

AUTOBIOGRAFI



Dr. Indrayani, S.T., M.T., dilahirkan di Pontianak pada tanggal 10 Februari 1974, merupakan anak kedua dari Ayahnda H. M. Djafri H. Mahyus, S.H. (alm), dan Ibunda Hj. Rugayah. Memiliki 4 saudara perempuan yaitu Hj. Andriani, S.H., Hj. Rendrayani, S.STP., M.Si., Erna Yulianti, S.T., M.T., dan Herlina Agustiningsih, S.T. Menikah pada tanggal 9 Agustus 1998 dengan H. Sumantri Rustam, S.E., M.Si. Dan telah dikaruniai Allah SWT dengan 3 orang anak yaitu seorang putra bernama Arsyil Sumantri Putra, A.P. (21 tahun) dan dua orang putri bernama Dhiya Calista (20 tahun), dan Amanda Trinda Ramadani (14 tahun).

Riwayat pendidikan SDN 69 Pontianak diselesaikan pada tahun 1985, SMPN 3 Pontianak diselesaikan tahun 1988, SMAN 1 Pontianak diselesaikan tahun 1991. Menempuh pendidikan S-1 (S.T.) di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak diselesaikan tahun 1996 dan melanjutkan pendidikan S-2 (M.T.) pada tahun 2003 di Pascasarjana Universitas Sriwijaya, Jurusan Teknik Sipil Bidang Kajian Umum Manajemen Infrastruktur diselesaikan pada tahun 2005. Pendidikan terakhir S-3 (Dr.) pada Program Studi S3 Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sriwijaya, bidang kajian Lahan Basah diselesaikan pada tahun 2019.

Riwayat pekerjaan sebagai Dosen Tetap (PNS) pada tahun 1997-2000 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak. Sebagai Dosen Luar Biasa pada tahun 1997-1999 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Panca Bakti Pontianak. Pada tahun 2000 sampai sekarang Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

DR. Indrayani, S.T., M.T.

TRASE JALAN PADA DAERAH RAWA BERBASIS SPASIAL

TRASE JALAN PADA DAERAH RAWA BERBASIS SPASIAL

DR. Indrayani, S.T., M.T.



ISBN 978-623-6168-53-0



9 786236 168530

TRASE JALAN PADA DAERAH RAWA BERBASIS SPASIAL

DR. Indrayani, S.T., M.T.



PUSTAKA AKSARA

TRASE JALAN PADA DAERAH RAWA BERBASIS SPASIAL

Penulis : DR. Indrayani, S.T., M.T

Desain Sampul : Rizal Fahmi AS

Tata Letak : Adam Akbar

ISBN : 978-623-6168-53-0

Diterbitkan oleh : **PUSTAKA AKSARA**

Redaksi:

Jl. Karangrejo Sawah IX nomor 17, Surabaya

Telp. 0858-0746-8047

Laman : www.pustakaaksara.co.id

Surel : info@pustakaaksara.co.id

Anggota IKAPI

Cetakan Pertama : 2021

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang Maha Besar dan Maha Penyayang, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya lah maka penulis berhasil menyelesaikan penulisan buku dengan judul “Model Spasial Trase Jalan pada Daerah Rawa” ini.

Buku ini dibuat untuk para mahasiswa Teknik Sipil, Engineer, konsultan, kontraktor, dan para pengambil keputusan dari institusi pemerintah ataupun swasta terkait perencanaan infrastruktur jalan di daerah rawa sehingga jalan yang dibangun dapat berwawasan lingkungan untuk menciptakan pembangunan yang berkelanjutan. Dengan adanya buku ini penulis berharap dapat menjadi rekomendasi bagi para engineer dalam mendesain infrastruktur jalan, khususnya di daerah rawa. Buku ini menggabungkan beberapa bidang ilmu diantaranya bidang Ilmu Teknik Sipil, Ilmu Lingkungan, dan Ilmu Keruangan dengan menggunakan GIS, dalam penentuan trase jalan pada daerah rawa.

Buku ini terdiri dari 5 bab, pada bab pertama dibahas secara umum tentang infrastruktur jalan, karakteristik daerah rawa, dan perkembangan teknologi informasi dalam perencanaan trase jalan, bab kedua berisi tentang penjelasan trase jalan berdasarkan karakteristik daerah rawa, bab ketiga pembahasan tentang data spasial dalam sistem informasi geografis, bab keempat dibahas tentang Teknik multispektral dalam pengenalan wilayah dan data spasial hirarki tipe pelayanan jalan, dan di bab kelima dibahas tentang model spasial trase jalan pada daerah rawa. Dalam pembahasannya buku ini menggabungkan tiga disiplin ilmu yaitu Ilmu Teknik Sipil, Ilmu Lingkungan, dan Ilmu Geoinformatika.

Dalam menyelesaikan buku ini, penulis banyak mendapat dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu ucapan terimakasih yang tulus penulis ucapkan kepada: kedua orang tua penulis H. M. Djafri H. Mahyus, S.H (Alm) dan Hj. Rugayah, yang selalu memberikan dukungan dan buku ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua penulis, suami dan anak-anak yang selalu mendampingi penulis dalam menyelesaikan buku ini H. Sumantri

Rustam, S.E., M.Si., Arsyil Sumantri Putra, A.P., Dhiya Calista, dan Amanda Trinda Ramadani.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, baik dalam gaya bahasa maupun teknik penulisan. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang membangun sangat dari para pembaca.

Palembang, Mei 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'I' followed by several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

DR. INDRAYANI, S.T., M.T.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I	
JALAN DAN RAWA	1
A. Infrastruktur Jalan di Indonesia	
B. Karakteristik Daerah Rawa	3
C. Perkembangan Teknologi Informasi dalam Perencanaan Trase Jalan	9
BAB II	
TRASE JALAN BERDASARKAN KARAKTERISTIK DAERAH RAWA	15
A. Perlindungan daerah rawa	15
B. Pembangunan pada daerah rawa	22
C. Pembangunan Jalan Berwawasan Lingkungan	23
D. Parameter Penentuan trase jalan	26
1. Syarat-syarat teknis penentuan trase jalan pada daerah rawa	27
2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur	28
3. Daya dukung tanah dasar	32
4. Tanah gambut	33
5. Topografi	34
6. Hidrologi	35
7. Tata guna lahan dan tutupan lahan	37
8. Tonase kendaraan dan lalu lintas harian rata-rata	39
9. Aksesibilitas dan sosiogeografi	41
BAB III	
DATA SPASIAL DALAM GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM	45
A. Pengertian data spasial dan GIS	45
1. Komponen input data	45
2. Komponen pengelolaan manajemen data	54

3. Analisis spasial dan output data hasil analisis	56
B. Teknik pengolahan data spasial.....	57
1. Penilaian tingkat kepentingan menggunakan metode Analisis Hirarki Proses (AHP)	57
2. Pembobotan kriteria	59
3. Multi Spatial Criteria Analysis (MSCA)	61
C. Prinsip kerja data spasial dalam rencana trase jalan.....	65
1. Interpretasi citra.....	65
2. Penyusunan peta tematik.....	68
3. Penyusunan struktur basis data spasial.....	69
4. Pohon Multi Spatial Criteria Analysis (MSCA), bobot, dan standarisasi	69
5. Pembobotan parameter menggunakan metode AHP	72
6. Standarisasi informasi geospasial dan penyusunan model Multi Spatial Criteria Analysis (MSCA)	74
D. Standar penilaian parameter penentuan trase jalan.....	74

BAB IV

TEKNIK MULTISPEKTRAL DALAM PENGENALAN WILAYAH DAN DATA SPASIAL HIRARKI TIPE PELAYANAN JALAN....

A. Klasifikasi Penggunaan Lahan Berdasarkan Metode Multispektral.....	77
B. Klasifikasi Tutupan Lahan dengan Normalized Different Vegetation Index (NDVI)	82
1. Klasifikasi tutupan lahan.....	82
2. Uji ketelitian penggunaan lahan.....	85
C. Klasifikasi Genangan dengan metode Normalized Different Wetness Index (NDWI)	88
1. Klasifikasi daerah genangan berdasarkan nilai spektral dengan metode Normalized Different Wetness Index (NDWI)	88
2. Uji ketelitian genangan	92
D. Klasifikasi Fisik Tanah dengan metode Normalized Different Soil Index (NDSI)	98
1. Klasifikasi tekstur tanah dan nilai CBR berdasarkan nilai spektral dengan metode Normalized Different Soil Index (NDSI)	98
2. Pengujian tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut	106

E. Klasifikasi LHR dan Tonase Kendaraan berdasarkan Potensi Wilayah	112
1. Klasifikasi berdasarkan LHR.....	115
2. Klasifikasi berdasarkan tonase kendaraan	119
F. Klasifikasi Indeks Aksesibilitas berdasarkan Jaringan Jalan dan Luas Wilayah.....	122
G. Klasifikasi Sosiogeografi berdasarkan Letak Sungai	126

BAB V

MODEL SPASIAL TRASE JALAN PADA DAERAH RAWA	129
A. Teknik Pembobotan Data Spasial.....	129
1. Skoring peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR,dan gambut.....	129
2. Standarisasi informasi geospasial skoring peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut	129
3. Bobot antar kriteria komponen fisik (genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut)	130
B. Pembobotan Komponen Tata Guna Lahan.....	134
C. Pembobotan Komponen Sosial Ekonomi	136
1. Skoring informasi geospasial peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi.....	136
2. Standarisasi informasi geospasial skoring peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi.....	137
3. Bobot antar kriteria komponen LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi	139
D. Model Analisis Spasial Penentuan Trase Jalan pada Daerah Rawa.....	141
E. Aplikasi Model Spasial Trase Jalan.....	144
1. Model analisis spasial kesesuaian wilayah trase jalan pada skenario I.....	144
2. Model analisis spasial kesesuaian wilayah trase jalan pada skenario II.....	149
3. Model analisis spasial kesesuaian wilayah trase jalan pada skenario III	151
F. Pertimbangan Pemilihan Alternatif Trase Jalan.....	153

DAFTAR PUSTAKA	160
AUTOBIOGRAFI	179

BAB I PENDAHULUAN

A. Infrastruktur Jalan di Indonesia

Jalan merupakan salah satu infrastruktur yang sangat dibutuhkan dalam pengembangan wilayah suatu daerah, dengan adanya jalan akan mempermudah aksesibilitas dari suatu daerah ke daerah lainnya. Keberadaan jalan di Indonesia sangat berperan dalam kehidupan bangsa dan dapat memajukan kesejahteraan rakyat pada umumnya. Dalam *Focused Group Discussion* (2009), dikatakan bahwa di Indonesia infrastruktur jalan memiliki peranan penting dalam sistem transportasi nasional yang dapat melayani kurang lebih 90% angkutan barang dan 92% angkutan penumpang. Pertumbuhan perekonomian dan distribusi pergerakan barang dan jasa di Indonesia masih bergantung pada prasarana jalan yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa pentingnya gagasan-gagasan yang dapat memberikan masukan dalam pengembangan pembangunan jalan sebagai proses dalam pemenuhan kebutuhan manusia ataupun peningkatan perekonomian suatu wilayah.

Pembangunan jalan saat ini tentunya memiliki tantangan yang tidak sedikit mengingat adanya perbedaan-perbedaan dari setiap wilayah yang tersebar di Indonesia. Perbedaan tersebut meliputi luas wilayah, sebaran penduduk, keberagaman kondisi geografis atau topografi. Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia belum tersebar secara merata di wilayah Indonesia juga merupakan tantangan dalam pembangunan infrastruktur jalan, hal ini dapat dilihat dari data BPS, 2010 dimana sebaran jaringan jalan Nasional di Indonesia lebih dari 47 % terdapat di pulau Sumatera, di Jawa 30,50 % dan di Bali 16,23 % dimana wilayah Jawa dan Bali mencakup 31 % dari seluruh wilayah Indonesia, dan sisanya di Kalimantan, Sulawesi, NTB hanya sekitar 23% sedangkan ketiga wilayah tersebut memiliki luas kurang lebih 44 % dari luas wilayah Indonesia. Untuk wilayah NTT, Maluku, dan Papua yang memiliki hampir

35 % luas wilayah nasional hanya memiliki 7 % prasarana jaringan jalan.

Tantangan lain dalam pembangunan infrastruktur jalan adalah dampak yang ditimbulkan akibat dari pembangunan jalan tersebut, terutama pada kota-kota besar yang akan menimbulkan masalah kemacetan lalu lintas dan tingkat pencemaran emisi yang diakibatkan oleh asap kendaraan (Kaharu, 2014). Hal-hal ini merupakan hal umum yang biasa kita dengar dari tantangan ataupun dampak akibat dari pembangunan jalan, kita tidak pernah berfikir bahwa dampak lain yang ditimbulkan dari pembangunan jalan yang tidak memperhatikan tata ruang, daya dukung wilayah, dan aspek-aspek lingkungan dapat mengakibatkan dampak lain baik itu selama masa pelaksanaan, setelah bangunan dioperasikan, ataupun untuk masa depan generasi yang akan datang. Pembangunan jalan yang bersifat konvensional lebih berfokus pada hasil akhir dari bangunan konstruksi tersebut tanpa memperhatikan kondisi lingkungan dapat menimbulkan resiko kerugian akibat penyediaan infrastruktur jalan yang tidak tepat baik dari segi lokasi, desain, pelaksanaan konstruksi, dan waktu pelaksanaannya.

Setiap pelaksanaan pembangunan pasti akan menimbulkan dampak lingkungan baik dampak positif maupun dampak negatif tinggal bagaimana cara untuk meminimalisasikan dampak dari lingkungan tersebut. Pembangunan yang berkelanjutan akan sulit dicapai apabila kebijakan pembangunan tidak bertumpu pada potensi sumber daya manusia, sumber daya alam, dan sumber daya buatan. Hal ini dapat dilihat dari semakin seringnya suatu wilayah mengalami banjir baik yang diakibatkan oleh hujan maupun pasang surut, kemacetan-kemacetan yang disebabkan oleh pembangunan yang tidak memperhatikan tata guna lahan, kerusakan-kerusakan jalan ataupun perbaikan jalan yang terus menerus diakibatkan pembangunan jalan yang tidak memperhatikan daya dukung wilayah, terganggunya ekosistem suatu kawasan, dan masih banyak lagi yang lain.

Menurut Kaharu, 2014, secara umum dalam penentuan lokasi pengembangan jalan harus memperhatikan tiga syarat utama yaitu yang pertama syarat teknis, bahwa jalan memungkinkan untuk dibangun dan memenuhi syarat-syarat teknis dengan memperhatikan kondisi tata ruang baik kondisi geologi lingkungan dan penggunaan lahan. Yang kedua syarat ekonomis, dimana biaya yang dikeluarkan harus sebanding dengan investasi yang telah dikeluarkan artinya bahwa jalan memiliki manfaat setelah dibangun. Dan syarat yang ketiga adalah kondisi lingkungan yaitu bahwa lokasi jalan yang akan dibangun harus memperhatikan kawasan-kawasan yang sifatnya sensitif, misalnya kawasan hutan lindung, persawahan, wilayah adat, atau pun cagar alam. Dengan memperhatikan faktor-faktor ini maka infrastruktur jalan yang akan dibangun dapat lebih tepat sasaran.

Dalam penelitiannya Greece (2013) menyebutkan bahwa jalan yang dibangun dengan tidak memperhatikan material ataupun sumberdaya alam yang tidak terbarukan dapat menjadi masalah bagi generasi yang akan datang, demikian juga dengan hanya memperhatikan satu kepentingan pada pengguna jalan pada tahap perencanaan jalan maka akan berdampak pada pengguna jalan lainnya baik sebelum maupun sesudah pelaksanaan konstruksi jalan. Sedangkan Mulmi (2009) menyebutkan bahwa pembangunan jalan yang menerapkan konsep berkelanjutan pada aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi dapat memberikan penghematan biaya sekitar 65 % terhadap total biaya konstruksi, dimana konsep pembangunan jalan berkelanjutan yang diterapkan ini menggunakan material lokal dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunannya serta melibatkan partisipasi masyarakat dalam setiap tahapan proyek.

B. Karakteristik Daerah Rawa

Lahan rawa merupakan lahan yang sepanjang tahun selalu jenuh air (*saturated*) atau tergenang (*waterlogged*) air dangkal. Lahan rawa merupakan lahan yang menempati posisi

peralihan antara daratan dan perairan (sungai, danau, atau laut), yaitu antara daratan dan laut, atau di daratan sendiri, antara wilayah lahan kering (*uplands*) dan sungai/danau. Dalam kondisi alami, sebelum dibuka, lahan rawa ditumbuhi berbagai tumbuhan air, baik sejenis rumputan (*reeds, sedges, dan rushes*), vegetasi semak maupun hutan, tanahnya jenuh air atau mempunyai permukaan air tanah dangkal, atau bahkan tergenang dangkal (Subagyo, 2006). Lahan rawa merupakan salah satu sumber daya alam yang tersebar di Indonesia terutama di pulau-pulau besar seperti Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Irian Jaya dan berpotensi untuk dijadikan lahan pertanian, dimana dalam pengelolaannya dilakukan melalui penyesuaian teknologi dengan kondisi alam atau setelah dilakukan reklamasi.

Secara umum lahan rawa memiliki beberapa keunggulan sehingga dapat dikembangkan sebagai wilayah pengembangan pertanian, antara lain :

- Ketersediaan air yang cukup berlimpah
- Topografi relatif datar
- Akses ke lokasi relatif lebih mudah melalui transportasi air/ sungai
- Biasanya masyarakat lokal telah memiliki keahlian dalam praktek budidaya padi yang secara turun temurun dikembangkan hingga saat ini.

Namun disamping memiliki beberapa keunggulan untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian, lahan rawa juga memiliki beberapa kendala dalam pengolahannya, yaitu :

- Perubahan sifat-sifat tanah yang dapat terjadi secara tiba-tiba, misalnya karena kekeringan atau kemarau panjang
- Pengaruh pasang surut sehingga pembasahan dan pengeringan silih berganti
- Akibat reklamasi lahan dapat merubah tata air, sifat-sifat tanah ataupun tipologi lahan

Lahan rawa adalah lahan yang tergenang secara terus menerus dan berdasarkan tipologinya lahan rawa ini dibagi menjadi dua, yaitu rawa pasang surut dan rawa non pasang surut (rawa lebak) (Subagyo, 2006).

1. Rawa pasang surut dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Sesuai dengan pembagian lahan rawa, maka penyebaran dan sifat/ karakteristik tanah yang terbentuk mengikuti pola *landform* yang telah ada. Pembagian wilayah rawa pasang surut, dibagi dalam 2 zona, yaitu: zona I adalah wilayah pasang surut air asin/payau, yang merupakan bagian dari wilayah rawa pasang surut terdepan, yang berhubungan langsung dengan laut lepas, zona II adalah wilayah pasang surut air tawar, yang terdapat pada kawasan daerah aliran bagian bawah dan lebih kearah hulu, dimana sudah tidak ada pengaruh langsung dari air laut/ salin, namun masih ada gerakan naik turunnya air sungai melalui siklus gerakan air pasang surut.

Berdasarkan pemetaan Balitbang Departemen Pertanian (2012), lahan rawa pasang-surut memiliki luas paling besar, yakni mencapai 20,1 ha. Sementara itu, luas lahan rawa lebak di Indonesia sekitar 13,3 juta ha. Perinciannya, seluas 4,2 juta ha berupa lebak dangkal, 6,1 juta ha lebak tengahan, dan 3,0 juta ha lebak dalam Pembagian.

2. Rawa lebak dapat diartikan sebagai kawasan rawa yang mempunyai bentuk wilayah berupa cekungan yang dibatasi oleh tanggul sungai atau antara dataran tinggi dengan tanggul sungai. Bentang lahan rawa lebak menyerupai mangkok dimana bagian tengahnya paling dalam dan mempunyai genangan paling tinggi. Semakin ke arah tepi sungai maka semakin rendah genangannya. Pada musim hujan genangan air bisa mencapai tinggi antara 4 - 7 meter, namun pada musim kemarau lahan dalam keadaan kering, kecuali dasar paling bawah. Pada musim kemarau muka air tanah di lahan rawa lebak dangkal dapat mencapai > 1 meter sehingga lebih menyerupai lahan kering (*upland*). Lahan

rawa lebak dipengaruhi oleh iklim tropika basah yang memiliki curah hujan antara 2.000-3.000 mm per tahun dengan 6 - 7 bulan basah (bulan basah adalah bulan yang mempunyai curah hujan bulanan > 200 mm) atau antara 3 - 4 bulan kering (bulan kering adalah bulan yang mempunyai curah hujan bulanan < 100 mm). Bulan basah jatuh pada bulan Oktober/November sampai Maret/April, sedangkan bulan kering jatuh antara bulan Juli sampai September (Noor, 2007).

Rawa lebak merupakan ekosistem yang lebih cepat rusak dan hilang dibandingkan dengan ekosistem lain. Tanah-tanah di lahan rawa lebak, secara morfologis mempunyai kenampakan mirip dengan tanah marin di lahan rawa pasang surut air tawar. Namun bedanya, karena tanah-tanah pada rawa lebak bukan merupakan endapan marin, maka tanah pada rawa lebak tidak mengandung pirit. Tetapi, di wilayah peralihan dengan rawa pasang surut air tawar, lapisan pirit masih mungkin diketemukan, tetapi biasanya pada kedalaman 50 - 70 cm atau lebih dari 120 cm (Subagyo, 2006).

Berdasarkan tinggi permukaan air dan lamanya genangan air, maka lahan rawa lebak dikelompokkan menjadi 3, yaitu (Wijaya Adhi, 2000) :

1. Lahan rawa lebak dangkal/ lebak pematang, yang terletak dibagian lebih tinggi dimana saat menjelang akhir musim hujan daerah ini sering kali airnya sudah surut dan telah dapat diusahakan, tetapi cepat sekali mengalami kekeringan, tinggi permukaan air kurang dari 50 cm dan lama genangan air kurang dari 3 bulan.
2. Lahan rawa lebak tengahan, daerah pada bagian cekungan yang umumnya pada pertengahan musim kemarau masih digenangi air tetapi mongering pada masa panen, tinggi permukaan air 50 - 100 cm dan lama genangan air 3 - 6 bulan.

3. Lahan rawa lebak dalam, daerah pada bagian cekungan dalam dimana surutnya air lebih lambat sehingga pada masa panen masih terdapat genangan air di petakan sawah, tinggi permukaan air lebih dari 100 cm dan lama genangan air lebih dari 6 bulan.

Rawa lebak dangkal umumnya mempunyai tingkat kesuburan tanah yang lebih tinggi, karena pengayaan endapan lumpur yang dibawa air sungai. Rawa lebak tengahan mempunyai genangan air yang lebih dalam dan lebih lama, sehingga waktu surutpun lebih lama. Bila ditanami padi waktunya bisa lebih belakangan/lama. Sedangkan rawa lebak dalam apabila iklim normal, lahannya masih berair, sering ditumbuhi gulma, terutama jenis *Paspalidium*. Wilayah ini merupakan reservoir air dan sumber berbagai jenis ikan perairan umum. Lahan ini baru bisa digunakan secara optimal untuk pertanaman pada saat kemarau panjang. Lebak pematang dan lebak tengahan cocok untuk diusahakan pertanaman padi dan palawija, tetapi untuk rawa lebak dalam biasanya diusahakan untuk kolam ikan dan usahatani ikan dan peternakan itik baik petelur maupun pedaging ataupun ternak kerbau rawa jika memungkinkan.

Jenis tanah yang umum ditemui di lahan rawa lebak adalah tanah mineral dan gambut. Tanah mineral bisa berasal dari endapan sungai atau endapan marin, sedangkan tanah gambut di lapangan bisa berupa lapisan gambut utuh dan lapisan gambut berselang-seling dengan lapisan tanah mineral. Tanah mineral memiliki tekstur liat dengan tingkat kesuburan alami sedang - tinggi dan pH 4 - 5 dan drainase terhambat - sedang. Setiap tahun lahan lebak pada umumnya mendapat endapan lumpur dari daerah yang lebih tinggi, sehingga walaupun kesuburan tanahnya tergolong sedang, tetapi keragamannya sangat tinggi antar wilayah antar lokasi. Pada umumnya nilai N total sedang sampai tinggi, unsur P rendah sampai sedang, unsur K sedang, Lahan rawa lebak dan tanah mineral yang

berasal dari endapan marin biasanya memiliki lapisan pirit (FeS₂) yang berbahaya bagi tanaman dan beracun bila letaknya dipermukaan tanah. Oleh sebab itu reklamasi dan pengelolaan lahan harus dilakukan secara cermat dan hati-hati agar tanaman bisa tumbuh dan memberikan hasil yang memadai (Alihamsyah, 2005).

Lahan gambut adalah lahan yang memiliki lapisan tanah gambut, yaitu tanah yang terbentuk dari bahan organik atau sisa pepohonan, berupa bahan jenuh air dengan kandungan karbon organik 20 %. Berdasarkan ketebalannya lahan gambut yang dijumpai di rawa lebak dibedakan beberapa macam. Rawa lebak yang bergambut dibagi 4 jenis, yaitu (Alihamsyah, 2005) :

1. Lahan rawa lebak bergambut, rawa lebak yang ketebalan lapisan gambutnya 20 - 50 cm.
2. Lahan rawa lebak gambut dangkal, ketebalan gambutnya 50 - 100 cm.
3. Lahan rawa lebak gambut sedang, ketebalannya 100 - 200 cm.
4. Lahan rawa lebak gambut dalam, ketebalannya 200-300 cm.

Adapun tingkat kematangan lahan rawa lebak gambut dapat berupa matang (*chemis*), setengah matang (*sapris*), dan mentah (*fibris*). Tingkat kemasaman tanah gambut relatif tinggi dengan adanya asam-asam organik yang mengandung H₂S. Sementara ketersediaan unsur hara mikro dan makro seperti P, K, Zn, Cu, Bo dan daya sangga tanah relatif rendah. Hal ini memerlukan teknologi pengelolaan dan pemilihan komoditas tanaman harus mendapat perhatian lebih, agar dapat memberikan hasil yang memadai.

Negara Indonesia memiliki daerah rawa yang cukup luas, yaitu mencapai 33.393.570 hektar atau sekitar 17 persen dari luas daratan yang ada yang terdiri dari 20.096.800 hektar lahan pasang surut dan 13.296.770 hektar lahan rawa non pasang surut (rawa lebak) (Dit. Rawa dan Pantai, Departemen PU, 2009). Mengingat wilayah Indonesia memiliki daerah rawa yang cukup luas, maka pemerintah terus pengupayakan pendayagunaan lahan rawa sehingga dapat lebih berdayaguna

secara berkelanjutan dengan mengutamakan pemenuhan kebutuhan air di lahan rawa, melalui penatagunaan lahan rawa, penyediaan air, penggunaan air, pengembangan sumber daya air di lahan rawa, dan pengusahaan lahan rawa baik dalam sektor pertanian, perkebunan, perikanan, maupun sektor industri maka tentunya sangat dibutuhkan infrasturktur jalan dalam mendukung pengembangan daerah rawa tersebut.

Provinsi Sumatera Selatan yang memiliki luas daerah rawa sekitar 613.795 hektar yang terdiri dari 455.949 hektar rawa pasang surut dan 157.846 hektar rawa lebak (Dit. Rawa dan Pantai, Departemen PU, 2009). Pengembangan daerah rawa di provinsi Sumatera Selatan ini terus akan dikembangkan untuk mendukung pertumbuhan perekonomian Provinsi Sumatera Selatan khususnya dan Negara Indonesia pada umumnya. Untuk mendukung pengembangan daerah rawa ini tentunya dibutuhkan prasarana jalan, namun daerah rawa merupakan daerah merupakan daerah konservasi yang seharusnya tetap dibiarkan dalam kondisi terjaga.

C. Perkembangan Teknologi Informasi dalam Perencanaan Trase Jalan

Pembangunan infrastruktur jalan akan diawali dengan perencanaan trase jalan yaitu menentukan rute dimana jalan akan dibangun. Prosedur pemilihan rute dapat diimplementasikan dengan dua cara yaitu seleksi tradisional dan seleksi dengan menggunakan *Geografic Information System (GIS-Based)* (Balogun *et al*, 2012). Cara tradisional biasanya dimulai dengan perencanaan awal sampai dengan akhir, data yang diperoleh diinterpretasikan secara manual, mulai dari peta, foto udara, survei lapangan, sampai dengan rencana pengembangan. Namun pendekatan ini memiliki tingkat subjektivitas yang tinggi, proses tidak efisien, dan biaya yang dikeluarkan lebih tinggi (Dragan and Jarre, 2015). Sebaliknya dengan implementasi GIS prosedur yang digunakan lebih mapan dan terbukti (Yildirim and Nisanci, 2010; Malczewski, 2004).

Penentuan trase jalan hingga mendapatkan kesesuaian letak memerlukan pertimbangan dari berbagai macam aspek, dikarenakan banyak faktor yang harus diperhatikan. Adanya isu-isu lingkungan yang harus dipertimbangkan, untuk memastikan bahwa jalan yang dibangun tidak mempengaruhi ekosistem kawasan ataupun merusak lingkungan, memerlukan analisis secara komprehensif dampak Biodiversity (*Biodiversity Impact Assessment/BIA*). Kesesuaian kondisi geologi, topografi, tanah, hidrologi, dan penggunaan lahan juga merupakan hal yang harus diperhatikan. ditambah lagi dengan isu-isu lain seperti nilai tanah dan kepemilikan, dampak sosial dan ekonomi, serta identifikasi daerah sensitif lingkungan (Subramani dan Nanda, 2012).

Penggunaan citra satelit dalam pengenalan wilayah ataupun pemilihan lokasi dalam bidang Teknik Sipil, Pertanian, Kehutanan, Pertambangan, Kelautan, dan dibidang-bidang lain pada saat ini terus dikembangkan. Citra satelit adalah alat untuk mengenali dan memahami kenampakan objek yang ada pada permukaan bumi melalui penginderaan jauh. Macam-macam setelit penginderaan jauh yang beredar, diantaranya NOAA, SPOT, ASTER, Ikonos, Quickbird, ALOS, Landsat (1 - 8), dan lain-lain dimana setiap satelit memiliki karakteristik dan tujuan masing-masing.

1. Satelit NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)

Satelit NOAA adalah satelit meterologi generasi ketiga milik Amerika Serikat "*National Oceanic and Atmospheric Administration*" (NOAA). Satelit ini muncul untuk menggantikan generasi satelit sebelumnya, seperti seri *Television and Infra Red Observation Sattelite* (TIROS) tahun 1960-1965 dan seri *Infra Red Observation Sattelite* (IOS) tahun 1970-1976. Mengorbit pada ketinggian 833-870 km, derajat inklinasi sekitar $98,7^{\circ}$ - $98,9^{\circ}$, dan memiliki kemampuan mengindra suatu daerah 2 x dalam 24 jam (sehari semalam) (Wicaksono *et al.*, 2010).

2. Satelit SPOT (*System Pour l'Observation de la Terre*)

Satelit ini milik Perancis yang mengusung pengindera HRV (SPOT 1,2,3,4) dan HRG (SPOT 5) dan mengorbit pada ketinggian 830 km dengan sudut inklinasi 80 derajat. Keunggulan dari satelit ini adalah system sensor yang membawa dua buah sensor identik yaitu HRVIR (*Haute Resolution Visible Infra merah*). Setiap sensor dapat diatur sumbu pengamatannya kekanan dan kekiri memotong arah lintasan satelit dan merekam sampai dengan 7 bidang liputan (Kustiyo *et al.*, 2014).

3. Satelit ASTER (*Advanced Spaceborne Emission and Reflecton Radiometer*)

Satelit ini dikembangkan Jepang dimana sensor terdiri dari VNIR, SWIR, dan TIR. Satelit ini memiliki orbit *sunshyncronous* yaitu orbit satelit yang selaras dengan pergerakan satelit dalam orbit presisi bidang orbit dan pergerakan bumi mengelilingi matahari, sehingga satelit tersebut akan melewati lokasi tertentu pada permukaan bumi dan waktu lokal selalu sama setiap hari. Orbit memiliki ketinggian 707 km dan sudut inklinasi 98,2 derajat (Wibowo *et al.*, 2013).

4. Ikonos

Satelit Ikonos merupakan satelit resolusi tinggi yang diluncurkan bulan September 1999. Dapat merekam data multispektral 4 kanal dengan resolusi 4 m dan ketinggian orbit 681 km. Citra dengan resolusi tinggi sangat cocok untuk analisa detil seperti wilayah perkotaan namun tidak efektif digunakan untuk analisis yang sifatnya regional (Crystiana dan Susantoro, 2013).

5. *Quickbird*

Satelit *Quickbird* memiliki resolusi tinggi dengan resolusi spasial 61 cm, ketinggian orbit 450 km secara sinkron matahari, satelit ini mempunyai dua sensor utama yaitu

multispektral dan pankromatik. *Quickbird* diluncurkan bulan Oktober 2001 di California Amerika Serikat. *Quickbird* memiliki empat saluran (*band*) (Lu *et al.*, 2011).

6. ALOS

Jepang adalah salah satu negara yang paling inovatif dalam mengembangkan teknologi satelit penginderaan jauh setelah diluncurkannya satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) pada tanggal 24 Januari 2006. ALOS merupakan satelit pemantau lingkungan yang dapat digunakan untuk kepentingan survey sumber daya alam, kartografi, observasi wilayah, dan pemantauan bencana alam (Marantika dan Sudaryanto, 2012).

7. Satelit Landsat

Citra Landsat adalah citra penginderaan jauh yang dihasilkan dari sistem penginderaan jauh pasif, yang memiliki 8 saluran dimana setiap saluran memiliki panjang gelombang tertentu. Citra Landsat ini merupakan satelit dengan jenis orbit sunsynkron (mengorbit bumi dengan melewati kutub, memotong arah rotasi bumi dengan sudut inklinasi 98,2 derajat dengan ketinggian 705 km dari permukaan bumi dan luas liputan per scene adalah 185 km x 185 km (Lapan, 2015).

Berdasarkan data Lapan (2015), Landsat yang digunakan dalam penginderaan jauh dan sekarang telah mencapai Landsat 8. Landsat 8 ini memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infra merah Sensor* (TIRS), yang memiliki jumlah kanal 11 buah, terdiri dari 9 kanal (band 1 - 9) yang berada pada OLI dan 2 kanal (band 10 dan 11) pada TIRS. Karakteristik sensor dari citra Landsat 8 dan pengenalan terhadap objek dapat dilihat pada Tabel 1.1 dan Tabel 1.2.

Tabel 1.1. Karakteristik Sensor OLI dan TIRS pada Satelit Landsat-8

Sensor	Kanal	Nama Spektrum	Julat Spektral	Resolusi Spasial
OLI	1	<i>Coastal aerosol</i>	0,433 - 0,453	30 m
	2	<i>Blue</i>	0,450 - 0,515	30 m
	3	<i>Green</i>	0,525 - 0,600	30 m
	4	<i>Red</i>	0,630 - 0,680	30 m
	5	<i>Near Infra merah (NIR)</i>	0,845 - 0,885	30 m
	6	SWIR 1	1,560 - 1,660	30 m
	7	SWIR 2	2,100 - 2,300	30 m
	8	<i>Panchromatic</i>	0,500 - 0,680	15 m
	9	<i>Cirrus</i>	1,360 - 1,390	15 m
TIRS	10	TIRS 1	10,6 - 11,19	100 m
	11	TIRS 2	11,5 - 12,51	100 m

(Sumber : USGS, 2014 dalam Lapan, 2015)

Tabel 1.2. Karakteristik Kanal untuk Pengenalan Objek pada Citra Landsat 8

Kanal	Panjang Gelombang (μm)	Keterangan
1	0,433 - 0,453	Studi aerosol dan wilayah pesisir
2	0,450 - 0,515	Pemetaan bathimetrik, membedakan tanah dari vegetasi dan daun dari vegetasi konifer
3	0,525 - 0,600	Mempertegas puncak vegetasi untuk menilai kekuatan vegetasi
4	0,630 - 0,680	Membedakan sudut vegetasi
5	0,845 - 0,885	Menekankan konten biomassa dan garis pantai
6	1,560 - 1,660	Mendiskriminasikan kadar air tanah dan vegetasi; menembus awan tipis
7	2,100 - 2,300	Peningkatan kadar air tanah dan vegetasi dan penetrasi awan tipis
8	0,500 - 0,680	Resolusi 15 m, penajaman citra
9	1,360 - 1,390	Peningkatan deteksi awan sirus yang terkontaminasi
10	10,6 - 11,19	Resolusi 100 m, pemetaan suhu dan penghitungan kelembaban tanah
11	11,5 - 12,51	Resolusi 100 m, peningkatan pemetaan suhu dan penghitungan kelembaban tanah

(Sumber : USGS, 2014 dalam Lapan, 2015)

Analisis dalam perencanaan keruangan sebagai pendukung keputusan secara spasial dapat dilakukan dengan menggunakan *Spatial Multi Criteria Analysis (SMCA)* di mana hasil luarannya tersaji secara spasial yang menampilkan wilayah kesesuaian yang sangat membantu dalam pengambilan keputusan atau kebijakan. Walaupun banyak penelitian telah

menggunakan metode GIS berbasis multikriteria spasial untuk menilai dampak lingkungan namun penggunaan teknik spasial dalam penentuan trase awal masih jarang digunakan. Di Indonesia proses perencanaan keruangan (*spatial planning*) telah menjadi ketentuan melalui payung hukum yaitu dengan dengan Undang-undang No. 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial. Data spasial adalah seluruh data yang berkaitan dengan lokasi dipermukaan bumi dan disajikan dengan memanfaatkan teknologi informasi, memiliki koordinat x , y , dan z serta tergeoreferensi.

BAB II

TRASE JALAN BERDASARKAN KARAKTERISTIK DAERAH RAWA

A. Perlindungan daerah rawa

Perlindungan terhadap rawa dengan jelas diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 73 tahun 2013 tentang Rawa, ada beberapa istilah yang sering digunakan adalah :

1. Rawa adalah lahan genangan air secara alamiah yang terjadi terus menerus atau musiman akibat drainase alamiah yang terhambat serta mempunyai ciri-ciri khusus secara fisik, kimiawi, dan biologis.
2. Konservasi rawa adalah pengelolaan rawa sebagai sumber air yang berdasarkan pertimbangan teknis, sosial ekonomis dan lingkungan, bertujuan menjamin dan memelihara kelestarian keberadaan rawa sebagai sumber air dan/atau meningkatkan fungsi dan pemanfaatannya.
3. Reklamasi rawa adalah upaya meningkatkan fungsi dan pemanfaatan rawa untuk kepentingan masyarakat luas.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 73 tahun 2013, penjelasan tentang rawa dan perlindungan rawa meliputi:

1. Rawa sebagai sumber daya alam terdiri dari unsur sumber daya air, sumber daya lahan, dan sumber daya hayati. Sebagai sumber daya alam, Rawa mempunyai karakter yang sangat beraneka ragam yang dipengaruhi oleh aspek geomorfologi, pola genangan, dan fluktuasi pasang surut. Rawa tersebar dari dataran rendah pasang surut sampai cekungan yang lebih tinggi, dengan jenis endapan mineral dan/atau organik yang melingkupi dan sekaligus berperan dalam keragaman karakter fisik/kimia sumber daya air dan sumber daya hayati, serta daya dukungnya sebagai lahan.



