

# PENENTUAN TRASE JALAN LINTAS PENGHUBUNG ANTARA JALAN LINTAS TENGAH DAN JALAN LINTAS SELATAN PULAU JAWA PADA KORIDOR TRASE KEPANJEN–BALEKAMBANG JAWA TIMUR DENGAN PENDEKATAN *LEAST COST PATH*

**Satrio Tunggul Satoto Jagad**  
MSTT FT UGM  
Jln. Grafika 2, Kampus UGM  
Sleman 55281  
satrio.tunggul.s@mail.ugm.ac.id

**Agus Taufik Mulyono**  
DTSL FT UGM/PUSTRAL UGM  
Jln. Grafika 2, Kampus UGM  
Sleman 55281  
agus.taufik.mulyono@ugm.ac.id

**Suryo Hapsoro Tri Utomo**  
MSTT FT UGM  
Jln. Grafika 2, Kampus UGM  
Sleman 55281  
suryohapsoro@ugm.ac.id

**Wimpy Santosa**  
Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan  
Jln. Cimbleuit No. 94  
Bandung 40141  
wimpy@unpar.ac.id

## Abstract

Malang Regency has spatial inequality in the northern and southern regions. The southern region has a landscape that has the potential to become a tourism and agricultural area, but does not yet have access to the National Road, which is needed to accelerate the growth of the southern region of Malang Regency. Road development with the Kepanjen-Balekambang route can help the development gap in Malang Regency. In this study, road alignment planning is carried out, which considers aspects relevant to the selection of a road route, namely: (1) road geometry, (2) traffic volume, (3) regional topography, (4) land cover, (5) forest area, (6) lithology, (7) geological structure, (8) geological bearing capacity, (9) soil types, (10) slopes, (11) water boundaries, and (12) river orders. These twelve aspects are processed to select the best route, by overlaying raster maps and displaying a cost map to produce the route with the lowest cost. This study shows that the cheapest alternative chosen route is the Kepanjen-Gondanglegi-Wonokerto-Bantur-Balekambang route.

**Keywords:** spatial inequality; road alignment; road route selection; least cost path.

## Abstrak

Kabupaten Malang memiliki ketimpangan spasial di kawasan utara dan kawasan selatan. Kawasan selatan memiliki bentang alam yang berpotensi menjadi kawasan pariwisata dan pertanian, namun belum memiliki akses Jalan Nasional, yang diperlukan untuk mempercepat pertumbuhan kawasan selatan Kabupaten Malang tersebut. Pengembangan jalan dengan trase Kepanjen-Balekambang dapat membantu kesenjangan pembangunan di Kabupaten Malang. Pada studi ini dilakukan perencanaan trase jalan, yang mempertimbangkan aspek-aspek yang relevan terhadap pemilihan trase jalan, yaitu: (1) geometrik jalan, (2) volume lalu lintas, (3) topografi wilayah, (4) penutup lahan, (5) kawasan hutan, (6) litologi, (7) struktur geologi, (8) daya dukung geologi, (9) jenis tanah, (10) kemiringan lereng, (11) sempadan air, dan (12) orde sungai. Keduabelas aspek ini diolah untuk memilih trase jalan terbaik, dengan cara *overlay* peta-peta raster dan menampilkan peta biaya untuk menghasilkan rute dengan biaya termurah. Studi ini menunjukkan bahwa alternatif trase terpilih yang paling murah adalah trase Kepanjen-Gondanglegi-Wonokerto-Bantur-Balekambang.

**Kata-kata kunci:** ketimpangan spasial; trase jalan; pemilihan trase jalan; *least cost path*.

## PENDAHULUAN

Kabupaten Malang merupakan kabupaten terluas kedua di Jawa Timur setelah Kabupaten Banyuwangi, dan merupakan kabupaten dengan populasi terbesar di Jawa Timur. Kabupaten Malang berbatasan langsung dengan Kota Malang, yang berada di tengah-tengah Kabupaten Malang, Kabupaten Jombang, Kabupaten Pasuruan, Kota Batu, Kabupaten Lumajang, dan Kabupaten Probolinggo. Masing-masing kabupaten tetangga memiliki kawasan pariwisata, pertanian, dan perdagangan yang sangat bergantung pada Kabupaten Malang. Perkembangan pemindahan barang dan jasa di Kabupaten Malang saat ini didukung penuh oleh transportasi darat. Sebagian besar mobilitas angkutan barang masih menggunakan jalan kabupaten atau jalan provinsi, yang memiliki kapasitas dan kualitas perkerasan rendah. Sedangkan jalan nasional yang terdapat di Kabupaten Malang, dengan panjang 86,88 km, hanya menjangkau kawasan-kawasan utara, timur, dan barat Kabupaten Malang. Oleh karena itu, terdapat ketimpangan spasial antara kawasan bagian utara dan kawasan bagian selatan Kabupaten Malang.

Kondisi ketimpangan spasial menyebabkan pusat-pusat kegiatan di kawasan utara Kabupaten Malang lebih cepat tumbuh dibandingkan dengan di kawasan selatan Kabupaten Malang, karena didukung oleh Jalan Lintas Tengah Pulau Jawa dan Jalan Penghubung Gempol-Malang. Berdasarkan RPJMN 2010-2014, kawasan selatan Kabupaten Malang dilewati oleh rencana Jalan Nasional Lintas Selatan Pulau Jawa. Namun demikian, belum ada jalan nasional yang menghubungkan Jalan Lintas Utara dengan Jalan Lintas Selatan Pulau Jawa di kawasan Kabupaten Malang. Kondisi ketimpangan spasial ini memerlukan pengembangan jalan nasional untuk mendukung pembangunan dan pengembangan wilayah.

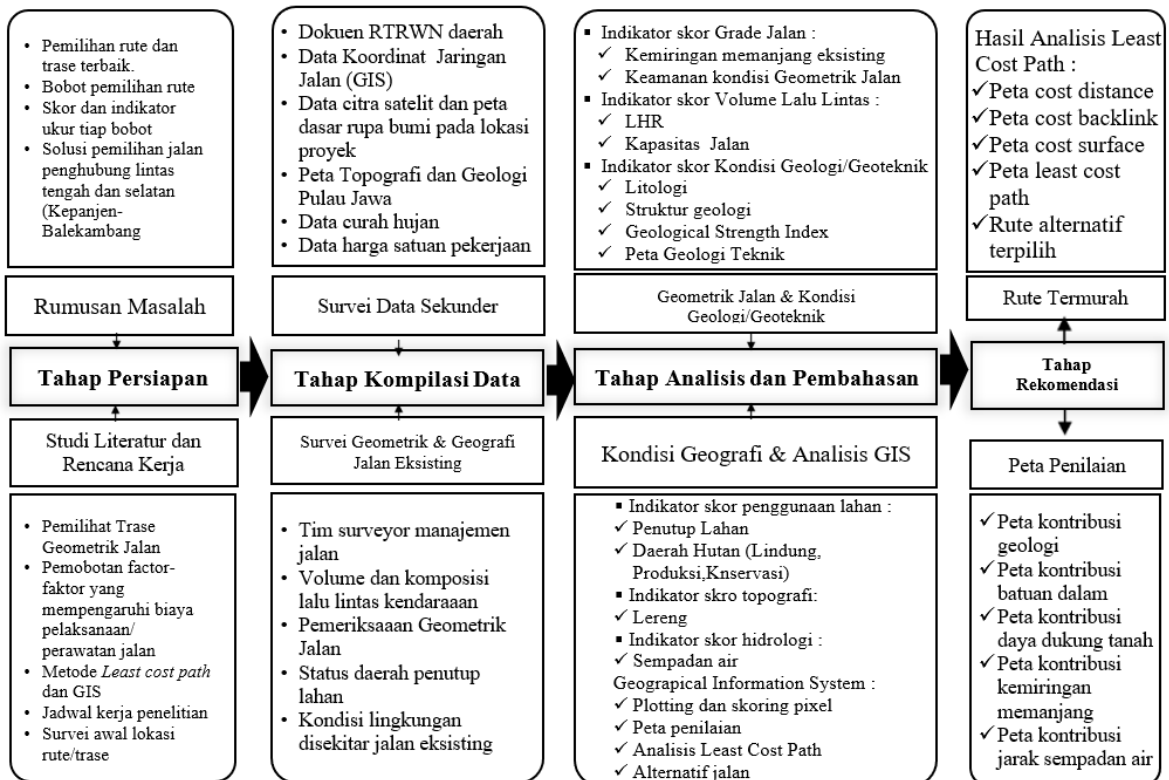
Pengembangan jalan trase Kepanjen-Balekambang, di Pantai Selatan, menjadi salah satu rencana yang dapat menyelesaikan ketimpangan spasial di Kabupaten Malang. Namun demikian, penyelenggara jalan nasional kurang cermat dalam melakukan pemilihan trase jalan. Solusi pemilihan trase jalan lebih mengedepankan pembuatan jalan baru tanpa mempertimbangkan jalan eksisting kabupaten atau jalan provinsi yang ada. Solusi konvensional ini menyebabkan biaya perencanaan jalan mahal, tidak efisien, dan mudah rusak, karena tidak mempertimbangkan faktor-faktor geografi, geologi, geoteknik, dan teknik jalan.

