat menghasilkan klasifikasi kemiringan lereng dalam persen, seperti pada Tabel 2.6.

7) *Pembuatan Curvature*

Pembuatan kemiringan lereng dilakukan dengan tool pada *ArcMap* dari data utama berupa data *DTM* yang telah diolah sebelumnya.

Tabel 7.
Perbandingan jalur berdasarkan kelergangan dalam derajat

Titik Akhir	Least Cost Path (m)	Jalur Eksisting (m)
Sumur 1		
Sumur 2		
Sumur 3		
Sumur 4		
Sumur 5		
Sumur 6		
Sumur 7		
Sumur Baru		-

8) *Overlay*

Dilakukan *Overlay* pada hasil klasifikasi kemiringan lereng dan bentuk lereng dengan *tool* pada *ArcMap*, yaitu dengan *intersection*.

9) *Image Classification*

Pada tahapan ini dilakukan klasifikasi tutupan lahan terhadap data raster *orthophoto* yang telah dihasilkan sebelumnya.

10) *Weighted Overlay*

Tahapan ini dilakukan untuk mengetahui harga permukaan/ *Cost surface*. Tahap ini dilakukan dengan *tool* pada *ArcMap* dengan pembobotan yang sama pada setiap parameter.

11) *Cost Surface*

Tahap ini menunjukkan total harga dari area yang memiliki karakteristik tertentu sesuai dengan parameter yang dianalisis.

12) *Cost Distance Surface & Cost Backlink*

Tahap ini dilakukan input terhadap data hasil *Cost surface* dan lokasi titik awal untuk rute. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui biaya akumulasi terkecil tiap unit jarak dari seluruh grid menuju titik awal. Sedangkan *Cost backlink* dilakukan untuk mengkalkulasi piksel kembali menuju

Tabel 6.
Klasifikasi kelergangan dalam derajat

Kemiringan lereng (°)	Kelas
0-2	1
2-5	2
5-8	3
8-11	4
11-15	5
15-19	6
19-23	7
23-36	8
>36	9

sumber lokasi, dimana input dalam proses ini yaitu raster *cost surface*, titik awal dan titik akhir. Dimana titik awal merupakan titik yang telah didefinisikan sebelumnya dengan koordinat 549028,519; 9219919,686 m, yaitu titik yang berada di pertigaan jalan eksisting dengan kriteria berada pada jalan yang memungkinkan untuk dilewati kendaraan yang akan menuju ke seluruh sumur. Sedangkan titik akhir merupakan 7 sumur eksisting dan 1 asumsi sumur baru.

13) *Least Cost Path Analysis*

Pada tahap ini menciptakan jalur/ jalan yang terdiri dari piksel- piksel yang memiliki biaya/harga/Cost terkecil dan jarak terpendek.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Hasil Orthophoto*

Berikut merupakan hasil koordinat GCP (*Ground Control Point*) dengan sistem koordinat UTM Zona 49S, Datum WGS1984, dan model geoid EGM2008 Global, dapat dilihat pada Gambar 4.