Gambar 2.1. Perlindungan Terhadap Hutan Mangrove
(Sumber: <https://www.travelingmedan.com/2020/08/hutan-mangrove-langsa.html>)

2. Sebagai sumber daya air, rawa memiliki ciri-ciri khusus jenis air, yaitu tawar, payau, asin, dan asam. Rawa dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan air untuk keperluan sehari-hari, pertanian, permukiman, industri, serta peruntukan lainnya, namun juga mempunyai dan rusak bila tidak dikelola secara baik.
3. Sebagai sumber daya hayati, Rawa memiliki aneka ragam tipe ekosistem, dan habitat berbagai flora dan fauna. Ekosistem dimaknai sebagai sistem hubungan timbal balik antara unsur di dalam alam, baik hayati berupa tumbuhan, satwa liar serta jasad renik maupun non-hayati berupa tanah dan bebatuan, air, udara, serta iklim yang saling tergantung dan saling mempengaruhi dalam suatu persekutuan hidup.
4. Sebagai sumber daya lahan, Rawa secara tradisional telah dimanfaatkan oleh masyarakat untuk tempat tinggal, lahan pertanian, perikanan, dan untuk memenuhi kebutuhan hidup lainnya. Di masa kini dan mendatang, Rawa merupakan sumber daya lahan penting untuk pangan dan beberapa tanaman industri. Bahkan, beberapa pusat

permukiman dan kegiatan ekonomi yang ada sekarang ini merupakan hasil Pengembangan Rawa.

5. Keberadaan Rawa terkait dengan dinamika penduduk dan komoditas dari suatu ruang ke ruang lainnya, merupakan tuntutan kebutuhan perkembangan budaya bangsa Indonesia. Dalam hal ini Rawa di Indonesia, utamanya Rawa yang berada di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua, mempunyai potensi kodrat geografis sekaligus geopolitis yang strategis yaitu sebagai kawasan strategis dari negara kepulauan Indonesia yang berada tepat di silang pertemuan poros hubungan Samudera Pasific-Hindia dan Benua Asia-Australia.
6. Dari hal di atas jelas terlihat bahwa Rawa bermanfaat nyata bagi kehidupan dan penghidupan bangsa Indonesia, seperti manfaat ekologi termasuk perlindungan iklim, ekonomi, dan sosial budaya. Di sisi lain, Pengembangan Rawa terkait dengan pemanfaatannya untuk keperluan pemenuhan kebutuhan masyarakat dapat pula berdampak terhadap kerusakan lingkungan, kehilangan sumber daya hayati, dan emisi gas rumah kaca karbondioksida (CO₂) yang berperan dalam pemanasan global, penurunan kualitas dan kuantitas sumber daya air, serta meningkatkan laju subsiden Rawa dan meningkatkan kerentanan Rawa, khususnya Rawa pasang surut terhadap kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim dunia. Oleh sebab itu, Rawa harus dikelola dan dimanfaatkan secara berkelanjutan bagi kesejahteraan masyarakat. Hal ini merupakan amanat Pasal 33 ayat (3) Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, yang berbunyi "Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat".

7. Penguasaan Rawa oleh negara mengandung makna bahwa negara menjamin hak setiap orang dalam pemanfaatan Rawa sebagai sumber daya air dan lahan bagi pemenuhan kebutuhan pokok sehari-hari. Penguasaan negara atas Rawa tersebut diselenggarakan pemerintah dengan tetap mengakui dan menghormati masyarakat hukum adat sepanjang kenyataannya masih ada dan diakui keberadaannya, serta tidak bertentangan dengan kepentingan nasional.
8. Untuk menjamin keseimbangan dan keberlanjutan manfaat lingkungan, ekonomi, dan sosial budaya Rawa, pemerintah perlu mengatur penetapan Rawa, baik Rawa pasang surut maupun Rawa lebak, pengelolaan Rawa, sistem informasi Rawa, perizinan dan pengawasan, pemberdayaan masyarakat, serta sanksi administratif.
9. Pengaturan Rawa dimulai dengan penetapan Rawa pasang surut dan Rawa lebak, berdasarkan hasil inventarisasi melalui citra satelit dan/atau foto udara dan apabila telah terdapat peta dasar dilakukan dengan pengukuran lapangan. Pengaturan Rawa dilakukan terhadap Rawa baik yang masih alami maupun yang telah dikembangkan, kemudian ditetapkan pula fungsinya, yaitu Rawa dengan fungsi lindung dan Rawa dengan fungsi budi daya.
10. Pengaturan pengelolaan Rawa terdiri atas upaya Konservasi Rawa, Pengembangan Rawa, dan Pengendalian Daya Rusak Air pada Rawa. Upaya konservasi dimaksudkan untuk menjaga keseimbangan ekologi, menjaga keseimbangan hidrologi, melindungi keanekaragaman hayati, sebagai habitat flora fauna, penyerap sekaligus gudang penyimpan gas rumah kaca karbondioksida (CO_2) yang berperan dalam pemanasan global dan dapat berkontribusi dalam perbaikan lingkungan serta menjaga daya dukung kawasan yang berfungsi budi daya di daerah sekitarnya.

11. Upaya Pengembangan Rawa ditujukan untuk pemenuhan kebutuhan akan pangan, air, bahan baku industri, atau kebutuhan perkembangan ekonomi masyarakat, sehingga penetapan Rawa sebagai fungsi lindung maupun fungsi budi daya harus didasarkan pada kondisi sumber daya Rawa, seperti geomorfologi, jenis endapan, pengaruh pasang surut, tipe genangan, hidrologi dan sifat biofisik kimia lain sesuai dengan daya dukung dan terjamin keseimbangan, keberlanjutan, dan manfaat Rawa yang sebesar-besarnya. Pengembangan Rawa untuk tujuan budi daya pertanian yang dahulu disebut reklamasi Rawa, sesuai dengan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air perlu diubah menjadi pengembangan Sistem Irigasi Rawa dan pengelolaan Sistem Irigasi Rawa. Upaya Pengendalian Daya Rusak Air pada Rawa ditujukan untuk mencegah, menanggulangi, dan memulihkan kerusakan baik bagi Rawa itu sendiri maupun wilayah sekitarnya agar tidak menimbulkan kerugian bagi kehidupan.
12. Penetapan Rawa harus menjamin bahwa kegiatan pengembangan pada Rawa dengan fungsi budi daya tidak mempengaruhi Rawa dengan fungsi lindung. Dengan demikian, keseimbangan dan keberlanjutan fungsi Rawa secara keseluruhan dalam wilayah sungai, serta dalam kesatuan hidrologi Rawa pasang surut tetap terjaga.
13. Pengelolaan Rawa dilaksanakan berdasarkan pola dan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai yang bersangkutan. Untuk Rawa pasang surut, rencana pengelolaan Rawa pasang surut disusun berdasarkan satuan hidrologi Rawa pasang surut, yang merupakan masukan bagi penyusunan pola dan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai yang bersangkutan serta penyusunan dan/atau perubahan rencana tata ruang. Apabila pola dan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai yang bersangkutan telah ditetapkan, rencana pengelolaan

Rawa pasang surut harus terintegrasi dalam pola dan rencana pengelolaan sumber daya air pada wilayah sungai.

14. Untuk mendukung pengelolaan Rawa diselenggarakan sistem informasi Rawa yang merupakan bagian dari sistem informasi sumber daya air berupa jaringan informasi Rawa yang harus diperbaharui sesuai kebutuhan dan bersifat terbuka, serta dapat diakses setiap orang.

Beberapa daerah mengeluarkan peraturan daerah agar tidak terjadi eksploitasi pada daerah rawa, salah satu Perda yang dikeluarkan oleh pemerintah Kota Palembang No 13 Tahun 2002, tentang Pembinaan dan Retribusi Pengendalian Pemanfaatan Rawa. Beberapa pembinaan dan pemanfaatan rawa yang tertuang pada Perda tersebut adalah:

1. Pembinaan dan pemanfaatan rawa harus dilakukan secara seimbang baik untuk keperluan konservasi, wilayah penyangga maupun wilayah yang akan dimanfaatkan.
2. Pembinaan pemanfaatan rawa harus dilalui dengan penetapan wilayah pelestarian, wilayah konservasi, wilayah penyangga dan wilayah pemanfaatan rawa.
3. Reklamasi rawa dapat dilakukan oleh Pemerintah Daerah dan Pemda bekerjasama dengan instansi atau pihak swasta.



Gambar 2.2. Dampak Eksploitasi Rawa
(Sumber : Koleksi Foto Yus Rusila Noor)

4. Reklamasi rawa yang bersifat komersial dapat dilaksanakan oleh pihak swasta berdasarkan pedoman dan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
5. Reklamasi rawa untuk keperluan bersifat non komersial dapat dilaksanakan oleh badan sosial masyarakat dan anggota masyarakat sesuai dengan ketentuan undang-undang yang berlaku.
6. Reklamasi rawa dapat dilakukan dengan cara mengeringkan, menimbun atau mengalih fungsikan peruntukkan dengan memperhatikan fungsi rawa sebagai daerah tampungan air dan sistem pengendali banjir.
7. Reklamasi rawa dapat dilakukan seluruhnya pada areal rawa dengan luas dibawah 1.000 m² .
8. Reklamasi rawa hanya dapat dilakukan untuk areal paling luas 50% dari seluruh luas rawa m² atau lebih.
9. Rawa yang boleh direklamasi adalah rawa yang berada diluar daerah milik jalan (DMJ).
10. Penimbunan rawa dapat dilakukan dengan ketinggian maksimum sampai batas bebas banjir disesuaikan dengan lokasi setempat.
11. Peruntukkan penggunaan tanah pada lokasi bekas rawa, lebih lanjut berpedoman pada Perda yang mengatur tentang tata ruang. Izin mendirikan bangunan dan izin peruntukkan penggunaan tanah.
12. Pengawasan terhadap pengendalian dan pemanfaatan rawa dalam daerah dilakukan oleh masyarakat dan kepala daerah dan dilakukan terhadap pengeringan, penimbunan,

pengalihan fungsi peruntukkan, pendirian bangunan diatas rawa dan penggunaan lahan rawa untuk fungsi lainnya.

B. Pembangunan pada daerah rawa

Rawa merupakan daerah yang selalu tergenang air dengan daya dukung tanah yang rendah, namun memiliki banyak manfaat diantaranya sebagai tempat penampungan air, hidupnya biota air, pertanian, perikanan, bahkan pada beberapa daerah rawa dijadikan sebagai kawasan wisata. Keberadaan rawa harus tetap terjaga agar terjadi keseimbangan lingkungan oleh karena itu pembangunan yang dilaksanakan diatas lahan rawa harus dapa terkendali.

Semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk mengakibatkan meningkatnya berbagai macam kebutuhan hidup, seperti kebutuhan perumahan, prasarana jalan, jaringan irigasi, jaringan listrik, dan prasarana lainnya yang berdampak terhadap meningkatnya kebutuhan lahan. Karena adanya keterbatasan lahan maka akan menimbulkan persaingan antara penggunaan lahan yang pada akhirnya mengarah pada terjadinya alih fungsi lahan dengan intensitas yang semakin tinggi.

Pergeseran fungsi lahan yang terjadi di kawasan perkotaan ataupun di pinggiran adalah lahan yang awalnya diperuntukkan sebagai kawasan hutan, daerah resapan air, pertanian, perkebunan, dan perikanan, berubah fungsi menjadi kawasan komersial. Adanya fenomena semakin berkurangnya daerah resapan air pada suatu area memberikan konsekuensi logis bahwa semakin besar perubahan penggunaan daerah resapan air menjadi penggunaan non-agraris akan memancing terjadinya penyimpangan perubahan pemanfaatan lahan oleh kegiatan komersial yang tidak sesuai kebijakan yang ada.

Perubahan fungsi ini dapat ini berarti mengurangi daerah resapan air bagi suatu daerah karena lahan rawa yang mempunyai fungsi sebagai kolam penampungan air, seharusnya tidak ditutup oleh bangunan-bangunan yang berdiri diatasnya, karena akan mengganggu kestabilan siklus air. Pengurukan

lahan rawa membuat air yang sebelumnya dapat tertampung di rawa, akan beralih ke jalanan atau kawasan lain yang lebih rendah sehingga menyebabkan intensitas terjadinya banjir lebih sering dan akan berlangsung lama.



Gambar 2.3. Kegiatan Penimbunan pada Daerah Rawa

Perencanaan pembangunan pada daerah rawa harus tetap menjaga fungsi dari daerah rawa tersebut. Mendirikan bangunan di atas genangan air tanpa harus merusak fungsi dari daerah rawa sebagai area resapan air merupakan suatu keharusan, sebagaimana yang telah dilakukan orang-orang terdahulu yang mendisain bangunan sesuai dengan kearifan lokal, dimana bangunan yang dibangun dapat meminimalisir perubahan dan kerusakan lingkungan. Untuk itu perlu adanya solusi untuk bangunan yang dibangun didaerah rawa, disamping tetap menjaga fungsi daerah rawa tetapi bangunan tetap kuat.

Setiap bangunan sipil seperti Gedung, jalan, jembatan, irigasi dan tanggul harus memiliki pondasi kuat yang dapat mendukung bangunan di atasnya. Pada bab-bab berikutnya di buku ini akan dibahas tentang teknik penentuan trase jalan pada daerah rawa.

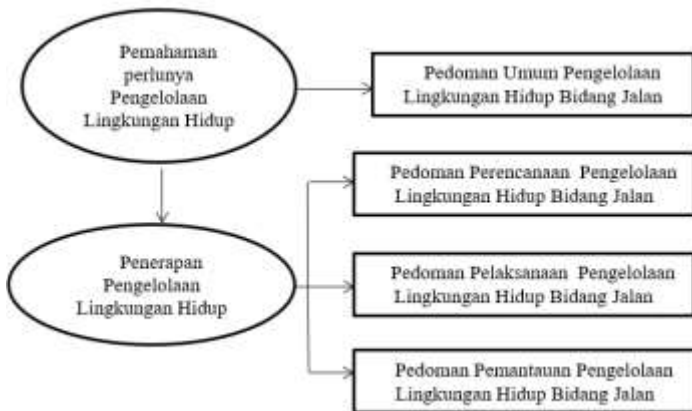
C. Pembangunan Jalan Berwawasan Lingkungan

Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2007) dalam panduan penilaian AMDAL untuk kegiatan pembangunan jalan, disebutkan bahwa komponen lingkungan yang perlu diperhatikan dalam pembangunan jalan, yaitu :

1. Komponen tata ruang, meliputi : (i) kebijakan tata ruang, dimana lokasi harus sesuai dengan peruntukan rencana tata ruang wilayah setempat; (ii) penggunaan lahan yang mencakup status lahan, penggunaan lahan, dan produktivitas lahan; (iii) transportasi mencakup jaringan jalan yang ada, sistem transportasi regional dan lokal, prasarana transportasi lokal dan regional, serta pola pergerakan penduduk; (iv) kegiatan lain di sekitar dengan menginventarisasi keberadaan permukiman penduduk, situs bersejarah, daerah wisata, kawasan lindung, kawasan budidaya, keberadaan fasilitas umum seperti pipa bawah tanah, dan lain sebagainya.
2. Komponen fisik, meliputi : (i) fisiografi dengan memperhatikan topografi, kemiringan lahan, badan air, perubahan fungsi lahan, daya dukung tanah, kestabilan tanah, dan kendaraan yang direncanakan melewatinya; (ii) iklim yang mencakup curah hujan rata-rata, jumlah bulan hujan, suhu, tekanan udara, kelembaban, penyinaran matahari, dan kecepatan angin; (iii) kualitas udara dan kebisingan; (iv) kualitas air permukaan dan air tanah; (v) geologi mencakup struktur tanah, *bearing capacity*, kegempaan, potensi tsunami, patahan, dan sesar; (vi) geohidrologi yang mencakup air tanah, air larian, dan potensi erosi.
3. Komponen biologi, meliputi : (i) biota darat (apakah ada vegetasi dan satwa endemik termasuk keragaman dan kerapatannya); dan (ii) biota air (apakah ada vegetasi dan satwa endemik perairan termasuk keragaman dan kerapatannya).
4. Komponen sosial, ekonomi, dan budaya, meliputi jenis mata pencarian dan demografi penduduk, pendapatan masyarakat, kesehatan, dan nilai serta norma budaya masyarakat lokal.

Tujuan dari pengelolaan lingkungan hidup bidang jalan ini, antara lain : (i) mencegah, mengurangi dan menanggulangi dampak negatif serta meningkatkan dampak positif pembangunan jalan terhadap lingkungan hidup; (ii) mewujudkan tata pemerintahan yang baik dibidang pengelolaan lingkungan hidup dalam penyelenggaraan jalan; (iii) meningkatkan kepatuhan penyelenggaraan jalan dalam menjaga kualitas fungsi lingkungan hidup; dan (iv) meningkatkan kapasitas penyelenggara jalan dalam melaksanakan penyelenggaraan jalan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan hidup (Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Bina Marga, 2009).

Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Bina Marga (2009), menyebutkan bahwa konsep penyusunan pedoman pengelolaan lingkungan hidup bidang jalan meliputi pedoman perencanaan, pelaksanaan, dan pemantauan, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Konsep Penyusunan Pedoman Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang Jalan

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No 26 tahun 2007 tentang Penataan Ruang, bahwa prasarana jalan yang dibangun untuk mewujudkan ruang wilayah yang aman terhadap bencana, nyaman dalam mengartikulasikan nilai sosial budaya, produktif dalam memberikan nilai tambah ekonomi

demi kesejahteraan masyarakat, serta berkelanjutan untuk mempertahankan kondisi dan kualitas lingkungan fisik.

D. Parameter Penentuan Trase Jalan

Trase jalan adalah merupakan salah satu hal terpenting dalam perencanaan jalan terkait dengan metode pelaksanaan yang digunakan, perencanaan jenis perkerasan, material yang dibutuhkan, kekuatan, bahkan dampak lingkungan yang ditimbulkan baik dampak fisik maupun dampak sosial ekonomi. Sehingga dalam penentuan trase jalan tentunya harus memperhatikan seluruh aspek terkait.

Secara umum ada empat faktor yang dipertimbangkan dalam penentuan trase jalan, yaitu :

1. Faktor topografi, akan mempengaruhi kelandaian jalan, jarak pandang, penampang melintang dan sebagainya,
2. Faktor geologi, akan berpengaruh apabila trase jalan yang akan dibuat berada pada daerah patahan/bergerak, memiliki daya dukung tanah yang kurang baik, serta muka air tanah juga sangat mempengaruhi,
3. Faktor tata guna lahan, merupakan hal yang paling mendasar dalam perencanaan suatu lokasi jalan, serta tujuan pembuatan jalan tersebut, apakah direncanakan untuk daerah pemukiman atau perindustrian,
4. Faktor lingkungan, perlu dipikirkan dampak positif dan negatif dari pembangunan trase jalan tersebut.

Dari keempat faktor dalam penentuan trase jalan tersebut diatas, ada 2 faktor yang dapat diabaikan, yaitu yang pertama faktor topografi. Mengapa faktor topografi ini dapat diabaikan karena topografi pada daerah rawa cenderung sama, yaitu memiliki permukaan dataran rendah. Dalam penelitian yang dilakukan Indrayani, *et al* (2016), terhadap pembobotan topografi pada daerah rawa menunjukkan hasil bahwa topografi pada daerah rawa memiliki permukaan tanah yang sama yaitu datar, sehingga tidak perlu dilakukan pertimbangan terhadap topografi untuk menentukan *cut and fill* dari permukaan jalan.

Disamping faktor topografi tersebut, faktor geologi berupa batuan yang terkandung didalam tanah pada kondisi patahan, lipatan, atau sesar juga dapat diabaikan, dikarenakan pada daerah rawa tidak terkandung batuan yang dapat menyebabkan patahan, lipatan, atau sesar.

Sebagai gantinya, pertimbangan yang penting dilakukan dalam penentuan trase jalan pada daerah rawa yang pertama adalah faktor genangan atau hidrotopografi, karena daerah rawa merupakan daerah yang jenuh air. Sedangkan jalan yang dibangun terlebih jalan dengan perkerasan fleksibel sangat terpengaruh apabila selalu tergenang sehingga dapat menyebabkan kondisi jalan menjadi mudah rusak dan tidak sampai pada umur rencana jalan yang sudah ditetapkan, hal ini tentunya akan mengakibatkan biaya yang tinggi terhadap pemeliharaan jalan. Faktor kedua yang harus dipertimbangkan dalam penentuan trase jalan pada daerah rawa pengganti dari faktor geologi adalah faktor kondisi tanah yang memiliki daya dukung yang sangat rendah dan kondisi tanah gambut, dimana sebagian besar daerah rawa terdiri dari tanah gambut ataupun tanah lempung dan tanah berlanau yang memiliki daya dukung yang rendah. Untuk itu faktor ini harus menjadi pertimbangan dalam penentuan trase jalan pada daerah rawa, sehingga jalan yang dibangun sesuai dengan umur rencana dan tetap memperhatikan kondisi daerah rawa yang ada dan tidak terjadi eksploitasi pada daerah rawa yang dapat mengakibatkan ketidakseimbangan lingkungan.

1. Syarat-syarat teknis penentuan trase jalan pada daerah rawa

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan Indrayani, et al., (2016), Indrayani, et al., (2017), Indrayani, et al., (2018a), Indrayani, et al., (2018b), Indrayani, et al., (2018c) ada sembilan aspek yang perlu dipertimbangkan sebagai syarat teknis dalam penentuan trase jalan pada daerah rawa, yaitu:

- a. Tekstur tanah, merupakan perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu, dan liat, yaitu partikel tanah yang diameter efektifnya 2 m.
- b. Genangan, merupakan terhentinya air mengalir pada suatu area tertentu.
- c. Nilai CBR tanah, merupakan perbandingan antara beban penetrasi dari suatu lapisan tanah atau perkerasan terhadap bahan standar yang dilakukan dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.
- d. Tanah Gambut, merupakan tanah hasil penumpukan bahan organik melalui produksi biomassa hutan hujan tropis.
- e. Tata Guna Lahan, merupakan sebuah bentuk perencanaan dalam pemanfaatan dan penggunaan lahan dalam sebuah kaasan agar mempunyai fungsinya masing-masing.
- f. Lalu Lintas Harian Rata-rata, adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari dan merupakan hasil bagi jumlah lalu lintas yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.
- g. Tonase Kendaraan, merupakan daya angkut atau kapasitas muatan kendaraan.
- h. Aksesibilitas, merupakan ukuran kemudahan lokasi untuk dijangkau dari lokasi lainnya melalui sistem transportasi.
- i. Sosiogeografi, unsur kehidupan manusia dengan tradisi, budaya, dan segala perilakunya. Apek sosiaografi ini dalam kaitannya dengan penentuan trase jalan adalah kearifan lokal masyarakat pada daerah rawa dalam memilih lokasi pertanian dan permukiman berdasarkan jarak sungai yang ada.

2. Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur

Klasifikasi tanah merupakan ilmu yang mempelajari cara untuk membedakan sifat tanah dan mengelompokkan tanah tersebut kedalam kelas-kelas berdasarkan dari sifat

yang dimiliki tanah tersebut (Hardjowigeno, 2003). Sistem klasifikasi tanah yang biasa digunakan dalam bidang teknik adalah klasifikasi AASHTO dan klasifikasi *Unified*. Dimana sistem klasifikasi tanah AASHTO merupakan sistem klasifikasi tanah yang biasa digunakan oleh Ditjen Bina Marga dalam pembangunan jalan. Tanah terdiri dari susunan butiran antara lain : pasir, lempung, dan lumpur yang persentasenya berlainan.

Pengklasifikasian sistem AASHTO (2013) ini didasarkan atas kriteria : (i) ukuran butiran, dimana kerikil memiliki butiran yang dapat melalui ayakan dengan lubang 75 mm dan tertinggal di atas ayakan No. 10 dengan lubang 2 mm, sedangkan pasir memiliki butiran yang dapat melalui ayakan No. 10 (2 mm) dan tertinggal di atas ayakan No. 200 dengan lubang 0,074 mm, dan untuk lempung dan lanau dapat melalui ayakan No. 200; (ii) plastisitas, dimana tanah berlanau yang memiliki butiran tanah dengan indeks plastisitas ≤ 10 , berlempung jika butiran tanah memiliki indeks plastisitas ≥ 11 ; (iii) batuan (boulders), apabila memiliki ukuran lebih besar dari 75 mm tidak digolongkan ke dalam klasifikasi ini. Berdasarkan klasifikasi tanah AASHTO maka kriteria penilaian tekstur tanah dan kelompok tanah seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kriteria Tekstur dan Kelompok Tanah

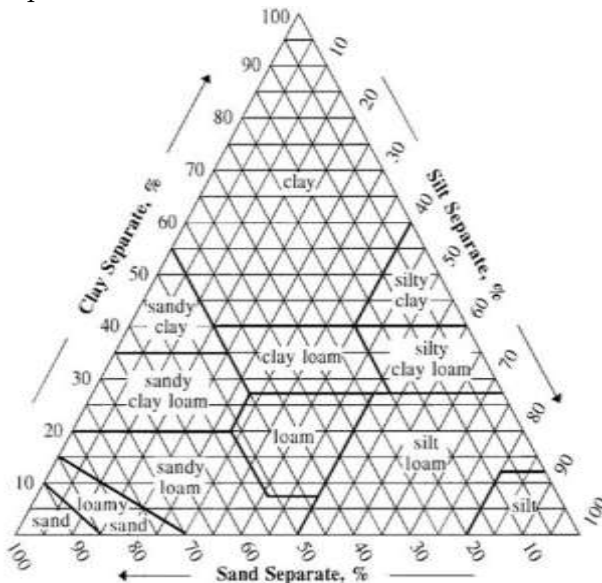
Tekstur Tanah	Golongan Tanah	Katagori
Fragmen batu dan kerikil	A1	Sangat Baik
Pasir halus	A3	Baik
Kerikil berlanau dan kerikil berlempung	A2	Sedang
Tanah lanau	A4, A5, A6	Jelek
Tanah lempung	A7	Sangat Jelek

(Sumber: AASHTO, 2013)

Dalam sistem klasifikasi tanah AASHTO (2013), tanah diklasifikasi menjadi 7 kelompok yaitu mulai dari A1 sampai dengan A7, tanah yang termasuk dalam kelompok A1 adalah fragmen kerikil dan batu, yang masuk dalam kelompok A2 adalah kerikil berlanau, kerikil berpasir, dan kerikil

berlempung, kelompok A3 adalah pasir halus, untuk kelompok A4, A5, dan A6 adalah tanah lanau, serta kelompok A7 merupakan tanah lempung. Kelompok A1, A2, dan A3 disebut juga dengan material granular, sedangkan kelompok A4, A5, A6, dan A7 disebut dengan material lempung. Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Klasifikasi berdasarkan tekstur tanah dikembangkan oleh *U.S. Department of Agriculture* dan deskripsi batas-batas susunan butiran tanah di bawah sistem USDA. Kemudian dikembangkan lebih lanjut dan digunakan untuk pekerjaan jalan raya yang dikenal dengan klasifikasi tanah berdasarkan persentase butir tanah oleh *U.S. Public Road Administration* (Djarmiko dan Edy, 1993). Diagram klasifikasi tekstur dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Diagram Klasifikasi Tekstur Tanah
(Sumber : USDA dalam Djarmiko dan Edy, 1993)

Tabel 2.2. Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan (35% atau kurang melalui No.200)							Bahan-bahan Lempung - Lemung (Lebih dari 35 % melalui No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisis saringan:											
Persentase melalui:											
No. 10	50 maks.										
No. 40	30 maks.	50 maks.	51 maks.								
No. 200	15 maks.	25 maks.	10 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	35 maks.	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi melalui No. 40											
Batas cair:				40 maks.	41 maks.	40 maks.	41 maks.	40 maks.	41 min	40 maks.	41 maks.
Indeks plastisitas	6 maks.		NP	10 maks.	10 maks.	11 min	10 maks.	10 maks.	10 maks.	10 min	11 min
Indeks kelompok	0		0	0		4 maks.		8 maks.	12 maks.	16 maks.	20 maks.
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen Batuan, Kerikil, dan Pasir.		Pasir Halus.	Kerikil dan Pasir Berlanau atau Berlempung				Tanah Berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik sampai baik.							Sedang sampai buruk.			

(Sumber.: AASHTO, 2013)

Catatan : Untuk A-7-5 : PI LL – 30 NP = Non Plastis
 Untuk A-7-6 : PI LL – 3

3. Daya dukung tanah dasar

Daya dukung tanah dasar mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kinerja perkerasan jalan dalam mendukung beban kendaraan/ lalu lintas yang ada di atasnya. Untuk mengukur daya dukung tanah dasar dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa indikator, antara lain : nilai CBR lapangan yang ada harus lebih besar atau sama dengan 90 % CBR laboratorium, nilai kepadatan lapangan yang ada harus lebih besar atau sama dengan 95% dari kepadatan di laboratorium (Scott *et al.*, 2004), sedangkan nilai kadar air di lapangan di batasi dengan toleransi 2 % dari nilai kadar air optimum dari laboratorium.

Semakin keras material maka semakin tinggi rating CBR nya. Pada Tabel 2.3 dan 2.4 dapat dilihat perkiraan nilai CBR tanah dasar dan nilai CBR terhadap kekuatan *subgrade* jalan.

Tabel 2.4. Nilai CBR terhadap Kekuatan *Subgrade* Jalan

Jenis Tanah	IP	LHRT < 2000			LHRT ≥ 2000		
		Semua galian dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli.		Galian di Zona iklim I semua timbunan dengan drainase sempurna dan FSL > 1000 mm diatas muka tanah asli	Semua galian dan timbunan tanpa drainase sempurna dan FSL < 1000 mm diatas muka tanah asli.		Galian di Zona iklim I semua timbunan dengan drainase sempurna dan FSL > 1000 mm diatas muka tanah asli
		Dibawah Standar Desain Min	Standar Desain Min	≥ 1200 mm dibawah tanah dasar	Dibawah Standar Desain Min	Standar Desain Min	≥ 1200 mm dibawah tanah dasar,
							Perkiraan CBR (%)
Lempung Subur	50 – 70	2	2	2	2	2	2
Lempung Kelaunan	40 – 30	2,5	2,7	3	2,5	2,6	3
Lempung Kepasiran	20 – 10	4	4,3	5	4,5	4,8	5,5
Lanau		1	1,3	2	1	1,3	2

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013)

4. Tanah gambut

Menurut Wahyunto (2010), tanah gambut biasanya terdapat pada daerah rawa, baik rawa pasang surut atupun rawa non pasang surut atau rawa lebak berupa cekungan atau daerah perlembahan. Dua aspek yang dapat menjadi pertimbangan dalam menginventarisasi/ pemetaan tanah gambut yaitu aspek dalam dan aspek luar. Aspek dalam meliputi sifat fisik, bahan induk, kimia, dan tanah dibawah lapisan gambut yang didapat dari pengamatan lapangan dan uji laboratorium. Sedangkan aspek luar mencakup kondisi topografi, drainase permukaan, vegetasi penutup yang didapat dari pengamatan lapangan maupun dari analisis citra satelit melalui metode pendekatan analisis bentuk lahan (*landform/ fisiografi*).

Secara skematis, pembagian tanah pada lahan rawa lebak dibagi berdasarkan ketebalan gambut dan kedalaman lapisan bahan sulfidik. Ada dua kelompok tanah pada lahan lebak, yaitu tanah gambut yang mempunyai ketebalan

lapisan gambut >50 cm, dan tanah mineral yang memiliki ketebalan lapisan gambut di permukaan 0-50 cm. Tanah mineral yang memiliki lapisan gambut di permukaan antara 20-50 cm disebut tanah mineral bergambut. Sedangkan tanah mineral murni, memiliki lapisan gambut di permukaan tanah setebal < 20 cm. Tanah gambut biasanya menempati wilayah lebak tengahan dan lebak dalam, khususnya pada cekungan-cekungan dan sebagian besar merupakan gambut - dangkal (ketebalan gambut antara 50-100 cm), sebagian kecil merupakan gambut-sedang (ketebalan gambut 100-200 cm), dan gambut dalam yang miliki ketebalan lapisan gambut lebih dari 2 m (Subagyo, 2006). Ritung, et al (2011), membagi ketebalan gambut dibagi dalam 5 kelas dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Kriteria Kedalaman Tanah Gambut

No.	Ketebalan Gambut (cm)	Kriteria
1.	< 50	Bergambut
2.	50 - 100	Gambut Dangkal
3.	100 - 200	Gambut Sedang
4.	200 - 300	Gambut Dalam
5.	> 300	Gambut Sangat Dalam

(Sumber: Ritung *et al*, 2011)

5. Topografi

Trase jalan yang akan dibangun pada daerah rawa tentunya akan memerlukan perencanaan yang berbeda dari jalan yang dibangun pada daerah datar ataupun pada daerah perbukitan dan pegunungan. Bentuk dari topografi pada permukaan bumi yang bervariasi akan memiliki daya dukung yang berbeda-beda pula dalam menahan beban yang ada di atasnya.

Bentuk dari topografi pada permukaan bumi yang bervariasi akan memiliki daya dukung yang berbeda-beda pula dalam menahan beban yang ada di atasnya. Perbedaan dari topografi pada suatu medan dapat diketahui dari

perbedaan kemiringan lahannya. Landai maksimum yang diijinkan dalam medan datar adalah 3 %, untuk medan berbukit adalah 8 %, sedangkan untuk untuk medan bergelombang adalah 12 % (Departemen Pekerjaan Umum, 1997). Klasifikasi kemiringan medan jalan dapat dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Klasifikasi Kemiringan Medan Jalan

Kemiringan Lahan (%)	Keterangan
< 3	Datar
3 - 25	Perbukitan
> 25	Pegunungan

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 1997)

Pada penentuan trase jalan pada daerah rawa factor ini dapat diabaikan dan diganti dengan faktor genangan.

6. Hidrologi

a. Intensitas curah hujan

Intensitas curah hujan merupakan rata-rata curah hujan yang dihitung dalam satuan mm setahun dibagi dengan rata-rata jumlah hari hujan dalam setahun (Aldrian *et al*, 2011). Daerah yang memiliki intensitas hujan tinggi kurang baik untuk trase jalan, karena akan mempercepat terjadinya erosi maupun tanah longsor. Intensitas curah hujan dapat digunakan untuk memperkirakan saluran pengaturan agar jalan tidak tergenang air jika terjadi hujan lebat. Kriteria penilaian intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Kriteria Penilaian Intensitas Curah Hujan

Kelas Hujan	Intensitas Hujan (mm/hari hujan)	Deskripsi
1	8 – 13,6	Sangat Rendah
2	13,6 – 20,7	Rendah
3	20,7 – 27,7	Sedang
4	27,7 – 34,8	Tinggi
5	> 34,8	Sangat Tinggi

(Sumber: Permen PU No 41, 2007)

b. Genangan air

Pada suatu kawasan/ wilayah terdapat tingkat kerentanan lahan terhadap air, angin, erosi, penggenangan, dan banjir. Penggenangan dan banjir akan mempengaruhi daya dukung lahan disebabkan kedua hal tersebut merupakan efek dampak dari kondisi fisik yang ada. Dapat dikatakan bahwa semakin datar suatu kawasan dan semakin dekat dengan laut maka akan semakin berpeluang terhadap terjadinya genangan dan banjir sehingga dapat mengganggu kegiatan dari penggunaan lahan (Suryanto, 2007).

Banjir merupakan salah satu bencana yang paling sering terjadi, pada beberapa dekade terakhir, peristiwa banjir mengalami peningkatan secara global (Jha *et al*, 2012) sehingga konsekuensi yang harus diterima oleh masyarakat adalah kerugian yang terjadi pada berbagai aspek, misalnya hancurnya infrastruktur, hilangnya mata pencarian, terhambatnya kegiatan perekonomian, bahkan sampai kehilangan korban jiwa. Menurut Jha *et al* (2012), tercatat 178 juta jiwa yang terkena dampak dari bencana banjir yang terjadi pada 2010 dan total kerugian yang dialami dari tahun 1998 sampai tahun 2008 hampir mencapai US \$ 40 triliun.

Menurut Plate (2002) permasalahan manajemen resiko banjir perlu dilihat sebagai pada perspektif yang lebih luas, dengan melibatkan perencana dan pembuat

kebijakan dalam mengintegrasikan pengurangan risiko bencana banjir dalam suatu sistem yang terdiri dari tahapan berkelanjutan. Besarnya faktor bahaya serta kerentanan yang selalu dapat berubah dari waktu ke waktu akan menyebabkan bertambahnya permasalahan resiko banjir sebagai akibat daripada suatu proses pembangunan, misalnya intensitas ataupun volume air hujan yang tinggi karena perubahan iklim serta perubahan tata guna lahan yang dapat mengurangi kapasitas daya resap dalam meresap air hujan (Jha *et al*, 2012).

7. Tata guna lahan dan tutupan lahan

Tata guna lahan (*landuse*) merupakan pola penggunaan lahan suatu areal yang berhubungan dengan kegiatan manusia (Lillesand and Kiefer, 2008). Tata guna lahan adalah hal yang paling mendasar dalam penentuan trase jalan untuk daerah permukiman, daerah industri, ataupun daerah ruang lainnya. Karena kelas jalan akan bergantung pada tata ruang yang akan dilalui jalan, jangan sampai tata ruang yang sudah ada dirusak dengan kehadiran jalan baru. Harus diusahakan keberadaan jalan dapat menambah keserasian ruang lahan yang sudah ada, namun apabila lahan belum memiliki tata ruang, maka jadikan jalan tersebut sebagai sarana untuk membentuk orientasi tata ruang dan keberadaan jalan merupakan koridor penyangga ruang dari lahan tersebut (Departemen Pekerjaan Umum, 1997). Tata guna lahan secara otomatis akan mencakup konsep optimasi, evaluasi, dan perencanaan lahan.

Menurut Adisasmita dan Adji (2011), perkembangan dan perubahan pola tata guna lahan berkembang secara dinamis terhadap alam dipengaruhi oleh: (1) faktor manusia akan kebutuhan tempat tinggal, sosial budaya, finansial, serta teknologi, (2) faktor fisik kota sebagai pusat pertumbuhan kota dan jaringan transportasi dalam aksesibilitas kemudahan pencapaian, dan (3) faktor bentang alam berupa

kemiringan lereng dan ketinggian lahan. Sedangkan Ritohardoyo, *et al* (2013), menyebutkan bahwa tata guna lahan merupakan usaha manusia dalam memanfaatkan lingkungan alamnya guna memenuhi kebutuhan dalam kehidupan dan keberhasilannya serta merupakan hubungan interaksi manusia dengan lingkungannya, dimana fokus lingkungan adalah lahan, sedangkan sikap dan tanggapan dari kebijakan manusia terhadap lahan dapat menentukan langkah aktivitasnya, dan akan meninggalkan bekas diatas lahan sebagai bentuk dari penggunaan lahan. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penggunaan lahan, diantaranya adalah: perluasan batas kota, perluasan jaringan infrastruktur, peremajaan pusat kota, serta tumbuh dan hilangnya pemusatan kegiatan tertentu. Perubahan tutupan lahan mempunyai dampak yang sangat signifikan iklim, hidrologi, sumber air, tanah, dan biota (Cotton and Pielke, 2007).

Land cover change (LCC) has significant impacts on the earth's climate, hydrology, water resources, soils, and biota

Land cover change (LCC) has significant impacts on the earth's climate, hydrology, water resources, soils, and biota

Secara umum kelas data yang mencakup tutupan lahan, meliputi: (1) struktur fisik yang dibangun manusia; (2) fenomena biotik, vegetasi alami, tanaman pertanian, dan kehidupan binatang; (3) tipe-tipe dari pembangunan (Lo, 1996). Menurut Lo (1996), pendekatan yang digunakan untuk rancangan skema penutupan lahan adalah pendekatan fungsional yang berorientasi pada kegiatan kehutanan, pertanian, perkotaan, dan lain sebagainya serta pendekatan morfologi yang dapat menjelaskan penutupan lahan dengan menggunakan beberapa istilah seperti: lahan hutan, lahan rumput, lahan sawah, areal terbangun, dan sebagainya.