Berdasarkan pertimbangan fakta lapangan, pada studi ini dilakukan kajian perencanaan trase jalan dengan mempertimbangkan faktor-faktor geografi, geologi, geoteknik, dan teknik jalan. Perencanaan trase jalan harus mempertimbangkan aspek yang relevan terhadap faktor-faktor pemilihan trase jalan, yaitu (1) geometrik jalan, (2) volume lalu lintas, (3) topografi wilayah, (4) penutup lahan, (5) kawasan hutan, (6) litologi, (7) struktur geologi, (8) daya dukung geologi, (9) jenis tanah, (10) kelandaian lereng, (11) sempadan air, dan (12) orde sungai. Kajian ini mengolah 12 aspek yang berhubungan langsung dengan pemilihan alternatif trase jalan.

# METODE PENELITIAN

## Alur Penelitian

Penelitian ini disusun melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan pada penelitian ini direncanakan secara sistematis untuk menjelaskan kronologi penelitian yang dilakukan, sehingga menghasilkan kesimpulan yang akurat. Secara sistematis penelitian ini dilakukan dalam 3 tahapan, yaitu: (1) tahap persiapan; (2) tahap pengumpulan data; dan (3) tahap analisis dan pembahasan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Metodologi Pelaksanaan Penelitian

Tahap persiapan berisi kegiatan untuk menyiapkan rencana kegiatan penelitian yang berisi kegiatan: (1) identifikasi masalah; (2) rumusan masalah; (3) pemahaman studi literatur atau tinjauan pustaka dan landasan teori; (4) batasan penelitian; dan (5) rencana kerja dan pelaksanaan survei. Tahap kompilasi data, yang dilakukan untuk mendukung analisis teknis, dapat berupa data sekunder yang didapat melalui survei instansional, dan data primer, yang didapat melalui penelitian secara langsung di lapangan. Tahap analisis dan pembahasan dilakukan dengan menentukan indikator penting untuk penilaian analisis *least cost path*. Skor dan indikator yang sudah disusun kemudian dijadikan dasar untuk merekonstruksi peta GIS dan menghasilkan peta kontribusi dan rute *least cost path*.

Indikator teknis nilai struktur geologi didasarkan pada letak patahan terhadap alternatif trase, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Supriyanto et al. (2021) menyatakan,

jika jarak patahan sesar semakin dekat, kondisi jalan semakin berbahaya terhadap potensi patahan lempeng yang mudah merusak infrastruktur jalan.

**Tabel 1** Skor dan Indikator Struktur Geologi

Skor	Letak Patahan	Indikator Kuantitatif *)
1	Sangat Jauh	Jarak piksel terhadap sesar > 20,0 km
2	Jauh	Jarak piksel terhadap sesar 10,0 – 20,0 km
3	Dekat	Jarak piksel terhadap sesar 5,0 – 10,0 km
4	Sangat Dekat	Jarak piksel terhadap sesar < 5,0 km

Indikator teknis nilai litologi didasarkan pada jenis batuan atau struktur geologi dalam yang terdapat di bawah tanah asli, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Jika jenis struktur geologi pada pada alternatif trase berupa batuan vulkanik, kondisi jalan semakin jarang rusak akibat aktivitas geologi.

**Tabel 2** Skor dan Indikator Litologi

Skor	Tingkat Kemudahan Kerusakan Perkerasan	Indikator Kuantitatif *)
1	Sangat sukar rusak	Vulkanik (Hasil/produk letusan gunung merapi tersier
2	Sukar rusak	Sedimen (Endapan gambut dan rawa)
3	Mudah rusak	Aluvium (Batuan agak keras dan masif)
4	Sangat mudah rusak	Koluvium (tanah hasil longsor/rombakan)

Indikator teknis nilai jenis tanah didasarkan pada karakteristik, serta klasifikasi tanah berdasarkan ilmu geologi dan geoteknik, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Hardjowigeno (2003) menyatakan, apabila jenis tanah semakin mendekati sifat-sifat lempung, semakin sulit dan semakin memerlukan biaya yang mahal dalam penanganan perkerasan jalan. Sifat tanah lempung memiliki skor paling besar, artinya pemilihan rute akan menghindari dari tanah dasar yang memiliki sifat-sifat lempung.

**Tabel 3** Skor dan Indikator Jenis Tanah

Skor	Tingkat Daya Dukung Tanah	Jenis Tanah	Indikator Kualitatif *)
1	Sangat kuat	Litosol, Umbrisol, Renzina, Aluvial, Entisol, Vertisol, Regosol, Grumusol, Arenosol	Lanau
2	Kuat	Andosol, Latosol, Molisol	Lanau Kepasiran
3	Lemah	Kambisol, Ultisol, Inseptisol, Gleisol, Nitosol, Podsolik, Mediteran, Alfisols, Planosol	Lanau Lempungan, Lempung Kelanauan
4	Sangat lemah	Podsol, Oksisol, Lateritik, Orgonosol	Lempung

Indikator teknis nilai geometrik jalan didasarkan pada kelandaian jalan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Mulyono (2021) menyatakan, apabila kelandaian jalan semakin besar, artinya semakin curam kondisi geometrik jalan. Hal ini berpotensi menimbulkan kecelakaan, yang artinya alternatif trase harus menghindari geometrik jalan yang ekstrim dan berbahaya.

**Tabel 4** Skor dan Indikator Geometrik Jalan

Skor	Tingkat Kemiringan Memanjang	Indikator Kuantitatif *)
1	Geometrik jalan datar	Kelandaian 0,0 – 3,0%
2	Geometrik jalan landai	Kelandaian 3,0 – 10,0%
3	Geometrik jalan curam	Kelandaian 10,0 – 24,0%
4	Geometrik jalan sangat curam	Kelandaian > 24,0%

Indikator teknis nilai volume lalu lintas didasarkan pada jumlah kendaraan rata-rata, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5. Handayani et al. (2017) menyatakan bahwa jika jumlah kendaraan rata-rata pada salah satu alternatif trase semakin besar, semakin dibutuhkan kebutuhan prioritas penanganan.

**Tabel 5** Skor dan Indikator Volume Lalu Lintas

Skor	Tingkat Volume Kendaraan	Indikator Kuantitatif *)
1	Peningkatan kapasitas jalan mendesak	Jumlah kendaraan rata-rata > 1.000,0
2	Peningkatan kapasitas jalan diperlukan	Jumlah kendaraan rata-rata 501,0 – 1.000,0
3	Peningkatan kapasitas jalan jarang diperlukan	Jumlah kendaraan rata-rata 101,0 – 500,0
4	Belum memerlukan peningkatan kapasitas jalan	Jumlah kendaraan rata-rata 0,0 – 100,0

Indikator teknis nilai daya dukung geologi didasarkan pada nilai indeks kekuatan geologi atau *geological strenght index* (GIS), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6. Marinos et al. (2005) menyatakan bahwa apabila nilai indeks geologi semakin tinggi, semakin kuat daya dukung untuk menahan beban perkerasan jalan, yang berarti alternatif jalan harus berada di atas batuan dengan nilai GIS yang tinggi.