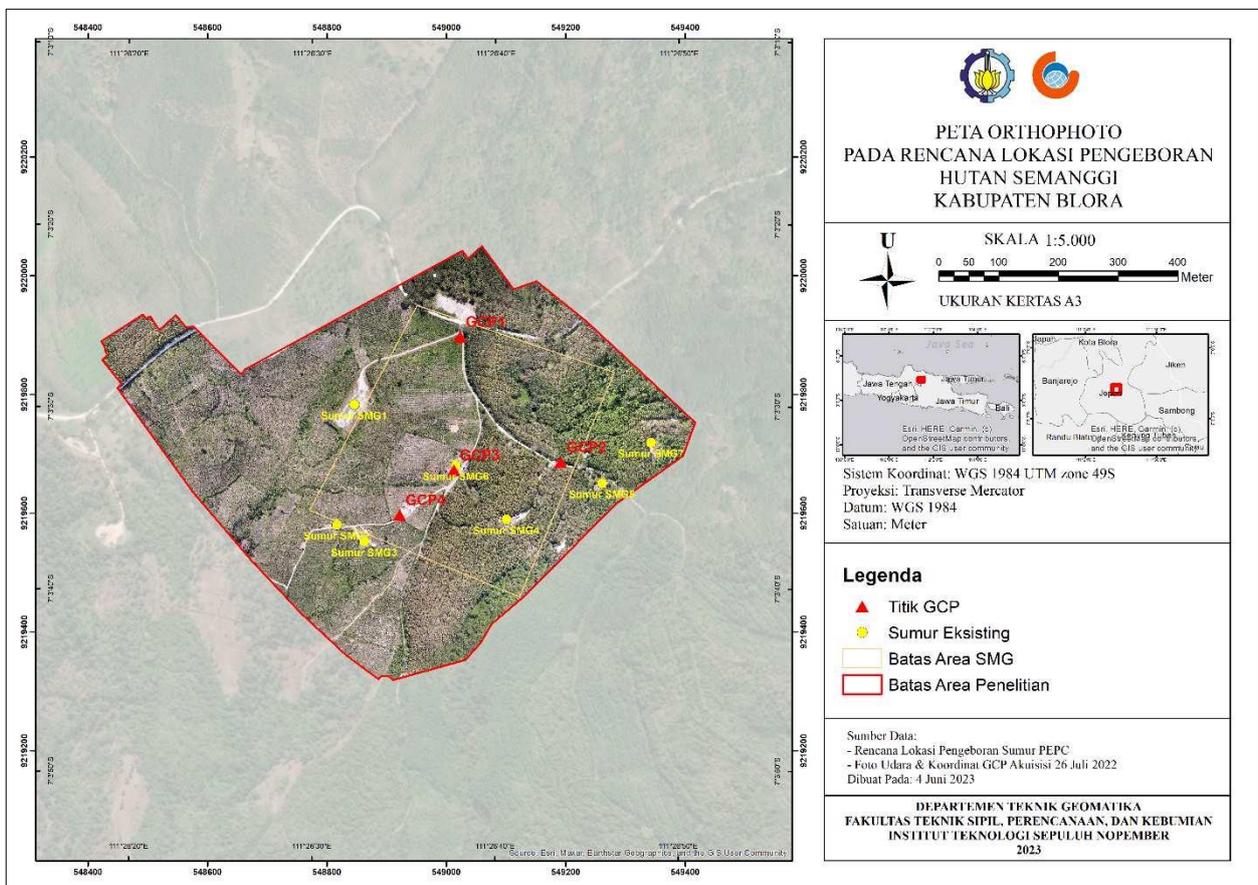
Ada pun koordinat GCP pada Tabel 1 kemudian digunakan sebagai koordinat titik referensi pada pengolahan data foto udara UAV hingga menghasilkan *orthophoto* seperti pada gambar di Lampiran 1. Berdasarkan hasil pengolahan data foto UAV, didapatkan *orthophoto* yang memiliki resolusi spasial sebesar 3,788 cm/pix. Sedangkan DTM yang telah dilakukan proses *filtering*, memiliki resolusi sebesar 7,578 cm/pix.

Berdasarkan uji ketelitian geometri, yaitu akurasi horizontal dan akurasi vertikal yang dimana akurasi horizontal diuji dengan nilai CE90 (dari *orthophoto*), sedangkan akurasi vertikal diuji dengan LE90 (dari DTM), didapatkan nilai seperti pada Tabel 2.

Sehingga dapat dinyatakan bahwa *Orthophoto* dan DTM hasil pengolahan memenuhi standar ketelitian horizontal kelas 3, dan memenuhi standar ketelitian vertikal peta dasar untuk skala 1:1000 berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar, yaitu CE90 & LE90 sebesar 0,5 m. Sedangkan berdasarkan Peraturan BIG Nomor 1 Tahun 2020 tentang pembuatan peta skala besar, output *orthophoto* yang dihasilkan telah memenuhi standar karena memiliki resolusi spasial ≤ 8 cm untuk skala peta 1:1000.