8. Tonase kendaraan dan lalu lintas harian rata-rata

Perkerasan jalan akan mengalami pembebanan lalu lintas yang berulang, mutu konstruksi, penuaan aspal, rencana perkerasan yang tidak cukup, kondisi iklim, dan lain-lain akan memperlihatkan *distress* dalam bentuk *routing*, *roughness*, *cracking*, *spalling* dan bentuk-bentuk yang lain dari kerusakan permukaan yang menyebabkan kemampuan pelayanan dari jalan berkurang (Sentosa dan Roza, 2012). Konstruksi jalan akan menerima beban melalui roda-roda kendaraan, dan besarnya beban yang disalurkan akan tergantung dari berat total kendaraan, bidang kontak antara roda dan perkerasan, konfigurasi sumbu, dan kecepatan kendaraan (Alamsyah dan Ansyori, 2001).

Jalan raya Indonesia diklasifikasikan berdasarkan Muatan Sumbu Terberat (MST) dari kendaraan yang melintasi jalan, di mana kelas jalan tertinggi adalah kelas I arteri dengan MTS yang diijinkan 10 Ton dan yang terendah adalah kelas III C dengan MTS yang diijinkan 8 Ton. Penetapan dari beban sumbu standar kendaraan diinterpretasikan dalam bentuk Muatan Sumbu Terberat (MST) (Undang-undang RI No. 22 tahun 2009).

Kelas jalan berdasarkan muatan sumbu, dimensi kendaraan, dan standar lalu lintas harian rata-rata dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Kelas Jalan Berdasarkan Muatan Sumbu, Dimensi Kendaraan, dan Standar Lalu Lintas Harian Rata-rata

No.	Kelas Jalan	Muatan Sumbu Terberat	Dimensi Kendaraan Bermotor (mm)	Standard Rencana LHR per jalur (SMP)
1	Kelas I	10 ton	Lebar = ≤ 2500; Panjang = ≤ 18000; Tinggi maks = 4200	Tipe 1 = 15.000 Tipe 2 = 13.000
2	Kelas II	8 ton	Lebar = ≤ 2500; Panjang = ≤ 12000; Tinggi maks = 4200	Tipe 1 = 15.000 Tipe 2 = 13.000
3	Kelas III	8 ton	Lebar = ≤ 2100; Panjang = ≤ 9000; Tinggi maks = 3500	Tipe 2 = 12.000
4	Khusus	> 10 ton	Lebar = > 2500; Panjang = > 18000; Tinggi maks = 4200	-

(Sumber: Undang-undang RI No. 22, 2009)

Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA) atau disebut juga beban sumbu standar kumulatif merupakan jumlah kumulatif beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana, ditentukan dengan persamaan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013):

$$ESA = (\sum_{\text{jenis kendaraan}} LHRT \times VDF \times \text{Faktor Distribusi}) \dots (2.1)$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

ESA = lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) untuk 1 (satu) hari.

LHRT = lintas harian rata - rata tahunan untuk jenis kendaraan

CESA = kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana

R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

Perkiraan lalu lintas untuk jalan dengan lalu lintas rendah dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Perkiraan Lalu Lintas untuk Jalan dengan Lalu Lintas Rendah

Deskripsi Jalan	LHRT dua arah (SMP)	Kendaraan Berat (% dari lalu lintas)	Umur Rencana (th)	Pertumbuhan Lalu lintas (%)	Kelompok Sumbu
Jalan desa minor dengan akses kendaraan berat terbatas	30	3	20	1	2
Jalan kecil 2 arah	90	3	20	1	2
Jalan lokal	500	6	20	1	2,1
Akses lokal daerah industri atau quarry	500	8	20	3,5	2,3
Jalan kolektor	2000	7	20	3,5	2,2

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013)

9. Aksesibilitas dan sosiogeografi

Aksesibilitas merupakan konsep yang menggabungkan sistem pengaturan dari tata guna lahan ke dalam sistem jaringan transportasi yang menghubungkannya, dimana ukuran dari kenyamanan dan kemudahan tentang bagaimana cara lokasi dari tata guna lahan tersebut dapat berinteraksi satu dengan yang lain atau dapat dikatakan mudah atau sulitnya lokasi tersebut dapat dicapai dengan menggunakan sistem jaringan transportasi (Tinghe, 2000). Besaran parameter kinerja standar pelayanan minimum untuk indeks aksesibilitas terbagi atas tingkat pelayanan jalan yang didasarkan pada kepadatan penduduk (jiwa/km²), seperti pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Besaran Parameter Kinerja Standar Pelayanan Minimum untuk Indeks Aksesibilitas

Kepadatan Penduduk (jiwa/km ²)		Nilai Indeks Aksesibilitas
Katagori	Besaran	
Sangat Tinggi	> 5000	> 5,00
Tinggi	> 1000	> 1,50
Sedang	> 500	> 0,50
Rendah	> 100	> 0,15
Sangat Rendah	< 100	> 0,05

(Sumber : Kepmenkimpraswil No. 534/KPTS/M/2001)

Dalam standar pelayanan minimum aspek aksesibilitas dihitung berdasarkan indikator tersedianya jaringan jalan yang mudah diakses oleh masyarakat. Maka nilai indeks aksesibilitas dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Nilai Indeks Aksesibilitas} = \frac{\text{panjang jalan}}{\text{luas wilayah (km/km}^2\text{)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Menurut Johnston and Sidaway (2004), geografi sosial (sosiogeografi) merupakan ilmu yang mengkaji manusia dan semua aktivitasnya di muka bumi dengan akal budinya dalam melakukan interaksi dengan lingkungannya dimana keseluruhan analisis dari interaksi, integrasi, interelasi, dan interdependensi antar fenomena dengan analisis keruangan, kewilayahan, dan kelingkungan. Tiga konsep dalam geografi sosial, meliputi : (1) ruang, seluruh permukaan bumi yang merupakan tempat hidup bagi mahluk hidup dan lapisan biosfer; (2) proses, tindakan yang dilakukan manusia dalam beradaptasi dan pemanfaatan lingkungan baik secara mikro maupun makro; (3) pola, proses yang terjadi berulang-ulang dalam suatu pola kehidupan dan penghidupan antara satu tempat dan tempat yang lainnya yang mencerminkan perbedaan sifat daerah dan penduduknya sehingga mewujudkan bentang sosial yang berbeda.

Begitu pula dengan keberadaan jalan yang timbul akibat dari proses terhadap pola yang terjadi terhadap ruang. Menurut Saidi (2010), pada awalnya secara fisik jalan dibangun untuk memenuhi kebutuhan fisik manusia, misalnya untuk membuka wilayah baru ataupun untuk mendekatkan jarak antara dua wilayah, namun seiring dengan perkembangannya penciptaan jalan berbanding lurus dengan model-model transportasi yang melintasinya. Kemudian lahirlah kendaraan roda dua, roda tiga, dan seterusnya. Tentunya ini berhubungan secara timbal balik dengan aktivitas dari desai jalan dan berkaitan pula dengan teknologi, serta ilmu pengetahuan secara luas, dan juga berhubungan dengan perilaku manusia yang beragam dan kompleks. Sehingga dalam mendesain jalan tentunya harus sesuai dengan kebutuhan dari prasarana yang akan digunakan.

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan trase jalan pada lahan rawa adalah kondisi kedalaman tanah gambut yang ada untuk menghindarkan jalan dibangun diatas tanah gambut sangat dalam (kubah gambut). Lahan gambut merupakan tipe ekosistem yang terbentuk dari kondisi anaerob di rawa pasang surut ataupun di rawa lebak, serta mengandung bahan organik lebih dari 50% dari hasil jumlah (akumulasi) sisa tanaman. Lahan gambut ini memberikan pelayanan-pelayanan ekologi, ekonomi, dan sosial serta memiliki potensi untuk dapat dikembangkan sebagai suatu sistem yang mendukung kehidupan (*life supporting system*) (Galbraith *et al*, 2005).

Alih fungsi hutan rawa gambut yang dirubah menjadi lahan pertanian meliputi kegiatan: (1) pembuatan drainase yang bertujuan untuk mengurangi kejenuhan air dan untuk mengendalikan tinggi muka air tanah (*ground water table*); (2) pembukaan lahan (*land clearing*) dengan melakukan penebangan pohon dan menebas semak, melakukan pembakaran untuk menghilangkan vegetasi sisa penebangan dan untuk menghasilkan abu yang dapat meningkatkan

kesuburan tanah, serta persiapan lahan (Page *et al.*, 2009). Namun kegiatan reklamasi dengan membangun drainase akan menyebabkan kehilangan air tanah secara cepat dan dapat menjadikan muka air tanah (*ground water table*) bertambah dalam pada tanah gambut. Drainase yang dalam akan mengakibatkan menurunnya muka air tanah, sehingga dapat menyebabkan: (1) perubahan ekosistem alami dari anaerobik menjadi aerobik; (2) pada musim kemarau akan terjadi pengeringan yang berlebihan dengan gejala kering tak balik akibatnya tidak dapat menyerap nutrisi dan menahan air; (3) terjadi pemadatan pada tanah gambut; (4) terjadinya *subsidence* (Hooijer *et al.*, 2010).

BAB III

DATA SPASIAL DALAM GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

A. Pengertian data spasial dan GIS

Pendekatan spasial disebut juga dengan pendekatan keruangan yang banyak digunakan pada saat ini dalam berbagai aspek kegiatan. Model spasial memiliki dua syarat: pertama memiliki variasi dalam konteks ruang yang dimanipulasi oleh model yang dibangun, kedua hasil dari model yang dibangun akan menentukan lokasi dari objek yang dimanipulasi. Sehingga model spasial adalah model dari suatu data yang memiliki informasi spasial dan informasi spasial itu merupakan fokus utama dari model yang dibangun (Longley and Goodchild, 2005).

Geographic Information System (GIS) merupakan sistem informasi yang menggabungkan antara data tekstual (atribut) dengan data grafis (spasial) yang dihubungkan secara geografis di bumi, disamping menggabungkan data GIS ini juga dapat mengatur dan menganalisis data yang hasilnya dapat dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan yang berhubungan dengan masalah keruangan (As-syakur, 2009). GIS dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, serta menganalisis objek yang dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang akan digunakan, sistem ini dapat mengintegrasikan data-data spasial, data atribut, dan properties penting lainnya (Prahasta, 2006). Empat komponen utama dalam menyajikan informasi keruangan beserta atributnya terdiri dari: komponen *input* data, komponen pengelolaan (manajemen) data, komponen manipulasi dan analisis data, serta komponen *output* (Lukman, 2002).

1. Komponen *input* data

Input data adalah proses pemasukan data pada komputer dari sumber data, yang dapat berupa peta analog, data digital, citra satelit, foto udara, hasil survey lapangan dalam bentuk koordinat titik (x, y, z). Data-data spasial dan atribut baik dalam bentuk data analog maupun data digital

tersebut dikonversikan kedalam format yang diminta oleh perangkat lunak sehingga dihasilkan basis data (*database*). Basis data merupakan pengorganisasian data dalam komputer sehingga dapat dilakukan pengembangan, pembaruan, pemanggilan, dan dapat digunakan oleh pengguna (Anom, 2003).

a. Sumber perolehan data

Menurut Puntodewo (2003), beberapa jenis sumber data spasial yang dapat digunakan dalam GIS adalah:

1) Peta analog

Peta analog merupakan peta dalam bentuk cetakan seperti peta rupa bumi yang diterbitkan Bakosurtanal. Umumnya peta analog dibuat dengan teknik kartografi, sehingga sudah memiliki referensi spasial seperti koordinat, skala, arah mata angin, dan sebagainya. Namun koordinat pada peta analog harus dikoreksi kedalam koordinat digital dan harus dikonversikan menjadi peta digital dengan berbagai cara misalnya digitasi.

Digitasi adalah pengambilan data dengan cara menelusuri peta yang ada dan menggunakan meja gambar yang disebut *digitizer table* atau mengikuti gambar hasil scanner/penyiaman di layar monitor yang disebut dengan *on screen digitizer*.

2) Data sistem penginderaan jauh

Data pengindraan jauh merupakan sumber data yang terpenting dalam GIS karena ketersediaannya secara berkala. Berbagai macam satelit di ruang angkasa memiliki spesifikasinya masing-masing untuk beragam tujuan pemakaian. Data dari sistem penginderaan jauh ini biasanya direpresentasikan dalam format raster seperti foto udara dan citra satelit.

3) Data hasil pengukuran lapangan. Hasil-hasil dari pengukuran lapangan dapat berupa data batas administrasi, batas kepemilikan lahan, batas hak perusahaan hutan, dan lain sebagainya, yang

dihasilkan berdasarkan teknik perhitungan tersendiri. Data-data hasil pengukuran umumnya akan digunakan sebagai sumber data atribut.

- 4) Data GPS. Teknologi GPS juga merupakan sumber data bagi GIS. Keakuratan pengukuran GPS semakin tinggi dengan dicabutnya *Selective Availability* (SA) oleh Amerika Serikat (AS). Data posisi GPS juga dapat digunakan sebagai data dasar koordinat bumi, dan disamping itu hasil traning area dari GPS juga dapat digunakan sebagai data penunjang dalam pembuatan peta.

b. Interpretasi citra satelit

Penafsiran citra satelit merupakan proses lanjut yang dilakukan pada citra satelit agar objek dapat dikenali. Penafsiran citra penginderaan jauh atau interpretasi citra merupakan pengenalan objek dan elemen yang digambarkan pada citra penginderaan jauh dan penyajiannya dalam bentuk peta tematik (Sutanto, 1999). Penafsiran citra penginderaan jauh dapat dilakukan dengan cara visual/manual dan digital (Purwadhi dan Hardiyanti, 2001).

Penafsiran citra manual/visual didefinisikan sebagai kegiatan visual untuk mengkaji citra yang menggambarkan keadaan muka bumi yang ada dalam citra dengan tujuan identifikasi objek serta menilai maknanya. Teknik penafsiran dari citra penginderaan jauh dilakukan dengan menggunakan komponen penafsiran meliputi: data acuan, unsur diagnostik citra atau kunci interpretasi citra, metode pengkajian, serta penerapan konsep multi spektral (Sutanto, 1999).

Prinsip utama dalam melakukan interpretasi citra adalah dengan penafsiran umum terhadap objek atau gejala alam melalui: (i) rona atau warna (*tone/ color*), rona merupakan tingkat kecerahan atau kegelapan objek pada citra sedangkan warna merupakan wujud yang tampak

oleh mata; (ii) bentuk (*shape*) merupakan variabel kualitatif yang memberikan kerangka suatu objek, kadangkala objek dapat dikenali hanya berdasarkan bentuknya, seperti lingkaran, segiempat, dan memanjang; (iii) ukuran (*size*) merupakan atribut objek berupa luas, tinggi, jarak, kemiringan lereng, dan volume; (iv) kekasaran (*texture*) merupakan frekuensi pengulangan rona atau perubahan rona pada citra terhadap objek yang terlalu kecil untuk dapat dibedakan secara individual; (v) pola (*pattern*) merupakan hubungan susunan spasial pada objek, pola ini juga merupakan ciri yang menandai objek bentukan manusia atau alamiah; (vi) bayangan (*shadow*) merupakan aspek yang menyembunyikan detail objek yang ada pada daerah gelap; (vii) situs (*site*) merupakan letak satu objek terhadap objek yang lain disekitarnya; (viii) asosiasi (*association*) merupakan keterikatan antar objek lainnya (Lillesand and Kiefer, 2008). Semua elemen tersebut digunakan oleh pakar interpretasi citra yang dapat memperkirakan dengan cepat dan akurat. Sutanto (1999) mengemukakan bahwa interpretasi citra memiliki dua kegiatan utama yaitu pertama penyadapan data dari citra berupa pengenalan objek yang ada pada citra dan penyajiannya ke dalam bentuk tabel, grafik, serta peta tematik. Kedua yaitu penggunaan data untuk tujuan tertentu.

Pantulan nilai spektral akan tergantung pada karakteristik objek yang berinteraksi. Tenaga elektromagnetik yang diterima sensor sebagian dipantulkan, diserap, dan diteruskan.

Menurut Kusumowidagdo (2007), terdapat 3 objek utama dipermukaan bumi, yaitu:

- 1) Vegetasi, di mana pantulan nilai spektral dari vegetasi dipengaruhi oleh kandungan yang ada pada daun, material organik, air, dan karakteristik struktural daun (luas dan bentuk daun) (Huete and Glenn, 2011).

Menurut Mather (2004), karakteristik pantulan spektral ini dibedakan menjadi: (i) spektrum tampak (0,4 - 0,7 μm) yang memiliki nilai pantulan relatif rendah pada spektrum *red* dan *blue* karena vegetasi menyerap banyak energi pada spektrum tersebut, sedangkan puncak minor pada spektrum hijau. Jumlah energi yang diserap mencapai 70 % - 90 % dari total energi yang datang pada permukaan daun. Pantulan spektral pada rentang nilai 0,65 hingga 0,76 μm , dan (ii) spektrum infra merah dekat (0,7 - 1,1 μm), memiliki pantulan spektral yang tinggi antara 0,76 - 1,35 μm , pada rentang 1,35 - 2,5 μm pantulan spektral dipengaruhi struktur internal daun tergantung juga pada banyak sedikitnya kandungan air pada lembar daun tersebut.

- 2) Tanah, memiliki hasil pantulan spektral yang dominan dan sedikit yang diserap. Nilai pantulan spektral ini dipengaruhi oleh kelembaban tanah, ukuran butiran, kekasaran permukaan tanah, kandungan material organik, dan kandungan oksida besi. Tanah kering memiliki nilai pantulan lebih cerah dibandingkan dengan tanah lembab karena hampir semua energi yang diterima tanah akan langsung dipantulkan ke sensor dan semakin besar gelombang yang dipancarkan maka semakin besar pantulan spektralnya. Kandungan oksida besi juga memberikan pengaruh terhadap reflektivitas tanah berupa serapan pada rentangan 0.85 hingga 0.93 μm (Lillesand and Kiefer, 2008). Nilai reflektan pada tanah ditentukan oleh beberapa faktor yang memengaruhinya diantaranya kelembaban tanah, tekstur tanah (komposisi pasir, lumpur, tanah liat, dan lain sebagainya), kekasaran permukaan, adanya kandungan oksida besi, dan kandungan material organik (Khadse, 2012).

- 3) Air, pantulan spektral pada air mempunyai panjang gelombang yang bervariasi berdasarkan pada interaksi materi energi yang ada pada tempat tersebut. Pada objek air jernih terhadap air yang telah mengalami penyulingan memiliki penyerapan energi yang sangat sedikit pada spektrum cahaya tampak 0,6 μm . Pancaran gelombang yang memiliki panjang gelombang yang pendek akan terlihat sangat tinggi pada objek air jernih. Pemancaran gelombang yang tinggi dan penyerapan yang kecil akan menunjukkan bahwa kenampakan air pada perairan dangkal.

c. Teknik analisis interpretasi citra

Teknik yang dapat dilakukan dalam interpretasi citra yaitu dengan menggunakan beberapa metode diantaranya:

1) *Normalized Different Vegetation Index* (NDVI)

Normalized Different Vegetation Index (NDVI) merupakan kombinasi yang umum dari band spektral pada penginderaan jauh dalam memperkirakan tutupan vegetasi. NDVI merupakan gambar sensor optic berbasis satelit yang memungkinkan untuk pemantauan pengembangan vegetasi hijau dipermukaan tanah yang luas. NDVI juga merupakan suatu indikator kegiatan vegetasi hijau yang juga berkorelasi dengan beberapa karakteristik biofisik vegetasi seperti indeks luas daun, tutupan hijau, biomassa hijau dan kandungan klorofil (Gandhi *et al*, 2015; Seboka, 2016).

Refleksi, penyerapan, dan transmisi dari tutupan vegetasi tergantung dari kandungan klorofil, struktur fisiologis, serta kadar air dan reflektansi vegetasi dengan jenis tanah, sudut matahari dan penginderaan, dan komponen dari tutupan vegetasi dan non vegetasi (Campbell and Wynne, 2011). Selanjutnya menurut Campbell and Wynne (2011),

bahwa air memiliki reflektansi spektral rendah (< 10 %) pada kisaran (0,4 - 0,7 μm). Panjang gelombang lebih panjang dari 0,75 μm , menyerap semua energi yang masuk. Vegetasi pada dasarnya memiliki 3 lembah reflektansi, di spektral red dengan panjang gelombang (0,65 μm) disebabkan oleh penyerapan energi yang tinggi oleh klorofil pada daun. Pada panjang gelombang (1,45 - 1,55 μm) dan (1,90 - 1,95 μm) disebabkan penyerapan energi air pada daun. Refleksi dari tanah kering lebih kurang kurva datar. Ketika basah maka reflektansi spektral berkurang karena penyerapan air. Penyerapan daun tanaman red memungkinkan proses fotosintesis dengan jumlah 70 - 90 % dari radiasi yang masuk. NDVI menggunakan panjang gelombang *red* dan infra merah (NIR), seperti pada persamaan :

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}) \dots\dots\dots (3.1)$$

Nilai indeks mempunyai rentang -1,0 hingga 1,0. Nilai yang mewakili vegetasi pada rentang 0,1 hingga 0,7, diatas nilai ini menggambarkan tingkat kesehatan tutupan vegetasi. Nilai yang lebih besar menandakan perbedaan besar antara radiasi gelombang infra merah dan *near* infra merah yang direkam oleh kondisi yang berhubungan dengan vegetasi yang sangat aktif berfotosintesis. Nilai NDVI yang rendah artinya terdapat sedikit perbedaan antara gelombang *red* dengan NIR, hal ini terjadi karena sedikitnya aktivitas fotosintesis atau sedikitnya reflektansi cahaya NIR, misalnya air merefleksikan sangat sedikit cahaya NIR.

Nilai NDVI untuk kerapatan vegetasi dengan rentang nilai $0,43 \leq \text{NDVI} \leq 1,00$ = vegetasi lebat; $0,33 \leq \text{NDVI} \leq 0,42$ untuk kerapatan sedang, dan $-1,00 \leq \text{NDVI} \leq 0,32$ untuk kerapatan jarang (Departemen Kehutanan, 2005).

2) *Normalized Different Soil Index (NDSI)*

Menurut Deng *et al.*, (2015), pengembangan dari sampel nilai spektral dari vegetasi dan tanah dilakukan untuk membedakan indeks dinormalisasi untuk peningkatan informasi tanah. Suatu perbedaan indeks normalisasi biasanya diterapkan untuk menyoroti perbedaan antara respon spektral terkuat dan terlemah dari tutupan lahan.

Sebagai contoh NDVI yang dikembangkan adalah untuk menyoroti perbedaan respon spektral vegetasi di antara band *red* dan *near* infra merah, namun respon nilai spektral lemah untuk mendapatkan karakteristik yang kuat untuk tanah dikarenakan komposisi fisik dan kimia yang kompleks serta perbedaan wilayah. Oleh karena itu telah dikembangkan kombinasi band dalam membangun perbedaan indeks dinormalisasi untuk tanah melalui reflektansi spektral sampel tanah.

Berdasarkan hasil penelitian Deng *et al.*, (2015), dengan membandingkan nilai rata-rata reflektansi 4, 5, dan 7 cenderung lebih tinggi dibandingkan band 1, 2, dan 3, sehingga dibangun indeks normalisasi dengan memilih salah satu band dengan reflektansi yang tinggi dan lainnya dengan reflektansi yang lebih rendah, dan diantara semua kemungkinan kombinasi, perbedaan normalisasi band 5 dan 4, band 7 dan 1, dan band 7 dan 2. Didapatkan bahwa band 7 dan 2 adalah kombinasi yang paling tepat dalam meningkatkan informasi tanah dan merupakan model terbaik dalam menghitung persamaan NDSI, seperti pada persamaan berikut:

$$\text{NDSI} = \frac{(\text{SWIR} - \text{NIR})}{(\text{SWIR} + \text{NIR})} \dots\dots\dots(3.2)$$

3) *Normalized Different Water Index (NDWI)*

NDWI adalah penginderaan jauh berdasarkan indikator sensitifitas terhadap perubahan kadar air daun (Haikal, 2014). Wiweka, et al, (2014), telah melakukan penelitian menggunakan beberapa persamaan *Normalized Different Water Index (NDWI)* dalam pengembangan model identifikasi daerah tergenang (*Inundated Area*) dengan menggunakan data Landsat 8, yaitu dengan mengkombinasikan band 3 dan band 5 dalam mendeteksi genangan yang terjadi. Kanal-kanal *visible* pada Landsat 8 (band 1 - 4 OLI) pada saat banjir akan terjadi peningkatan nilai reflektansi, sebaliknya untuk kanal infra merah (NIR, SWIR, MIR) akan mengalami penurunan. Wiweka, et al., (2014), telah melakukan penelitian menggunakan beberapa persamaan *Normalized Different Water Index (NDWI)* dalam pengembangan model identifikasi daerah tergenang (*Inundated Area*) dengan menggunakan data Landsat 8, yaitu dengan mengkombinasikan band 3 dan band 5 dalam mendeteksi genangan yang terjadi. Modifikasi persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Xu, 2006):

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \dots\dots\dots (3.3)$$

Pada beberapa persamaan NDWI lain dapat pula ditentukan dari saluran *Near Infra Red (NIR)* dan *Short Wave Infra merah (SWIR)* yang merupakan reflektansi pencerminan perubahan kadar air vegetasi dan struktur pada tutupan vegetasi, sementara reflektansi NIR dipengaruhi oleh struktur didalam daun dan daun kering yang tidak memiliki kandungan air. Kombinasi dari NIR dan SWIR akan

menghilangkan variasi yang disebabkan oleh struktur didalam daun dan daun kering serta akan meningkatkan akurasi dalam pengambilan kadar air dari vegetasi (Ceccato *et al*, 2001). Jumlah air yang tersedia dalam struktur daun sebagian besar akan mengontrol reflektansi spektral dalam interval SWIR dari spektral elektromagnetik dan reflektansi SWIR berhubungan negatif dengan kadar air daun (Dong *et al*, 2003).

2. Komponen pengelolaan manajemen data

GIS dapat digunakan sebagai *database* yang memungkinkan menampilkan data-data tematik, tergantung pada model data yang disimpan dalam *geodatabase*, maka seseorang dapat membedakan pendekatan vektor dan raster. Dalam model vektor setiap objek geografis ditampilkan sebagai garis, titik, atau kombinasi keduanya polygon, sedangkan model raster dibangun dari distribusi secara teratur grid spasial yang direferensikan ke sel. Sel persegi berukuran disebut juga pixel dan tingkat akurasi data raster akan ditentukan oleh ukuran pixel yang digunakan dalam pengumpulan data. Raster tidak seperti vektor, tata ruang fitur integritas tidak dipertahankan, hal ini dikarenakan salah satu objek dapat terdiri dari banyak sel yang berdekatan, sehingga raster lebih cocok digunakan untuk fenomena yang terus menerus (Belka, 2005).

Perbedaan dari karakteristik struktur data vektor dan raster telah mendorong berbagai penelitian untuk digunakan dalam analisis kesesuaian lahan, selain itu Ebaid and El Falky (2008) melakukan penelitian kesesuaian lahan menggunakan kombinasi vektor dan raster dengan menggunakan salah satu ekstension yaitu spasial analisis untuk menentukan kesesuaian lahan pertanian. Basnet, *et al* (2001) menggunakan struktur data vektor dan raster untuk menganalisis kesesuaian lahan. Hasil pustaka menunjukkan bahwa tidak ada batas yang tegas antara kedua jenis model data raster dan vektor,

sehingga keduanya dapat digunakan secara sendiri-sendiri atau secara bersamaan melalui proses perubahan dari raster ke vektor (*vektorization*) ataupun dari vektor ke raster (*rasterization*). Penggunaan data raster banyak digunakan jika data lahan bersifat kontinyu (curah hujan, kelerengan, sifat tanah, ketinggian, sifat air) sedangkan data yang bersifat tegas (vegetasi atau penggunaan lahan) banyak menggunakan vektor (Belka, 2005; Wijayanto, 2012).

Menurut Burrough (2009), data vektor baik digunakan untuk menggambarkan gejala yang memiliki sifat jelas, sedangkan data raster baik untuk digunakan untuk merepresentasikan gejala yang tidak memiliki batas yang tegas di lapangan/ bersifat gradual. Kelebihan dan kelemahan dari data raster dan data vektor dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Kelebihan dan Kelemahan Struktur data Raster dan Vektor

Kelebihan Raster	Kelebihan Vektor
<ul style="list-style-type: none"> - Mudah mendapatkan data, terutama dari citra - Mudah untuk dilakukan operasi - Penyimpanan yang efisien untuk data yang padat dan heterogen 	<ul style="list-style-type: none"> - Resolusi tinggi - Baik untuk menunjukkan batas-batas - Representatif eksplisit dari kenampakan-kenampakan linier
Kekurangan Raster	Kekurangan Vektor
<ul style="list-style-type: none"> - Resolusi spasial harus ditentukan - Memerlukan tempat penyimpanan yang besar - Tidak efisien menggambarkan data yang tersebar dan heterogen - Berhubungan dengan kenampakan linier 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipulasi data memerlukan algoritma yang kompleks - Pemrosesan memerlukan banyak waktu di dalam komputer - Tidak efisien untuk data yang padat atau heterogen

(Sumber: Burrough, 2009)

Malczewski (2004), menyatakan bahwa model data raster lebih banyak disukai dalam penggunaan aplikasi kesesuaian lahan dikarenakan bersifat area-oriented, yang berarti isi area lebih penting daripada batas area sehingga teknik analisis raster dapat dilakukan dengan mudah dan jika dalam aplikasi kesesuaian lahan menggunakan GIS terdapat dua jenis data, sebaiknya representasi vektor terlebih dahulu ke dalam model data raster dan banyak perangkat lunak GIS yang bisa melakukan perubahan tersebut. Analisis spasial

merupakan inti dalam penggunaan GIS karena analisis spasial merupakan kumpulan dari metode dan teknik yang digunakan untuk merubah data yang ada menjadi informasi sehingga dapat berguna bagi pengguna. Penyajian teknik analisis spasial dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu: (i) teknik analisis spasial satu layer, merupakan teknik analisis spasial yang sering digunakan pada raster satu layer adalah surface modelling, network analysis, filtering, dan interpolasi spasial, meliputi buffering, klasifikasi, reklasifikasi, dan statistik layer. Teknik ini diterapkan untuk merubah data yang ada pada satu layer menjadi informasi dan umumnya diterapkan untuk struktur data vektor. Teknik klasifikasi dan reklasifikasi merupakan teknik yang sering digunakan pada penelitian kesesuaian lahan (Belka, 2005); (ii) teknik analisis spasial multi layer, pada teknik ini menggabungkan dua atau lebih layer untuk menghasilkan layer yang baru sebagai hasil kombinasi dari layer-layer yang telah digabungkan tersebut. Dalam penggabungan layer dapat digunakan teknik analisis: intersect, clip, union, merge, dan dissolve. Teknik ini biasa disebut dengan teknik tumpang tindih (overlay) yang paling sering menggunakan aplikasi vektor, sedangkan pada raster teknik analisis spasial multi layer menggunakan aljabar matematik dengan menggunakan operasi matematik sederhana berbagai layer untuk mendapatkan layer baru melalui proses penambahan, pembagian, perkalian, dan pengurangan. Teknik pemberian skor dan pembobotan juga masuk pada kategori analisis spasial multi layer (Wijayanto, 2012).

3. Analisis spasial dan output data hasil analisis

Menurut Sullivan and David (2003), beberapa pengertian tentang analisis spasial adalah: (i) spatial data manipulation, merupakan analisis spasial dalam terminologi yang dipergunakan oleh perangkat lunak GIS; (ii) spatial statistical analysis, penggunaan metode statistik dalam memeriksa data spasial untuk menentukan data spasial

sesuai atau tidak terhadap model statistik; (iii) spatial modelling, yaitu dengan membangun konstruksi model untuk memprediksi hasil secara spasial.

Keluaran data merupakan penyajian data dasar, data hasil pengolahan data dari model menjadi bentuk spasial dan atribut. Output data hasil analisis yang dihasilkan dari penelitian ini berupa: (i) klasifikasi nilai indeks secara spasial yang menjelaskan parameter tekstur tanah, nilai CBR, kedalaman gambut, topografi, tutupan lahan, dan hidrologi; (ii) nilai pembobotan yang disajikan secara spasial berikut atribut data yang berhubungan dengan analisis pembobotan; (iii) kesesuaian lahan penentuan trase jalan secara spasial beserta atribut yang menjelaskan tentang ukuran luas.

B. Teknik pengolahan data spasial

1. Penilaian tingkat kepentingan menggunakan metode Analisis Hirarki Proses (AHP)

Metode lain yang dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan secara rasional dengan melakukan penseleksian terbaik terhadap alternatif-alternatif yang akan dievaluasi secara multikriteria adalah AHP (Saaty, 2008). Pada metode AHP, hirarki yang disusun dari atas ke bawah, mulai dari tujuan – kriteria – alternatif. Jadi dalam pengambilan keputusan harus diketahui terlebih dahulu tujuannya. Penentuan prioritas dilakukan dengan cara menghitung bobot relatif antar kriteria yang ditinjau sehingga didapatkan bobot kepentingan dari setiap kriteria untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan.

Dalam menilai kepentingan relatif, maka dua elemen berlaku aksioma reciprocal, dimana jika elemen i bernilai 3 kali lebih penting dibanding elemen j , maka elemen j harus $1/3$ kali penting dibanding elemen i . Dua elemen yang berbeda bisa saja dinilai sama penting, dimana angka yang sama akan menghasilkan angka 1, berarti sama penting. Jika ada n elemen, maka akan didapatkan matrik pairwise comparison dengan ukuran $n \times n$.

Dalam AHP logical consistency menunjukkan konsisten tidaknya suatu penilaian. Rasio konsistensi (consistency ratio) dapat dihitung dengan persamaan:

$$CR = CI / RI \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk mendapatkan nilai Consistency Index (CI), digunakan persamaan:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

- λ_{max} = nilai eigen vektor terbesar dari matrik perbandingan berpasangan
- n = ukuran matrik

Apabila nilai CR lebih besar dari 10 % maka penilaian perbandingan berpasangan harus diulang. Nilai Random Index (RI) sama dengan (RI/orde matriks) adalah (1/0); (2/0); (3/0,58); (4/0,9); (5/1,12); (6/1,24); (7/1,32); (8/1,41); (9/1,45); (10/1,49) (Saaty, 2008). Untuk skala penilaian AHP dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Skala Penilaian Antar Kriteria

Tingkat Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Sama penting	Dua Kriteria (i dan j) memiliki tingkat kepentingan terhadap efektifitas pemenuhan tujuan yang sama
3	Relatif lebih penting	Kriteria i sedikit lebih penting dibandingkan kriteria j dalam memenuhi tujuan
5	Lebih penting	Kriteria i memiliki tingkat kepentingan cukup besar dibandingkan kriteria J dalam memenuhi tujuan
7	Sangat penting	Kriteria i memiliki tingkat kepentingan yang sangat besar dibandingkan kriteria j dalam memenuhi tujuan
9	Jauh lebih penting	Kriteria i memiliki tingkat kepentingan yang jauh lebih besar dibandingkan kriteria j dalam memenuhi tujuan
2,4,6,8	Nilai antara	Penilaian di antara nilai relatif lainnya

(Sumber: Saaty, 2008)

2. Pembobotan kriteria

Penetapan bobot kriteria ditentukan dalam proses pengambilan keputusan yang menghasilkan nilai perbandingan untuk setiap perta kriteria, yang mencerminkan prefensi relatif satu kriteria dengan kriteria lainnya. Vektor prefensi kriteria normaliasi, dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_j) \text{ dan } 0 \leq w_j \leq 1 \dots\dots\dots (3.6)$$

Normalisasi menyatakan bahwa jumlah angka hingga 100 atau 1, tergantung pada apakah angka tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase atau rasio. Cara lain untuk mengekspresikan prefensi yaitu dengan kriteria skor, yang memiliki bentuk nilai maksimum dan minimum atau tingkat aspirasi yang diinginkan (Jankowski and Nyerges, 2001). Pendekatan lain yang juga digunakan adalah dengan merumuskan kendala lokasi.

Untuk dapat memungkinkan perbandingan dalam evaluasi multikriteria maka peta kriteria harus distandarisasi. Jika peta diterministik, dimana setiap alternatif berkaitan dengan nilai tunggal maka metode transformasi skala linier yang paling sering digunakan. Prosedur skor maksimum dan prosedur skor range merupakan metode linear yang sering digunakan (Malczewski, 1999).

Prosedur skor maksimum adalah salah satu metode skala transformation, formula sederhana yang membagi skor pada masing-masing baris dengan skor maksimum (Malczewski, 1999).

$$x'_{ij} = x_{ij} / x_{jmaks} \dots\dots\dots (3.7)$$

dimana :

- x'_{ij} = skor standar untuk objek ke i (lokasi) dan j (atribut)
- x_{ij} = skor baku dari objek
- x_{jmaks} = skor maksimum dari j (atribut)

Skor standar berkisar dari 0 sampai 1, kriteria manfaat adalah kriteria yang harus dimaksimalkan, namun jika kriteria harus diminimalkan, maka rumus yang digunakan :

$$x'_{ij} = 1 - x_{ij} / x_{j\text{maks}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keuntungan dari transformasi linear adalah kecenderungan nilai proporsional dan relatif besarnya sama, namun kelemahannya adalah bahwa ketika skor lebih besar dari nol, maka skor standar minimal tidak akan sama dengan nol. Hal ini dapat membuat interpretasi alternatif menjadi sulit (Malczewski, 1999). Prosedur skor range dihitung dengan rumus:

untuk kriteria manfaat:

$$x'_{ij} = x_{ij} - x_{j\text{min}} / x_{j\text{maks}} - x_{j\text{min}} \dots\dots\dots (3.9)$$

untuk kriteria biaya:

$$x'_{ij} = x_{j\text{maks}} - x_{ij} / x_{j\text{maks}} - x_{j\text{min}} \dots\dots\dots (3.10)$$

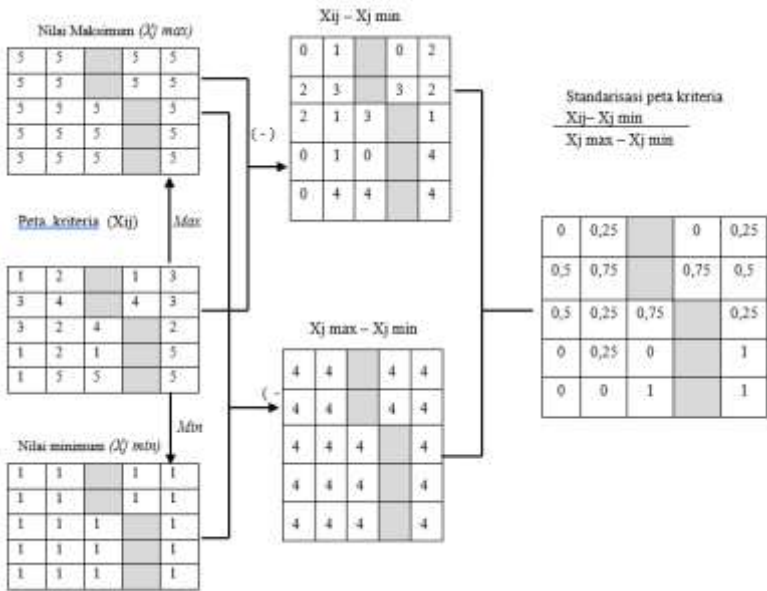
dimana:

$x_{j\text{min}}$ = minimum skor untuk atribut j

$x_{j\text{maks}}$ = maksimum skor untuk atribut j

$x_{ij} - x_{j\text{min}} / x_{j\text{maks}} - x_{j\text{min}}$ = range (dari 0 sampai 1)
 untuk 0 terbaik dan 1 terburuk.