**Tabel 6** Skor Dan Indikator Daya Dukung Batuan Dalam

Skor	Tingkat Keawetan Jalan	Indikator Kuantitatif *)
1	Sangat tinggi	Geological Strength Index (GSI) > 50,0
2	Tinggi	Geological Strength Index (GSI) 40,0 – 50,0
3	Rendah	Geological Strength Index (GSI) 30,0 – 40,0
4	Sangat rendah	Geological Strength Index (GSI) < 30,0

**Tabel 7** Skor dan Indikator Sempadan Air

Skor	Jarak terhadap Garis Tengah Sungai	Indikator Kuantitatif *)
1	Sangat jauh	Jarak sungai > 200,0 m
2	Jauh	Jarak sungai 150,0 – 200,0 m
3	Dekat	Jarak sungai 100,0 – 150,0 m
4	Sangat dekat	Jarak sungai $\leq$ 100,0 m

Indikator teknis nilai sempadan air didasarkan pada jarak sungai terhadap alternatif trase, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7. Rahmania (2010) menyatakan bahwa jika jarak sungai semakin jauh, pelaksanaan pembangunan jalan semakin aman, yang artinya alternatif trase yang berdekatan dengan sungai harus dihindari.

Indikator teknis nilai orde sungai didasarkan pada bentang jembatan yang diperlukan untuk menyeberangi sungai, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8. Orde sungai merupakan tingkatan kemudahan pekerjaan jembatan yang dapat dilakukan berdasarkan ukuran bentang jembatan, Alexander (2016) menyatakan bahwa jika orde sugai semakin besar, semakin sulit dan semakin mahal untuk merealisasikan pelaksanaan infrastruktur jalan, yang artinya alternatif jalan harus berada pada orde sungai yang sesuai.

**Tabel 8** Skor dan Indikator Orde Sungai

Skor	Tingkat Kemudahan Melewati Sungai	Bentang Jembatan	Indikator Kuantitatif *)
1	Sangat mudah	Bukan jembatan	Bukan Jembatan
2	Mudah	Bentang jembatan 20,0 – 40,0m	Orde 1 (10,0 m) Orde 2 (20,0 m)
3	Sukar dilewati	Bentang jembatan 20,0 – 40,0m	Orde sungai 3 (50,0 m)
4	Sangat sukar dilewati	Bentang jembatan 20,0 – 40,0m	Orde sungai 4 (110,0 m) Orde sungai 5 (>110,0 m)

Indikator teknis nilai penutup lahan didasarkan pada kepemilikan dan keberfungsian lahan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 9. Hermawan et al. (2011) menyatakan bahwa apabila kepemilikan lahan semakin mendekati kawasan terlarang atau kawasan konservasi, semakin mahal dan semakin sulit pelaksanaan pembebasan lahan infrastruktur jalan. Hal ini berarti bahwa alternatif jalan harus menghindari lahan yang sulit dibebaskan. Oleh karena itu, indikator besar kecilnya penutup lahan dapat dikaitkan dengan kemudahan pembebasan lahan.

**Tabel 9** Skor dan Indikator Penutup Lahan

Skor	Tingkat Kemudahan Pembebasan Lahan	Indikator Kuantitatif *)	
1	Tidak memerlukan biaya dan administrasi	- Jalan	
2	Biaya murah, administrasi mudah	- Tanah Terbuka - Belukar - Sawah	- Pertanian Lahan Kering - Perkebunan
3	Biaya mahal, administrasi sukar	- Hutan	
4	Biaya mahal, administrasi sukar	- Permukiman - Pertambangan - Lokasi Latihan Marinir	- Lokasi Bersejarah - Perairan (danau/situ, rawa, sungai, Tambak, kolam)

Indikator teknis nilai kawasan hutan didasarkan pada wilayah atau kawasan hutan yang berada di sekitar alternatif trase, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 10. Kawasan hutan memiliki penilaian yang berbeda dibandingkan dengan penutup lahan, karena dampak yang disebabkan oleh pembebasan lahan kawasan hutan lebih besar, yaitu lingkungan.

Susetyo (2013) menyatakan bahwa apabila alternatif jalan semakin mendekati kawasan hutan konservasi, semakin sulit merealisasikan infrastruktur jalan, karena memerlukan biaya pembebasan dan administrasi jalan yang mahal dan sulit, yang artinya alternatif jalan harus menghindari kawasan hutan.

**Tabel 10** Skor dan Indikator Kawasan Hutan

Skor	Tingkat Kemudahan Pembebasan Lahan	Indikator Kuantitatif *)
1	Tidak memerlukan biaya dan administrasi	Bukan Kawasan Hutan
2	Biaya murah, administrasi relatif mudah	Hutan Produksi (Hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman)
3	Biaya relatif mahal, administrasi sukar	Hutan Lindung
4	Administrasi sangat sulit/tidak dapat dibebaskan	Hutan Konservasi (Suaka alam, pelestarian alam)

Indikator teknis nilai lereng didasarkan pada kemiringan lereng yang berada di sekitar alternatif trase, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 11. Sadikin dan Komarudin (2018) menyatakan bahwa apabila alternatif jalan semakin mendekati kawasan lereng yang curam (lebih besar daripada 25%), semakin berbahaya dalam pelaksanaan pembangunan infrastruktur dan operasional jalan. Karena itu, alternatif jalan harus menghindari kawasan dengan lereng yang curam.

**Tabel 11** Skor dan Indikator Lereng

Skor	Tingkat Keamanan	Tipe Kemiringan Lereng	Indikator Kuantitatif *)
1	Tidak ada lereng	Datar	Kemiringan lereng 0 – 2%
2	Stabil dan aman	Landai	Kemiringan lereng 2 – 14%
3	Berbahaya	Curam	Kemiringan lereng 15 – 25%
4	Sangat berbahaya	Sangat Curam	Kemiringan lereng > 25%

Indikator teknis nilai curah hujan didasarkan pada ukuran curah hujan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12. Ramier et al. (2011) menyatakan bahwa apabila alternatif jalan semakin mendekati kawasan dengan curah hujan yang tinggi, semakin mudah terbentuknya rembesan dan genangan air pada badan jalan, yang menyebabkan perkerasan jalan cepat rusak. Hal ini berarti bahwa alternatif jalan harus menghindari kawasan dengan curah hujan yang tinggi.

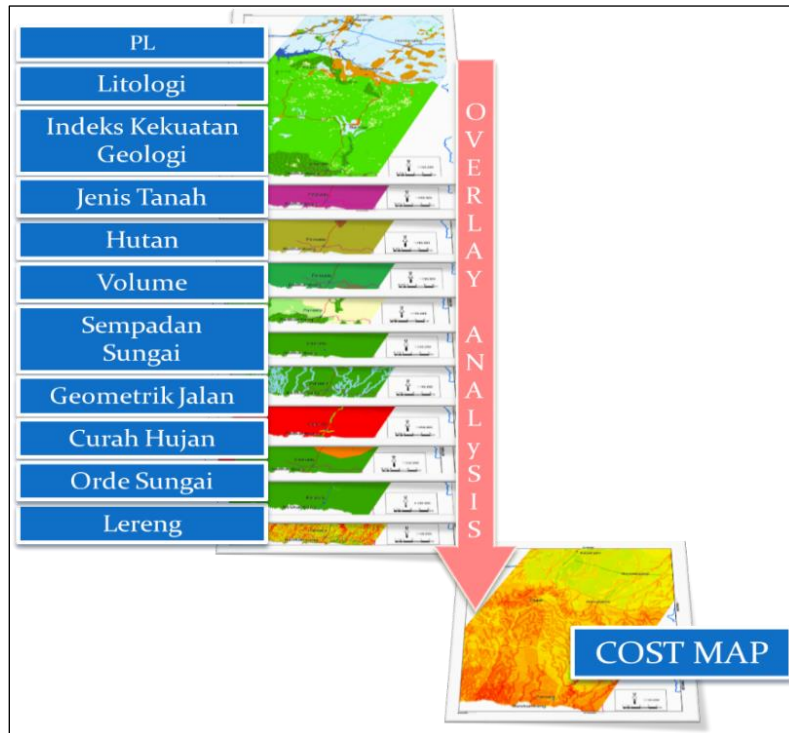
**Tabel 12** Skor dan Indikator Curah Hujan

Skor	Tingkat Kerusakan	Curah Hujan	Indikator Kuantitatif *)
1	Jarang	Rendah	0,0 – 100,0 mm
2	Lambat	Menengah	101,0 – 300,0 mm
3	Cepat	Tinggi	301,0 – 500,0 mm
4	Sangat cepat	Sangat tinggi	> 500,0 mm

Penilaian peta berdasarkan indikator-indikator skor menghasilkan peta kontribusi untuk pengolahan analisis *least cost path*. Pengolahan peta kontribusi dilakukan dengan fitur

*overlay* pada perangkat lunak GIS, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Fitur *overlay* perangkat lunak GIS akan menggabungkan 12 peta kontribusi dan menghasilkan peta *cost distance*, peta *cost backlink*, dan peta *cost surface* atau *cost map*. Analisis *least cost path* menggunakan peta *cost surface* sebagai acuan pencarian rute termurah.