B. *Analisis Slope Morphology (SMORPH)*

SMORPH melakukan analisis untuk area rentan longsor menggunakan parameter morfologi di area perencanaan lokasi sumur Migas, hutan Semanggi yaitu dengan menggabungkan parameter *Slope/* kemiringan dan *Curvature/* bentuk lereng, dapat dilihat pada Gambar 5.



Lampiran 1. Hasil peta orthophoto.

Untuk kelergangan dalam persen diklasifikasikan menjadi 5 kelas yaitu 0-2% (Datar), 2-15% (Sedang), 15-25% (Agak Curam), 25-40% (Curam), >40% (Sangat Curam). Sedangkan untuk klasifikasi bentuk lereng dikelaskan menjadi 3 kelas yaitu cekung/ *concave* dengan nilai < -0,1, datar/ *planar* dengan nilai -0,1 sampai dengan 0,01, dan cembung/ *convex* dengan nilai > 0,01. Berikut merupakan hasil pengolahan parameter kelergangan dalam % dan profil bentuk lereng.

Dari kedua hasil parameter tersebut dilakukan *Overlay* hingga menghasilkan area yang rentan longsor seperti pada Gambar 6.

Klasifikasi area rentan longsor dikelaskan menjadi 3 yaitu area stabil yang divisualisasikan dengan warna biru pada Gambar 6, waspada dengan warna kuning, dan tidak stabil dengan warna merah berdasarkan pendefinisian SMORPH dapat dilihat pada Tabel 3 [3]. Dengan hasil penentuan tingkat kerentanan longsor pada Gambar 6, didapatkan rincian yang ada pada Tabel 4.

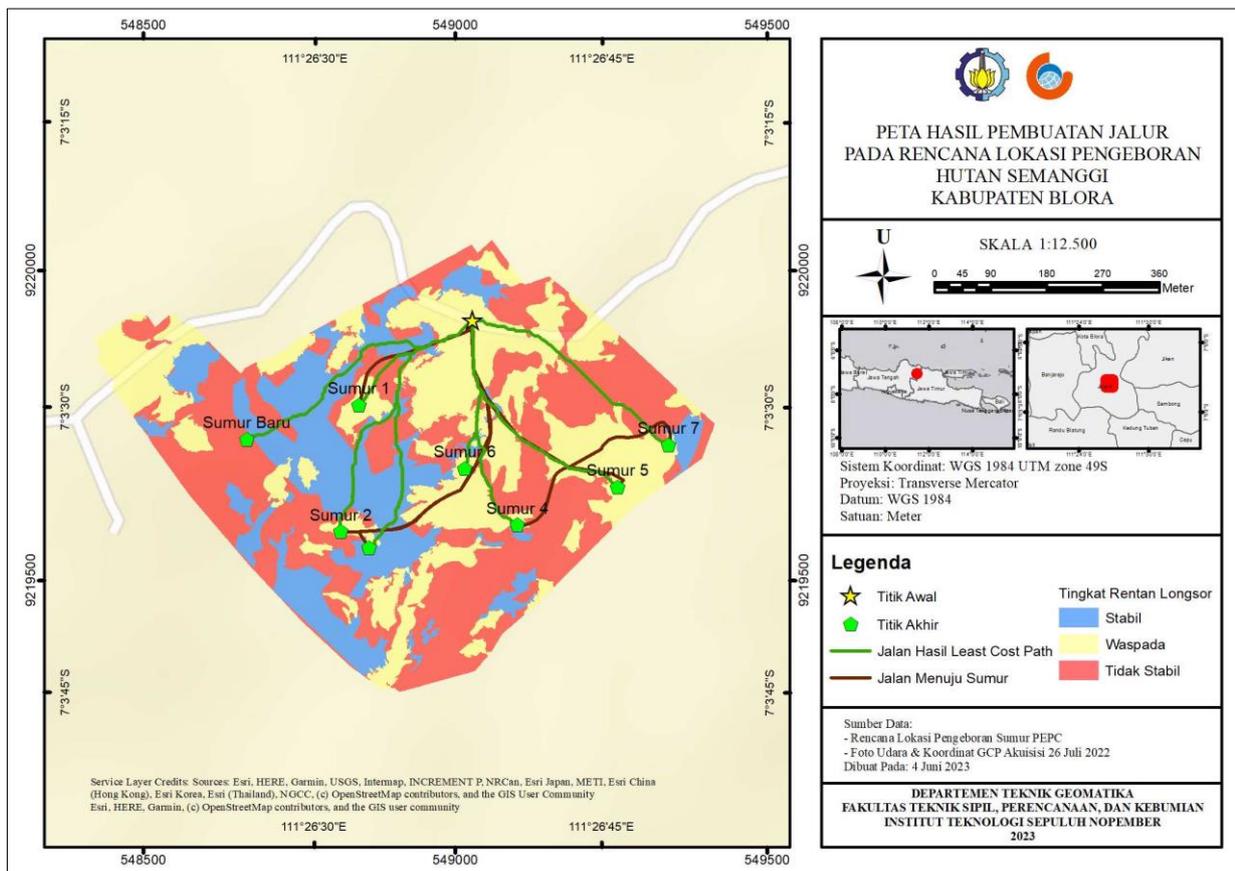
Dari data pada Tabel 4, dapat diketahui bahwa wilayah studi kasus yaitu wilayah rencana lokasi pengeboran sumur Migas milik PT Pertamina EP Cepu didominasi oleh area dengan tingkat potensi terhadap rentan longsor di kelas waspada dengan persentase sebesar 43% dari luas keseluruhan area yang dianalisis. Kemudian diikuti oleh area tidak stabil sebesar 34% dan area stabil sebesar 22%. Dimana hasil dari area stabil seluas 8,952 ha dapat menjadi salah satu rekomendasi untuk perencanaan lokasi sumur pengeboran baru di wilayah SMG berdasarkan parameter area rentan longsor dari kemiringan dan bentuk lereng.