Prosedur standarisasi dapat didefinisikan dengan mudah untuk disesuaikan dengan model pada data GIS berbasis raster. Diagram prosedur standarisasi peta kriteria seperti contoh pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Diagram Prosedur Standarisasi Peta Kriteria

Beberapa metode yang dapat digunakan dalam analisis spasial multikriteria, yaitu: (1) Index overlay; (2) Algebraic combination; (3) Bayesian Probability; (4) Weighted linear factor/ Analytical Hierarchy Process (AHP); (5) Fuzzy logic dan Vektorial fuzzy, dll. Pemilihan dari metode-metode ini tergantung dari tingkat kompleksitas data yang tersedia (Liu and Mason, 2009).

3. Multi Spatial Criteria Analysis (MSCA)

MSCA merupakan analisis dalam konteks spasial dimana pilihan kriteria, alternatif, dan unsur lainnya mengandung informasi spasial/ keruangan. Langkah yang harus dilakukan setelah proses identifikasi dan persiapan selesai terhadap kriteria yang digunakan, maka dilanjutkan dengan menghitung dan mengkuantifikasi pengaruh dari signifikansi masing-masing kriteria, dan harus diingat bahwa setiap kriteria memiliki pengaruh yang berbeda terhadap hasil. Untuk mengetahui besaran pengaruh kuantitatif dari

setiap kriteria, maka kriteria-kriteria tersebut harus diurutkan berdasarkan tingkatan pengaruhnya, pengurutan ini dapat dilakukan dengan menggunakan pengurutan/ ranking dan pembobotan/ weighting. Yang penting menjadi catatan bahwa perankingan dan pembobotan dalam analisis multikriteria merupakan bagian tersulit sehingga memerlukan proses diskusi, verifikasi dan modifikasi yang berulang untuk mendapatkan hasil yang baik (Liu and Mason, 2009). Prosedur pengurutan dan pembobotan dapat dilakukan dengan metode rating, ranking, dan pairwise comparison, namun ketiga metode ini kurang cocok digunakan pada jumlah kriteria yang besar karena hanya menghasilkan perkiraan relatif dari nilai bobot sehingga semakin besar jumlah kriteria maka semakin kecil nilai kecocokannya.

Penetapan bobot untuk menentukan pentingnya setiap faktor dilakukan dengan menggunakan software GIS dan kemudian nilai-nilai bobot dimasukkan kedalam GIS model. Beberapa teknik yang digunakan untuk menentukan bobot kriteria adalah metode peringkat, metode perbandingan berpasangan, dan metode rating. Biasanya karakteristik dari metode ini adalah menyiratkan penilaian subjektif dari pengambil keputusan tentang kepentingan relatif dari faktor keputusan (Malczewski, 1999).

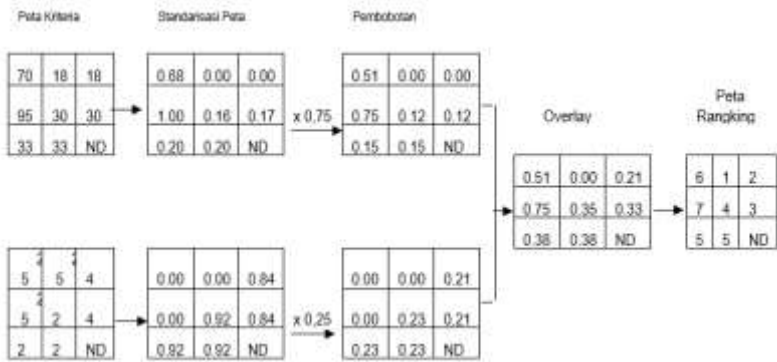
Dasar dari ide metode peringkat adalah untuk mengatur kriteria agar sesuai dengan kepentingannya, dari yang paling penting sampai yang paling tidak penting atau sebaliknya. Selanjutnya untuk menghitung bobot numerik dapat digunakan metode sederhana yaitu rank sum, seperti pada persamaan:

$$w_j = (n - r_j + 1) / \text{SUM} (n - r_k + 1) \dots\dots\dots(3.11)$$

- dimana: w_j = berat normal untuk faktor j
 n = sejumlah faktor yang dipertimbangkan
 r_j = posisi peringkat dari faktor

Metode pembobotan yang lain adalah metode rating, dengan pendekatan alokasi titik dari prosedur estimasi ratio, dimana pembuat keputusan memiliki total poin 100 yang dibutuhkan untuk mendistribusikan antara kriteria keputusan tergantung pada kepentingannya. Faktor yang lebih penting mendapatkan skor yang lebih tinggi dan faktor yang tidak penting. Dalam pendekatan alokasi satu titik memberikan poin kriteria seduai dengan tingkat kepentingannya 0 sampai 100 atau 0 sampai 10 dan poin ini kemudian berubah menjadi bobot dengan penjumlahan hingga 1 (Malczewski, 1999). Langkah berikutnya bertujuan untuk mengumpulkan semua alternatif berdasarkan kinerjanya. Sebuah metode yang menggabungkan nilai alternatif disebut dengan aturan keputusan dan tabel keputusan terdiri dari kriteria evaluasi dan skor dikaitkan untuk mendapatkan alternatif yang layak (Malczewski, 1999).

Selanjutnya dikalikan dengan vektor bobot berdasarkan metode penjumlahan bobot, dan skor bobot alternatif dikumpulkan terhadap masing-masing alternatif. Salah satu metode yang paling sering digunakan adalah Simple Additive Weighting (SAW) method. Hal ini didasarkan pada konsep bobot rata-rata dari semua kriteria keputusan. Bobot alternatif dijumlahkan untuk memberikan skor kinerja keseluruhan untuk setiap alternatif dari skor tertinggi sampai dengan skor terendah. Dalam GIS teknik ini menghasilkan skor peta keseluruhan dan peta rangking final. Metode pembobotan rangking dalam analisis spasial dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Model Analisis Spasial
(Sumber: Belka, 2005)

Untuk menguji tingkat kesalahan dengan melakukan analisis sensitivitas. Dalam evaluasi multi kriteria merupakan prosedur yang bertujuan mendeteksi kemungkinan kesalahan yang terkait dengan ketidakakuratan peta kriteria dan ketidakpastian dalam menilai keputusan pada setiap alternatif. Sensitivitas analisis peringkat yang diperoleh dari alternatif harus dilakukan untuk menilai keakuratan hasil, jika hasilnya tidak banyak dipengaruhi input data maka rekomendasi hasil akhir dapat ditampilkan pada peta. Kesalahan geografis dari hasil ketidakteelitian dan ketidaktepatan data spasial dikarenakan peta menyajikan model yang disederhanakan dari kondisi aslinya, yang diperoleh melalui proses generalisasi dan diskritisasi. Kesalahan juga bisa terjadi karena kesalahan pengukuran atau konseptual (Malczewski, 1999).

Kesalahan dalam pengukuran yaitu pada saat menentukan jarak antara dua titik pada peta dan jarak yang sebenarnya. Untuk mengetahui nilai kesalahan dapat digunakan Root Mean Square (RMS), dengan persamaan sebagai berikut (Malczewski, 1999):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{it})^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (3.12)$$

dimana: $(x_i - x_{it})$ = nilai pengukuran dan sebenarnya

n = jumlah pengukuran

C. Prinsip kerja data spasial dalam rencana trase jalan

1. Interpretasi Citra

Proses interpretasi citra dilakukan untuk mendapatkan peta tematik yang akan digunakan dalam melakukan analisis spasial menggunakan interpretasi citra satelit Landsat 8 yang diunduh dari United States Geological Survey (USGS, <http://landsat.usgs.gov>). Faktor-faktor komponen fisik dan tata guna lahan dalam penentuan trase jalan secara spasial dapat diklasifikasi melalui nilai spektral dari citra satelit. Tahapan yang harus dilakukan dalam dalam pengolahan data citra, yaitu:

a. Tahapan pra pengolahan, meliputi:

- 1) Pemotongan citra yang berfungsi untuk membatasi daerah penelitian serta mengurangi besarnya file citra
- 2) Koreksi geometrik dan radiometrik

Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga sesuai dengan koordinat sistem referensi Indonesia sedangkan koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual citra untuk memperbaiki nilai reflektan yang tidak sesuai dengan nilai pancaran spektral objek yang sebenarnya.

b. Tahapan pengolahan data, meliputi :

- 1) Membuat kombinasi RGB (red, green, and blue), menggunakan panjang gelombang sesuai dengan metode klasifikasi yang akan digunakan, dalam hal ini, metode NDVI (Band NIR dan RED) untuk klasifikasi tutupan lahan, NDWI (Green dan NIR) untuk klasifikasi tubuh air, dan NDSI (SWIR dan NIR) untuk klasifikasi jenis tanah.
- 2) Proses pengolahan citra digital yang digunakan untuk menajamkan, menghaluskan filter, perentangan kontras, serta klasifikasi multispektral pada Citra Landsat 8, dengan menggunakan software ArcGIS 10.6. Transformasi terhadap NDVI (Normallized Different Vegetation Index), NDWI (Normallized

Different Water Index) dan NDSI (Normalized Different Soil Index) menggunakan persamaan masing-masing seperti pada uraian diawal pada persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3.

Dari panjang gelombang ini maka akan diinterpretasi karakteristik parameter-parameter yang digunakan, yaitu :

- a) Parameter yang membedakan tanah dengan bukan tanah pada kombinasi band 6 dan 5 dengan menggunakan metode NDSI, pada kombinasi ini panjang gelombang dapat membedakan kadar air tanah dan vegetasi, menunjukkan peningkatan kadar air tanah dan vegetasi, serta menekankan konten biomassa dan garis pantai. Reflektansi nilai spektral yang terkena objek tanah yang memiliki kandungan oksida besi pada kisaran 0,85 hingga 0,93 μm , tanah dengan kandungan air terjadi pada kisaran 1,35 sampai 1,5 μm dan 1,75 sampai 0,95 μm , serta pantulan spektral diakibatkan tanah lempung akan cenderung turun pada spektral di atas 2 μm . panjang gelombang;
- b) Parameter tutupan lahan pada kombinasi band 4 dan 5 dengan menggunakan metode NDVI, pada kombinasi ini panjang gelombang dapat mendiskriminasikan kadar air tanah dan vegetasi, dapat menekankan konten biomassa dan garis pantai, serta dapat membedakan sudut vegetasi. Reflektansi nilai spektral yang terkena objek vegetasi berwarna hijau memiliki kisaran nilai 0,4 sampai 0,7 μm , semakin tinggi kandungan air pada daun dan semakin lebar daun maka nilai reflektansi akan semakin tinggi yaitu pada rentang nilai 0,76 - 1,35 μm , dan daun yang dipengaruhi struktur internal akan memiliki rentang nilai 1,35 - 2,5 μm ;

- c) Parameter genangan pada kombinasi band 5 dan 3 dengan menggunakan metode NDWI, pada kombinasi ini panjang gelombang dapat menekankan kandungan biomassa dan garis pantai, mendiskripsikan kadar air tanah dan vegetasi, serta membedakan sudut vegetasi. Reflektansi nilai spektral yang terkena objek air akan menyerap semua energi pada gelombang inframerah dekat dan inframerah jauh dengan memberikan kisaran nilai spektral 0,4 sampai 0,7 tergantung dari tingkat kejernihan air dan kedalaman perairan. Air yang jernih akan memiliki panjang gelombang yang pendek sedangkan pemancaran gelombang yang tinggi dan penyerapan kecil akan menunjukkan kenampakan air pada perairan dangkal.
- c. Klasifikasi multispektral bertujuan untuk mengklasifikasikan kenampakan yang homogen. Klasifikasi merupakan proses pengelompokan nilai-nilai spektral ke dalam satu kelas atau katagori berdasarkan kriteria yang digunakan.
- d. Tahapan uji lapangan, pengambilan sampel, uji laboratorium, dan uji ketelitian

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengecek kebenaran dari hasil interpretasi dan klasifikasi citra yang telah dilakukan berdasarkan kondisi di lapangan. Untuk validasi tutupan lahan dan landuse dilakukan langsung dengan mencocokkan kenampakan objek dilapangan dengan hasil interpretasi melalui peninjauan di lapangan sesuai lokasi berdasarkan koordinat yang ditetapkan di atas citra dan dicocokkan di lapangan. Validasi terhadap klasifikasi hasil genangan dilakukan dengan melakukan pengukuran langsung kedalaman genangan dilapangan dan wawancara terhadap penduduk sekitar ataupun berbagai instansi terkait.

2. Penyusunan Peta Tematik

Peta tematik yang dihasilkan terdiri dari :

- a. Peta tematik klasifikasi penggunaan lahan yang menggambarkan objek-objek pemanfaatan lahan berdasarkan hasil klasifikasi menggunakan pendekatan NDVI. Penggunaan lahan dapat diklasifikasi dalam beberapa kelas sesuai dengan kondisi pada wilayah masing-masing.
- b. Peta tematik klasifikasi genangan air yang menggambarkan wilayah genangan atau objek air yang terdapat pada suatu wilayah. Klasifikasi genangan dapat diinterpretasi dengan menggunakan pendekatan NDWI.
- c. Peta tematik klasifikasi tekstur tanah diperoleh dari hasil interpretasi citra berdasarkan hasil klasifikasi reflektan dengan metode NDSI, untuk selanjutnya validasi hasil klasifikasi dilakukan melalui pengujian di laboratorium dengan pengambilan sampel tanah pada beberapa lokasi sesuai dengan hasil klasifikasi.
- d. Peta tematik klasifikasi nilai CBR, dalam mengklasifikasi nilai CBR dapat digunakan pendekatan pada hasil klasifikasi tekstur tanah yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (2013) dan Summers (2000).
- e. Peta tematik klasifikasi gambut dapat diambil dari hasil pengujian di laboratorium dan dibandingkan dengan peta gambut yang ada seperti peta gambut dari Wetland (2003), peta gambut yang ada dikeluarkan masing-masing kabupaten/kota yang dikeluarkan badan Pertanahan ataupun Dinas Pertanian, peta gambut yang ada pada Geoportasl Kebijakan Satu Peta (KSP), ataupun peta gambut yang dikeluarkan Badan Restorasi Gambut.
- f. Peta tematik klasifikasi LHR didapatkan dari hasil survei lalu lintas, selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan batas kecamatan jumlah LHR kendaraan dan potensi wilayah kajian.

- g. Peta tematik klasifikasi tonase disusun berdasarkan batas kecamatan potensi wilayah kajian dan berat total kendaraan (tonase), yang didapatkan dari hasil survei lalu lintas dan data-data sekunder survei lalu lintas yang ada.
- h. Peta tematik klasifikasi aksesibilitas disusun berdasarkan potensi wilayah kecamatan dan indeks aksesibilitas jaringan jalan yang ada pada tiap kecamatan pada wilayah kajian.
- i. Peta tematik klasifikasi sosiogeografi disusun berdasarkan tata letak sungai pada wilayah kajian dan potensinya terhadap permukiman penduduk sepanjang sungai dilakukan buffering terhadap sungai tersebut, dengan mempertimbangkan keberadaan sungai.

3. Penyusunan struktur basis data spasial

Penyusunan struktur basis data spasial disusun untuk menyimpan semua informasi yang berkaitan dengan data spasialnya yang saling berhubungan sehingga dapat dimanfaatkan dengan cepat dan mudah dalam akses data, meliputi tutupan lahan/ landuse, genangan, tekstur tanah, CBR, gambut, LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi. Setiap parameter yang ditinjau merupakan peta kriteria dalam proses analisis data. Dalam penyisipan struktur basis data maka harus dijelaskan setiap deskripsi yang menggambarkan entitas, ID, atribut, ataupun hal-hal lain yang akan digunakan dalam penyusunan data spasial. Penyusunan struktur basis data spasial untuk perencanaan trase jalan pada daerah rawa dapat dilihat pada Tabel 3.3.

4. Pohon Kriteria Multi Spatial Criteria Analysis (MSCA), Bobot, dan Standarisasi

Untuk mendapatkan klasifikasi wilayah berdasarkan kondisi fisik, tata ruang, dan sosial ekonomi, maka dipilih evaluasi multikriteria sebagai metodologi pemecahan masalah. MSCA memungkinkan pembuatan informasi geospasial tematik dari kelas gabungan (sebagai satu pilihan)

dengan mendefinisikan masalah dan evaluasi multikriteria yang sesuai dengan jumlah indikator yang digunakan. Hasil yang diperoleh memungkinkan untuk memperoleh output parsial pada setiap variabel kelas dan hasil akhir yang diperoleh dalam bentuk peta raster.

Tabel 3.3. Penyusunan Struktur Basis Data Spasial

No	Uraian	Deskripsi	Type Data
1.	Entitas	Komponen Tata Guna Lahan	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Tutupan lahan/ <i>landuse</i>	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Kerapatan	Ukuran kerapatan	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
2.	Entitas	Komponen Fisik	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Genangan	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Ketinggian	Ukuran ketinggian	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
3.	Entitas	Komponen Fisik	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Tekstur Tanah	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Kekasaran	Ukuran kekasaran butiran	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
4.	Entitas	Komponen Fisik	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Nilai CBR	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Persentase	Ukuran batas nilai CBR	Numerik/ Desimal
	Nilai CBR	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot		
5.	Entitas	Komponen Fisik	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Gambut	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Kedalaman	Ukuran kedalaman gambut	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
6.	Entitas	Komponen Sosial Ekonomi	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	LHR	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Fungsi Jalan	Jumlah kendaraan	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
7.	Entitas	Komponen Sosial Ekonomi	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Tonase kendaraan	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal

	Kelas Jalan	Berat total kendaraan	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
8.	Entitas	Komponen Sosial Ekonomi	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Aksesibilitas	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Tingkat aksesibilitas	Ukuran indeks aksesibilitas jaringan jalan	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal
9.	Entitas	Komponen Sosial Ekonomi	Karakter
	ID	Identifier/ Nomor Pengenal Objek	Integer
	Atribut	Sosiogeografi	Character
	Luas_KM2	Luasan masing-masing klasifikasi	Numerik/ Desimal
	Jarak	Ukuran jarak jalan terhadap sungai	Numerik/ Desimal
	Nilai/ Bobot	Hasil pembobotan sesuai nilai klasifikasi	Numerik/ Desimal

Komponen dalam penentuan trase jalan pada daerah rawa yang berwawasan lingkungan mencakup 3 indikator, yaitu:

- a. Komponen fisik, meliputi tekstur tanah, nilai CBR, kedalaman gambut, serta genangan;
- b. Komponen tata ruang, meliputi tutupan lahan dan penggunaan lahan; serta
- c. Komponen sosial ekonomi, mencakup LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi.

Langkah pertama pada MSCA adalah menetapkan tujuan untuk metodologi yang dipilih dan akan menjadi indikator yang menunjukkan keseluruhan indeks sebagai output peta raster, dengan atribut tabel terkait. Langkah terakhir sebelum menjalankan MSCA adalah membakukan nilai-nilai, dimana keseluruhan nilai-nilai diproses dengan menggunakan metode standar maksimum, karena keseluruhan nilai berkisar pada nilai 0 sampai 1.

Persamaan matematik yang digunakan untuk evaluasi menggunakan MSCA adalah sebagai berikut (Salas, 2006):

$$W = W_a (W_b (W_c (\dots + W_n (V_1/V_{1max}) + W_{1-n} (1-V_{2max})) + \dots W_{1-c} (\dots) + W_{1-b} (\dots) * W_{1-a} (\dots)) \dots \dots \dots (3.13)$$

Dimana :

- W = bobot kesesuaian wilayah
- $W_{a,b,c, \dots, n}$ = bobot untuk klas a, b, c atau faktor n
- $W_{1-a, b,c, \dots, n}$ = bobot per grup faktor (yang semuanya 1)
- $V_{1,2}$ = nilai faktor 1, 2 (indikator)
- $V_{1,2 \max}$ = nilai maksimum dari faktor 1,2 yang digunakan untuk standarisasi

Dalam persamaan berikut, semakin tinggi nilainya semakin baik, namun untuk pembiayaan semakin rendah nilainya semakin baik.

$$W_x = (V_x / V_{x \max}) \dots\dots\dots(3.14)$$

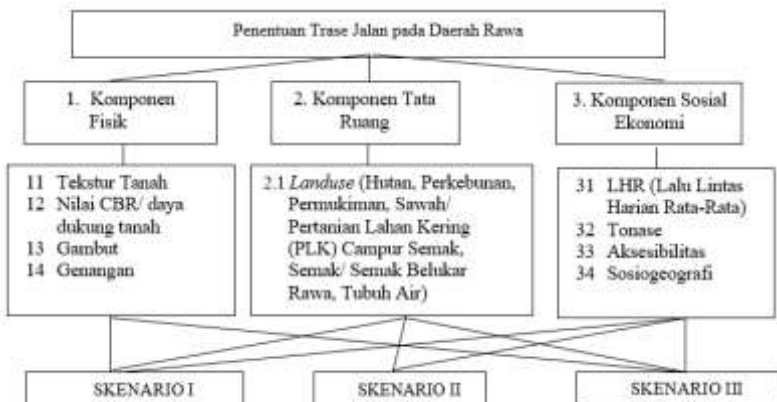
$$W_y = (1 - V_y / V_{y \max}) \dots\dots\dots (3.15)$$

Dimana:

- $W_{x;y}$ = bobot untuk faktor x, y
- $V_{x, y}$ = nilai faktor x, y (indikator v)
- $V_{x,y \max}$ = nilai maksimum dari faktor x dan y digunakan sebagai standarisasi

5. Pembobotan parameter menggunakan metode AHP

Analisis multi kriteria ini dilakukan dengan menetapkan bobot dari masing-masing parameter yang diambil tersebut menggunakan metode Analisis Hirarki Proses (AHP). Skema rancangan AHP dari parameter-parameter penentuan trase jalan pada daerah rawa yang berwawasan lingkungan dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Skema Rancangan AHP

Para stakeholder yang dapat dijadikan responden dalam penentuan bobot tingkat kepentingan dapat diambil dari pihak-pihak pengambil keputusan yang terkait dengan bidang jalan di Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga. Para stakeholder dalam bidang lingkungan hidup juga dapat dilibatkan dalam proses penentuan bobot terkait dengan lingkungan hidup, diantaranya dari Dinas Lingkungan Hidup, konsultan lingkungan hidup, serta akademisi yaitu dosen dan alumni yang memiliki latar bidang jalan, tata ruang, dan ilmu lingkungan hidup. Hasil pembobotan dari AHP ini akan digunakan untuk mendapatkan peta tematik kesesuaian antar kriteria dari setiap komponen yang meliputi komponen fisik, tata ruang, dan sosial ekonomi. Sedangkan hasil penilaian AHP terhadap tingkat kepentingan antar komponen akan dijadikan salah satu acuan dalam penentuan skenario.

Pada analisis ini akan disusun prioritas dengan menggunakan metode perbandingan berpasangan, menggunakan skala penilaian berdasarkan tingkat kepentingan pada skala 1 - 9 seperti pada Tabel 3.2. Uji konsistensi terhadap bobot penilaian berdasarkan nilai rasio konsistensi dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5.

6. Standarisasi informasi geospasial dan penyusunan model Multi Spatial Criteria Analysis (MSCA)

Setiap informasi geospasial berupa peta kriteria akan memiliki bobot nilai sesuai dengan standar penilaian yang berlaku. Nilai perbandingan mencerminkan preferensi relatif satu kriteria dengan kriteria lainnya. Preferensi peta kriteria akan dinormalisasi dengan menggunakan persamaan 3.9, dan 3.10, yang dinyatakan dalam rasio perbandingan 0 - 1, dimana seluruh informasi geospasial akan distandarisasi. Proses standarisasi peta dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Model MSCA akan ditinjau dalam beberapa alternatif skenario dari hasil pembobotan AHP yang menitikberatkan pada 3 komponen, yaitu komponen fisik, komponen tata guna lahan, dan komponen sosial ekonomi. Pemodelan analisis spasial dalam merencanakan trase jalan pada daerah rawa yang berwawasan lingkungan dapat dilihat pada Gambar 3.2.

D. Standar penilaian parameter penentuan trase jalan

Setiap parameter yang akan digunakan harus memiliki standar sehingga penentuan bobot parameter dapat diklasifikasi. Rencana trase jalan pada daerah rawa menggunakan beberapa parameter utama meliputi parameter tekstur tanah, nilai CBR, tutupan lahan, gambut, hidrologi dan topografi, LHR, tonase, aksesibilitas, serta sosiogeografi. Standar penilaian dapat dilihat pada Tabel 3.4 sampai dengan Tabel 3.10.

Tabel 3.4. Standar Penilaian Tutupan Lahan

No.	Kelas Penutupan Lahan	Kriteria
1.	Hutan	Hutan lahan kering primer dan sekunder, hutan rawa primer dan sekunder, hutan mangrove primer dan sekunder, hutan tanaman.
2.	Lahan Pertanian	Pertanian lahan kering, perkebunan, transmigrasi sawah. Rawa, belukar rawa
3.	Lahan Basah	Permukiman
4.	Permukiman	Padang rumput, belukar, tanah kosong, tambak,
5.	Padang Rumput	bandara, pertambangan

(Sumber: Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No.6 Tahun 2015)

Tabel 3.5. Standar Penilaian Tekstur Tanah

No.	Tekstur Tanah	Klasifikasi Tanah	Kriteria Ukuran Butir (mm)
1.	Kasar	Pasir kasar	0,425 - 2,00
2.	Agak Kasar	Pasir halus	0,075 - 0,425
3.	Sedang	Lanau	0,002 - 0,075
4.	Agak Halus	Lempung	< 0,002
5.	Halus	Koloid	< 0,001

(Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Tabel 3.6. Standar Penilaian Kedalaman Gambut

No	Kedalaman Gambut	Kriteria Ketebalan Gambut (cm)
1	Gambut Dangkal	0 - 100
2	Gambut Sedang	100 - 200
3	Gambut Dalam/ Sangat Dalam	> 200

(Sumber: Peraturan Menteri Kehutanan RI No. P.12/Menhut-II/2012)

Tabel 3.7. Standar Penilaian Genangan Air

No.	Tinggi Genangan	Kriteria Persentase Nilai
1.	> 0,50 m	100
2.	0,30 m - 0,50 m	75
3.	0,20 m - < 0,30 m	50
4.	0,10 m - < 0,20 m	25
5.	< 0,10 m	0

(Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, No. 12 Tahun 2014)

Tabel 3.8. Standar Penilaian LHR

No.	Klasifikasi Jalan		LHR (SMP)
	Fungsi	Kelas	
1.	Arteri Primer	I	-
2.	Kolektor Primer	I	> 10.000
		II	< 10.000
3.	Arteri Sekunder	I	> 20.000
		II	< 20.000
4.	Kolektor Sekunder	II	> 6.000
		III	< 6.000
		III	> 500
5.	Jalan Lokal	III	> 500

(Sumber: Standar Perencanaan Geometrik untuk Jalan Perkotaan, 2004)

Tabel 3.9. Standar Penilaian Tonase Kendaraan

No	Kelas Jalan	MST (ton)
1.	Kelas I	10 ton
2.	Kelas II	8 ton
3.	Kelas III	8 ton
4.	Khusus	> 10 ton

(Sumber: Undang-undang RI No.22, 2009)

Tabel 3.10. Standar Penilaian Aksesibilitas

No.	Kategori	Kriteria Nilai Indeks Aksesibilitas
1.	Sangat Tinggi	> 5,00
2.	Tinggi	> 1,50
3.	Sedang	> 0,50
4.	Rendah	> 0,15
5.	Sangat Rendah	> 0,05

(Sumber : Kepmenkimpraswil No. 534/KPTS/M/2001)

BAB IV
TEKNIK MULTISPEKTRAL DALAM PENGENALAN
WILAYAH DAN DATA SPASIAL HIRARKI TIPE
PELAYANAN JALAN

A. Klasifikasi Penggunaan Lahan berdasarkan Metode Multispektral

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam pengenalan wilayah menggunakan penginderaan jauh adalah dengan menggunakan metode multispektral. Beberapa tahapan pengolahan data citra yang dilakukan mulai dari tahap awal setelah citra diunduh, yaitu:

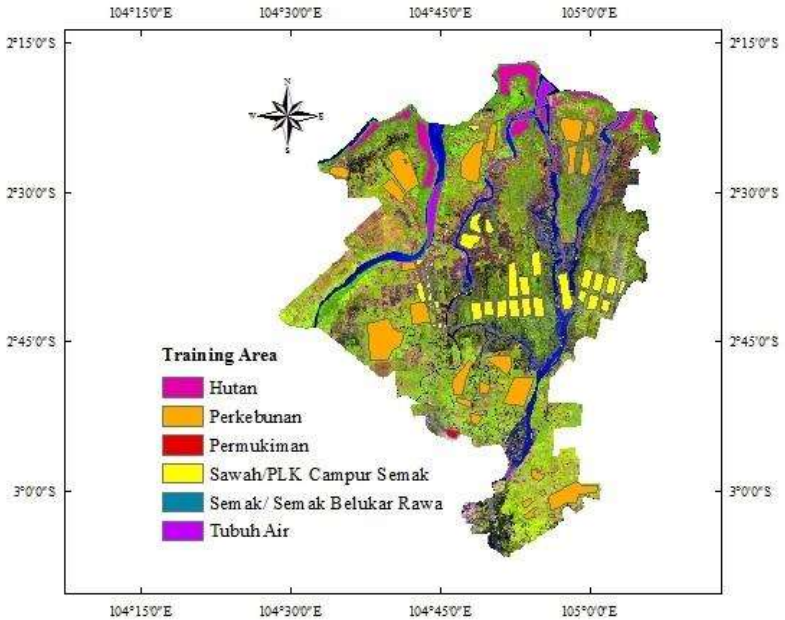
1. Tahapan pra pengolahan, meliputi:
 - a. Pemotongan citra yang berfungsi untuk membatasi daerah penelitian serta mengurangi besarnya file citra
 - b. Koreksi geometrik dan radiometrik
Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga sesuai dengan koordinat sistem referensi Indonesia sedangkan koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual citra untuk memperbaiki nilai reflektan yang tidak sesuai dengan nilai pancaran spektral objek yang sebenarnya.
2. Tahapan pengolahan data, meliputi :
 - a. Membuat kombinasi RGB (red, green, and blue), menggunakan panjang gelombang sesuai dengan metode klasifikasi yang akan digunakan, dalam hal ini, metode NDVI (Band NIR dan RED) untuk klasifikasi tutupan lahan, NDWI (Green dan NIR) untuk klasifikasi tubuh air, dan NDSI (SWIR dan NIR) untuk klasifikasi jenis tanah.
 - b. Proses pengolahan citra digital yang digunakan untuk menajamkan, menghaluskan filter, perentangan kontras, serta klasifikasi multispektral pada Citra Landsat 8, dengan menggunakan software-software pendukung misalnya : ILWIS, ArcGIS, dan lain sebagainya. Sedangkan pengolahan terhadap nilai-nilai multispektral dapat dilakukan dengan menggunakan transformasi

NDVI (Normallized Different Vegetation Index), NDWI (Normallized Different Water Index) dan NDSI (Normallized Different Soil Index), atau metode lainnya.

Agar mudah dipahami penggunaannya maka klasifikasi penggunaan lahan dengan menggunakan metode multispektral ini langsung diaplikasikan dalam satu wilayah. Wilayah studi yang akan diambil sebagai contoh dalam penggunaan aplikasi ini adalah daerah rawa yang terdapat di wilayah Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Dipilihnya Kabupaten Banyuasin sebagai wilayah studi dikarenakan beberapa alasan, yaitu: (i) berdasarkan topografi wilayah Kabupaten Banyuasin terdiri dari 80 % dataran rendah basah dengan kemiringan lereng 0 - 8 % seluas 1.181.610 Ha dan 8 - 15 % seluas 1.689 Ha, berupa pesisir pantai, rawa pasang surut, dan rawa lebak yang tersebar di sepanjang Pantai Timur sampai ke pedalaman meliputi wilayah Kecamatan Makarti Jaya, Muara Padang, Banyuasin II, Muara Telang, Pulau Rimau, Air Saleh, Muara Sugihan, dan sebagian Kecamatan Talang Kelapa, Tungkal Ilir, dan Betung, sedangkan 20 % merupakan daratan berombak sampai dengan bergelombang dengan elevasi 0 - 40 M diatas muka laut, meliputi Kecamatan Banyuasin II, Betung, Talang Kelapa, dan sebagian kecil Kecamatan Tungkal Ilir dan Rambutan; (ii) salah satu rumusan kebijakan penataan ruang dari Kabupaten Banyuasin adalah mengembangkan jaringan jalan secara hirarkis yang menghubungkan pusat-pusat kegiatan pelayanan perkotaan dan antara pusat-pusat kegiatan dengan masing-masing wilayah pelayanan (RTRW Banyuasin, 2011); (iii) dijadikannya Kawasan Ekonomi Khusus pada wilayah Tanjung Api-Api berdasarkan Peraturan Pemerintah No.51 Tahun 2014 Tentang Kawasan Ekonomi Khusus Tanjung Api-Api.

Langkah awal yang dilakukan adalah dengan cara mengunduh secara bebas citra Landsat 8 dari United States Geological Survey (USGS, <http://landsat.usgs.gov>) pada scene : path 124/ row 062. Selanjutnya dilakukan proses klasifikasi

penggunaan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing pada komposit band 654 yang mewakili warna sebenarnya dengan menetapkan beberapa daerah contoh (training area) yang mengacu pada penggunaan lahan existing yang bisa didapat dari data-data sekunder penggunaan lahan. Penetapan daerah contoh (training area) dapat dilihat pada Gambar 4.1.

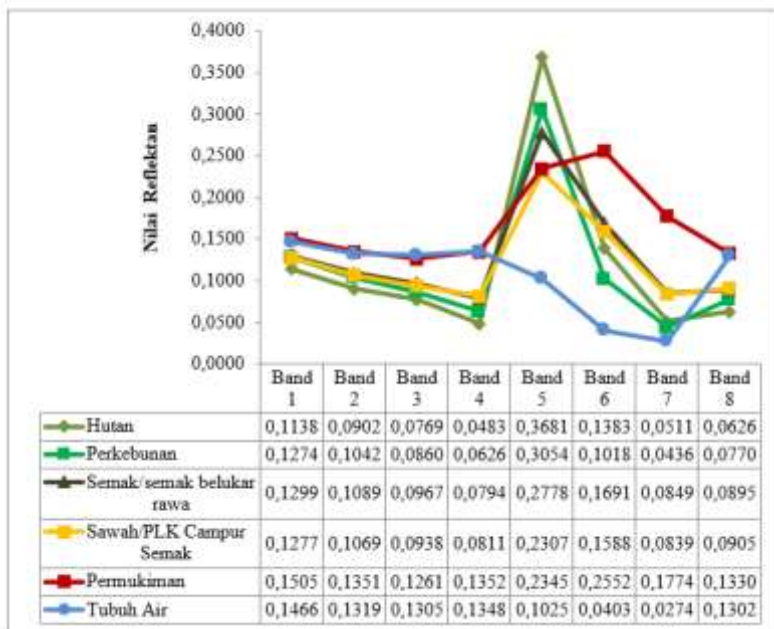


Gambar 4.1. Training Area Penggunaan Lahan pada Komposit Band 654

Klasifikasi terhadap penggunaan lahan di daerah kajian dibagi menjadi 6 kelas sesuai dengan kebutuhan dari perencanaan jalan, yaitu hutan, perkebunan, permukiman, sawah, semak, dan tubuh air. Nilai reflektan dari setiap klasifikasi penggunaan lahan pada setiap band akan berbeda sesuai dengan objek yang mengenainya. Pada Grafik 4.1. dapat dilihat rata-rata nilai reflektan dari klasifikasi penggunaan lahan.

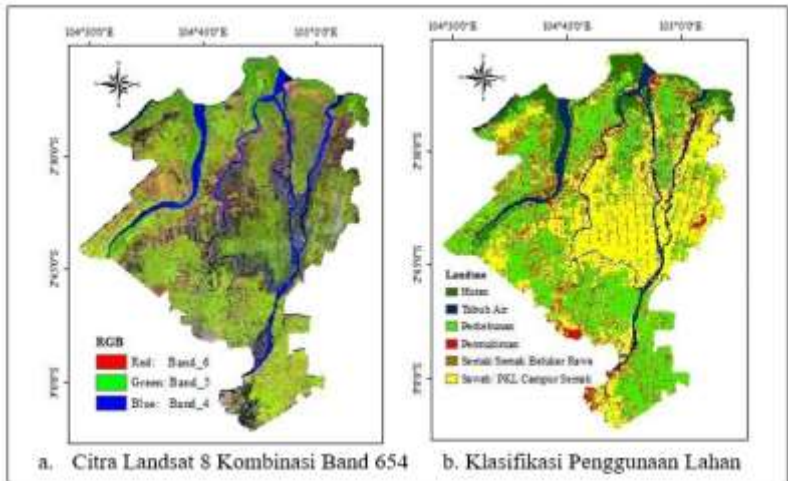
Dari Grafik 4.1 dapat dilihat bahwa setiap band menunjukkan nilai reflektan yang berbeda-beda pada setiap kelas klasifikasi, pada daerah bervegetasi (hutan, perkebunan,

semak/semak belukar, dan sawah/PLK campur semak) akan menyerap sedikit energi dari panjang gelombang pada band 5 (0,845 – 0,885 μm), sehingga nilai spektral yang dipantulkan akan menjadi lebih tinggi dikarenakan energi dari panjang gelombang yang diserap kecil, semakin kerapatan vegetasi maka nilai spektral yang dipantulkan akan semakin tinggi. Hasil analisis citra landsat 8 terhadap penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 4.2 (Indrayani, et al, 2017).



Grafik 4.1. Rataan Nilai Reflektan dari Klasifikasi Penggunaan Lahan

Berdasarkan berat kendaraan yang akan melewati wilayah kajian maka sebaiknya pembangunan jalan pada sebagian besar wilayah dibangun jalan khusus yaitu jalan dengan perencanaan untuk berat total kendaraan > 10 ton sehingga jalan yang dibangun akan sesuai dengan peruntukan wilayah ada daerah kajian yaitu akan dikembangkan pada sektor industri, perkebunan, dan pertanian.



Gambar 4.2. Identifikasi dan Klasifikasi Penggunaan Lahan

Berdasarkan berat kendaraan yang akan melewati wilayah kajian maka sebaiknya pembangunan jalan pada sebagian besar wilayah dibangun jalan khusus yaitu jalan dengan perencanaan untuk berat total kendaraan > 10 ton sehingga jalan yang dibangun akan sesuai dengan peruntukan wilayah ada daerah kajian yaitu akan dikembangkan pada sektor industri, perkebunan, dan pertanian.