Tahap rekomendasi merupakan tahapan terakhir pada kajian ini, yaitu penentuan trase jalan yang paling ideal untuk mencapai tujuan kajian. Trase jalan penghubung Kapanjen-Balekambang ditentukan berdasarkan hasil analisis *least cost path* yang menunjukkan rute termurah dari 12 penilaian parameter pemilihan trase jalan.



**Gambar 2** Proses *overlay* peta-peta kontribusi

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

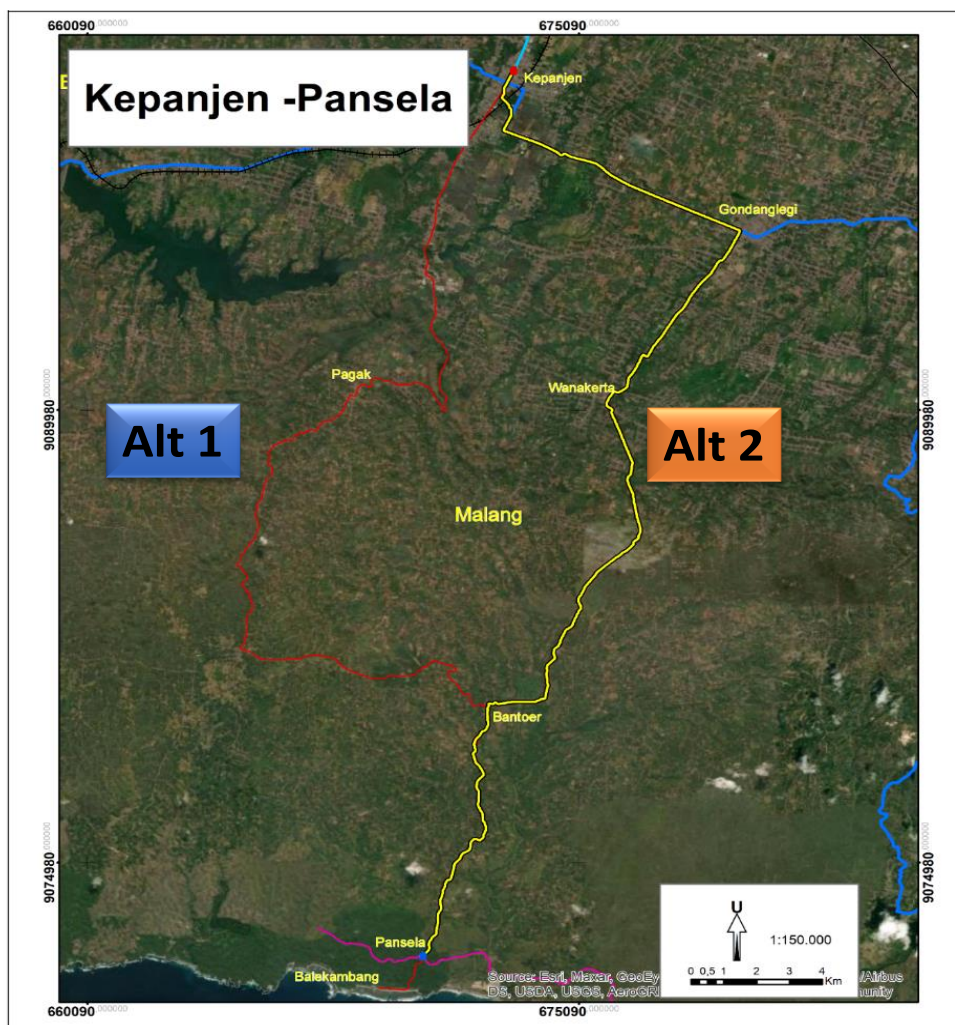
### Hasil Pemeriksaan Kondisi Eksisting Lapangan

Trase Kapanjen-Balekambang menghubungkan PKN Malang dengan Kawasan Strategis Pariwisata Daerah Balekambang (KSPD Balekambang). Perjalanan dari Malang ke Balekambang memiliki 2 alternatif rute, yaitu Malang-Kapanjen-Gondanglegi-Bantur-Balekambang dan Malang-Kapanjen-Pagak-Bantur-Balekambang. Titik awal dan titik akhir pemilihan alternatif trase Kapanjen-Balekambang ditentukan berdasarkan kesamaan asal dan tujuan, yaitu Simpang Empat Kapanjen dan Simpang Empat Lintas Pantai Selatan Balekambang, dengan identitas masing-masing rute pada trase Kapanjen-Balekambang sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 13 dan Gambar 3.



**Tabel 13** Identitas Ruas Trase Kapanjen-Balekambang

No.	Nama Ruas	Status Jalan	Kelas Prasarana	Fungsi
Alternatif 1: Kapanjen-Pagak-Bantur-Balekambang				
1	Kapanjen-Pagak	Jalan Kabupaten	Jalan Sedang	JKP-3
2	Pagak-Bantur	Jalan Kabupaten	Jalan Sedang	JKP-3
3	Bantur-Balekambang	Jalan Kabupaten	Jalan Sedang	JKP-3
Alternatif 2: Kapanjen-Gondanglegi-Wonokerto-Bantur-Balekambang				
1	Kapanjen-Gondanglegi	Jalan Nasional	Jalan Raya	JKP-1
2	Gondanglegi-Wonokerto	Jalan Kabupaten	Jalan Sedang	JKP-3
3	Wonokerto-Bantur	Jalan Kabupaten	Jalan Sedang	JKP-3
4	Bantur-Balekambang	Jalan Kabupaten	Jalan Sedang	JKP-3

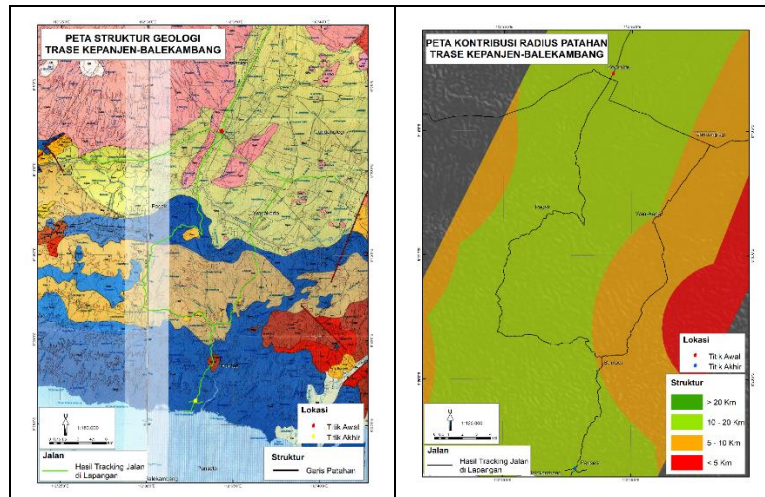


**Gambar 3** Dua Alternatif Trase Kapanjen-Balekambang

### Hasil Pemeriksaan Geographic Information System

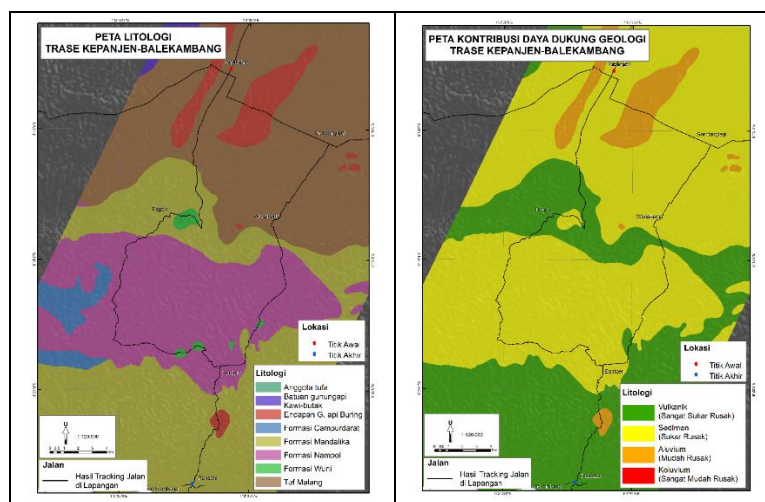
Data spasial berbasis matriks diolah menggunakan perangkat lunak berbasis Geographic Information System (GIS) untuk menampilkan informasi-informasi spasial. Olahan data spasial menampilkan peta dengan informasi spasial yang lebih mudah dipahami. Peta GIS, yang terdiri atas 12 informasi spasial, direkonstruksi berdasarkan penilaian indikator, sehingga menghasilkan Peta Kontribusi terhadap penentuan trase jalan.