C. Analisis Least Cost Path

Pada penelitian ini, pengolahan *Least Cost Path* akan mendapatkan hasil jalur optimum untuk menghindari area rentan longsor dengan mempertimbangkan parameter area stabil terhadap kerentanan longsor, parameter kelergangan dalam derajat dan parameter tutupan lahan yang diklasifikasikan dari data *orthophoto* yang telah didapatkan sebelumnya. Jalur yang akan dihasilkan merupakan jalur dengan kalkulasi akumulasi nilai piksel terkecil berdasarkan kriteria- kriteria yang telah ditentukan, sehingga akan menghasilkan jalur dengan area stabil terhadap rentan longsor, tutupan lahan yang tidak melewati vegetasi yang terlalu lebat, dan lereng yang tidak curam dapat dilihat pada Gambar 7.

Pada penelitian ini, kriteria- kriteria tersebut dianalisis menggunakan pembobotan/ *tool Weighted Overlay* dengan pembobotan masing- masing bernilai 34% untuk area stabil dari tanah longsor, 33% untuk raster kelergangan, dan 33% untuk raster tutupan lahan dengan klasifikasi non vegetasi, vegetasi lebat dan tidak lebat dari area studi kasus yang merupakan kawasan hutan. Hingga menghasilkan raster *Cost surface*, *Cost distance*, dan *Cost backlink* seperti pada Gambar 8.

Dimana untuk simulasi jalur, input yang digunakan untuk titik awal merupakan titik yang telah ditentukan dan berada pada jalan eksisting, dan titik akhir/ tujuannya merupakan titik letak 7 sumur- sumur lama dan 1 titik simulasi untuk asumsi perencanaan sumur baru. Ketujuh titik sumur eksisting merupakan hasil interpretasi dari *orthophoto* yang telah dihasilkan. Peta hasil pembuatan jalur ditampilkan



Lampiran 2. Peta jalur dengan area rentan longsor.

untuk skala besar yaitu dengan skala 1:5000, seperti tertera pada Lampiran 2.

Dalam melakukan analisis terhadap jalan untuk perencanaan wilayah sumur baru, diperlukan pula analisis atau evaluasi terhadap jalur eksisting. Berikut merupakan rincian perbandingan antara jalur yang telah dibuat menggunakan *Least Cost Path* dan jalur eksisting di lapangan.