Pengklasifikasi penggunaan lahan (landuse) untuk perencanaan penentuan trase yang dibagi kedalam 6 kelas memiliki tujuan pada setiap kelasnya, klasifikasi hutan dilakukan karena hutan pada daerah Kabupaten Banyuasin merupakan salah satu kawasan lindung yang diperuntukkan untuk mewujudkan pelestarian alam, dengan tidak mengganggu kawasan hutan yang dilindungi maka dapat meningkatkan fungsi perlindungan terhadap tanah, air, dan dapat mempertahankan keanekaragaman flora, fauna, serta ekosistem yang ada. Klasifikasi terhadap permukiman, perkebunan, sawah/PLK, semak, merupakan kawasan budidaya diluar kawasan lindung, klasifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi wilayah dan untuk mewujudkan keseimbangan pertumbuhan antar wilayah dengan

memperhatikan keseimbangan lingkungan dalam pemanfaatan potensi sumber daya alam yang ada. Sehingga dalam pertimbangan penentuan trase jalan, harus memperhatikan kawasan budidaya. Klasifikasi tubuh air dilakukan untuk mendukung pengembangan wilayah secara terpadu, antara strategi pengembangan transportasi air dengan sistem transportasi darat yang didukung dengan prasarana jalan sehingga tingkat aksesibilitas setiap wilayah meningkat dan akan berdampak pada perkembangan daerah, mengingat pada sebagian besar wilayah bagian utara dan timur Kabupaten Banyuasin yang merupakan daerah perairan masih didominasi oleh penggunaan jaringan transportasi air.

B. Klasifikasi Tutupan Lahan dengan Normalized Different Vegetation Index (NDVI)

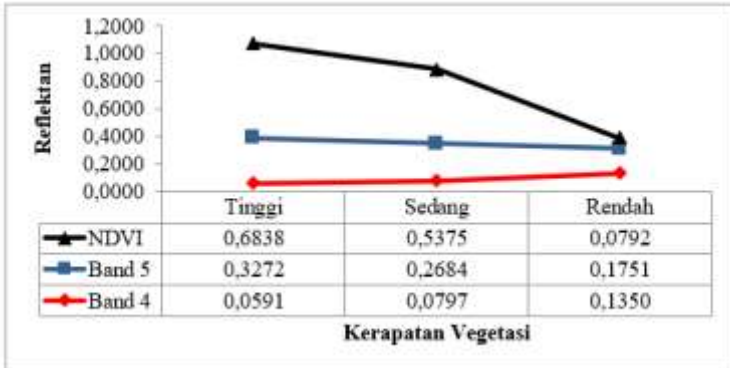
1. Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi terhadap tutupan lahan berdasarkan kerapatan vegetasi dilakukan dengan menggunakan pendekatan NDVI yang merupakan kombinasi perhitungan Near Infra Red dengan Red pada persamaan:

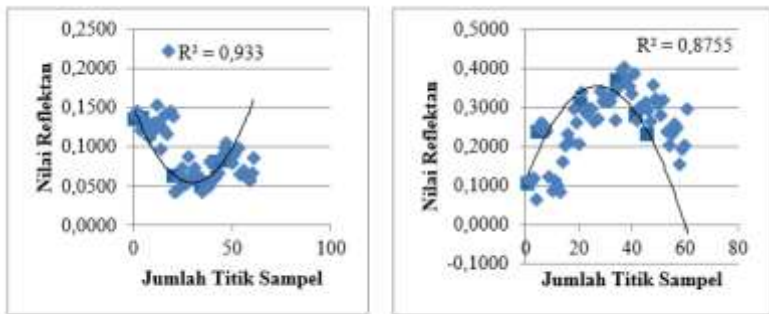
$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \dots\dots\dots (4.1)$$

Pada citra Landsat 8, Near Infra Red (NIR) merupakan band 5 (0,845 – 0,885 μ m) dan Red merupakan band 4 (0,63 – 0,68 μ m). Untuk mendapatkan kerapatan vegetasi maka hasil perhitungan dari NDVI dilakukan klasifikasi ulang (reclass), menjadi 3 kelas, yaitu : vegetasi dengan kerapatan tinggi, sedang, dan rendah. Nilai NDVI memiliki rentang nilai antara -1 dan +1, dari hasil kombinasi akan dapat dilihat perbedaan dari tingkat spektrum, dimana semakin cerah warna maka kerapatan vegetasi semakin rendah dan semakin gelap warna maka semakin tinggi kerapatan vegetasi. Semakin tinggi nilai NDVI menunjukkan bahwa vegetasi semakin rapat dan nilai NDVI yang rendah menunjukkan vegetasi yang semakin jarang.

Dari hasil reklasifikasi menggunakan nilai NDVI didapat rata-rata nilai reflektan pada band 4, band 5, dan nilai NDVI pada masing-masing klasifikasi tutupan lahan berdasarkan kerapatan vegetasi seperti pada Grafik 4.2. Sedangkan pada Grafik 4.3. dapat dilihat analisa regresi dari nilai reflektan pada band 4 dan band 5 pada klasifikasi tutupan lahan.



Grafik 4.2. Rata-rata Nilai Reflektan pada Band 4, Band 5, dan nilai NDVI pada Tutupan Lahan



a. Persamaan Regresi pada Band 4 b. Persamaan Regresi pada Band 5

Grafik 4.3. Persamaan Regresi dari Nilai Reflektan pada Klasifikasi Penggunaan Lahan

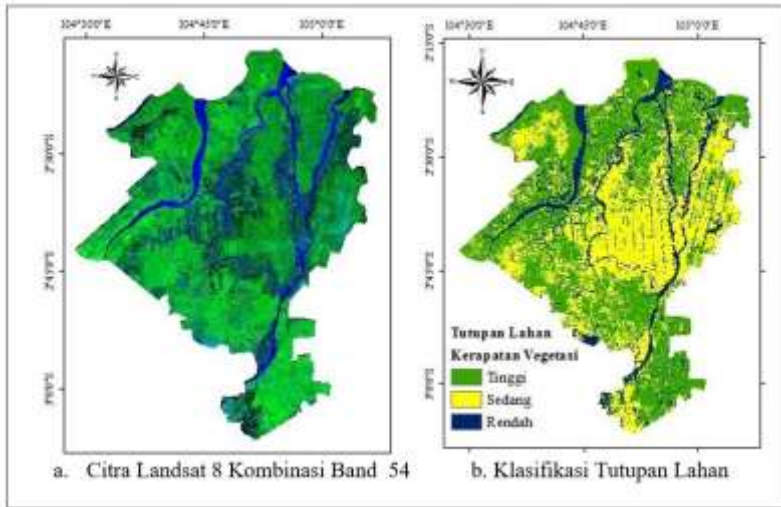
Dari Grafik 4.2, dapat dilihat bahwa semakin besar perbedaan nilai reflektan pada band 5 dan band 4 maka nilai NDVI semakin tinggi yaitu rata-rata sebesar 0,6838 dan semakin kecil perbedaan band 5 dan band 4 maka nilai NDVI

semakin rendah yaitu rata-rata sebesar 0,0792. Semakin tinggi nilai NDVI menunjukkan bahwa tingkat kerapatan vegetasi yang semakin tinggi, dimana nilai spektrum yang diserap lebih sedikit, demikian pula sebaliknya nilai NDVI yang rendah menunjukkan bahwa didaerah tersebut memiliki kerapatan vegetasi yang rendah karena nilai spektrum dapat langsung diserap lebih besar oleh objek yang terkena pancaran sinar. Persamaan regresi dari Grafik 4.3 menunjukkan nilai reflektan pada band 4 memiliki nilai $R^2 = 0,9330$, sedangkan pada band 5 menunjukkan nilai $R^2 = 0,8755$. Nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan bahwa adanya korelasi yang kuat antar variabel yang ditinjau.

Dari rata-rata nilai reflektan yang diperoleh, selanjutnya dilakukan klasifikasi terhadap tutupan lahan berdasarkan kerapatan vegetasi yang dibagi menjadi 3 kelas. Klasifikasi nilai reflektan berdasarkan kerapatan vegetasi dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dan klasifikasi tutupan lahan berdasarkan kerapatan vegetasi dapat dilihat pada Gambar 4.3 (Indrayani, et al, 2017).

Tabel 4.1. Klasifikasi Nilai Reflektan Berdasarkan Kerapatan Vegetasi

No	Klasifikasi	Rentang Nilai NDVI	Luas (KM ²)
1.	Kerapatan Vegetasi Rendah	- 0,5120 - 0,4015	540
2.	Kerapatan Vegetasi Sedang	0,4015 - 0,5919	1334
3.	Kerapatan Vegetasi Tinggi	0,5919 - 0,8677	1470



Gambar 4.3. Identifikasi dan Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan berdasarkan kerapatan vegetasi terdiri dari 3 kelas yaitu vegetasi dengan kerapatan tinggi, mencakup kawasan hutan dan perkebunan yang memiliki kerapatan vegetasi lebih tinggi dibandingkan dengan semak belukar dan sawah yang memiliki kerapatan vegetasi lebih rendah sehingga digolongkan ke dalam kerapatan sedang, serta permukiman dan tubuh air (sungai) diklasifikasikan merupakan daerah bervegetasi rendah. Pada pemilihan trase jalan yang berwawasan lingkungan pemilihan daerah bervegetasi rendah lebih disarankan untuk mendukung pusat perkembangan perekonomian wilayah.

2. Uji ketelitian penggunaan lahan

Uji ketelitian sangat perlu dilakukan dalam dari hasil analisis penginderaan jauh. Ketepatan dalam menginterpretasi tutupan lahan dan penggunaan lahan dilakukan dengan cara pengecekan di lapangan pada beberapa titik sampel yang dipilih dari setiap kelas penggunaan lahan dan dilakukan kecocokan hasil analisis citra dengan kondisi sebenarnya di lapangan, selanjutnya membuat matrik perhitungan setiap kesalahan (confusion

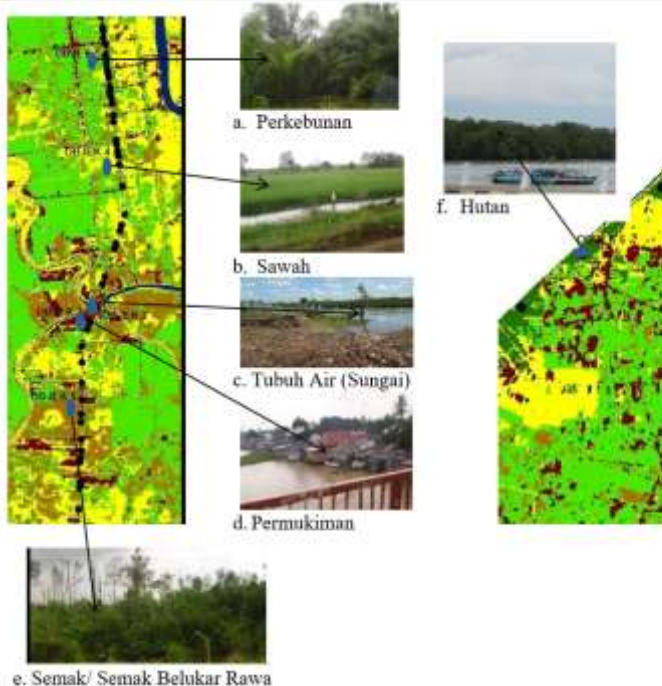
matrix) pada setiap kelas penggunaan lahan dari analisis data citra, sehingga didapatkan tingkat ketelitiannya. Persamaan yang digunakan dalam uji ketelitian yaitu:

$$MA = (X_{cr} \text{ pixel}) / (X_{cr} + X_o + X_{co}) \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana MA merupakan ketelitian analisis/klasifikasi; X_{cr} adalah jumlah pixel yang benar; X_o adalah jumlah pixel kelas x yang masuk ke kelas lain (ommission); dan X_{co} adalah jumlah pixel kelas x tambahan dari kelas lain (commision).

Pengujian tingkat ketelitian dilakukan langsung dengan mengecek kondisi eksisting dilapangan pada beberapa titik di wilayah studi. Titik lokasi survei dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Akurasi dari hasil klasifikasi diuji dengan menggunakan matrik kesalahan (confusion matrix), seperti pada Tabel 4.2.



Gambar 4.4. Cross Cek Hasil Klasifikasi Penggunaan Lahan

Dari Tabel 4.2 matrik kesalahan (confusion matrix), dapat dilihat pada klasifikasi permukiman terdapat commision (penambahan pixel dari klasifikasi lain) terbesar yaitu 55 pixel, hal ini disebabkan pada saat ground check di lapangan pada beberapa area persawahan dan perkebunan terdapat area permukiman yang tidak terlalu banyak sehingga tidak terdeteksi pada panjang gelombang citra, sedangkan pada perkebunan terdapat ommision (jumlah pixel yang masuk ke kelas lain), yaitu sebesar 63 pixel, hal ini dikarenakan pada saat ground check di lapangan pada beberapa area persawahan dan semak belukar terdapat area perkebunan yang tidak terlalu besar sehingga tidak terdeteksi oleh panjang gelombang citra terbesar.

Tabel 4.2. Matrik Kesalahan pada Klasifikasi Landuse

Uraian	Klasifikasi Objek						Jumlah (pixel)	Ommision (%)	Commision (%)	Ketelitian Pemetaan (%)
	Tubuh Air (pixel)	Permukiman (pixel)	Sawah/ PLK Campur Semak (pixel)	Semak/ Semak Belukar Rawa (pixel)	Perkebunan (pixel)	Hutan (pixel)				
Tubuh Air	2576						2576			100
Permukiman		521					521	10,6		90,45
Sawah/ PLK Campur Semak		25	2072		12		2109	1,75	1,66	96,64
Semak/ Semak Belukar Rawa			15	380	51		446	14,8	6,05	80,34
Perkebunan		30	20	27	9059	15	9151	1,01	0,69	98,32
Hutan						2909	2909		0,52	99,49
Commision		55	35	27	63	15	17517			
Jumlah	2576	576	2107	407	9122	2924	17712			98,90

Tingkat ketelitian pemetaan tertinggi pada tubuh air yaitu 100 % dan terendah pada semak/ semak belukar rawa yaitu sebesar 80,34 %. Sedangkan total persentase ketelitian pemetaan sebesar 98,90 %.

C. Klasifikasi Genangan dengan metode Normalized Different Wetness Index (NDWI)

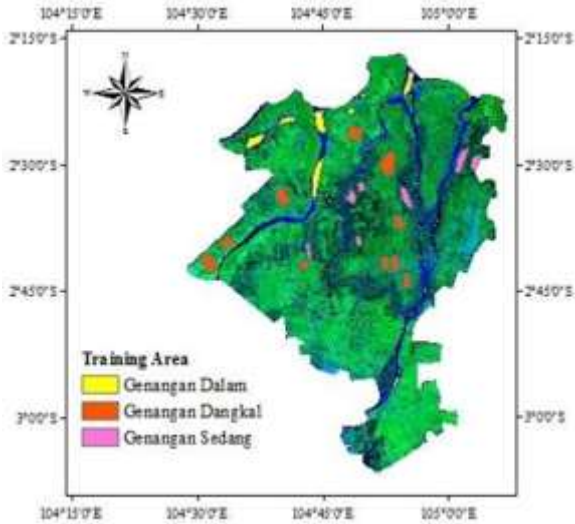
1. Klasifikasi daerah genangan berdasarkan nilai spektral dengan metode Normallized Different Wetness Index (NDWI)

Pertimbangan topografi berdasarkan kemiringan dan ketinggian pada permukaan tanah tidak dapat dilakukan pada daerah rawa yang cenderung merupakan daerah datar (Indrayani, et al, 2016), daerah kajian merupakan daerah rawa yang memiliki ketinggian berkisar antara 0 - 15 m dari permukaan laut, sehingga pertimbangan faktor topografi tidak ditinjau dari ketinggian ataupun kemiringan permukaan tanah seperti yang dilakukan pada daerah-daerah bukan rawa. Faktor topografi ditinjau terhadap kondisi hidrologi, yaitu ketinggian genangan air terhadap permukaan tanah. Klasifikasi terhadap daerah genangan akan dianalisis menggunakan pendekatan NDWI yang merupakan kombinasi dari band Green dengan Near Infra Red (NIR), menggunakan persamaan:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \dots\dots\dots (4.3)$$

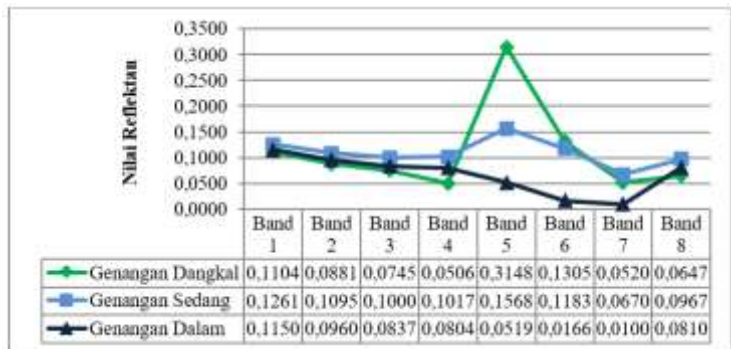
Pada citra Landsat 8, Green merupakan band 3 (0,525 - 0,600 μ m) yang digunakan untuk mempertegas puncak vegetasi dan Near Infra Red (NIR) merupakan band 5 (0,845 - 0,885 μ m) yang digunakan untuk mengidentifikasi konten biomassa dan garis pantai. Objek permukaan lahan akan memiliki respon spektral yang bervariasi pada saat tergenang air dan tidak tergenang air. Untuk mendapatkan klasifikasi genangan maka hasil perhitungan NDWI diklasifikasi ulang (reclass) menjadi 3 kelas genangan, yaitu : dangkal, sedang, dan dalam.

Sampling area sampel yang diambil untuk menentukan nilai reflektan rata-rata dapat pada daerah genangan dilihat pada Gambar 4.5. Dari hasil sampling training area, akan didapatkan klasifikasi yang memisahkan genangan ke dalam 3 kelas, dan selanjutnya dari pembagian kelas ini akan ditentukan nilai reflektan dari setiap klasifikasi genangan.



Gambar 4.5. Training Area Genangan pada Komposit Band 53

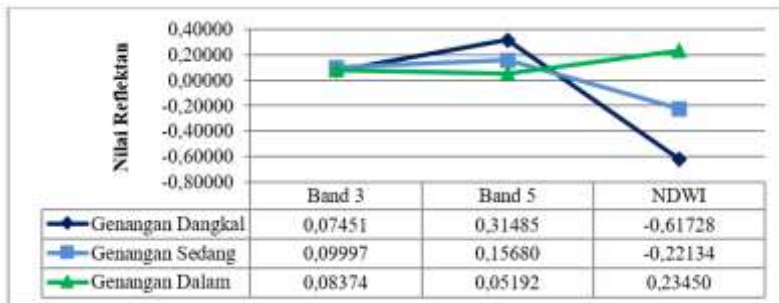
Pada Grafik 4.4. dapat dilihat rata-rata nilai reflektan dari klasifikasi kedalaman genangan.



Grafik 4.4. Rataan Nilai Reflektan dari Klasifikasi Genangan

Dari Grafik 4.4 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai spektral pada setiap band akan memberikan nilai yang berbeda semakin kecil penyerapan energi gelombang maka nilai reflektan akan semakin besar seperti nilai reflektan pada genangan dangkal (0,3148) pada band 5, karena energi dari panjang gelombang langsung dipantulkan. Dan pada genangan dalam energi yang diserap tinggi sehingga pantulan nilai reflektan menjadi rendah (0,0519) pada band 5.

Untuk mendapatkan klasifikasi terhadap genangan dilakukan reklasifikasi terhadap nilai NDWI, hasil reklasifikasi menggunakan nilai NDWI didapat rata-rata nilai reflektan pada band 3, band 5, dan nilai NDWI yang membedakan daerah genangan dangkal, genangan sedang, dan genangan dalam dapat dilihat pada Grafik 4.5.

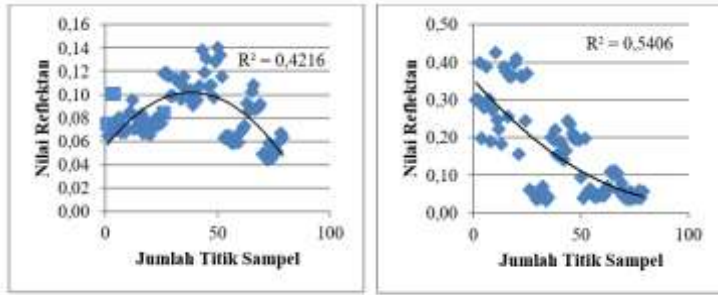


Grafik 4.5. Nilai Reflektan pada Band 3, Band 5, dan Nilai NDWI

Dari Grafik 4.5 dapat dilihat bahwa pada spektrum band 3 (0,525 - 0,600 μm) rata-rata memiliki nilai reflektan yang kecil dikarenakan penyerapan energi yang besar, sedangkan pada band 5 (0,845 - 0,885 μm) rata-rata memiliki nilai reflektan yang besar dikarenakan penerapan energi yang sedikit dan energi langsung dipantulkan. Pantulan pada daerah genangan akan dipengaruhi oleh material dasar air ataupun material yang tertutup oleh genangan dan karakteristik penyerapan akan dipengaruhi oleh jenis, ukuran, dan tipe dari material yang ada pada daerah genangan. Rentang nilai NDWI (-0,785125 - 0,872574) pada

kombinasi band 3 dan band 5 akan menunjukkan nilai positif terhadap genangan, semakin tinggi tingkat kebasahan maka nilai akan semakin besar demikian pula sebaliknya.

Analisis regresi dari nilai reflektan pada band 3 dan band 5 pada klasifikasi genangan dapat dilihat pada Grafik 4.6.



a. Persamaan Regersi pada Band 3

b. Persamaan Regresi pada Band 5

Grafik 4.6. Persamaan Regresi dari Nilai Reflektan pada Klasifikasi Genangan

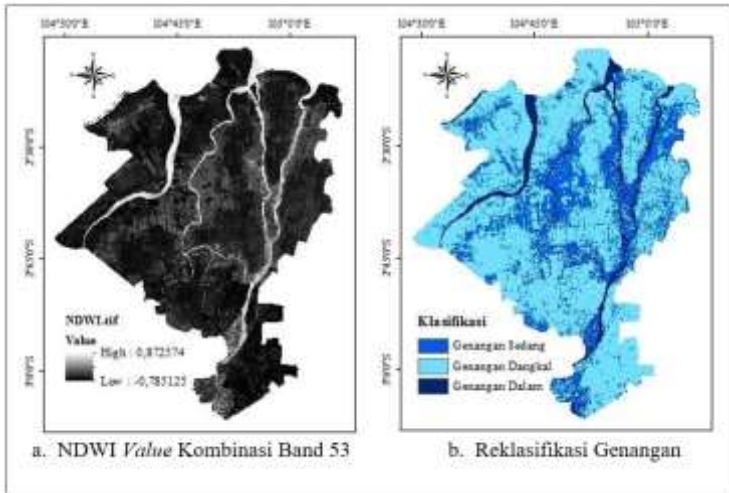
Persamaan regresi dari Grafik 4.6 menunjukkan nilai reflektan pada band 3 memiliki nilai $R^2 = 0,8216$, sedangkan pada band 5 menunjukkan nilai $R^2 = 0,5406$.

Dari rata-rata nilai reflektan yang diperoleh, selanjutnya dilakukan klasifikasi terhadap genangan yang dibagi dalam 3 kelas, seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Klasifikasi Nilai Reflektan Berdasarkan Genangan

No	Klasifikasi	Rentang Nilai Reflektan	Luas (KM ²)
1.	Genangan Dangkal	-0,7851 - -0,4796	2171
2.	Genangan Sedang	-0,4796 - -0,0915	903
3.	Genangan Dalam	- 0,0915 - 0,8726	269

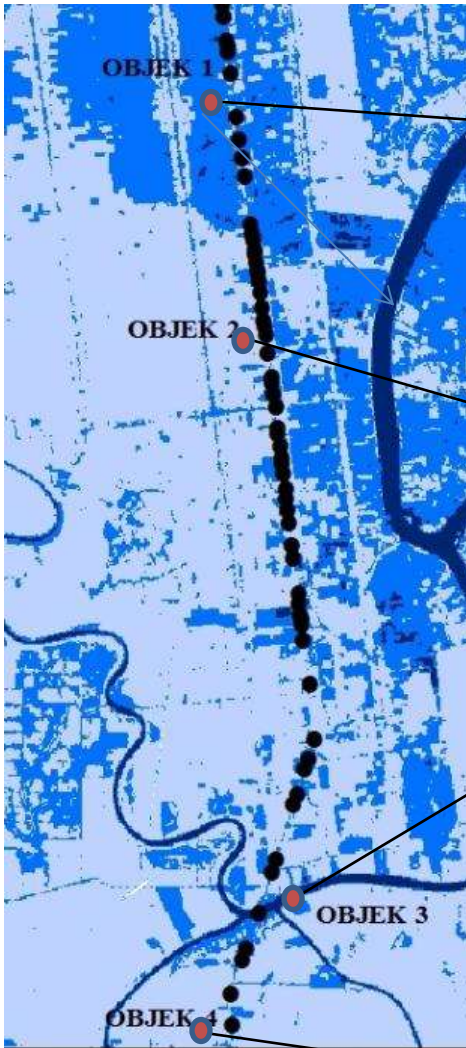
Hasil klasifikasi genangan menggunakan pendekatan NDWI dapat dilihat pada Gambar 4.6 (Indrayani, et al, 2018c).



Gambar 4.6. Identifikasi dan Klasifikasi Genangan

2. Uji ketelitian genangan

Survey terhadap lokasi genangan harus dilakukan pada saat musim yang sama dengan citra yang digunakan karena kenampakan genangan akan berbeda pada saat musim kemarau dan musim penghujan. Uji ketelitian genangan pada studi kasus ini diambil pada beberapa lokasi diantaranya di wilayah Kecamatan Talang Kelapa, Kecamatan Tanjung Lago, Kecamatan Muara Telang, Kecamatan Rambutan, dan Kecamatan Banyuasin I. Deskripsi objek genangan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



a) Genangan Sedang



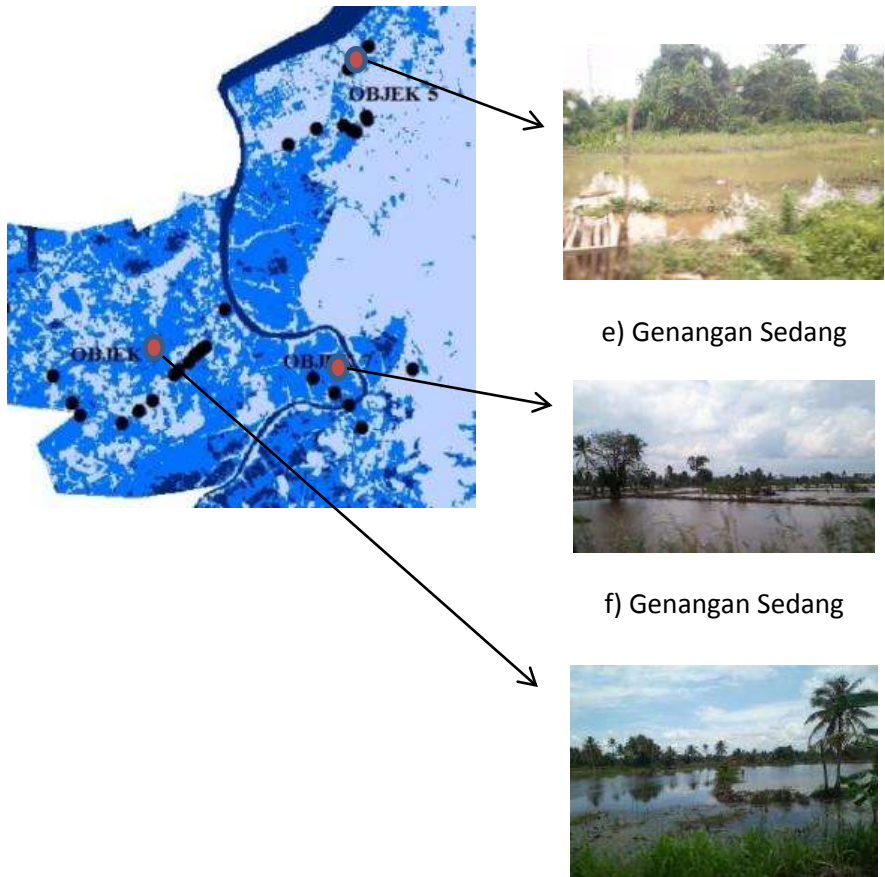
b) Genangan Dangkal



c) Genangan Dalam



d) Genangan Dangkal



Gambar 4.7. Cross Cek Hasil Klasifikasi Genangan

Untuk mendapatkan tingkat keakuratan hasil klasifikasi kedalaman genangan menggunakan landsat 8 dengan metode NDWI maka dilakukan pengujian dengan menggunakan matrik kesalahan (confusion matrix), seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Matrik Kesalahan pada Klasifikasi Genangan




Uraian	Klasifikasi Objek			Jumlah (Pixel)	Omission (%)	Commission (%)	Ketelitian Pemetaan (%)
	Genangan Dangkal (Pixel)	Genangan Sedang (Pixel)	Genangan Dalam (Pixel)				
Genangan Dangkal	2435	105		2540	0,04	0,83	95,08
Genangan Sedang	21	2573	143	2737	0,06	4,75	89,75
Genangan Dalam		25	661	686	0,04	20,85	79,73
Commission	21	130	143	5669			
Jumlah	2456	2703	804	5963			95,07

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa total persentase tingkat ketelitian pemetaan adalah 95,07 %, hal ini menunjukkan bahwa hasil klasifikasi genangan dapat digunakan dalam pembuatan peta geospasial kedalaman air.

Kedalaman genangan diambil dari hasil pengukuran langsung kedalaman genangan dan wawancara dengan beberapa responden dari berbagai instansi dan penduduk sekitar. Hasil kedalaman genangan yang terjadi pada beberapa wilayah kajian seperti pada Tabel. 4.5.

Dari hasil wawancara didapat rata-rata kedalaman genangan pada beberapa wilayah memiliki kedalaman 20 – 50 cm dari permukaan tanah. Sedangkan genangan yang disebabkan oleh pasang surut air laut sekitar 0 – 20 cm dari permukaan tanah namun pada kondisi curah hujan tinggi genangan bisa berkisar antara 20 – 50 cm. Sehingga dari hasil pengukuran dan wawancara kedalaman genangan terhadap permukaan tanah dikelompokkan menjadi 3, yaitu: (1) kedalaman 0 – 20 cm; (2) > 20 – 50 cm; dan (3) > 50 cm.

Tabel 4.5. Pengukuran Kedalaman Genangan

No.	Uraian	Kedalaman Genangan (cm)		
		0 - 20	20 - 50	> 50
1	Genangan pada Kecamatan Rambutan			
		-	X	-
2	Genangan pada Kecamatan Banyuasin I			
		-	X	-
3	Genangan pada Desa Sungai Dua			
		-	X	-

4 Genangan pada Kecamatan Talang Kelapa



X - -

5 Genangan (sungai) pada Kecamatan Talang Kelapa



- - X

Klasifikasi terhadap genangan perlu dilakukan dalam penentuan trase jalan, daerah yang tergenang lebih dalam dengan intensitas waktu lama tentunya harus dihindarkan dalam pemilihan trase jalan, baik dari segi konstruksi maupun dari segi lingkungannya dikarenakan jalan yang sering terendam tentunya akan lebih cepat rusak karena konstruksi jalan fleksible dalam keadaan basah akan lebih lembek sehingga apabila dilewati kendaraan akan mengalami kerusakan, sedangkan apabila jalan konstruksi jalan adalah rigid maka kondisi tanah dasar yang tergenang juga akan lembek sehingga konstruksi jalan yang ada diatasnya akan retak karena stabilitas tanah dasar akan sangat dipengaruhi oleh genangan air. Jika ditinjau dari aspek lingkungan jalan yang dibangun pada daerah genangan tentunya harus dilakukan penimbunan pada lokasi tergenang, hal ini tentunya akan merusak ekosistem yang ada karena rawa sebagai tempat menampung air sudah tidak dapat lagi berfungsi dikarenakan penimbunan, maka pertimbangan daerah genangan sangat diperlukan pada penentuan trase jalan.

D. Klasifikasi Fisik Tanah dengan metode Normalized Different Soil Index (NDSI)

1. Klasifikasi tekstur tanah dan nilai CBR berdasarkan nilai spektral dengan metode Normalized Different Soil Index (NDSI)

Citra yang diambil pada bulan Desember 2016 (musim penghujan) dianalisa untuk menginventarisasi tanah yang diamati melalui kelembaban tanah lapangan berdasarkan nilai NDSI yang didapat dari kombinasi band 5 (0,845 – 0,885 μm) dan band 6 (1,560 – 1,660 μm) yang merupakan infra merah gelombang pendek dapat berguna untuk memberitahukan tanah pada kondisi permukaan bumi. Spektrum pada band 6 yang terkena tanah akan memantulkan nilai spektral yang lebih besar dibandingkan dengan spektrum pada band 5. Jika terkena objek air maka kedua spektrum ini akan memantulkan nilai spektral yang semakin kecil pada spektrum band 6, sedangkan apabila terkena vegetasi maka nilai spektral yang dipantulkan pada spektrum band 5 akan lebih besar berbeda dengan spektrum pada band 6 yang memantulkan nilai spektral lebih rendah.

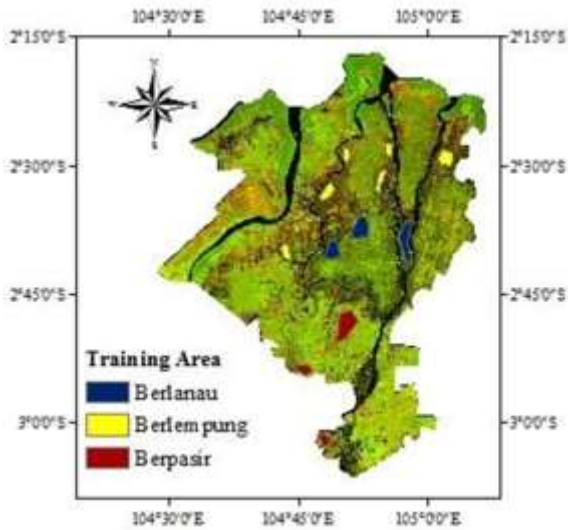
Pendekatan NDSI merupakan kombinasi perhitungan SWIR dengan Near Infra Red pada persamaan:

$$\text{NDSI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR}) \dots\dots\dots (4.4)$$

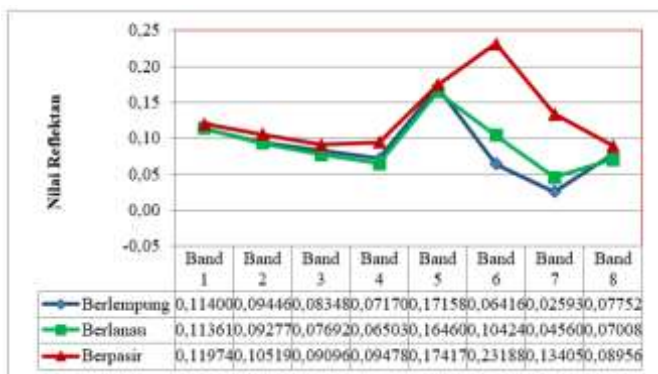
Pada citra Landsat 8, SWIR merupakan band 6 (1,560 – 1,660 μm) dan Near Infra Red (NIR) merupakan band 5 (0,845 – 0,885 μm). Untuk mendapatkan klasifikasi tanah maka hasil perhitungan dari NDSI dilakukan klasifikasi ulang (reclass), menjadi 3 kelas, yaitu : berpasir/ pasir halus (0,075 – 0,425 mm), berlanau (0,002 – 0,075 mm), dan berlempung (< 0, 002 mm) (Departemen Pekerjaan Umum, 2006), klasifikasi tanah juga dilakukan melalui pengujian laboratorium dan membandingkannya dengan peta tekstur tanah dari Landsystem (PPT, 1982), peta gambut dari Wetland

Indonesia (Ritung, 2011), serta peta gambut yang dikeluarkan oleh Bapedda Banyuasin (2017).

Sampling area yang diambil untuk menentukan nilai reflektan rata-rata dapat pada daerah kajian dalam penentuan klasifikasi tanah, training area dilihat pada Gambar 4.8. Sedangkan pada Grafik 4.7. dapat dilihat rata-rata nilai reflektan dari klasifikasi tanah (Indrayani, et al, 2018b).



Gambar 4.8. Training Area Klasifikasi Tekstur Tanah pada Komposit Band 65

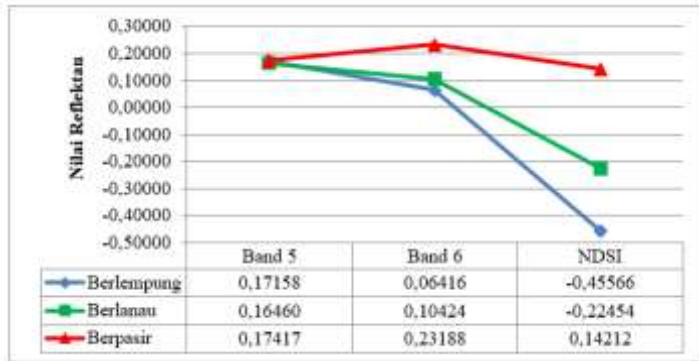


Grafik 4.7. Rataan Nilai Reflektan dari Klasifikasi Tekstur Tanah

Grafik 4.7 dapat dilihat bahwa rata-rata nilai spektral yang dipantulkan pada tanah berlempung dan berlanau lebih kecil dibanding dengan pada tanah berpasir, hal ini menunjukkan bahwa pada tanah berlempung dan berlanau memiliki kelembaban tanah yang lebih tinggi dari pada tanah berpasir pada musim penghujan, karena energi yang dipancarkan akan langsung dipantulkan kembali. Spektrum pada band 6 yang terkena tanah akan memantulkan nilai spektral yang lebih besar dibandingkan dengan spektrum pada band 5. Jika terkena air maka kedua spektrum ini akan memantulkan nilai spektral yang semakin kecil pada spektrum band 6. Hal ini dapat dilihat pada kondisi tanah berpasir dengan kelembaban yang rendah akan memiliki nilai spektrum yang tinggi pada band 6. Sedangkan tanah berlempung dan berlanau yang memiliki kelembaban tinggi (mengandung air cukup tinggi) maka nilai spektrum akan lebih tinggi pada band 5 (Khadse, 2012; Lillesand and Kiefer, 2008).

Tanah yang mempunyai tekstur berlempung akan memiliki persentase kelembaban tanah yang tinggi pada saat musim penghujan, hal ini akan berpengaruh pada tingkat kecerahan rona yang rendah (gelap). Semakin rendah persentase kelembaban tanah, maka tingkat kecerahan rona akan semakin tinggi, karena hampir semua energi yang diterima tanah akan langsung dipantulkan ke sensor dan semakin besar gelombang yang dipancarkan maka semakin besar pantulan nilai spektralnya.

Untuk mendapatkan klasifikasi terhadap genangan dilakukan reklasifikasi terhadap nilai NDSI, hasil reklasifikasi menggunakan nilai NDSI didapat rata-rata nilai reflektan pada band 6, band 5, dan nilai NDSI yang membedakan tektur tanah berlempung, berlanau, dan berpasir/ pasir halus, seperti pada Grafik 4.8 (Indrayani, et al, 2018b).