Peta struktur geologi menunjukkan patahan atau sesar bumi yang berada pada kawasan Kabupaten Malang. Peta struktur geologi menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi letak patahan terhadap kegagalan konstruksi jalan. Peta struktur geologi ini kemudian diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap jarak patahan geologi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

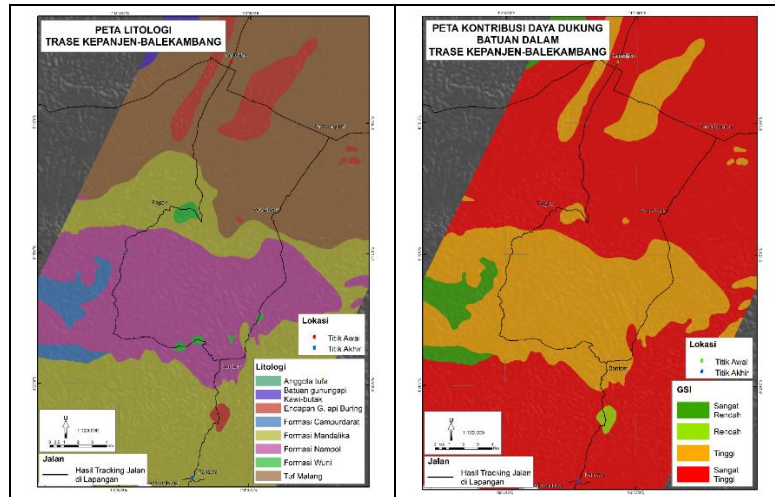


**Gambar 2** Peta Struktur Geologi dan Peta Kontribusi Jarak Patahan terhadap Kekuatan Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

Peta litologi menunjukkan formasi-formasi jenis batuan yang terdapat di bawah kawasan Kabupaten Malang. Peta Litologi kemudian diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kualitatif sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap tingkat kemudahan kerusakan perkerasan jalan dan tingkat daya dukung tanah, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

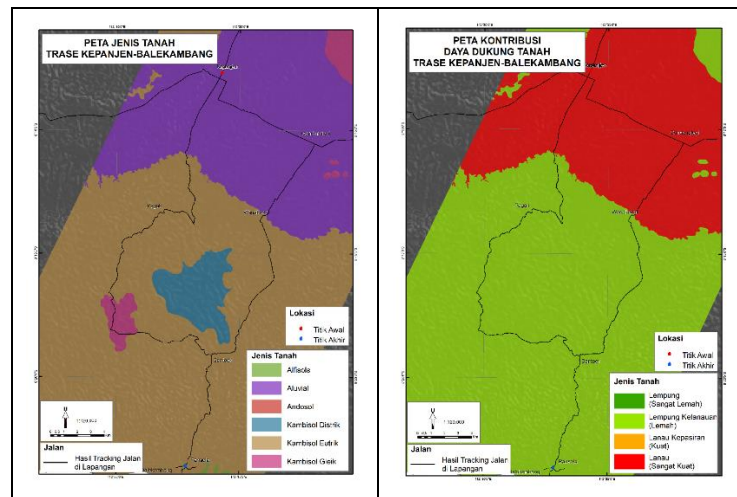


**Gambar 3** Peta litologi dan Peta Kontribusi Daya Dukung Geologi terhadap Tingkat Kerusakan Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang



**Gambar 4** Peta Litologi dan Peta Kontribusi Daya Dukung Batuan Dalam terhadap Kekuatan Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

Peta jenis tanah menunjukkan jenis-jenis tanah penyusun kawasan trase Kepanjen-Balekambang. Peta jenis tanah menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi daya dukung tanah terhadap konstruksi jalan. Peta jenis tanah ini kemudian diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap jenis-jenis tanah dan kekuatan daya dukungnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Semakin lempung jenis tanah, semakin lemah daya dukung terhadap konstruksi jalan.

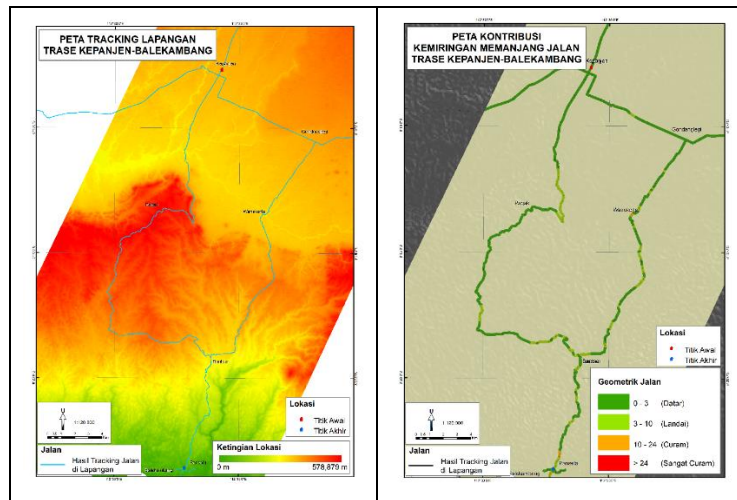


**Gambar 5** Peta Jenis Tanah dan Peta Kontribusi Daya Dukung Tanah terhadap Konstruksi Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

Peta *tracking* survei menunjukkan rute jalan yang dilewati oleh surveyor di lapangan. Peta *tracking* survei ini dilengkapi dengan data Digital Elevation Model (DEM) yang berfungsi untuk validasi kemiringan melintang jalan. Selain memuat data line geografis, peta *tracking* survei merekam data elevasi dan menyimpannya secara spasial. Peta *tracking* survei menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi kemiringan memanjang terhadap geome-

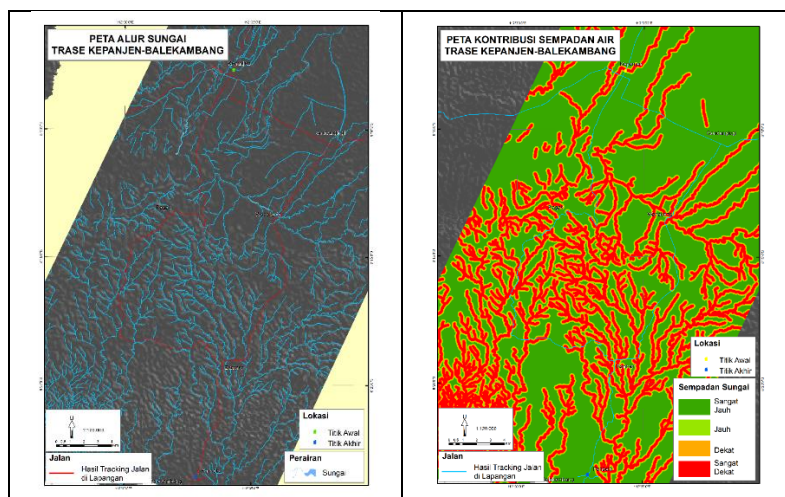


trik jalan. Peta *tracking* survei ini kemudian diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap kemiringan jalan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

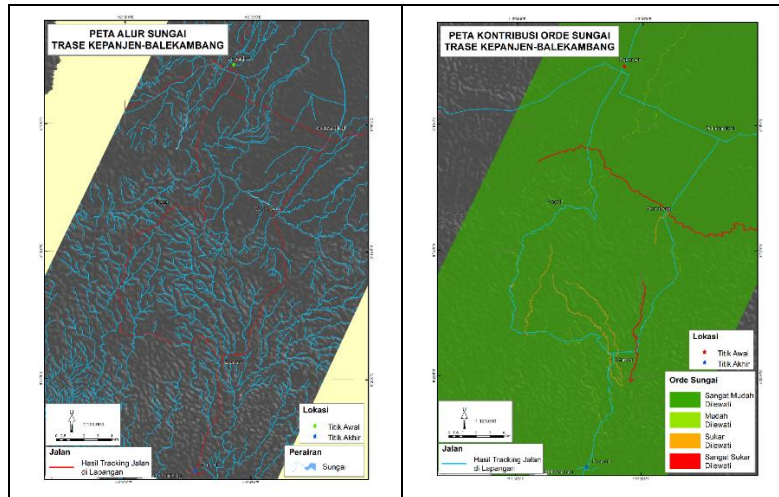


**Gambar 6** Peta Tracking Survei dan Peta Kontribusi Kemiringan Memanjang terhadap Geometrik Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

Peta alur sungai menunjukkan letak alur sungai di kawasan Kabupaten Malang. Peta alur sungai ini menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi jarak sempadan air dan peta kontribusi orde sugai. Peta alur sungai kemudian diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kualitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap sempadan sungai dan orde sungai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Sungai memiliki batas sempadan yang berbahaya bagi infrastruktur jalan, yang artinya semakin dekat dengan alur sungai, semakin berbahaya konstruksi infrastruktur jalan.