Pada Tabel 5 terlihat bahwa dari 7 jalur yang dianalisis, jalur dari hasil *Least Cost Path* memiliki panjang yang lebih pendek sebesar 124,191 m untuk selisih terpanjang (jalur menuju Sumur 7) dan 2,954 m untuk selisih terpendek (jalur menuju Sumur 5) dibanding dengan jalur eksisting di lapangan dalam rangka menghindari area rentan longsor. Jalur yang terpendek cenderung memiliki waktu tempuh yang lebih cepat, sehingga memungkinkan untuk dapat meningkatkan produktivitas pada area sumur Migas.

Pada Lampiran 3, terlihat bahwa di beberapa bagian jalur untuk menuju ke sumur masih melewati area yang tidak stabil untuk longsor yang disimbolkan dengan warna merah pada peta. Sedangkan untuk jalur hasil *Least Cost Path* sudah dominan untuk menghindari kawasan rentan longsor.

Pada Tabel 6 merupakan profil memanjang terhadap kelerengan dalam derajat. Dimana untuk sumbu X merepresentasikan pertambahan panjang jalur, dan sumbu Y merupakan kelas kelerengan dalam derajat. Nilai klasifikasi kelerengan dalam derajat yang digunakan yaitu seperti pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 6, dapat terlihat bahwa dari ketujuh jalur menuju sumur yang dianalisis, jalur eksisting lebih banyak menampilkan grafik dengan nilai kelas kemiringan lereng yang tinggi.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan yang diperoleh, antara lain: (1) Data foto udara dari akuisisi menggunakan UAV dapat dimanfaatkan untuk analisis area rentan longsor dan jalur untuk menghindarinya, serta dapat memenuhi standar BIG untuk peta skala besar 1:1000 dari hasil *orthophoto* yang didapatkan. Berdasarkan metode *Slope Morphology*, dihasilkan bahwa wilayah rencana lokasi pengeboran sumur Migas milik PT Pertamina EP Cepu di Hutan Semanggi, Kabupaten Blora terdiri dari area stabil dengan luasan sebesar 8,952 Ha yaitu 22% dari luas keseluruhan area penelitian, dan sisanya yaitu sebesar 78% (30,893 Ha) yang terdiri dari area dengan tingkat potensi terhadap rentan longsor yang berada di kelas waspada dengan persentase sebesar 43% dan 34% kelas tidak stabil dari luas keseluruhan area yang dianalisis; (2) Jalur yang dihasilkan dari metode *Least Cost Path* menghasilkan panjang jalur yang lebih pendek sebesar 124,191 m untuk selisih terpanjang dan 2,954 m untuk selisih terpendek dibanding dengan jalur eksisting di lapangan dalam rangka menghindari area rentan longsor. Dari hasil rute jalur yang didapatkan melalui metode *Least Cost Path Analysis* untuk asumsi perencanaan sumur baru, dapat dijadikan sebagai salah satu rekomendasi untuk PT Pertamina EP Cepu dalam merencanakan rute jalur menuju sumur baru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Triwahyuni, S. Sobirin, and R. Saraswati, "Analisis Spasial Wilayah Potensi Longsor dengan Metode SINMAP dan SMORPH di Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta," *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 8, pp. 69–76, Jul. 2017, doi: 10.35313/IRWNS.V8I3.701.

- [2] B. Utoyo, *Geografi: Membuka Cakrawala Dunia - Google Books*. Bandung: PT Grafindo Media Pratama, 2007. Accessed: Jan. 15, 2023. [Online]. Available: https://www.google.co.id/books/edition/Geografi_Membuka_Cakrawala_Dunia/YK0EE-7eiiQC?hl=id&gbpv=0
- [3] E. H. Putra, "Landslide hazard area identification using smorph-slope morphology method in Manado City," *Research, Development and Innovation Agency, Ministry of Environment and Forestry*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, Jun. 2014, doi: <https://doi.org/10.20886/jwas.v1i1.849>.