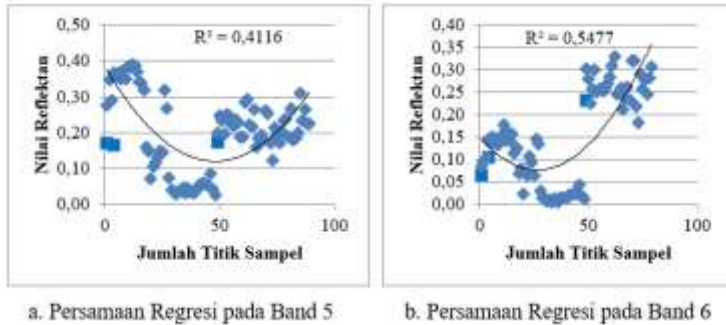
Grafik 4.8. Nilai Reflektan pada Band 6, Band 5, dan Nilai NDSI

Dari Grafik 4.8 dapat dilihat bahwa pada spektrum band 6 (1,560 - 1,660 μm) akan memiliki nilai reflektan yang tinggi apabila terkena tanah dengan kelembaban yang rendah yaitu 0,23188, dan pada tanah berlempung dengan kelembaban tinggi maka nilai reflektan rendah. Nilai NDSI terus meurun pada kondisi tanah dengan tekstur berlempung yaitu sebesar -0,45566, pada tekstur belanau sebesar -0,22454, dan pada tanah berpasir sebesar 0,14212.

NDSI merupakan kombinasi band 6 dan band 5 akan menunjukkan rentang nilai reflektan (-1,03359 - 0,430015), dimana semakin tinggi nilai reflektan maka tingkat kecerahan rona akan semakin cerah dan semakin rendah nilai reflektan maka tingkat kecerahan rona akan gelap yang menunjukkan bahwa kelembaban tanah tinggi. Analisa regresi dari nilai reflektan pada kombinasi band 6 dan band 5 terhadap klasifikasi tekstur tanah, dapat dilihat pada Grafik 4.9.

Persamaan regresi dari Grafik 4.9 menunjukkan nilai reflektan pada band 5 memiliki nilai $R^2 = 0,8116$, sedangkan pada band 6 menunjukkan nilai $R^2 = 0,5477$. Nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan bahwa adanya korelasi yang kuat antar variabel yang ditinjau.

Dari rata-rata nilai reflektan yang diperoleh, selanjutnya dilakukan reklasifikasi terhadap tekstur tanah yang dibagi dalam 3 kelas, yaitu: tanah berpasir/pasir halus, tanah berlanau, dan tanah berlempung (Departemen Pekerjaan Umum, 2006), seperti pada Tabel 4.6., dan Gambar 4.9 (Indrayani, et al, 2018b).



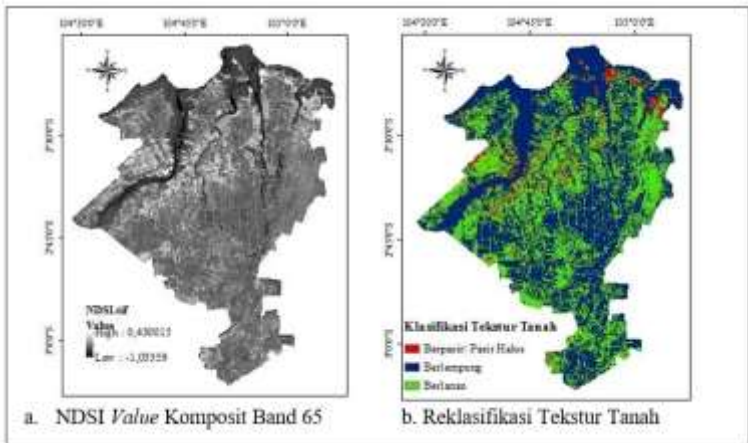
Grafik 4.9. Persamaan Regresi dari Nilai Reflektan pada Klasifikasi Tekstur Tanah

Tabel 4.6. Klasifikasi Nilai Reflektan Berdasarkan Tekstur Tanah

No	Klasifikasi Tanah	Rentang Nilai Reflektan	Luas (KM ²)	Kecenderungan Sebaran
1.	Berpasir/pasir halus	(-0,09311) – (0,43001)	1923	Pada daerah tepi sungai dan pantai
2.	Berlanau	(-0,37662) – (-0,09311)	1243	Pada daerah tepi sungai hingga tengah
3.	Berlempung	(-1,03359) – (-0,37662)	177	Pada daerah tengah

Perencanaan dan pembangunan konstruksi jalan harus mempertimbangkan sifat-sifat fisik tanah, kekuatan tanah dengan sifat plastis tinggi atau memiliki nilai batas cair yang tinggi akan lebih rendah karena kondisi tanah menjadi

tidak stabil. Tanah bertekstur halus akan sulit padat pada kondisi kadar air yang tinggi dan pada tanah yang plastis harus dilakukan perkerasan tanah yang cukup tebal. Dari dasar inilah maka pemilihan trase jalan harus menghindari daerah yang memiliki tekstur halus, namun karena di daerah rawa kecenderungan tanah memiliki tekstur halus, maka pada penelitian ini pembobotan terhadap tekstur tanah hanya diklasifikasikan pada tanah berlempung, tanah berlanau, dan tanah berpasir halus.

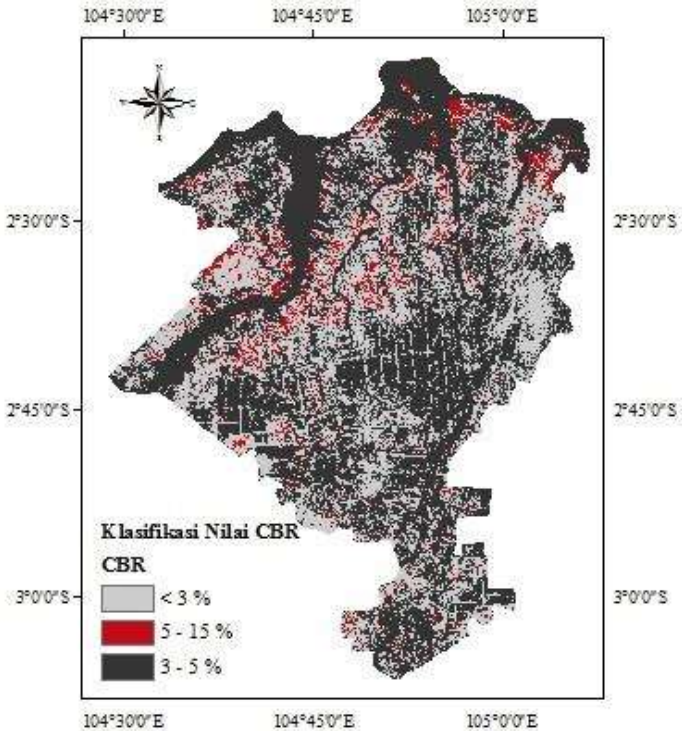


Gambar 4.9. Identifikasi dan Klasifikasi Tekstur Tanah

Klasifikasi terhadap nilai CBR dilakukan berdasarkan pendekatan dari tekstur tanah, bahwa pada tekstur tanah berlanau memiliki nilai CBR < 3 %; pada tanah berlempung (lempung berlanau) umumnya memiliki nilai CBR 3 – 5 %; dan pada tanah berpasir (lempung berpasir) nilai CBR sebesar 5 – 15 % (Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013; Summers, 2000). Hasil klasifikasi nilai CBR dapat dilihat pada Gambar 4.10 (Indrayani, et al, 2018b).

Nilai CBR merupakan nilai yang menunjukkan kekuatan atau daya dukung tanah dasar, semakin tinggi nilai CBR maka daya dukung tanah dasar semakin baik. Tanah

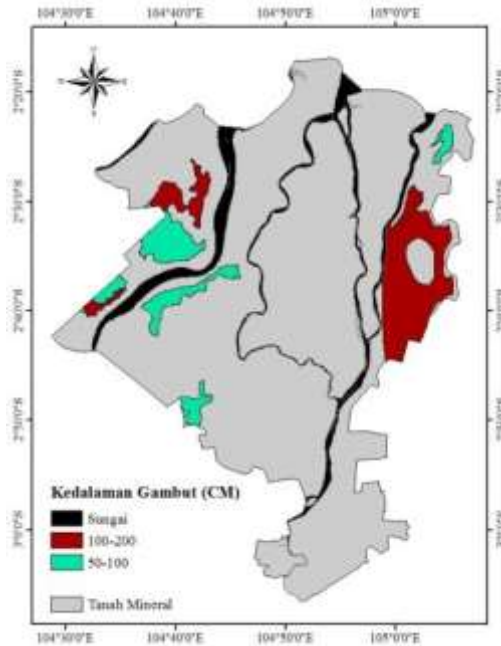
dasar yang memiliki nilai CBR rendah maka perlu dilakukan perbaikan terhadap tanah dasar tersebut, sehingga pertimbangan pemilihan trase jalan adalah memilih tanah dengan nilai CBR yang tinggi karena tidak perlu dilakukan perbaikan terhadap kondisi tanah dasar.



Gambar 4.10. Klasifikasi Nilai CBR

Sedangkan klasifikasi terhadap tanah gambut dilakukan berdasarkan peta gambut wetland Indonesia (Ritung, 2011) dan peta area gambut Banyuwasin (Badan Pertanahan dan Perencanaan Kabupaten Banyuwasin, 2017), dibagi menjadi 3 kelas, yaitu bergambut dengan kedalaman < 50 cm, gambut dangkal dengan kedalaman 50 – 100 cm, dan gambut dalam dengan kedalaman 100 – 200 cm. Klasifikasi kedalaman gambut dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Lapisan pada tanah gambut memiliki sifat sangat lunak dan tidak stabil, dimana lapisan tanah gambut dapat menyerap air lebih banyak, namun tidak dapat menahan air lebih lama seperti pada tanah mineral sehingga mudah terjadi penurunan tanah. Dalam menentukan trase jalan yang berwawasan lingkungan tentunya keberadaan tanah gambut merupakan aspek penting yang harus dipertimbangkan. Dari sudut pandang Engineering tanah gambut merupakan tanah yang memiliki sifat tidak stabil sehingga harus dihindarkan pada saat pemilihan trase jalan, sedangkan dari sudut pandang keseimbangan lingkungan pada lokasi tanah gambut tidak dilakukan pembangunan karena tanah gambut dapat menjaga ketersediaan air. Pada akhirnya pembobotan kriteria yang diambil akan disesuaikan dengan ketebalan tanah gambut, semakin tebal gambut maka harus dihindarkan untuk diambil sebagai penentuan trase jalan.



Gambar 4.11. Klasifikasi Kedalaman Gambut
(Sumber : Ritung, 2011; Bapedda Banyuasin, 2017)

2. Pengujian tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut

Pengujian ketelitian terhadap klasifikasi tanah dilakukan dengan pengujian di laboratoium. Sampel tanah diambil pada 10 lokasi dari hasil klasifikasi tanah yang telah dilakukan menggunakan pendekatan NDSI. Setiap lokasi diambil 3 titik pada beberapa daerah kajian dengan menggunakan handbor sampai dengan kedalaman tanah 1,8 meter dengan pertimbangan bahwa perbaikan tanah untuk jalan dilakukan pada kedalaman sampai dengan 1,5 meter. Selanjutnya dilakukan pengujian indeks propertis untuk mengetahui jenis tanah dan tekstur tanah berdasarkan klasifikasi AASHTO serta pengujian nilai CBR untuk mengetahui daya dukung tanah. Pengambilan sampel tanah berdasarkan hasil klasifikasi dari interpretasi citra. Titik lokasi pengambilan sampel tanah dan detailnya dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan 4.13.

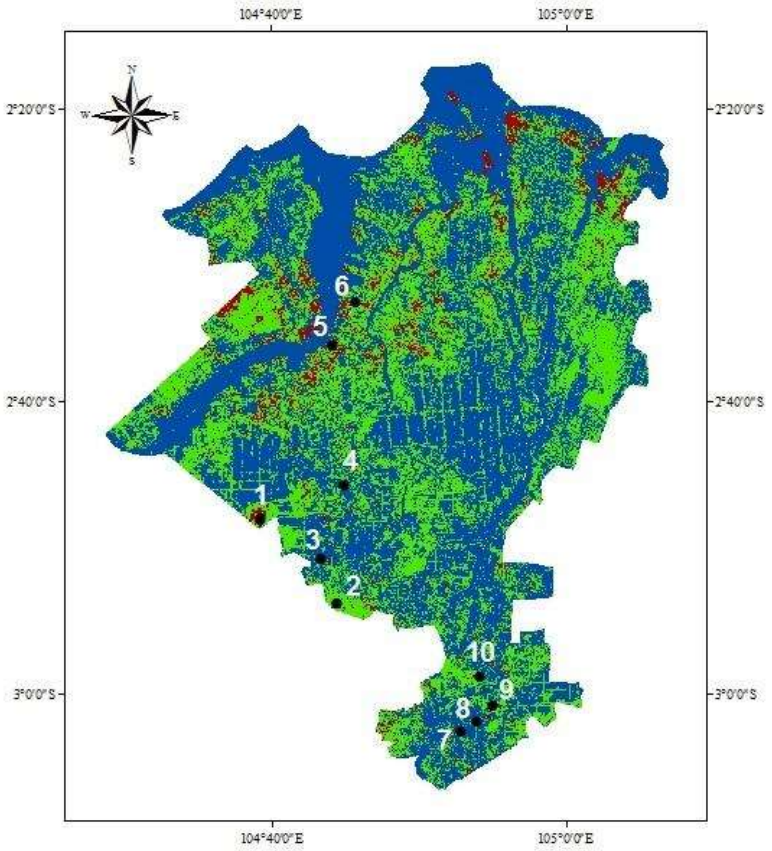


a. Pengeboran tanah dengan *Handbor*

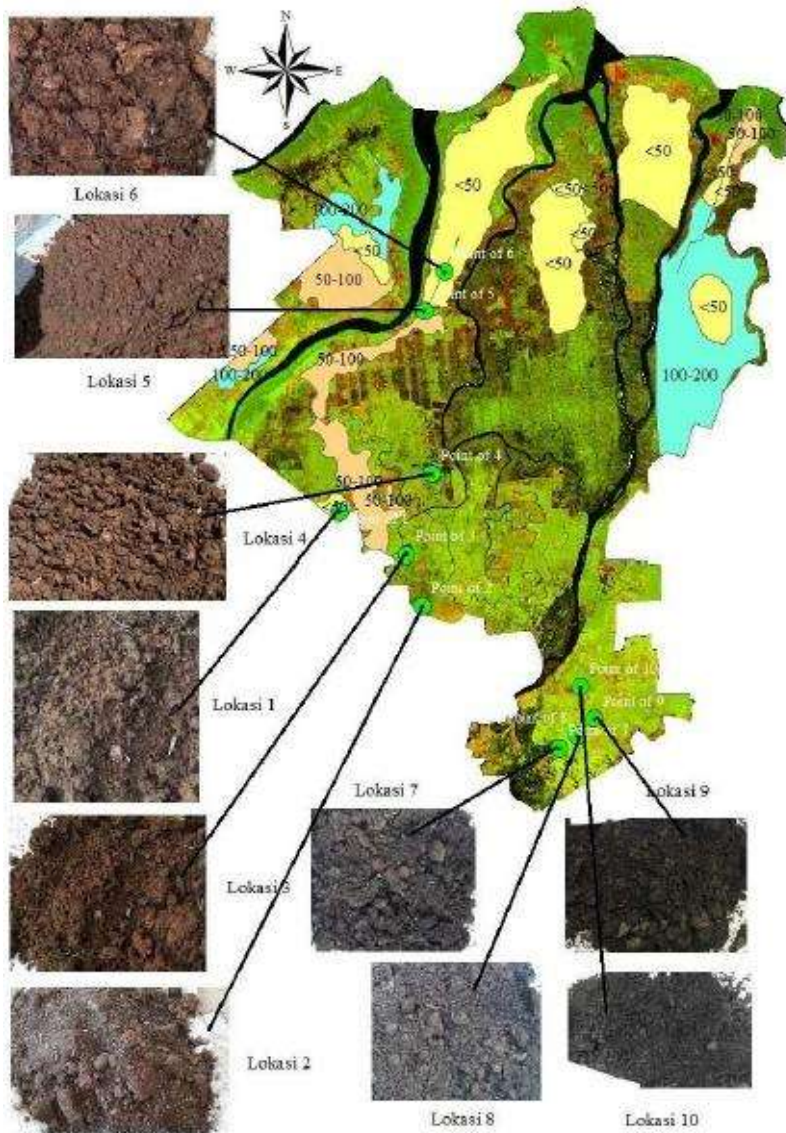


b. Pengambilan Sampel Tanah di Bawah Permukaan

Gambar 4.12. Pengambilan Sampel Tanah



Gambar 4.13. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah
(Ditetapkan berdasarkan Klasifikasi Tekstur Tanah dari Hasil Interpretasi Citra)



Gambar 4.14. Penampakan Jenis Tanah pada Lokasi Pengambilan Sampel Tanah



Gambar 4.15. Pengujian Indeks Properties, Analisa Saringan, dan Nilai CBR di Laboratorium

Hasil pengujian indeks propertis, nilai CBR, dan analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 4.7 (Indrayani, et al, 2018b).

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Indeks Propertis, Analisa Saringan, dan CBR

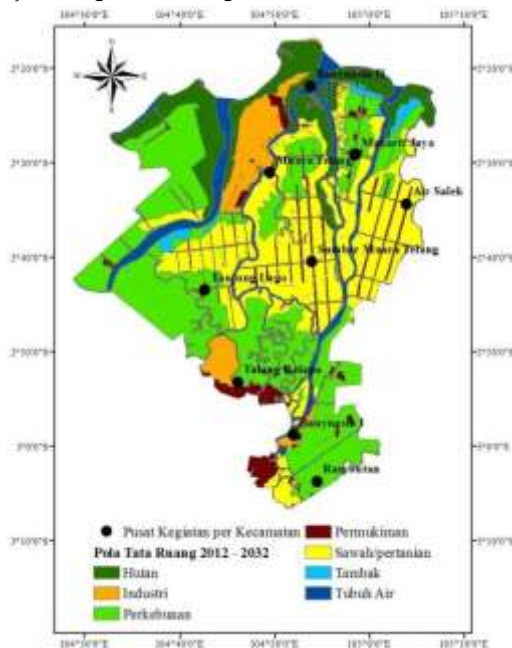
No	URAIAN	Rata-rata Nilai									
		Talang Kelapa	Talang Kelapa	Talang Kelapa	Tanjung Lago	Tanjung Lago	Sumber Muara Telang	Rambutan	Rambutan	Rambutan	Rambutan
		Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5	Lokasi 6	Lokasi 7	Lokasi 8	Lokasi 9	Lokasi 10
1	<i>Specific Gravity</i>	2,66	2,59	2,68	2,60	2,46	2,46	2,42	2,53	2,21	2,17
2	Batas Cair	33,77	17,97	27,86	36,87	47,30	54,62	62,13	63,96	75,30	71,97
3	Indeks Plastisitas	6,23	1,82	5,94	11,72	8,59	19,97	9,15	13,20	45,15	16,15
4	Klasifikasi Tanah (AASHTO)	A-4	A2-4	A-4	A-6	A-5	A-7	A-5	A-7	A-7	A-7
5	Klasifikasi Jenis Tanah (AASHTO)	<i>Silty Soil</i>	<i>Silty or clayey gravel and sand</i>	<i>Silty Soil</i>	<i>Clayey Soil</i>	<i>Silty Soil</i>	<i>Clayey Soil</i>	<i>Silty Soil</i>	<i>Clayey Soil</i>	<i>Clayey Soil</i>	<i>Clayey Soil</i>
6	Ukuran Butiran (mm) (AASHTO)	0,002 - 0,075	0,075 - 0,425	0,002 - 0,075	< 0,002	0,002 - 0,075	< 0,002	0,002 - 0,075	< 0,002	< 0,002	< 0,002
7	Nilai CBR (%)	3,70	8,33	3,94	2,13	4,88	2,13	6,45	6,64	4,88	4,62

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa jenis tanah dari hasil pengujian sama dengan klasifikasi tekstur tanah hasil interpretasi citra landsat 8. Pada lokasi 1 hasil pengujian laboratorium menunjukkan tanah jenis lanau (silt) sedangkan pada lokasi 6 merupakan tanah jenis lempung (clay) dengan berat jenis tanah 2,66 pada lokasi 1 serta 2,46 pada lokasi 6, ini menunjukkan bahwa pada daerah tersebut bukan lagi merupakan tanah bergambut karena tanah bergambut memiliki berat jenis tanah yang rendah (< 2). Peta Wetland (Ritung, 2011), menunjukkan bahwa pada lokasi 1 dan 6 merupakan daerah bergambut dengan kedalaman < 50 cm, sedangkan dari peta area gambut Banyuasin yang dikeluarkan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah dan Penelitian Pengembangan Banyuasin (2017), menunjukkan bahwa daerah gambut dengan kedalaman < 50 cm yang ada pada daerah kajian sudah tidak ada lagi dan hal ini juga dibuktikan dari hasil pengujian laboratorium pada lokasi tersebut. Salah satu penyebab perubahan ini dikarenakan pada lokasi tersebut merupakan daerah perkebunan dan pertanian sehingga lapisan gambut yang ada akan hilang disebabkan oleh pengelolaan tanah yang ada. Pada lokasi lain yang dilakukan sampling, rata-rata merupakan tanah berlanau dan tanah berlempung yang memiliki ukuran $0,002 - 0,075$ mm dan tanah berlempung dengan ukuran butiran $< 0,002$ mm.

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa nilai CBR tertinggi pada lokasi 2 yang berada pada wilayah kecamatan Talang Kelapa, yaitu 8,33%. Rata-rata nilai CBR pada beberapa lokasi yang memiliki nilai dibawah 5 % memerlukan proses pemadatan pada subgrade jalan tergantung dari katagori jalan yang akan dibangun. Sedangkan pada lokasi yang memiliki nilai CBR > 5 % tidak diperlukan proses pemadatan pada subgrade kecuali jika jalan dibangun untuk lalu lintas berat (Indrayani, et al, 2018b).

E. Klasifikasi LHR dan Tonase Kendaraan berdasarkan Potensi Wilayah

Klasifikasi tipe pelayanan jalan dibagi 2, yaitu klasifikasi hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan LHR dan tonase. Klasifikasi tipe pelayanan jalan LHR dibagi berdasarkan fungsi jalan (jalan arteri, jalan kolektor, dan jalan lokal) sedangkan untuk tonase kendaraan diklasifikasi berdasarkan kelas jalan (jalan khusus, jalan kelas I, dan jalan kelas II/ kelas III). Sedangkan batasan area dari masing-masing klasifikasi diambil berdasarkan potensi wilayah (hasil produksi dan peruntukan wilayah) dari setiap kecamatan yang ada dalam wilayah kajian. Peruntukan wilayah didasarkan pada rencana tata ruang Kabupaten Banyuasin 2012 - 2032. Pola rencana tata ruang Kabupaten Banyuasin 2012 - 2032 dan pusat kegiatan pada wilayah kajian dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Pola Rencana Tata Ruang Kabupaten Banyuasin 2012 - 2032 dan Pusat Kegiatan pada Wilayah Kajian (Sumber : RTRW Banyuasin, 2011)

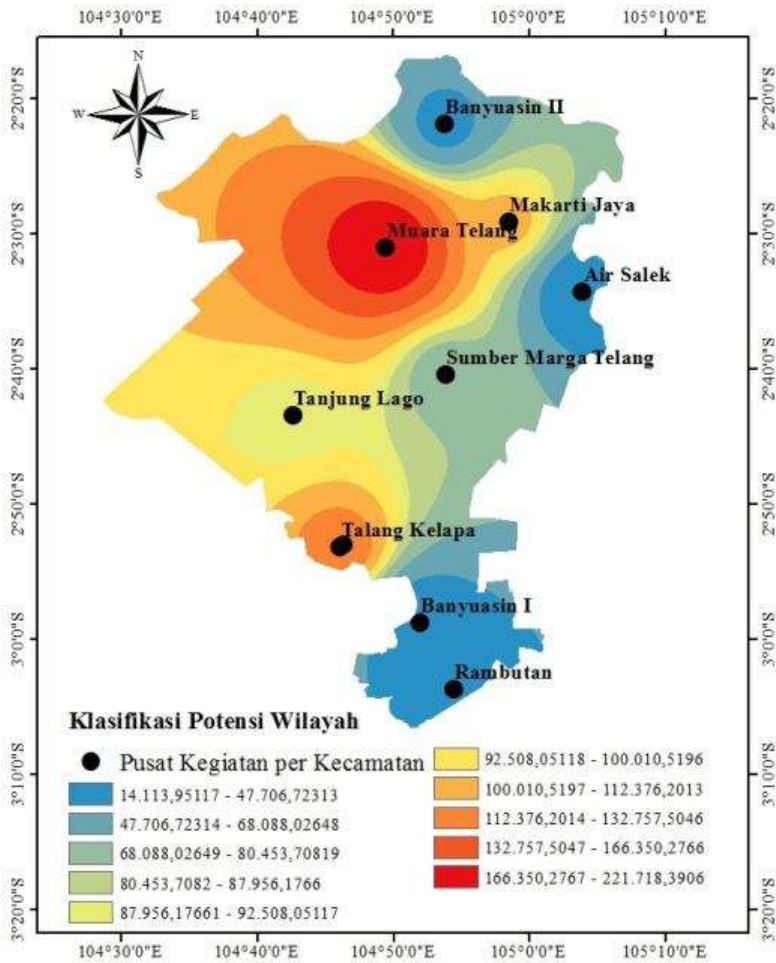
Data hasil produksi sumber daya alam dari setiap kecamatan pada wilayah kajian didapat dari BPS Banyuasin (2015). Hasil produksi sumber daya alam wilayah dan peruntukan wilayah berdasarkan Pola Rencana Tata Ruang Banyuasin 2012 - 2032 dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Produksi Sumber Daya Alam Wilayah dan Peruntukan Wilayah Berdasarkan Pola Tata Ruang Banyuasin 2012 – 2032

No	Kecamatan	Hasil Produksi (Ton)	Persentase Perbandingan (%)	Peruntukan Wilayah Berdasarkan Pola Rencana Tata Ruang Banyuasin 2012 – 2032
1	Talang Kelapa	127808,00	17,74	Perkebunan, kawasan industri, permukiman
2	Tanjung Lago	88641,69	12,30	Perkebunan, pertanian, hutan, kawasan industri, permukiman
3	Banyuasin I	22152,00	3,07	Perkebunan, pertanian, kawasan industri, permukiman
4	Rambutan	32918,00	4,57	Perkebunan, pertanian, permukiman
5	Makarti Jaya	105362,35	14,62	Perkebunan, pertanian, permukiman, tambak
6	Air Salek	14093,00	1,96	Pertanian, perkebunan, permukiman, tambak
7	Banyuasin II	36649,43	5,09	Pertanian, perkebunan, kawasan industri, permukiman, tambak
8	Muara Telang	221720,46	30,77	Pertanian, perkebunan, permukiman
9	Sumber Marga Telang	71255,00	9,89	Pertanian, perkebunan, kawasan industri, permukiman
		720599,93	100	

Dari Tabel 4.8 dapat dilihat persentase perbandingan hasil produksi, produksi tertinggi pada wilayah Kecamatan Muara Telang yaitu 30,77 % dari total hasil produksi pada wilayah kajian dan peruntukan wilayah adalah kawasan pertanian, perkebunan, dan permukiman. Hirarki tipe pelayanan jalan

berdasarkan LHR dan tonase akan diklasifikasi berdasarkan potensi dan peruntukan wilayah, menggunakan metode interpolasi dari hasil produksi pada tiap wilayah kecamatan. Hasil dari interpolasi dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17. Klasifikasi Hasil Interpolasi Potensi Wilayah

1. Klasifikasi berdasarkan LHR

Berdasarkan hasil survei lalu lintas yang diambil dari 3 sumber, yaitu : (i) hasil survei lalu lintas yang dilakukan bulan Oktober 2016 selama 10 jam, mulai dari pukul 08.00 hingga pukul 18.00 selama 7 hari, pada kawasan permukiman (kawasan KTM Telang sebelum dan setelah jembatan pada km 32; jalan masuk ke SMP 34 Kecamatan Tanjung Lago), kawasan industri, pertanian, dan perkebunan (jalan Tanjung Api-Api sebelum Jembatan Gasing Kecamatan Talang Kelapa dan km 32 Kecamatan Tanjung Lago) dan (ii) data hasil survei lalu lintas ATTN pada bulan Oktober 2011 di jalan Tanjung Api-api (perbatasan kota Palembang dengan Kabupaten Banyuasin) dengan waktu survei selama 16 jam mulai dari pukul 06.00 sampai dengan pukul 22.00.



Gambar 4.18. Survei Lalu Lintas Kendaraan, (a) TAA - Palembang; (b) Palembang - TAA; (c) Kawasan Permukiman KTM Telang

Hasil survei dari ketiga sumber di atas dengan jumlah kendaraan tertinggi dalam satuan mobil penumpang (SMP) dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Survei Kendaraan pada Kawasan Industri, Pertanian/ Perkebunan, Permukiman

No	Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (SMP)		
		Hasil Survei Tahun 2016		Hasil Survei Tahun 2011 (ATTN)
		Kawasan Industri, Pertanian, Perkebunan	Kawasan Permukiman	Jalan TAA
1	Sepeda motor, scooter, sepeda kumbang	884	239	2676
2	Sedan, Jeep, Station Wagon	51	3	3098
3	Oplet, Pickup - Oplet, Combi, Suburban, Minibus	643	39	65
4	Bus Sedang	6	0	14
5	Bus Besar	10	0	8
6	Pickup, Mikro Truk, Mobil Hantaran	355	37	1048
7	Truk Ringan 2 as (barang Umum)	37	7	4637
8	Truk Sedang 2 as (Cair/ Tangki)	1120	7	300
9	Truk 3 - 5 as (Barang Umum)	278	1	1088
		3384	334	12935

Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa pada tahun 2011 hasil survei ATT jumlah LHR per hari 12935 SMP, sedangkan pada tahun 2016 jumlah LHR 3384 SMP. Terjadinya pengurangan jumlah LHR yang sangat signifikan pada jalan menuju pelabuhan Tanjung Api-api, salah satunya dimungkinkan adanya Surat Edaran Gubernur Sumsel Ir. H. Alek Noerdin, mengenai larangan melintas bagi kendaraan batubara di jalan umum per Januari 2013.

Dari hasil survei lalu lintas harian rata-rata pada beberapa titik di wilayah kajian pada saat ini untuk kawasan industri jumlah LHR > 10.000 SMP, kawasan pertanian dan perkebunan jumlah LHR adalah > 3000 SMP, sedangkan di daerah permukiman jumlah LHR > 300 SMP. Dari Tabel 2.13, untuk jalan dengan jumlah LHR seperti ini merupakan

jalan dengan lalu lintas rendah, namun ini merupakan jumlah kendaraan eksisting pada kondisi saat ini. Sedangkan jalan yang dibangun merupakan jalan untuk prediksi yang akan datang maka jumlah kendaraan saat ini dapat dikalikan dengan tingkat pertumbuhan penduduk pada daerah Kabupaten Banyuasin dengan kisaran 2,6% (RTRW Banyuasin, 2011). Persamaan yang digunakan untuk memprediksi jumlah kendaraan 20 tahun yang akan datang (tahun 2036) adalah :

$$\text{Jumlah kendaraan} \times (1 + i)^n \dots\dots\dots (4.5)$$

Dimana : i = tingkat pertumbuhan lalu lintas

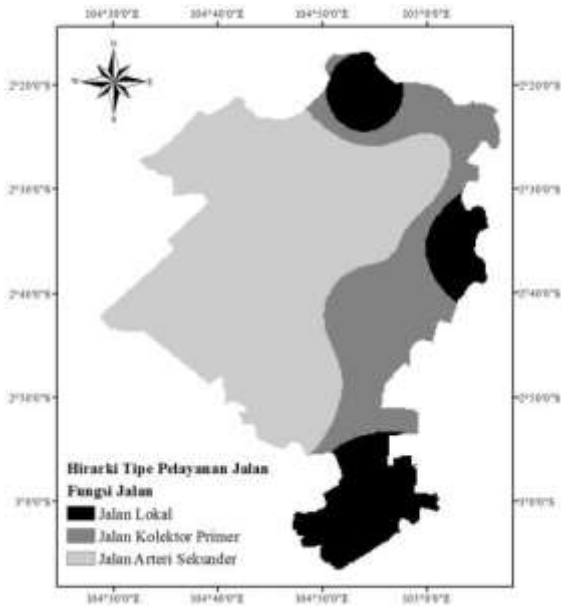
n = tahun

Dari persamaan di atas diperoleh prediksi jumlah kendaraan pada tahun 2036 adalah untuk kawasan industri jumlah LHR > 20000 SMP, kawasan pertanian dan perkebunan jumlah LHR > 10.000 SMP, sedangkan di daerah permukiman jumlah LHR > 700 SMP. Hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan LHR diklasifikasikan dari peringkat potensi wilayah kecamatan dan peruntukan wilayah, seperti pada Tabel 4.10. Sedangkan klasifikasi hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan LHR terhadap pusat-pusat kegiatan dapat dilihat pada Gambar 4.19.

Dari hasil klasifikasi berdasarkan produksi wilayah, diperoleh luas hirarki pelayanan jalan arteri sekunder untuk LHR > 20000 SMP adalah 1985,27 km², jalan kolektor primer untuk LHR > 10000 SMP adalah 762,77 km², dan jalan lokal dengan LHR > 700 SMP adalah 609,40 km².

Tabel 4.10. Klasifikasi Hirarki Type Pelayanan Jalan Berdasarkan LHR

No	Hirarki Tipe Pelayanan Jalan	LHR (SMP)	Kecamatan	Keterangan
1	Jalan Lokal	> 700	Banyuasin II, Rambutan, Banyuasin I, Air Salek	Klasifikasi wilayah berdasarkan hirarki pelayanan jalan akan dilakukan berdasarkan titik pada pusat kegiatan yang berpusat pada ibu kota kecamatan, semakin dekat dengan pusat kegiatan dengan potensi wilayah yang tinggi maka klasifikasi fungsi jalan akan semakin tinggi. Pada kawasan-kawasan yang akan dikembangkan menjadi kawasan industri, perkebunan, dan pertanian tentunya membutuhkan kondisi jalan yang dapat menampung jumlah kendaraan yang melewatinya.
2	Jalan Kolektor Primer	> 10.000	Sumber Marga Telang	
3	Jalan Arteri Sekunder	> 20.000	Muara Telang, Talang Kelapa, Makarti Jaya, Tanjung Lago	



Gambar 4.19. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan LHR

Pemilihan trase jalan lebih mempertimbangkan LHR > 20000 SMP dikarenakan pada daerah dengan LHR tinggi dibutuhkan pembangunan jalan yang dapat menampung kapasitas kendaraan yang melewatinya.

2. Klasifikasi berdasarkan tonase kendaraan

Rata-rata berat total kendaraan berdasarkan jenis dan muatan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Rata-rata Berat Total Kendaraan Berdasarkan Jenis Muatan

No	Jenis Kendaraan	Jenis Muatan	Rata-rata Berat Total Kendaraan (Ton)
1	Pick Up	Ternak, sayuran, bibit, pupuk, buah	2,46
2	Truk Sedang	Ternak, sayuran, bibit, pupuk, buah, kebutuhan pokok, material, karet, minyak/CPO, kelontongan	8,30 - 11,36
3	Truk Besar	Ternak, bibit, pupuk, kebutuhan pokok, material, karet, minyak/CPO, kelontongan	13,10 - 17,15
4	Tronton	Kelontongan, pupuk, material	18,24 - 21,40

(Sumber : Dinas Perhubungan Sumatera Selatan, 2016)

Menurut Undang-undang RI No.22 tahun 2009, bahwa jalan dibagi berdasarkan Muatan Sumbu Terberat (MST) dibagi dalam 3 kelas, yaitu jalan kelas I dengan MST 10 ton, jalan kelas II dan III dengan MST 8 ton, serta jalan khusus dengan MST > 10 ton. Dari data rata-rata berat total kendaraan, hasil produksi wilayah, dan peruntukkan wilayah, maka klasifikasi tonase dibagi dalam 3 kelas, yaitu : (i) jalan kelas I pada Kecamatan Banyuasin I, Kecamatan Muara

Telang, Makarti Jaya; (ii) jalan kelas II atau kelas III pada Kecamatan Rambutan dan Kecamatan Air Saleh; (iii) jalan khusus pada Kecamatan Talang Kelapa, Kecamatan

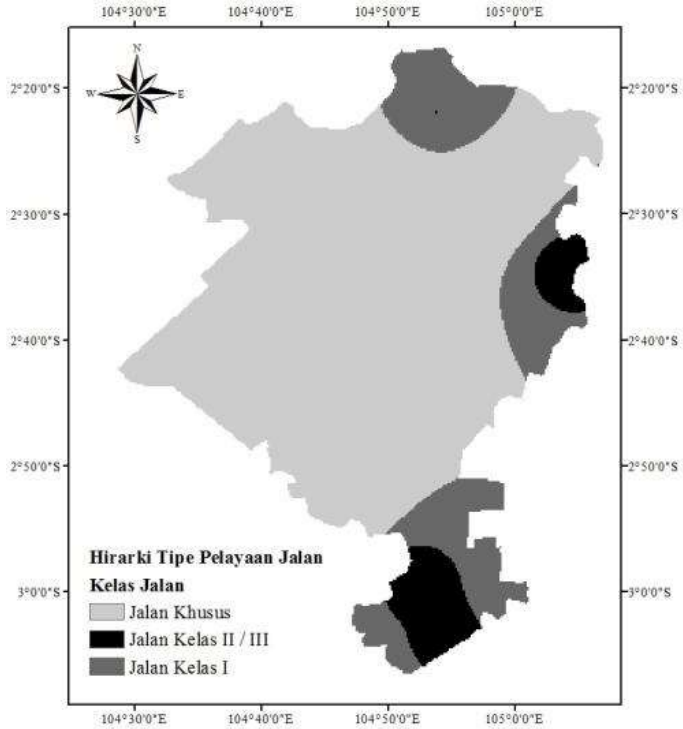
Tanjung Lago, Kecamatan Sumber Muara Telang, dan Kecamatan Banyuasin II.

Dari data hasil produksi (Tabel 4.8) dan rata-rata berat total kendaraan berdasarkan jenis muatan maka dibuat hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan tonase, seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan Produksi Wilayah

No	Hirarki Tipe Pelayanan Jalan	Muatan Sumbu Terberat	Wilayah Kecamatan	Keterangan
1	Jalan Kelas II dan Kelas III	8 ton	Rambutan, Air Salek	Wilayah Kecamatan Muara Telang, Talang Kelapa, Makarti Jaya, dan Tanjung Lago merupakan kecamatan dengan potensi wilayah yang tinggi disamping itu juga merupakan kawasan yang akan dikembangkan menjadi pusat industri, perkebunan, dan pertanian sehingga jalan yang dibangun harus mampu menahan beban kendaraan dengan beban > 10 ton.
2	Jalan Kelas I	10 ton	Sumber Marga Telang, Banyuasin II, Banyuasin I,	
3	Jalan Khusus	> 10 ton	Muara Telang, Talang Kelapa, Makarti Jaya, Tanjung Lago	

Klasifikasi hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan tonase terhadap pusat-pusat kegiatan dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan Produksi Wilayah

Dari hasil klasifikasi berdasarkan produksi wilayah, diperoleh luas hirarki pelayanan jalan khusus untuk tonase > 10 ton adalah 2584,24 km², jalan kelas I untuk tonase = 10 ton adalah 564,94 km², dan jalan khusus untuk tonase = 8 ton adalah 208,25 km². Pemilihan trase jalan lebih mempertimbangkan tonase > 10 ton dikarenakan pada daerah dengan tonase tinggi dibutuhkan pembangunan jalan untuk menahan beban kendaraan yang berat, tanpa merusak lingkungan disekitarnya.