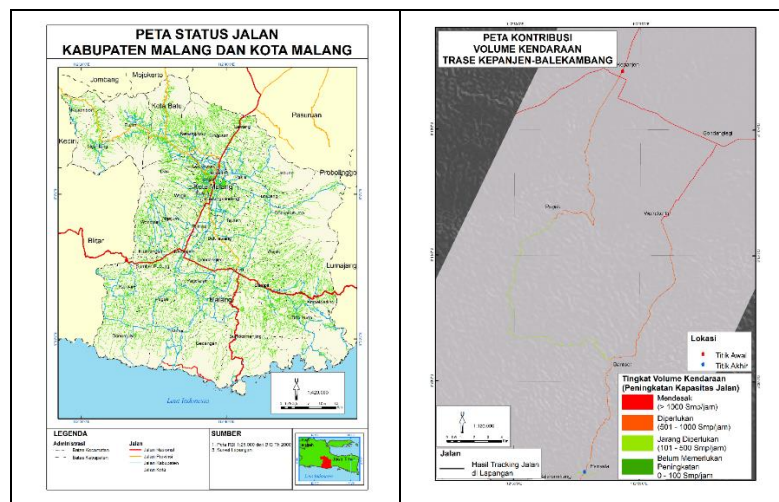


**Gambar 7** Peta Alur Sungai dan Peta Kontribusi Jarak Sempadan Air terhadap Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang



**Gambar 8** Peta Alur Sungai dan Peta Kontribusi Orde Sungai terhadap Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

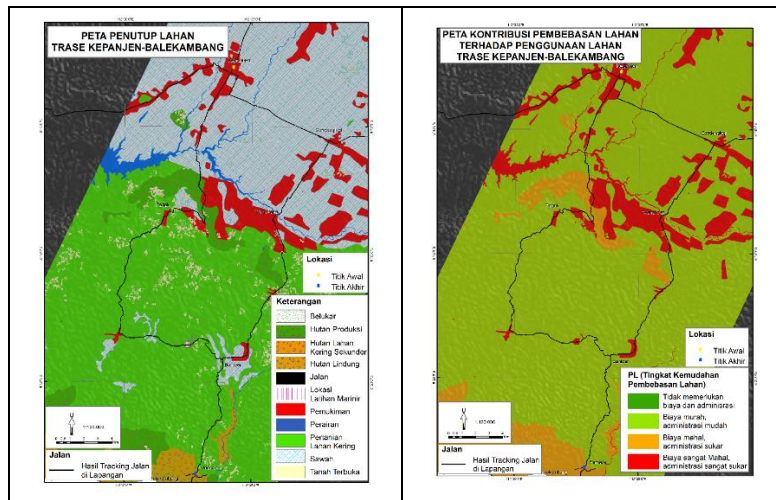
Peta status jalan menunjukkan sebaran status dan kapasitas jalan di kawasan trase Kepanjen-Balekambang. Peta status jalan menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi volume kendaraan terhadap peningkatan kapasitas jalan. Peta status jalan diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap volume lalu lintas, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Semakin ramai lalu lintas jalan, semakin mendesak peningkatan kapasitas jalan.



**Gambar 9** Peta Status Jalan dan Peta Kontribusi Volume Kendaraan terhadap Peningkatan Kapasitas Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

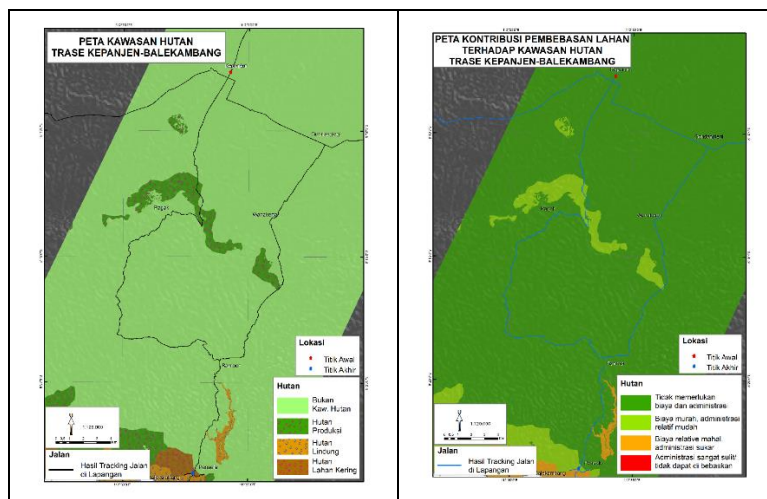
Peta penutup lahan menunjukkan sebaran kepemilikan dan keberfungsian lahan di kawasan trase Kepanjen-Balekambang. Peta penutup lahan menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi penggunaan lahan terhadap pembebasan lahan. Peta penutup lahan diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan

peta raster yang berisi penilaian terhadap penutup lahan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.



**Gambar 10** Peta Penutup Lahan dan Peta Kontribusi Penggunaan Lahan terhadap Pembebasan Lahan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

Peta kawasan hutan menunjukkan sebaran keberfungsian hutan di kawasan trase Kepanjen-Balekambang. Peta kawasan hutan menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi kawasan hutan terhadap pembebasan lahan. Peta kawasan hutan ini diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap kawasan hutan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11. Semakin susah tingkat konservasi hutan, semakin mahal biaya infrastruktur jalan.

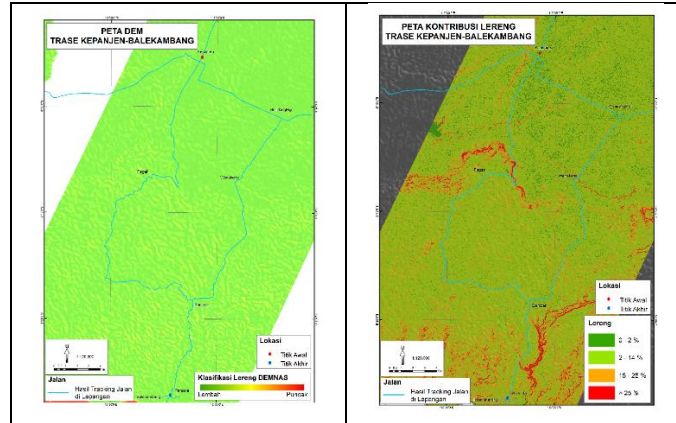


**Gambar 11** Peta Kawasan Hutan dan Peta Kontribusi Kawasan Hutan terhadap Pembebasan Lahan pada Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

Peta DEM menunjukkan ketinggian elevasi permukaan bumi di kawasan trase Kepanjen-Balekambang. Peta DEM menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi

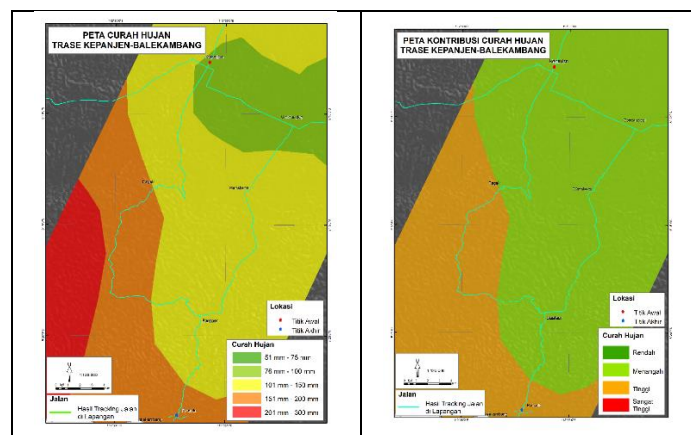


kemiringan lereng terhadap keamanan jalan. Peta DEM ini kemudian diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap kelerengan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12. Semakin curam kondisi lereng, semakin berbahaya infrastruktur jalan.



**Gambar 12** Peta DEM dan Peta Kontribusi Kemiringan Lereng terhadap Keamanan Jalan pada Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

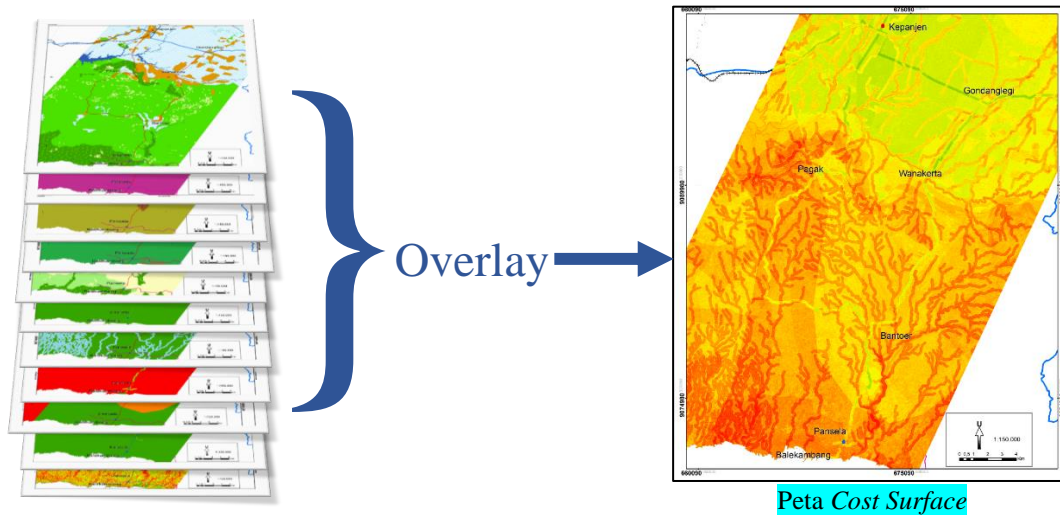
Peta curah hujan menunjukkan intensitas hujan di kawasan trase Kepanjen-Balekambang. Peta DEM menjadi dasar dalam pembentukan peta kontribusi curah hujan terhadap keamanan jalan. Peta DEM diolah menggunakan aplikasi GIS dan input indikator kuantitatif, sehingga menghasilkan peta raster yang berisi penilaian terhadap curah hujan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13. Semakin tinggi curah hujan, semakin berbahaya bagi pengguna jalan.



**Gambar 13** Peta Curah Hujan dan Peta Kontribusi Curah Hujan terhadap Kerusakan Jalan di Kawasan Trase Kepanjen-Balekambang

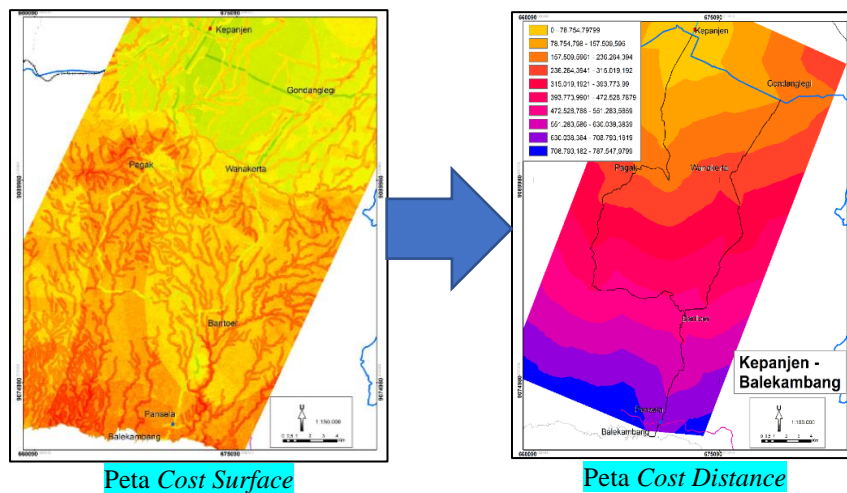
Peta-peta kontribusi selanjutnya dilakukan *overlay* dengan menggunakan perangkat lunak GIS untuk mendapatkan peta *cost surface*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 14. Peta *cost surface* menunjukkan sebaran tingkat konsekuensi harga infrastruktur jalan. Peta

*cost surface* ini dilengkapi dengan titik awal dan akhir, yang berfungsi sebagai target tujuan analisis *least cost path*.



**Gambar 14** Peta Cost Surface yang Didapatkan dari Proses *Overlay* Peta-Peta Kontribusi Menggunakan Perangkat Lunak GIS

Tahap pertama analisis *least cost path* adalah mengolah peta *cost surface* menjadi peta *cost distance*, yang berfungsi sebagai peta ekstensi untuk menghitung jarak nilai akumulatif terkecil tiap piksel dari titik awal sampai titik akhir, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15. Peta *cost distance* menunjukkan jarak jangkauan titik awal dan titik akhir yang sudah diplot pada peta *cost surface*.

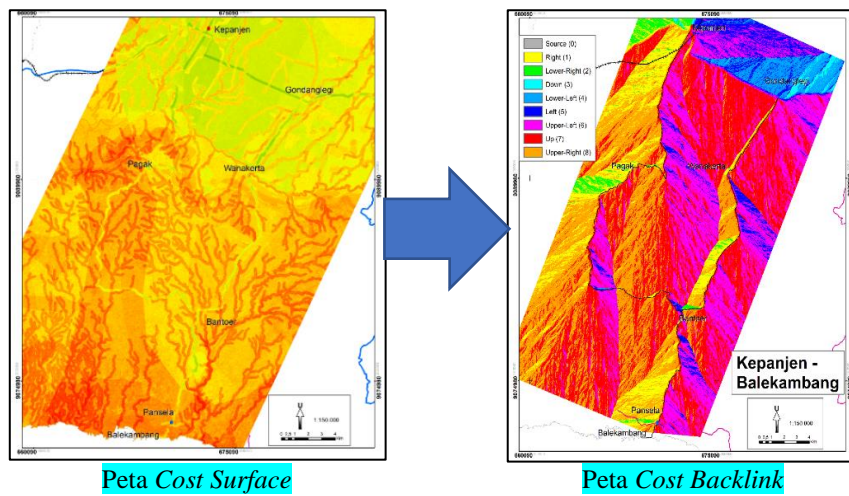


**Gambar 15** Peta Cost Distance yang Didapatkan dari Proses *Cost Distance* dan Peta Cost Surface Menggunakan Perangkat Lunak GIS

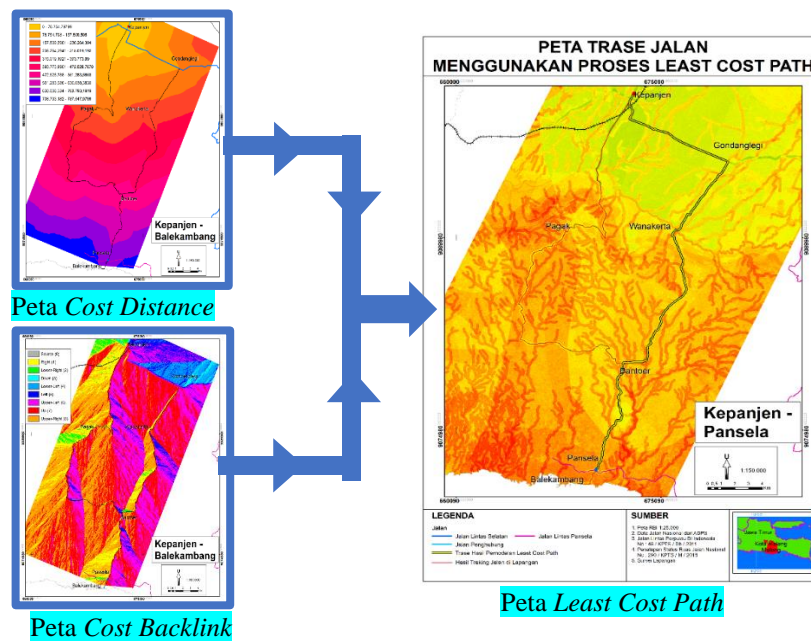
Tahap kedua adalah membuat peta *cost backlink* dengan mengidentifikasi nilai akumulatif terkecil terhadap piksel tetangga pada peta *cost surface*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 16. Utama (2018) menyatakan bahwa akumulasi piksel akan terkumpul pada



nilai terendah, sesuai dengan pola pikir proses *backlink*. Peta *cost backlink* memiliki informasi jarak efektif untuk mencapai tujuan, yang berarti bahwa analisis *least cost path* sudah mendapatkan cukup informasi untuk menentukan rute termurah.