Berdasarkan berat kendaraan yang akan melewati wilayah kajian maka sebaiknya pembangunan jalan pada sebagian besar wilayah dibangun jalan khusus yaitu jalan dengan perencanaan untuk berat total kendaraan > 10 ton sehingga jalan yang dibangun akan sesuai dengan

peruntukan wilayah ada daerah kajian yaitu akan dikembangkan pada sektor industri, perkebunan, dan pertanian.

F. Klasifikasi Indeks Aksesibilitas berdasarkan Jaringan Jalan dan Luas Wilayah

Hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan nilai indeks aksesibilitas didasarkan pada kinerja standar pelayanan minimum dari ketersediaan jaringan jalan yang mudah diakses oleh masyarakat yang diperoleh dari perbandingan panjang jalan dengan luas wilayah. Pada Tabel 4.13 dapat dilihat perbandingan jumlah penduduk dengan luas wilayah secara keseluruhan.

Dari Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa katagori tingkat kepadatan penduduk pada wilayah kajian berdasarkan besaran parameter kinerja standar pelayanan minimum (Kepmenkimpraswil No. 534/KPTS/M/2001) adalah sangat rendah yaitu < 100 jiwa/km² dan rendah > 100 jiwa/km². Tingkat pertumbuhan penduduk pada Kabupaten Banyuasin adalah 2,6 % pertahun (RTRW Banyuasin, 2011), sehingga jika diprediksi untuk 20 tahun kedepan pada wilayah dengan kepadatan tertinggi (Kecamatan Talang Kelapa) adalah 506,76, ini menunjukkan bahwa tingkat kepadatan penduduk pada wilayah kajian untuk 20 tahun kedepan masih dalam katagori “sedang”. Sedangkan nilai indeks aksesibilitas dihitung berdasarkan perbandingan panjang jalan dan luas wilayah dan penilaian katagori berdasarkan standar penilaian indeks aksesibilitas (Tabel 2.23).

Tabel 4.13. Perbandingan Jumlah Penduduk dengan Luas Wilayah Kecamatan yang ada pada Wilayah Kajian

No	Kecamatan	Luas Total (km ²)	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kepadatan (Jiwa/km ²)	Kategori
1	Talang Kelapa	439,43	133275	303,29	Rendah
2	Tanjung Lago	802,42	38607	48,11	Sangat Rendah
3	Banyuasin I	186,69	53576	286,98	Rendah
4	Rambutan	450,04	43311	96,24	Sangat Rendah
5	Makarti Jaya	300,28	28124	93,66	Sangat Rendah
6	Air Saleh	311,57	36877	118,36	Rendah
7	Banyuasin II	3632,40	43438	11,96	Sangat Rendah
8	Muara Telang	341,57	39312	115,09	Rendah
9	Sumber Marga Telang	174,89	24837	142,01	Rendah
		11658,10	786682	67,48	

Tabel 4.14. Perbandingan Panjang Jalan dengan Luas Wilayah pada Wilayah Kajian

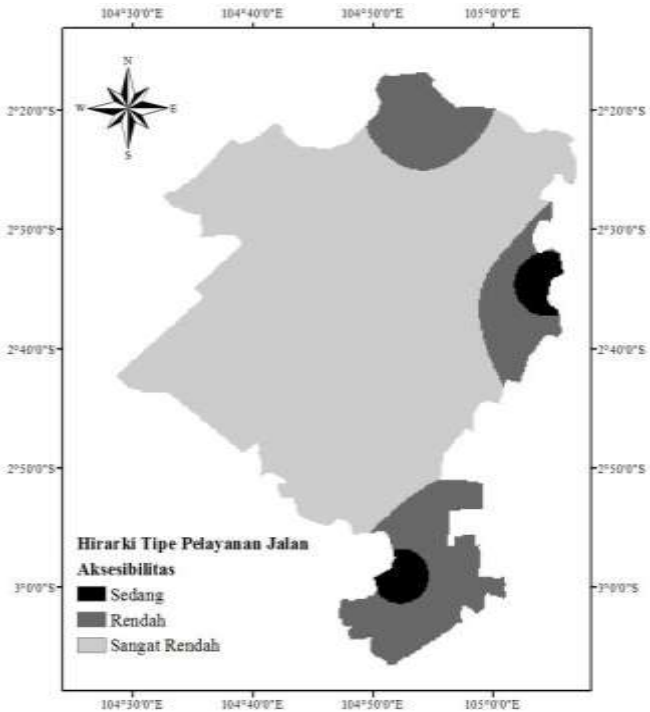
No	Kecamatan	Panjang (km)	Luas (km ²)	Nilai Indeks Aksesibilitas	Kategori
1	Talang Kelapa	76,05	256,02	0,30	Rendah
2	Tanjung Lago	305,00	802,42	0,37	Rendah
3	Banyuasin I	50,69	211,50	0,24	Rendah
4	Rambutan	122,53	186,09	0,66	Sedang
5	Makarti Jaya	26,47	328,15	0,08	Sangat Rendah
6	Air Saleh	81,20	337,41	0,24	Rendah
7	Banyuasin II	85,51	643,97	0,13	Sangat Rendah
8	Muara Telang	105,66	320,41	0,33	Rendah
9	Sumber Marga Telang	34,07	239,86	0,15	Rendah
Total		887,17	3344,36		

Pada Tabel 4.14 dapat dilihat perbandingan panjang jalan dengan luas wilayah kecamatan yang sudah dipotong sesuai dengan wilayah kajian. Kategori kondisi indeks aksesibilitas pada Tabel 4.13 dan 4.14, diperoleh dari besaran parameter kinerja standar pelayanan minimum untuk indeks aksesibilitas (dari Tabel 2.14).

Tabel 4.15. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan Indeks Aksesibilitas dan Potensi Wilayah

No	Nilai Indeks Aksesibilitas	Potensi Wilayah	Wilayah Kecamatan	Keterangan
1	Sangat Rendah	Tinggi	Makarti Jaya, Talang Kelapa, Tanjung Lago, Marga Telang	Pemilihan jalan didasarkan pada daerah dengan potensi wilayah tinggi namun indeks aksesibilitas jalan masih sangat rendah atau rendah.
2	Rendah	Sedang	Banyuasin II, Sumber Muara Telang	
3	Sedang	Rendah	Banyuasin I, Rambutan, Air Salek	

Peta hasil klasifikasi pada aspek aksesibilitas dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan Aksesibilitas

Dari hasil klasifikasi berdasarkan indeks aksesibilitas dan potensi wilayah yang ada maka diperoleh luas hirarki pelayanan jalan untuk daerah dengan nilai indeks aksesibilitas sangat rendah $> 0,05$ adalah 2574,03 km², daerah dengan nilai indeks aksesibilitas rendah $> 0,15$ adalah 681,30 km², dan daerah dengan nilai indeks aksesibilitas sedang $> 0,50$ adalah 102,105 km². Pemilihan trase jalan akan mempertimbangkan daerah dengan indeks aksesibilitas sangat rendah namun memiliki potensi wilayah yang tinggi, sehingga ketersediaan jaringan jalan dapat terpenuhi. Secara keseluruhan indeks aksesibilitas jaringan jalan pada daerah kajian adalah sangat rendah sampai sedang, ini berarti bahwa pembangunan prasarana jalan pada daerah kajian diperlukan untuk mendukung perkembangan pembangunan pada daerah rawa.

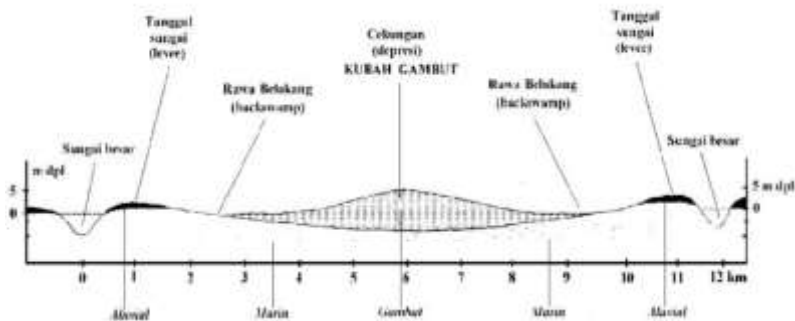
Pada dasarnya sebagian besar indeks aksesibilitas pada wilayah kajian masih rendah 65,37% dari total luas wilayah, ini berarti ketersediaan jaringan jalan masih sangat dibutuhkan untuk mendukung perkembangan pembangunan pada daerah rawa. Terdapat 12 kecamatan di Kabupaten Banyuasin yang belum memiliki rute perjalanan darat ke kota Palembang. Pada Tabel 4.16 dapat dilihat persentase tingkat indeks aksesibilitas jalan pada wilayah kajian.

Tabel 4.16. Perbandingan Persentase Indeks Aksesibilitas

No	Hirarki Tipe Pelayanan Jalan	Luas (km ²)	Persentase (%)
1	Sedang	186,087	5,56
2	Rendah	2186,158	65,37
3	Sangat Rendah	972,119	29,07
Total		3344,363	100,00

G. Klasifikasi Sosiogeografi berdasarkan Letak Sungai

Berdasarkan penampang skematik lahan rawa (Subagyo, 2006) bahwa pembagian jenis tanah pada lahan rawa terdiri dari 3 kondisi, yaitu tanah aluvial yang merupakan tanah liat/lempung pasir yang berada pada wilayah tanggul sungai (levee), tanah marin yang merupakan tanah liat/lempung berada pada wilayah backswamp (rawa belakang), dan tanah gambut pada wilayah tengah antara dua sungai besar, seperti pada Gambar 4.22.



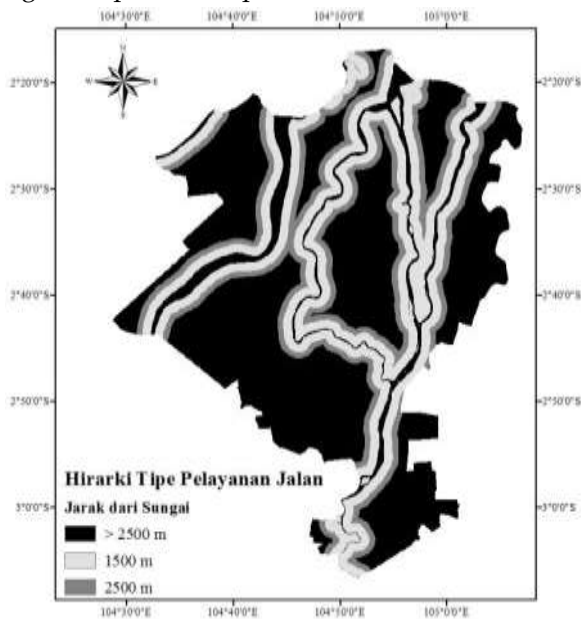
Gambar 4.22. Penampang Melintang Kondisi Daerah Rawa (Subagyo, 2006)

Klasifikasi tipe pelayanan jalan berdasarkan aspek sosiogeografi diambil dari pola permukiman masyarakat di daerah rawa atau daerah dataran rendah cenderung mengikuti pola aliran sungai (Tao, et al, 2017; Putro dan Nurhamsyah, 2016). Klasifikasi tipe pelayanan jalan berdasarkan kondisi sosiogeografi dibagi berdasarkan jarak dari ketiga kondisi wilayah pada lahan rawa, seperti pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan Sosiogeografi

No	Hirarki Tipe Pelayanan Jalan	Jarak <i>Buffer</i> (meter)	Kondisi Lapangan	Keterangan
1	Baik	0 – 1500	<i>Levee</i> (Tanggul Sungai)	Berdasarkan kearifan lokal masyarakat lebih memilih bermukim pada daerah tanggul sungai (<i>levee</i>) yang merupakan lahan potensial untuk dikembangkan
2	Sedang	1500 - 2500	<i>Backswamp</i> (rawa belakang)	
3	Buruk	> 2500	Marin/ Gambut	

Hasil klasifikasi hirarki tipe pelayanan jalan berdasarkan sosiogeografi dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23. Klasifikasi Hirarki Tipe Pelayanan Jalan Berdasarkan Sosiogeografi

Dari hasil klasifikasi berdasarkan aspek sosiogeografi, yaitu dengan mempertimbangkan keberadaan jalan dari sungai, didapat luas daerah dengan jarak 0 - 1500 m adalah 856,44 km², luas daerah dengan jarak 1500 - 2500 m adalah 490,72 km², dan luas daerah dengan jarak > 2500 m adalah 1999,04 km². Pemilihan trase jalan akan mempertimbangkan daerah dengan jarak yang paling dekat dengan sungai yaitu 0 - 1500 m, dengan pertimbangan bahwa pada daerah tersebut merupakan daerah tanggul sungai (levee) dan di samping itu dapat menghidarkan lokasi-lokasi tanah bergambut yang keberadaannya pada kondisi daerah rawa secara umum akan berada di antara 2 sungai besar (Subagyo, 2006).

BAB V

MODEL SPASIAL TRASE JALAN PADA DAERAH RAWA

A. Teknik Pembobotan Data Spasial untuk Komponen Lingkungan Fisik

1. Skoring peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut

Tahapan selanjutnya adalah memberikan skor pada peta kriteria yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Skoring pada peta kriteria komponen lingkungan fisik meliputi peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut berdasarkan standar penilaian yang berlaku dan disesuaikan dengan hasil penelitian kondisi pada daerah rawa. Skoring peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Skoring Parameter dari Peta Kriteria Genangan, Tekstur Tanah, Nilai CBR, dan Gambut

No	Variabel	Kesesuaian/ Skoring		
		Sangat Tidak Sesuai (1)	Sedang (2)	Sesuai (3)
1	Genangan	> 50 cm (Genangan Tinggi)	20 – 50 cm (Genangan Sedang)	0 – 20 cm (Genangan Rendah)
		< 0,002 mm	(0,002 – 0,075) mm	(0,075 – 0,425) mm
2	Tekstur Tanah	(Berlempung)	(Berlanau)	(Pasir Halus)
3	Nilai CBR	< 3 % (Jelek)	3 – 5 % (Sedang)	5 – 15 % (Baik)
4	Gambut	100 – 200 cm (Gambut sedang)	50 – 100 cm (Gambut dangkal)	< 50 cm (Bergambut)

2. Standarisasi informasi geospasial skoring peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut

Setiap informasi geospasial dari bobot peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut akan dilakukan standarisasi, sehingga skoring dari setiap parameter memiliki rasio perbandingan 0 – 1, dimana nilai 0 untuk kondisi yang buruk (sangat tidak sesuai) dan nilai 1

untuk kondisi baik (sesuai). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$w = (w_1, w_2, \dots, w_j) \text{ dan } 0 \leq w_j \leq 1 \dots\dots\dots (5.1)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}$$

dimana :

$x_{j\min}$ = minimum skor untuk atribut j

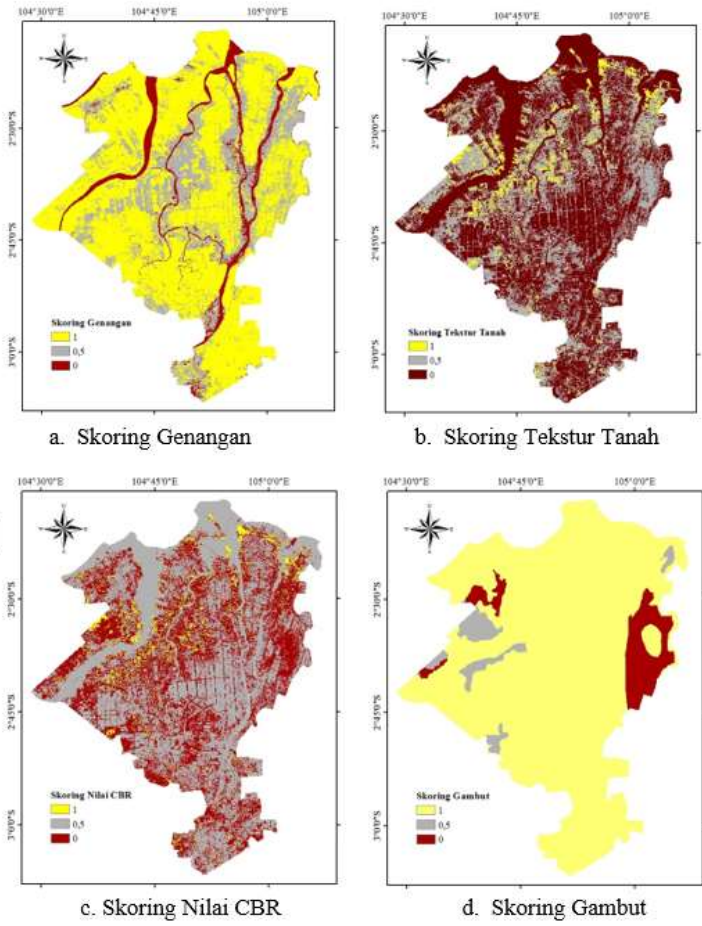
$x_{j\max}$ = maksimum skor untuk atribut j

$\frac{x_{ij} - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}}$ = range (dari 0 sampai 1) untuk 0 terburuk dan 1 terbaik.

Hasil perhitungan standarisasi informasi geospasial bobot peta kriteria genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut dengan persamaan di atas dimasukkan ke dalam peta informasi geospasial berdasarkan skoring yang telah distandarisasi, seperti pada Gambar 5.1.

3. Bobot antar kriteria komponen fisik (genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut)

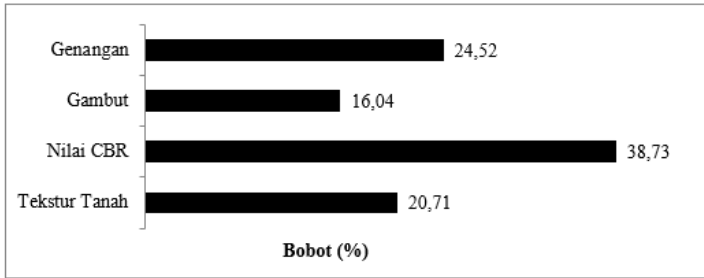
Pembobotan antar kriteria komponen fisik (genangan, tekstur tanah, nilai CBR, dan gambut) diperoleh dari hasil penilaian kuisioner dari para stakeholder dengan latar belakang praktisi dan akademisi. Jumlah responden yang merupakan stakeholder sebanyak 30 orang dari total jumlah responden sebanyak 100 orang. Responden dengan latar belakang Departemen/Dinas Pekerjaan Umum sebanyak 10 orang dari total 60 orang, Departemen/Dinas Lingkungan Hidup sebanyak 12 orang dari total 20 orang, dan akademisi berjumlah 8 orang dari 20 orang. Pembobotan antar kriteria komponen fisik dan indeks konsistensi jawaban berdasarkan penilaian stakeholder dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Grafik 5.1.



Gambar 5.1. Hasil Skorng Standarisasi Komponen Fisik

Tabel 5.2. Pembobotan Antar Kriteria Komponen Fisik dan Indeks Konsistensi

No.	Kriteria	Bobot (%)	Peringkat	Indeks Konsistensi		
				PU	LH	Akademisi
1	Genangan	24,52	2	0,027	0,007	0,006
2	Tekstur Tanah	20,71	3			
3	Nilai CBR	38,73	1			
4	Gambut	16,04	4			
Total		100		IC Gabungan = 0,088		



Grafik 5.1. Pembobotan Antar Kriteria Komponen Fisik

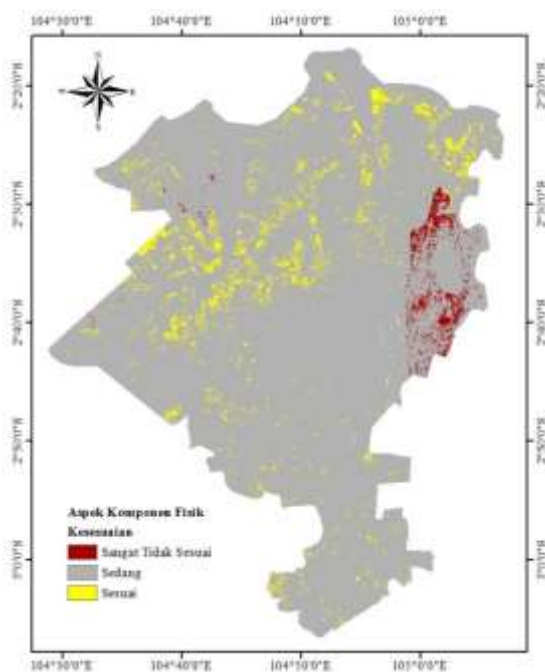
Dari Tabel 5.2 dan Grafik 5.1, dapat dilihat bahwa faktor komponen fisik yang paling penting dipertimbangkan dalam keputusan penentuan trase jalan pada daerah rawa adalah nilai CBR atau daya dukung tanah hal ini disebabkan daya dukung tanah akan mempengaruhi konstruksi yang berada di atasnya yaitu dengan bobot 38,73 %, sedangkan faktor kedua yang perlu dipertimbangkan adalah kondisi genangan, jalan yang dibangun pada daerah genangan akan mengakibatkan penimbunan pada daerah genangan tersebut sehingga dapat merusak kondisi lingkungan rawa yang ada, persentase bobot pada daerah genangan sebesar 24,52 %, dan selanjutnya tekstur tanah dan gambut.

Selanjutnya hasil skoring dari peta kriteria dilakukan overlay untuk mendapatkan peta kesesuaian dari aspek lingkungan fisik dengan mengalikan hasil skoring terhadap bobot masing-masing komponen yaitu bobot komponen tekstur tanah, nilai CBR, gambut, dan genangan. Pembobotan dan pembagian skor pada komponen fisik dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Pembobotan dan Pembagian Skor Komponen Fisik

No.	Kriteria	Atribut	Skor	Bobot (%)
1	Genangan	Dangkal	1	24,52
		Sedang	0,5	
		Dalam	0	
2	Tekstur Tanah	Pasir Halus	1	20,71
		Berlanau	0,5	
		Berlempung	0	
3	Nilai CBR	Baik	1	38,73
		Sedang	0,5	
		Jelek	0	
4	Gambut	Tidak Bergambut	1	16,04
		Sedang	0,5	
		Dalam	0	
Total				100 %

Selanjutnya dilakukan penggabungan peta kriteria dengan metode weighted overlay terhadap skoring dan bobot peta informasi geospasial komponen fisik. Hasil weighted overlay dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2. Hasil weighted overlay Komponen Fisik Kesesuaian Trase Jalan

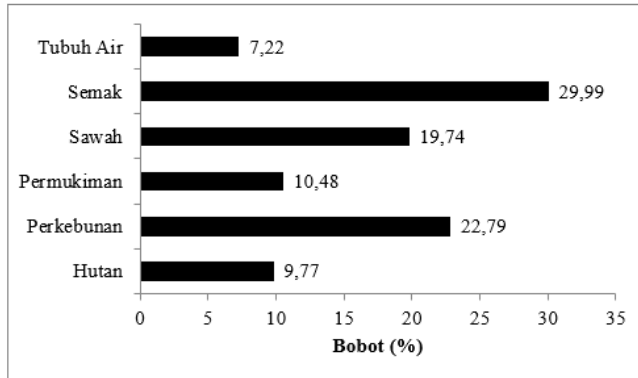
Gambar 5.2 menunjukkan bahwa kesesuaian aspek komponen fisik pada penentuan trase jalan di daerah rawa adalah sedang, hal ini menunjukkan bahwa jika akan dilakukan pembangunan jalan maka tetap harus dilakukan perbaikan terhadap kondisi tanah dasar dikarenakan klasifikasi pada tekstur tanah yang ada pada daerah rawa hanya dibagi dalam 3 kelas (lanau, lempung, dan pasir halus) sedangkan pasir kasar dan kerikil tidak ditemukan dari hasil penelitian.

B. Pembobotan Komponen Tata Guna Lahan

Komponen tata guna lahan yang diambil sebagai kriteria adalah penggunaan lahan yang dibagi menjadi 6 klasifikasi meliputi kawasan hutan, perkebunan, permukiman, sawah, semak, dan tubuh air. Pembobotan dari penggunaan lahan berdasarkan penilaian stakeholder terhadap pertanyaan mana kawasan yang paling cocok untuk dipilih menjadi trase jalan. Pembobotan hasil penilaian penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Grafik 5.2 (Indrayani, et al, 2018a).

Tabel 5.4. Pembobotan Parameter Penggunaan Lahan dan Indeks Konsistensi

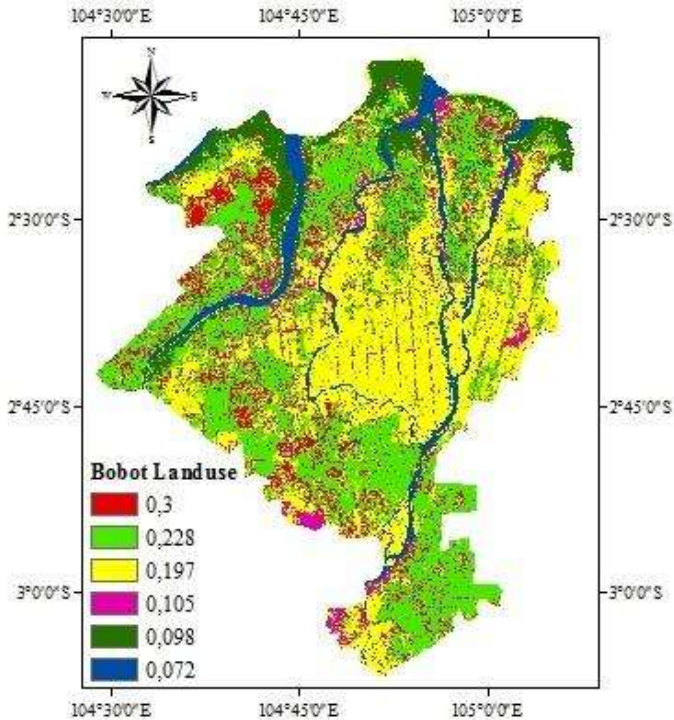
No.	Kriteria	Bobot (%)	Peringkat	Indeks Konsistensi		
				PU	LH	Akademi
1.	Hutan	9,77	5			
2.	Perkebunan	22,79	2			
3.	Permukiman	10,48	4	0,043	0,010	0,041
4.	Sawah/ PLK campur semak	19,74	3			
5.	Semak	29,99	1			
6.	Tubuh Air	7,22	6			
Total		100		IC Gabungan = 0,097		



Grafik 5.2. Pembobotan Komponen Tata Guna Lahan

Dari Tabel 5.43 dan Grafik 5.2, dapat dilihat bahwa kawasan yang paling baik untuk dipilih sebagai trase jalan adalah semak dengan bobot 29,99 %, dikarenakan dari pertimbangan ekonomis pengambilan semak sebagai trase jalan lebih ekonomis, selanjutnya kawasan perkebunan, area persawahan, kawasan permukiman, hutan dan yang terakhir adalah tubuh air (sungai) yaitu sebesar 7,22 %, dikarenakan pemilihan jalan melalui sungai harus mempertimbangkan pembangunan jembatan. Bobot pada informasi geospasial peta kriteria penggunaan lahan tidak perlu distandarisasi karena pembobotan sudah berada pada kisaran nilai 0 – 1.

Selanjutnya peta geospasial landuse dibagi menjadi 3 kelas kesesuaian berdasarkan peringkat bobot yang ada, yaitu sesuai untuk semak dan perkebunan, sedang untuk sawah dan permukiman, dan sangat tidak sesuai untuk hutan dan tubuh air. Peta informasi geospasial terhadap pembagian hasil pembobotan pada komponen tata guna lahan dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3. Kesesuaian Aspek Komponen Tata Guna Lahan

C. Pembobotan Komponen Sosial Ekonomi

1. Skoring informasi geospasial peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi

Pembobotan pada peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi berdasarkan standar penilaian yang berlaku dan disesuaikan dengan hasil penelitian kondisi pada daerah rawa. Skoring peta kriteria sosial ekonomi dapat dilihat pada Tabel 5.5.

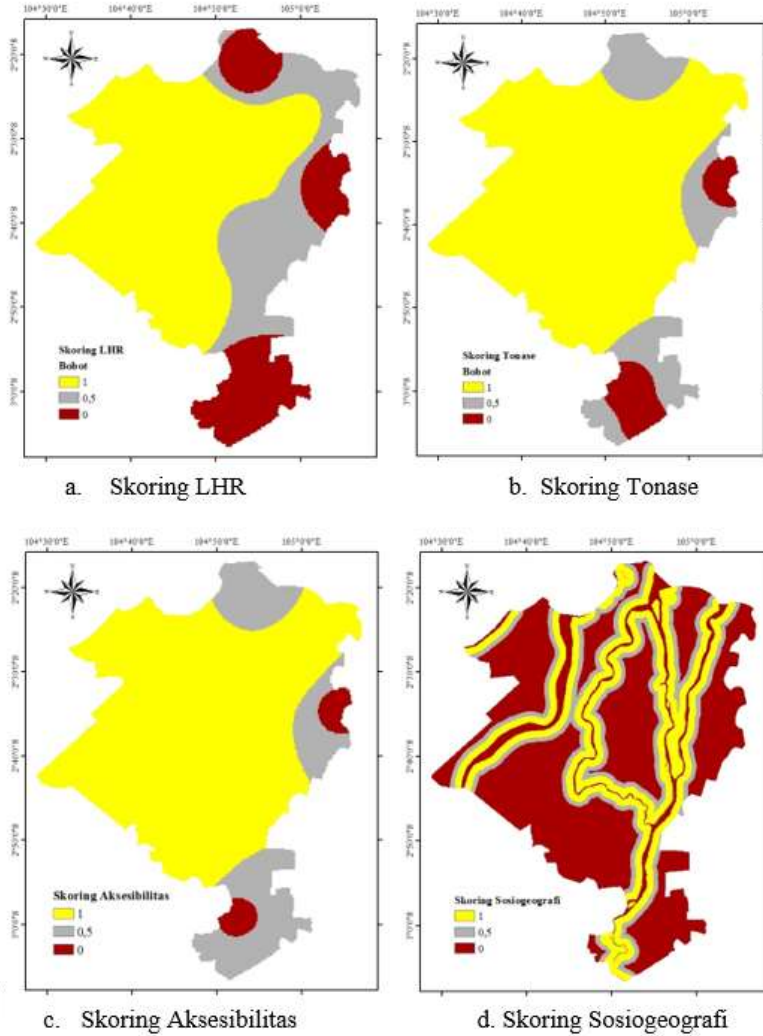
Tabel 5.5. Skoring Parameter dari Peta Kriteria LHR, Tonase, Aksesibilitas, dan Sosiogeografi

No	Variabel	Kesesuaian/ Skoring		
		Sangat Tidak Sesuai (1)	Sedang (2)	Sesuai (3)
1	LHR	> 700 smp (Jalan Lokal)	> 10.000 smp (Jalan Kolektor Primer)	> 20.000 smp (Jalan Arteri Sekunder)
2	Tonase	8 ton (Jalan Kelas II/ Kelas III)	10 ton (Jalan Kelas I)	> 10 ton (Jalan Khusus)
3	Aksesibilitas	Potensi wilayah rendah, Indeks aksesibilitas sedang	Potensi wilayah sedang, Indeks aksesibilitas rendah	Potensi wilayah tinggi, Indeks aksesibilitas sangat rendah
4	Sosiogeografi	> 2500 m dari sungai (Jauh)	1500 – 2500 m dari sungai (Sedang)	0 – 1500 m dari sungai (Dekat)

2. Standarisasi informasi geospasial skoring peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi

Setiap informasi geospasial dari bobot peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi akan dilakukan standarisasi, sehingga bobot dari setiap parameter memiliki rasio perbandingan 0 – 1, dimana nilai 0 untuk kondisi yang tidak sesuai dan nilai 1 untuk kondisi yang paling sesuai. Persamaan yang digunakan sama dengan perhitungan standarisasi pada peta kriteria komponen fisik.

Hasil perhitungan standarisasi informasi geospasial bobot peta kriteria LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi dimasukkan ke dalam peta informasi geospasial berdasarkan skoring yang telah distandarisasi, seperti pada Gambar 5.4.



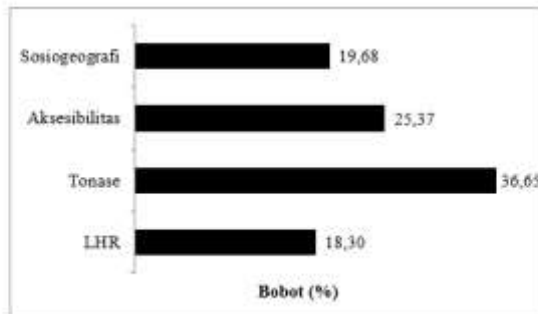
Gambar 5.4. Hasil Skoring Standarisasi Komponen Sosial Ekonomi

3. Bobot antar kriteria komponen LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi

Pembobotan antar kriteria komponen fisik (LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi) diperoleh dari hasil kuisioner terhadap 3 stakeholder dari latar belakang praktisi (Departemen/Dinas Pekerjaan Umum dan Departemen/Dinas Lingkungan Hidup) dan dari akademisi. Pembobotan antar kriteria komponen sosial ekonomi berdasarkan penilaian stakeholder dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Grafik 5.3.

Tabel 5.6. Pembobotan Antar Kriteria Komponen Sosial Ekonomi

No.	Kriteria	Bobot (%)	Peringkat	Indeks Konsistensi		
				PU	LH	Akademisi
1.	LHR	18,30	4			
2.	Tonase	36,65	1	0,028	0,001	0,005
3.	Aksesibilitas	25,37	2			
4.	Sosiogeografi	19,68	3			
Total		100		IC Gabungan = 0,001		



Grafik 5.3. Pembobotan Antar Kriteria Komponen Sosial Ekonomi

Dari Tabel 5.6 dan Grafik 5.3, dapat dilihat bahwa bobot tertinggi yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan trase jalan adalah faktor tonase yaitu sebesar 36,65 %, dikarenakan berat kendaraan sangat mempengaruhi kondisi jalan dan sebagian besar hasil sumber daya alam

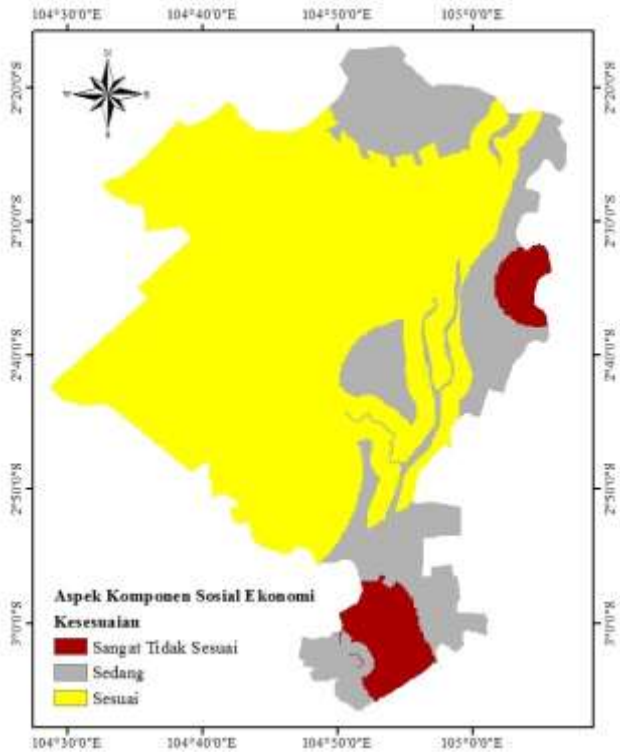
berupa hasil perkebunan dan pertanian yang dalam pendistribusiannya membutuhkan prasana jalan. Selanjutnya aksesibilitas merupakan faktor kedua yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan trase jalan yaitu 25,37 % karena dengan pertimbangan bahwa jalan yang dibangun akan memberikan akses kemudahan dalam pencapaian daerah-daerah tujuan dan faktor sosiogeografi dan LHR.

Selanjutnya hasil skoring dari peta kriteria dilakukan overlay untuk mendapatkan peta kesesuaian dari aspek lingkungan sosial ekonomi dengan mengalikan hasil skoring terhadap bobot masing-masing komponen yaitu bobot komponen LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi. Pembobotan dan pembagian skor pada komponen lingkungan sosial ekonomi dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7. Pembobotan dan Pembagian Skor Komponen Sosial Ekonomi

No.	Kriteria	Atribut	Skor	Bobot (%)
1.	LHR	Jalan Kolektor Primer	1	18,30
		Jalan Kolektor	0,5	
		Jalan Lokal	0	
2.	Tonase	Jalan Khusus	1	36,65
		Jalan Kelas I	0,5	
		Jalan Kelas II/III	0	
3.	Aksesibilitas	Sangat Rendah	1	25,37
		Rendah	0,5	
		Sedang	0	
4.	Sosiogeografi	Dekat	1	19,68
		Sedang	0,5	
		Jauh	0	

Selanjutnya dilakukan penggabungan peta kriteria dengan metode weighted overlay terhadap skoring dan bobot peta informasi geospasial komponen sosial ekonomi. Hasil weighted overlay dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5. Hasil weighted overlay Komponen Sosial Ekonomi Kesesuaian Trase Jalan

Dari hasil overlay komponen sosial ekonomi menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah kajian sesuai untuk dibangun jalan dikarenakan pengembangan daerah rawa yang terus dilakukan sehingga perlu didukung oleh prasarana infrastruktur jalan.

D. Model Analisis Spasial Penentuan Trase Jalan pada Daerah Rawa

Model yang dibangun dalam penentuan trase jalan adalah analisis spasial kesesuaian wilayah pada daerah rawa berdasarkan 9 elemen meliputi tata guna lahan, genangan, tektur tanah, nilai CBR, gambut, LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi. Implementasi dari model analisis spasial akan

diaplikasikan dengan melakukan penarikan trase jalan dari pusat kegiatan pada setiap kecamatan dalam wilayah kajian, seperti pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Implentasi Model Trase Jalan berdasarkan Daerah Asal dan Tujuan dari Trase Jalan

No.	Daerah Asal	Daerah Tujuan
1.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin I
2.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Rambutan
3.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Tanjung Lago
4.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Air Salek
5.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Marga Telang
6.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Sumber Muara Telang
7.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin II
8.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Makarti Jaya

Peta geospasial hasil dari pembobotan kesesuaian wilayah pada masing-masing komponen yang telah didapatkan akan dilakukan overlay berdasarkan bobot kesesuaian wilayah untuk seluruh komponen yang menjadi dasar penilaian kegiatan pembangunan jalan yang berwawasan lingkungan, yaitu komponen fisik, komponen tata guna lahan, dan komponen sosial ekonomi yang mengacu pada panduan penilaian kegiatan pembangunan jalan (Kementrian Negara Lingkungan Hidup, 2007). Model analisis spasial kesesuaian wilayah untuk trase jalan ini dibagi dalam 3 skenario dengan asumsi bahwa skenario I menitikberatkan pada aspek tata guna lahan, skenario II menitikberatkan pada aspek lingkungan fisik (genangan, tekstur tanah, daya dukung tanah, dan gambut) dengan mempertimbangkan kondisi penampang melintang daerah rawa, dan skenario III menitikberatkan pada aspek lingkungan fisik, sosial ekonomi (LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi), serta tata guna lahan. Justifikasi dari setiap skenario dapat dilihat pada Tabel 5.9.