**Gambar 16** Peta *Cost Backlink* yang Didapatkan dari Proses *Backlink* dan Peta *Cost Surface* Menggunakan Perangkat Lunak GIS



**Gambar 17** Peta *Cost Backlink* yang Didapatkan dari Proses *Backlink* menggunakan Perangkat Lunak GIS

Tahap terakhir adalah proses penentuan jalur dengan nilai paling rendah berdasarkan peta *cost distance* dan peta *cost backlink* dari titik awal ke titik akhir, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 17. Hasil analisis *least cost path* merupakan peta trase jalan dengan biaya terendah. Peta trase biaya termurah ini lebih banyak menggunakan jalan eksisting, yang artinya peningkatan jalan eksisting atau pelebaran jalan lebih menguntungkan

dibandingkan dengan membuat jalan baru atau relokasi. Namun demikian, sebagian jalan eksisting memerlukan pemindahan jalur atau relokasi karena kondisi geometrik eksisting yang tidak berkeselamatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa rute trase termurah adalah alternatif trase-2, yang melewati ruas jalan Kepanjen-Gondanglegi-Wonokromo-Bantur-Balekambang.

## **KESIMPULAN**

Beberapa catatan dan temuan penting yang dapat disimpulkan dari studi ini adalah bahwa hasil kondisi eksisting lapangan menunjukkan terdapat 2 alternatif trase yang berpotensi menjadi jalan nasional penghubung lintas, antara jalan lintas tengah dan jalan lintas selatan. Kedua alternatif trase ini memiliki bentang alam atau lingkungan yang berbeda. Sebagian besar kondisi eksisting kedua alternatif trase merupakan jalan kabupaten dengan standar geometrik dan standar perkerasan jalan yang rendah.

Pengamatan struktur geologi menunjukkan bahwa kawasan Malang terdiri atas berbagai macam lempeng dan sesar. Namun demikian, jenis patahan yang paling berbahaya adalah pada sisi timur wilayah Kabupaten Malang

Peta litologi menghasilkan dua peta kontribusi, yaitu peta kontribusi daya dukung geologi dan peta kontribusi daya dukung batuan dalam. Kedua peta kontribusi ini menunjukkan bahwa alternatif trase-2 memiliki tingkat kekuatan dukung yang lebih baik dibandingkan alternatif trase-1.

Pengamatan kelandaian jalan menunjukkan geometrik jalan eksisting yang beragam. Hasil peta kontribusi kelandaian jalan terhadap geometrik jalan menunjukkan bahwa alternatif trase-2 memiliki kelandaian yang relatif lebih datar dibandingkan dengan alternatif trase-1.

Peta alur sungai menghasilkan dua peta kontribusi, yaitu peta kontribusi jarak sempadan air dan peta kontribusi orde sungai. Kedua peta kontribusi ini menunjukkan bahwa alternatif trase-1 memiliki jarak aman terhadap alur sungai yang berada di kawasan Kabupaten Malang.

Pengamatan terhadap peta status jalan menunjukkan bahwa sebaran status jalan yang terdapat di kawasan Kabupaten Malang yang menjadi dasar volume kendaraan pada masing-masing ruas jalan. Hasil peta kontribusi volume kendaraan menunjukkan bahwa alternatif trase-2 membutuhkan peningkatan kualitas jalan yang mendesak dibandingkan dengan alternatif trase-1.

Pengamatan peta penutup lahan menunjukkan sebaran peruntukan lahan yang berada di kawasan Kabupaten Malang. Peta kontribusi penggunaan lahan menunjukkan bahwa alternatif trase-2 lebih mudah dilaksanakan pembebasan lahan dibandingkan dengan alternatif trase-1.

Pengamatan kawasan hutan menunjukkan sebaran peruntukan wilayah hutan yang berada di kawasan Kabupaten Malang. Peta kontribusi kawasan hutan menunjukkan

alternatif trase-2 lebih mudah melaksanakan pembebasan lahan dibandingkan alternatif trase-1.

Peta DEM menunjukkan elevasi permukaan bumi pada masing-masing pixel di kawasan Kabupaten Malang. Peta kontribusi kemiringan lereng menunjukkan bahwa permukaan alternatif trase-2 lebih landai dibandingkan dengan permukaan alternatif trase-1.

Peta curah hujan menunjukkan sebaran tingkat curah hujan pada kawasan Kabupaten Malang. Peta kontribusi curah hujan menunjukkan bahwa alternatif trase-2 memiliki curah hujan lebih yang rendah dan lebih aman dari kerusakan akibat hujan dibandingkan dengan alternatif trase-1.

Pengamatan GIS menunjukkan bahwa kedua alternatif trase memiliki kondisi bentang alam yang beragam. Hasil analisis *least cost path* menyatakan bahwa alternatif trase-2 merupakan alternatif trase termurah berdasarkan penilaian struktur geologi, litologi, jenis tanah, geometrik jalan, kondisi lalu lintas, penutup lahan, lingkungan hutan, kelerengan, curah hujan, serta sempadan dan orde sungai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander. 2016. *Studi Penentuan Prioritas Pembangunan Jembatan Rangka Baja di Kabupaten Sintang*. Pontianak: Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjungpura, 16 (1): 1–15.
- Handayani, D., Hartono, W., dan Firdausy, S. (2017). *Prioritas Penanganan Jalan Luar Kota Kabupaten Pacitan*. Surakarta: Matriks Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, 5 (1): 243–251.
- Hardjowigeno, S. 2003. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta: Akademika Presindo
- Hermawan, F., Kristiani F., dan Santoso, T.D. 2011. *Pengaruh Pembebasan Lahan terhadap Risiko Proyek Konstruksi: Studi Kasus Social Engineering Proyek Jalan Tol Ruas Semarang Bawen*. Teknik, 32 (2): 88–94.
- Marinos, V., Marinos, P. and Hoek, E. 2005. *The Geological Strength Index: Applications and Limitations*. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 64: 55–65.
- Mulyono, A.T. 2021. *Laik Fungsi Jalan Berkeselamatan dan Berkepastian Hukum*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Rahmania. 2010. *Zonasi Potensi Air Tanah dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi DAS Bogowonto*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Ramier, D., Berthier, E., dan Andrieu, H. 2011. *Hydrological Behaviour of Urban Streets: Long-Term Observation and Modelling of Runoff Losses and Rainfall-Runoff Transformation*. Hydrological Process, 25 (14): 2161–2178.
- Sadikin, D.A. dan Komarudin. 2018. *Studi Stabilitas Lereng Timbunan Jalan terhadap Variasi Kemiringan*. Jurnal Rekayasa Infrastruktur, 2 (1): 1–10.

- Supriyanto, A., Amiruddin, A., Talaiftha, A., dan Maulidya, R. 2021. *Penyelidikan Tingkat Pengaruh Patahan Geologi dengan Arah Retakan di Jalan Raya: Studi Kasus Jalan Besar di Balikpapan*. PETROGAS: Journal of Energy and Technology, 3 (2): 94–103.
- Susetyo, B. 2013. *Pengaruh Pembangunan Jalan terhadap Perubahan Penggunaan Lahan pada Kawasan Hutan Konservasi Pulau Kecil di Taman Buru Pulau Rempang, Batam*. Tesis tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Utama, G. 2018. *Pola Aliran Air Permukaan dengan Pendekatan Geografi dan Geomorfologi Berbasis Analisis GIS*. Bahan Workshop Perbaikan Tanah Dasar Perkerasan Jalan. Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional VI. Jakarta.