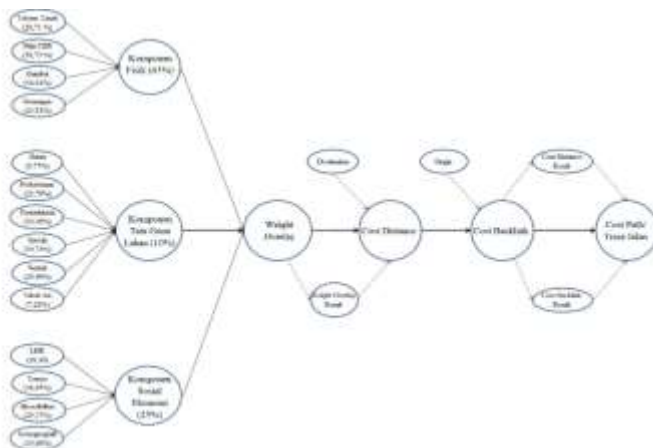
Tabel 5.9. Skenario Penentuan Trase Jalan pada Daerah Rawa

No.	Komponen	Kriteria	Bobot Kriteria (%)	Bobot Komponen (%)		
				Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
1.	Fisik	Tekstur Tanah	20,71	30	65	50
		Nilai CBR	16,04			
		Gambut	24,52			
		Genangan				
			100			
2.	Tata Guna Lahan	Hutan	9,77	60	10	20
		Perkebunan	22,79			
		Permukiman	10,48			
		Sawah	19,74			
		Semak	29,99			
		Tubuh Air	7,22			
	100					
3.	Sosial Ekonomi	LHR	18,30	10	25	30
		Tonase	36,65			
		Aksesibilitas	25,37			
		Sosiogeografi	19,68			
	100	100	100			

E. Aplikasi Model Spasial Trase Jalan

1. Model analisis spasial kesesuaian wilayah trase jalan pada skenario I

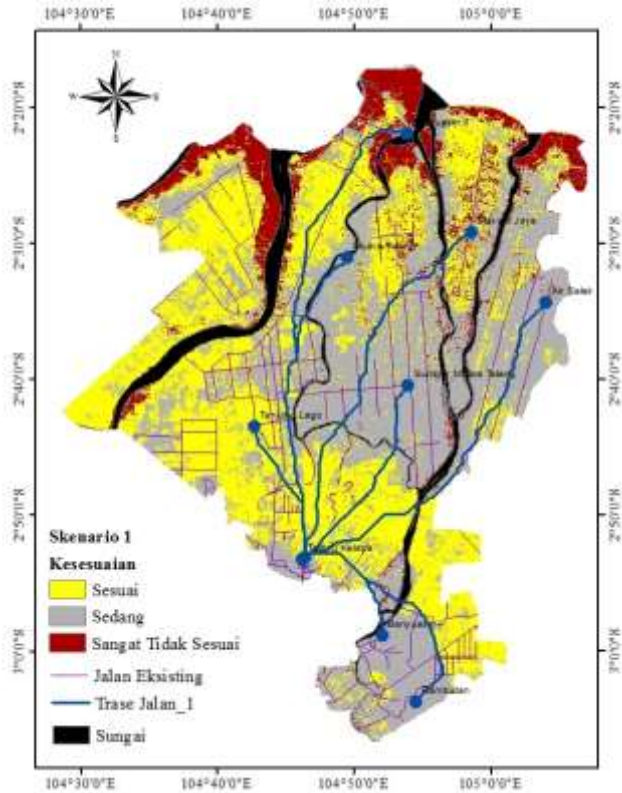
Model trase jalan pada skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6. Model Penentuan Trase Jalan pada Skenario I

Hasil pemodelan spasial kesesuaian trase jalan pada daerah rawa untuk skenario 1 dengan menitikberatkan pada aspek tata guna lahan dapat dilihat pada Gambar 5.7.

Dari Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa kesesuaian penentuan trase jalan pada daerah rawa dengan menitikberatkan pada komponen tata guna lahan menunjukkan bahwa kawasan yang sesuai untuk diambil sebagai trase jalan seluas 1299,45 km² yang merupakan kawasan semak dan perkebunan, kawasan yang cukup dapat diambil sebagai trase jalan seluas 1521,18 km² yang terdiri dari kawasan permukiman dan sawah, sedangkan kawasan yang sangat tidak sesuai untuk diambil sebagai trase jalan seluas 507,40 km² merupakan kawasan hutan dan sungai. Kawasan semak sangat sesuai untuk diambil sebagai trase jalan dengan pertimbangan bahwa pembebasan lahan pada kawasan ini akan lebih murah dibandingkan kawasan lainnya.



Gambar 5.7. Hasil Pemodelan Kesesuaian Trase Jalan Skenario I

Luas kesesuaian wilayah trase jalan hasil dari pemodelan akan dibandingkan dengan hasil interpretasi genangan pada beberapa kondisi kesesuaian wilayah sehingga didapatkan persentase perbandingan hasil model dengan hasil interpretasi, perhitungan perbandingan dihitung dengan persamaan:

$$\text{kesesuaian wilayah} = \frac{\text{luas kesesuaian} - \text{luas kriteria ketinggian muka air}}{\text{luas ketinggian muka air}} \times 100 \%$$

$$\text{Kriteria Sesuai} = \frac{1299,45 \text{ km}^2 - 2170,95 \text{ km}^2}{2170,95 \text{ km}^2} \times 100 \% = 50,14 \%$$

$$\text{Kriteria Sedang} = \frac{1521,18 \text{ km}^2 - 902,60 \text{ km}^2}{902,60 \text{ km}^2} \times 100 \% = 68,5 \%$$

$$\text{Kriteria Sangat Tidak Sesuai} = \frac{507,40 \text{ km}^2 - 269,27 \text{ km}^2}{269,27 \text{ km}^2} \times 100 \% = 88,43 \%$$

Dari hasil perbandingan model kesesuaian wilayah dengan hasil interpretasi genangan didapatkan bahwa perbandingan masih diatas 50 %, hal ini dikarenakan model merupakan hasil dari penjumlahan bobot-bobot kriteria dari sembilan elemen yang diambil.

Selanjutnya dilakukan penarikan trase jalan yang menghubungkan kecamatan yang ada di wilayah studi. Panjang trase jalan yang terbentuk dari hasil pemodelan pada skenario I dapat dilihat pada Tabel 5.11.

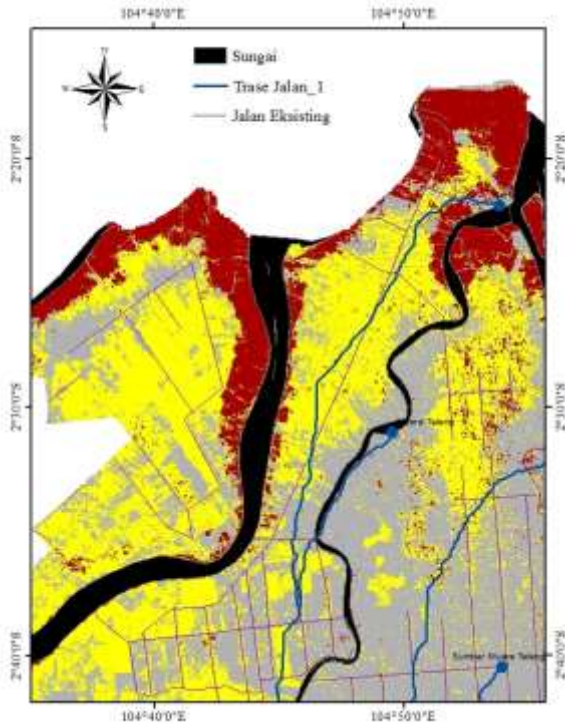
Tabel 5.11. Panjang Jalan Hasil Aplikasi Pemodelan pada Skenario I

No.	Daerah Asal	Daerah Tujuan	Panjang (km)
1.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin I	18,25
2.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Rambutan	33,95
3.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Tanjung Lago	20,47
4.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Air Salek	53,07
5.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Muara Telang	45,04
6.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Sumber Marga Telang	29,32
7.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin II	68,28
8.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Makarti Jaya	55,07

Tingkat keandalan model spasial diukur dengan membandingkan kondisi jalan eksisting yang dibangun menggunakan pendekatan lama dengan menitikberatkan pada aspek tata guna lahan akan dibandingkan dengan hasil pemodelan spasial, menggunakan persamaan deviasi :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Pengambilan sampel pada ruas jalan arteri, yaitu ruas jalan Tanjung Api-api yang merupakan jalan utama menuju Pelabuhan Tanjung Api-api. Pemilihan lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 5.8. Sedangkan pengujian tingkat keandalan model seperti pada Tabel 5.12.



Gambar 5.8. Lokasi Pengambilan Sampel Uji Keandalan Model

Tabel 5.12. Uji Tingkat Keandalan Model Analisis Spasial Trase Jalan

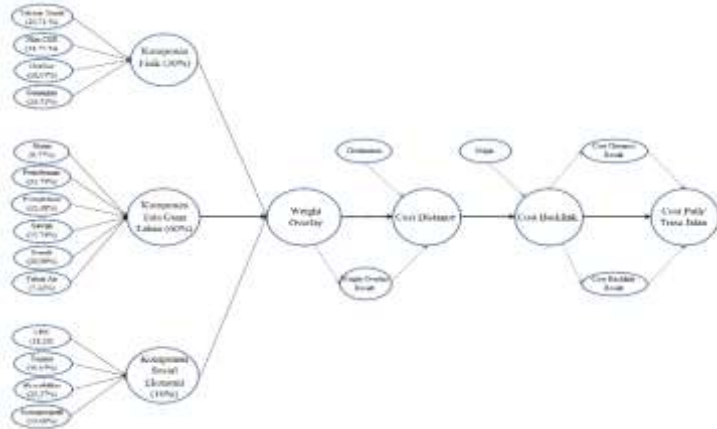
Sampel	Jarak jalan eksisting dengan jalan hasil pemodelan rata-rata (m)	$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$
Lokasi 1 (5850 m)	51,7	33,61	5,8 %
Lokasi 2 (6630 m)	98,36	92,26	9,61 %
Lokasi 3 (7742 m)	72,47	67,98	8,25 %
		Rata-rata	7,88 %

Dari hasil perbandingan jarak antara trase jalan eksisting dengan trase jalan hasil pemodelan didapat rata-rata standar deviasi adalah 7,88 %, dengan ini dapat disimpulkan bahwa model spasial valid dan dapat digunakan untuk menentukan trase jalan pada daerah rawa.

Model analisis spasial trase jalan secara spasial dengan tinjauan terhadap komponen aspek fisik (tekstur tanah, genangan, nilai CBR, dan Gambut), aspek tata guna lahan, dan aspek sosial ekonomi (LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi) menunjukkan bahwa kajian pada skenario I dimana bobot yang diambil menitikberatkan komponen aspek tata guna lahan sebesar 60 %, menunjukkan bahwa hampir keseluruhan trase jalan dari Kecamatan Talang Kelapa ke daerah tujuan (Kecamatan Banyuasin I, Kecamatan Rambutan, Kecamatan Air Salek, Kecamatan Makarti Jaya, Kecamatan Sumber Marga Telang, Kecamatan Muara Telang, Kecamatan Banyuasin II, Kecamatan Tanjung Lago) melewati sungai, sedangkan sungai merupakan daerah yang sangat tidak sesuai untuk diambil sebagai trase jalan karena biaya yang dikeluarkan akan menjadi tinggi (untuk membangun jembatan), namun pada daerah rawa banyak dijumpai daerah-daerah yang keberadaannya dipisahkan oleh sungai, sehingga untuk membangun akses jalan ke daerah tersebut tentunya harus melewati sungai dengan cara membangun jembatan sebagai penghubung, oleh karena itu pada penelitian ini sungai tidak ditiadakan namun menjadi salah satu kriteria dari penggunaan lahan, sehingga dari trase jalan yang terbentuk dapat diprediksi jumlah jembatan dan ukuran jembatan (tergantung dari besar kecilnya sungai) yang harus dibangun apabila wilayah tersebut akan dibangun jalan.

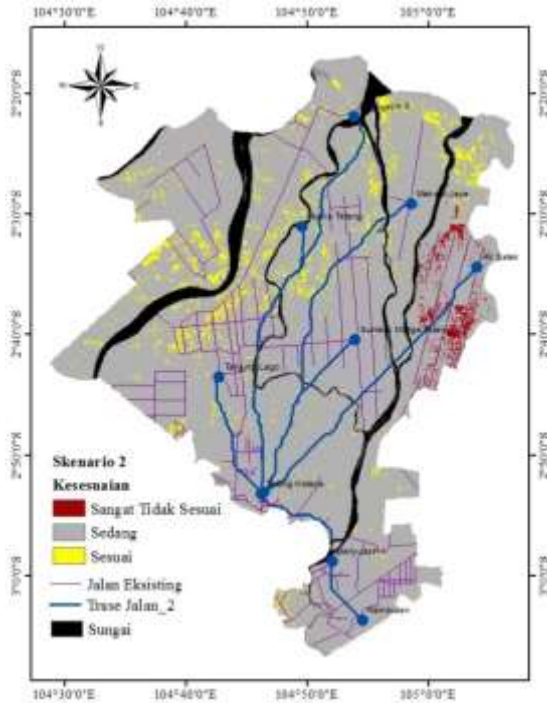
2. Model analisis spasial kesesuaian wilayah trase jalan pada skenario II

Model trase jalan pada skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Model Penentuan Trase Jalan pada Skenario II

Sedangkan hasil pemodelan spasial kesesuaian trase jalan pada daerah rawa untuk skenario 2 dengan perbandingan komponen lingkungan fisik : komponen tata guna lahan : komponen lingkungan sosial ekonomi (65% : 10% : 25%) dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10. Hasil Pemodelan Kesesuaian Trase Jalan Skenario II

Dari Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa kesesuaian penentuan trase jalan pada daerah rawa yang menitikberatkan pada komponen lingkungan fisik menunjukkan bahwa luas daerah yang sesuai untuk diambil sebagai trase jalan adalah sebesar 166,93 km², cukup sesuai sebesar 3126,30 km², dan sangat tidak sesuai sebesar 34,80 km². Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah pada daerah kajian cukup sesuai untuk diambil sebagai trase jalan, namun harus tetap dilakukan perbaikan terhadap kondisi tanah disebabkan sebagian besar tanah pada wilayah rawa merupakan tanah berlempung dan berlanau dengan kondisi genangan dangkal sampai sedang pada kedalaman 0 sampai 50 cm.

Panjang trase jalan yang terbentuk dari hasil pembobotan pada skenario II dapat dilihat pada Tabel 5.13.

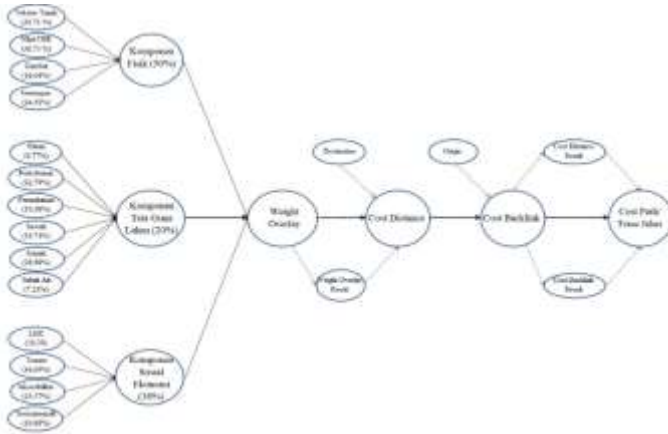
Tabel 5.13. Panjang Jalan Hasil Pemodelan pada Skenario II

No.	Daerah Asal	Daerah Tujuan	Panjang (km)
1.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin I	18,16
2.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Rambutan	29,01
3.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Tanjung Lago	21,47
4.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Air Salek	49,76
5.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Muara Telang	44,79
6.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Sumber Marga Telang	29,33
7.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin II	66,05
8.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Makarti Jaya	55,53

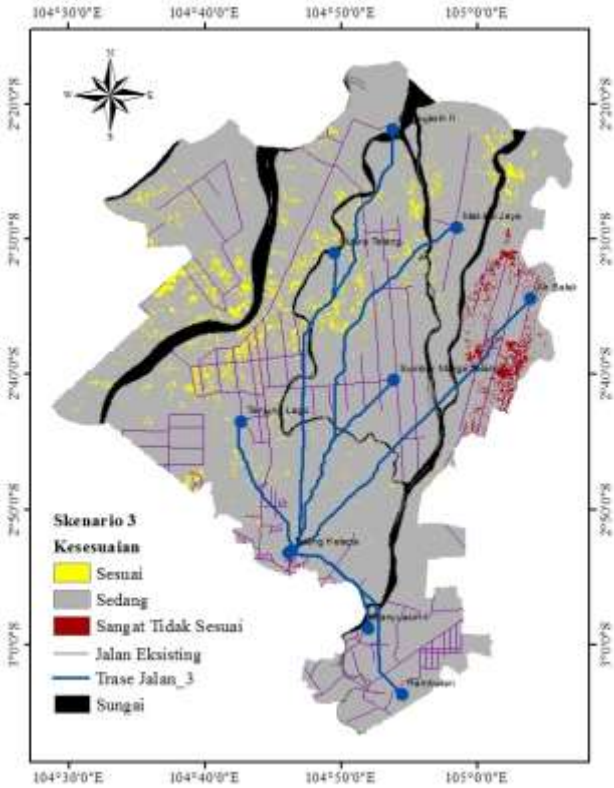
Penentuan trase jalan secara spasial dengan tinjauan terhadap komponen aspek fisik (tekstur tanah, genangan, nilai CBR, dan Gambut), aspek tata guna lahan, dan aspek sosial ekonomi (LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi) menunjukkan bahwa kajian pada skenario I dimana bobot yang diambil menitikberatkan komponen aspek fisik sebesar 65 %, menunjukkan bahwa trase jalan akan melewati daerah-daerah yang memiliki kesesuaian wilayah “sedang (cukup sesuai)” dikarenakan dari hasil weighted overlay menunjukkan sebagian besar wilayah merupakan daerah yang cukup sesuai untuk diambil trase jalan, kecuali pada trase jalan Kecamatan Talang Kelapa – Kecamatan Air Salek terlihat bahwa trase jalan melewati daerah yang “sangat tidak sesuai” karena titik pusat kegiatan berada diantara kondisi daerah yang “sangat tidak sesuai”, sehingga trase jalan yang diambil harus melewati daerah tersebut.

3. Model analisis spasial kesesuaian wilayah trase jalan pada skenario III

Model trase jalan pada skenario 3 dapat dilihat pada Gambar 5.11. Hasil pemodelan spasial kesesuaian trase jalan pada daerah rawa untuk skenario 3 dengan perbandingan komponen lingkungan fisik : komponen tata guna lahan : komponen lingkungan sosial ekonomi (50% : 20% : 30%) dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.11. Model Penentuan Trase Jalan pada Skenario III



Gambar 5.12. Hasil Pemodelan Kesesuaian Trase Jalan Skenario III

Dari Gambar 5.12, dapat dilihat bahwa kesesuaian penentuan trase jalan pada daerah rawa pada skenario 3, menunjukkan bahwa luas wilayah yang sesuai untuk diambil sebagai trase jalan adalah sebesar 136,66 km², untuk luas daerah yang cukup sesuai adalah 3151,66 km², dan untuk yang sangat tidak sesuai adalah 39,71 km². Pada skenario 3 ini trase jalan yang diambil hampir sama dengan skenario 1, hal ini dikarenakan bobot yang diambil memiliki nilai yang kurang lebih sama dengan skenario 1 yang menitikberatkan pada aspek menitikberatkan pada aspek lingkungan fisik, sosial ekonomi yang meliputi: LHR, tonase, aksesibilitas, sosiogeografi, serta aspek tata guna lahan.

Panjang trase jalan yang terbentuk dari hasil pemodelan pada skenario III dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14. Panjang Jalan Hasil Pemodelan pada Skenario III

No.	Daerah Asal	Daerah Tujuan	Panjang (km)
1.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin I	17,00
2.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Rambutan	28,15
3.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Tanjung Lago	20,84
4.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Air Salek	48,75
5.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Muara Telang	43,35
6.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Sumber Marga Telang	29,28
7.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Banyuasin II	62,22
8.	Kecamatan Talang Kelapa	Kecamatan Makarti Jaya	55,13

Skenario III lebih direkomendasikan untuk digunakan sebagai model analisis spasial dalam penentuan trase jalan karena panjang jalan yang didapatkan lebih kecil dibanding dengan 2 skenario lainnya.

F. Pertimbangan Pemilihan Alternatif Trase Jalan

Dari hasil penelitian pemodelan spasial penentuan trase jalan pada daerah rawa yang berwawasan lingkungan, beberapa hal yang dapat didiskusikan dan direkomendasikan adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan trase jalan yang dilakukan selama ini yaitu dengan mempertimbangkan aspek tata guna lahan sebagai prioritas utama (Departemen Pekerjaan Umum, 1997), seperti kondisi

jalan eksisting yang ada pada wilayah kajian. Kondisi trase jalan eksisting berada tepat pada daerah cekungan rawa, berdasarkan penampang melintang kondisi daerah rawa bahwa daerah cekungan rawa yang berada pada dua sungai besar merupakan kawasan kubah gambut (Subagyo, 2006). Jika dilihat dari pemilihan trase jalan eksisting tentunya keberadaan jalan dapat merusak kondisi kawasan gambut yang ada, merusak gambut artinya merusak keseimbangan ekosistem yang ada. Hal ini dikarenakan manfaat dari gambut itu sendiri sangat banyak untuk keberlanjutan ekosistem di daerah rawa, diantaranya : (i) lahan gambut dapat menjaga perubahan iklim yang ada, dimana lahan gambut dapat menyimpan cadangan karbon 20 kali lipat lebih banyak dibandingkan hutan hujan tropis biasa atau tanah mineral; (ii) lahan gambut juga dapat mengurangi dampak buruk bencana banjir dan kemarau, karena memiliki daya serap yang sangat tinggi yaitu dapat menampung air sebesar 450 – 850 % dari bobot keringnya; (iii) lahan gambut juga sebagai habitat untuk perlindungan keanekaragaman hayati, dimana ada beberapa jenis flora dan fauna yang hanya dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada lahan gambut sehingga terjadinya degradasi pada lahan gambut akan berdampak pada hilangnya keanekaragaman hayati (Pusat Penelitian Kehutanan Internasional, 2017). Ini berarti bahwa pemilihan trase jalan khususnya pada daerah rawa yang dilakukan selama ini harus tidak memprioritaskan keberadaan tata guna lahan dalam pengambilan keputusan.

2. Pemodelan spasial trase jalan pada skenario II yang menitikberatkan pada aspek lingkungan fisik meliputi : genangan, tekstur tanah, daya dukung tanah, dan gambut dengan pertimbangan kondisi penampang melintang daerah rawa maka didapatkan keberadaan trase jalan hasil pemodelan berada jauh dari trase jalan eksisting dimana trase jalan hasil pemodelan berada pada daerah tanggul sungai (leeve) dan rawa belakang (backswamp) sampai dengan

batas marjin sehingga keberadaan cekungan (kubah gambut) dan ekosistem didalamnya dapat terjaga. Kondisi ini juga sama dengan pemodelan spasial trase jalan pada skenario III yang menitikberatkan pada aspek lingkungan fisik, aspek lingkungan sosial ekonomi yang meliputi: LHR, tonase, aksesibilitas, sosiogeografi, serta aspek tata guna lahan bahwa dari model yang dihasilkan didapatkan trase jalan yang berada pada daerah tanggul sungai (leeve) dan rawa belakang (backswamp) sampai dengan batas marjin sehingga keberadaan cekungan gambut dapat lebih terjaga.

3. Perbandingan hasil penelitian terdahulu dengan penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15. Perbandingan hasil Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Pemodelan Spasial Trase Jalan pada Daerah Rawa

No	Penelitian sebelumnya	Penelitian Pemodelan Spasial Trase Jalan pada Daerah Rawa
1	Citra satelit yang digunakan dalam pengenalan kerapatan vegetasi, genangan, dan tanah adalah dengan menggunakan citra landsat TM 5, citra Alos ANVIR – 2.	Menggunakan citra landsat 8 dalam pengenalan kerapatan vegetasi, genangan, dan tanah
2	Parameter yang diambil dalam analisis spasial multikriteria adalah aspek ekonomi, aspek sosial, dan aspek lingkungan hidup	Sembilan elemen yang diambil dalam pemodelan spasial analisis multikriteria, yaitu tata guna lahan, genangan, tekstur tanah, daya dukung tanah (nilai CBR), gambut, LHR, tonase, aksesibilitas, dan sosiogeografi

4. Kajian aspek biologi tidak dimasukkan dikarenakan penelitian ini menghususkan kajian pembangunan jalan pada daerah rawa. Seperti diketahui bahwa lahan rawa adalah merupakan fungsi ekosistem yang memiliki definisi dan ciri-ciri sama dengan ekosistem lainnya, namun ekosistem rawa lebih kompleks karena berbeda dengan ekosistem perairan dan ekosistem daratan. Ekosistem rawa memiliki dua unsur yang sama menonjolnya antara daratan dan perairan, sehingga kajian aspek biologi yang terdapat di daerah rawa sudah termasuk kedalam kajian lingkungan

fisik yaitu genangan yang harus diperhitungkan dalam penentuan trase jalan. Dengan melindungi daerah rawa dan kawasan gambut yang umumnya terdapat pada daerah rawa, maka biota perairan yang hidup pada daerah rawa juga akan terlindungi sehingga secara otomatis pada saat pengklasifikasian genangan maka faktor biologi sudah termasuk kedalamnya atau dapat dikatakan bahwa aspek biologi pada pembangunan jalan didaerah rawa dapat dikendalikan dengan rekayasa fisik pada saat konstruksi.

5. Penggunaan lahan diklasifikasi kan menjadi 6 sebagai dasar dalam penentuan trase jalan dikarenakan jalan yang dibangun harus dapat memperhatikan keseimbangan ekosistem yang ada, dengan adanya klasifikasi hutan maka pertimbangan pemilihan jalan jangan sampai merusak hutan yang ada karena fungsi hutan untuk meningkatkan perlindungan terhadap tanah, air, dan dapat mempertahankan keanekaragaman flora, fauna, serta ekosistem. Klasifikasi terhadap permukiman, perkebunan, sawah/PLK, semak, merupakan kawasan budidaya diluar kawasan lindung, klasifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi wilayah dan untuk mewujudkan keseimbangan pertumbuhan antar wilayah dengan memperhatikan keseimbangan lingkungan dalam pemanfaatan potensi sumberdaya alam yang ada. Sehingga dalam pertimbangan penentuan trase jalan, harus memperhatikan kawasan budidaya. Klasifikasi tubuh air dilakukan untuk mendukung pengembangan wilayah secara terpadu, antara strategi pengembangan transportasi air dengan sistem transportasi darat yang didukung dengan prasarana jalan sehingga tingkat aksesibilitas setiap wilayah meningkat dan akan berdampak pada perkembangan daerah, mengingat pada sebagian besar wilayah bagian utara dan timur Kabupaten Banyuasin yang merupakan daeah perairan masih didominasi oleh penggunaan jaringan transportasi air.

6. Klasifikasi terhadap genangan perlu dilakukan dalam penentuan trase jalan, daerah yang tergenang lebih dalam dengan intensitas waktu lama tentunya harus dihindarkan dalam pemilihan trase jalan, baik dari segi konstruksi maupun dari segi lingkungannya dikarenakan jalan yang sering terendam tentunya akan lebih cepat rusak karena konstruksi jalan fleksible dalam keadaan basah akan lebih lembek sehingga apabila dilewati kendaraan akan mengalami kerusakan, sedangkan apabila jalan konstruksi jalan adalah rigid maka kondisi tanah dasar yang tergenang juga akan lembek sehingga konstruksi jalan yang ada diatasnya akan retak dimana stabilitas tanah dasar akan sangat dipengaruhi oleh genangan air. Jika ditinjau dari aspek lingkungan jalan yang dibangun pada daerah genangan tentunya harus dilakukan penimbungan pada lokasi tergenang, hal ini tentunya akan merusak ekosistem yang ada karena rawa sebagai tempat menampung air sudah tidak dapat lagi berfungsi dikarenakan penimbunan, maka pertimbangan daerah genangan sangat diperlukan pada penentuan trase jalan.
7. Aspek tata guna lahan pada perencanaan jalan sangat dibutuhkan mengingat pertumbuhan penduduk yang terus meningkat dengan tingkat laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,6 % pertahun, demikian pula dengan tingkat pertumbuhan perekonomian dibidang minyak bumi dan gas juga terus meningkat sebesar 15% pertahun, sedangkan dibidang non migas sebesar 12% (RTRW Kabupaten Banyuasin, 2011), untuk mendukung perkembangan daerah rawa ini tentunya prasarana jalan sangat dibutuhkan.
8. Kajian terhadap aspek fisik, khususnya tekstur tanah menunjukkan bahwa tekstur tanah yang berada pada daerah rawa tergolong dalam 3 kelompok yaitu pasir halus, lempung, dan lanau sehingga klasifikasi dibagi menjadi 3 kelas, berbeda dengan daerah dataran tinggi yang memiliki

tekstur tanah berbutir kasar (fregmen batu dan kerikil) (Departemen Pekerjaan Umum, 2006; AASHTO, 2013), sehingga klasifikasi “sesuai” pada kesesuaian wilayah dalam penentuan trase jalan untuk tekstur tanah tetap harus memperhatikan perbaikan tanah dasar yang ada mengingat tanah pada daerah rawa merupakan tanah lunak bahkan sangat lunak (Subagyo, 2006).

9. Kajian terhadap indeks aksesibilitas jalan yang ada pada daerah rawa, umumnya masih rendah, hal ini disebabkan karena biaya pembangunan jalan pada daerah rawa yang sangat tinggi dan disamping itu adanya kecenderungan masyarakat yang masih banyak menggunakan transportasi air pada kegiatan-kegiatannya.

10. Pembangunan jalan pada daerah rawa yang selalu tergenang dan cenderung memiliki daya dukung tanah yang rendah, untuk mengatasinya maka beberapa teknologi dapat digunakan dalam pembangunan jalan di daerah rawa tersebut diantaranya: (i) penggunaan teknologi Vacuum Consolidation Method (VCM) untuk mengurangi kadar air dan kadar udara di dalam tanah sehingga terjadi percepatan penurunan pada tanah (Seah, et al, 2016); (ii) penggunaan teknologi Prefabricated Vertical Drain (PVD), yaitu pengurangan kadar air melalui sistem drainase vertikal (Indraratna and Rujikiatkamjorn, 2010); (iii) menggunakan kombinasi antara kedua metode VMC dan PVD, melalui VMC selanjutnya disedot dengan menggunakan PVD sehingga akan lebih mempercepat penurunan tanah, namun ini akan berdampak terhadap lingkungan dikarenakan pengurangan kadar air tanah yang berlebihan akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman disekitarnya dimana tanaman ini akan selalu mengabsorpsi kadar air didalam tanah, sehingga jika tanah menjadi kering tentunya akan menyebabkan kelayuan pada tumbuhan. Namun kelebihan kadar air dalam tanah tentunya juga dapat

menurunkan kadar oksigen dalam tanah sehingga dapat menyebabkan terganggunya pernafasan pada akar tanaman. Sehingga perlu menjadi perhatian bagi para engineer dalam menggunakan teknologi VCM agar tetap memperhatikan kestabilan kondisi air tanah; (iv) teknologi lain yang dapat digunakan dalam pelaksanaan pembangunan jalan di daerah rawa adalah dengan menggunakan perkerasan rigid agar jalan yang dibangun dapat lebih tahan terhadap genangan yang terjadi (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013); (v) dengan penambahan bahan additive atau bahan tambah lain untuk meningkatkan daya dukung tanah yang rendah pada daerah rawa, misalnya penambahan karet, petrasoil, fly ash, dan lain sebagainya.

11. Perbedaan yang mendasar dalam perencanaan trase jalan pada daerah dataran tinggi dan daerah rawa adalah pertimbangan terhadap kontur/ ketinggian tanah, dimana pada daerah dataran tinggi kontur sangat dibutuhkan untuk menentukan alinyemen vertikal sehingga didapatkan perbedaan ketinggian permukaan jalan yang ideal. Sedangkan pada daerah rawa kontur tidak menjadi pertimbangan utama bahkan bisa dihilangkan karena pada daerah rawa ketinggian permukaan tanah cenderung sama (datar), berdasarkan hasil penelitian ini seharusnya yang menjadi pertimbangan utama dalam penentuan jalan pada daerah rawa adalah kondisi genangan yang ada mengingat daerah rawa merupakan daerah yang selalu tergenang (Subagyo, 2006).

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 2013. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. 33rd Edition, HM-31, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.
- Abdi, E., Majnounian, B., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z., Sessions, J., 2009. A GIS-MCE Base Model for Forest Road Planning. *Journal of Forest Science*: 171 - 176, www.agriculturejournal.cz.
- Adisasmita dan Adji, S., 2011. *Transportasi dan Pengembangan Wilayah*. Edisi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Agus, F., Subiksa, I G.M., 2008. *Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAFT) Bogor, Indonesia.
- Alamsyah dan Ansyori, A., 2001. *Rekayasa Jalan Raya*. UMM Press, Malang.
- Alihamsyah, T., Ananto, E.E., Supriadi, H., Ismail, I.G., Sianturi, D.E., 2005. *Dwi Windu Penelitian Pertanian Lahan Rawa: Mendukung Pertanian Masa Depan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Anom, 2003. *Mesothermal Gold in New Zealand: GIS data Package and Prospectivity Modelling*. Publised Jointly by Crown Minerals, Misistry ogf Economic Department and Institude og Geological and Nuclear, Wellington and Lower Hutt, <https://data.nzpam.govt.nz/GOLD/system/gateway.asp?url>.

- Assatse, W.T., Nouck, P.N., Tabot, C.T., Akame, J.M., Biringanine, G.N., 2015. Hydrogeological Activity of Lineaments in Yaounde Cameroon Region Using Remote Sensing and GIS Techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, Elsevier: 1 - 12, www.sciencedirect.com.
- As-syakur, A.R., 2009. Evaluasi Zona Agroklimat dari Klasifikasi Schimidt-Ferguson Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografi (SIG). *Jurnal Pijar MIPA*, Vol. 3, No. 1: 17 - 22, <http://mbojo.files.wordpress.com>.
- Badan Pertanahan dan Perencanaan Kabupaten Banyuasin, 2017. Area Gambut Kabupaten Banyuasin. Portal Data Kabupaten Banyuasin, <http://simbangda.banyuasinkab.go.id>.
- Balitbang Departemen Pertanian, 2012. Kondisi dan Potensi Lahan Rawa di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan, <http://www.litbang.pertanian.go.id>.
- Balogun, A., Matori, A., Yussof, K., Lawal, D., and Chandio, I., 2013. Geographic Information System (GIS) in Offshare Pipeline Route Selection: Past, Present, and Future. *Pensee Journal*, Vol.75, No. 9, September.
- Basnet, B.B., Apan, Raine, S.R., 2001. Selecting suitable sites for animal waste application using a raster GIS. *Environmental Management* 28 (4): 519-531, <https://www.ncbi.nlm.gov/pubmed/11494070>.

- Belka, K.M., 2005, Multicriteria Analysis and GIS Application in the Selection of Sustainable Motorway Corridor. Master Thesis, Institutionen for Datavetenskap, Department of Computer and Information Science, Linkopings Universitet, <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-4399>.
- Blaser, B., Liu, H., McDermott, D., Nuszdorfer, F., Phan, N., Vanchindorj, U., Johnson, L., Wyckoff, J., 2004. GIS Based Cumulative Effect Assessment, Colorado Department of Transportation. Reseach Report, <http://www.dot.state.co.us/Publicaton/PDFFiles>.
- Burroughs, P.A., 2009. Heywood Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press.
- BWS, 2015. Profil Balai Wilayah Sungai Sumatera VIII. Balai Wilayah Sungai Sumatera VIII Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum, <http://dokumen.tips/documents/profile-bws-sumatera-viii.html>.
- Campbell, J.B., and Wynne, R.H., 2011. Introduction to Remote Sensing (Fifth Edition). Taylor and Francis, London.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemond, S., Gregoire, J.M., 2001. Detecting Vegetation Water Content Using Reflectance in the Optical Domain. Remote Sensing of Environment 77: 22 - 33, www.sciencedirect.com.
- Cotton, W.R., Pielke, R.A., 2007. Human Impacts on Weather and Climate. Second Edition, Cambridge.

- Crystiana, I., Susantoro, T.M., 2013. Pemanfaatan Citra Ikonos untuk Menguji Permasalahan Sosial pada Pengembangan Lapangan Tua. Publikasi Minyak dan Gas Bumi, Vol. 47, No.2: 69 - 77, <https://scholar.google.co.id>.
- Dardak, H., 2005. Pengembangan Jaringan Jalan Wilayah Sumatera Berbasis Penataan Ruang. Makalah disajikan dalam Konferensi Regional Teknik Jalan Ke - 8 Wilayah Barat, diselenggarakan di Batam, Tanggal 28 - 29 Juli 2005, Batam.
- Deng, Y., Wu, C., Miaoli, Chen, R., 2015. RNSDI : A Ratio Normalized Different Soil Index for Remote Sensing of Urban/ Suburban Environments. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation: 40 - 48, <http://doi.org/10.1016>.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1997. Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota. Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Departemen Kehutanan Direktorat Jenderal Reabilitas Lahan dan Perhutanan Sosial, 2005. Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2006. Pedoman Penyelidikan dan Pengujian Tanah Dasar untuk Pekerjaan Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2009. Pedoman Pelaksanaan Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 1992. Standar Perencanaan Geometrik untuk Jalan Perkotaan. Direktorat Pembinaan Jalan Kota, Jakarta.

- Djarmiko, G.S., dan Edy, S.J.P., 1993. *Mekanika Tanah I*, Penerbit Kanisius, Malang.
- Dong, J. R., Kaufmann, R. K., Myneni, R.B., 2003. Remote Sensing Estimates of Boreal and Temperate Forest Woody Biomass: Carbon Pools, Sources, and Sinks. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier: 393-410, www.elsevier.com.
- Dragan, M., Jarre, P., 2015. A Spatial MCA Process to Optimize Pipeline Alignment Choices. *HS+E Magazine*: 34-39, [https://www.google.co.id/#q = a + spatial + MCA + Process + to + optimize + pipeline + alignment + choices](https://www.google.co.id/#q=a+spatial+MCA+Process+to+optimize+pipeline+alignment+choices).
- Ebaid, H.M.I., and El Falaky, A.a., 2008. Assessment of Soil Suitability for Agriculture Using GIS Spatial Analysis Model Technique. The 3rd International Conference on Water Resource and Environment, www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160802395235.
- Galbraith, H., Amerasinghe, P., and Lee, H.A., 2005. The Effect of Agricultural Irrigation on Wetland Ecosystems in Developing Countries: A Literature review. CA Discussion Paper 1 Colombo, International Water Management Institute, www.dlc.dlib.indiana.edu.
- Gandhi, M.G., Parthiban, S., Thummalu, N. Christy, A., 2015. NDVI: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and GIS - A Case Study of Wellore District. *International Conference on Recent Trends in Computing*, ScinceDirect, Elsevier: 1199 - 1210.

- Greece, M.L., 2013. Prinsip-prinsip Pembangunan Jalan Berkelanjutan. *Jurnal Transportasi*, Vol 13, No. 2, Agustus; 115-124, <http://www.setting/Administration/Document%20and%20Setting/Download/531-1055-1-SM.Pdf>.
- Haikal, T, 2014. Analisis Normalized Difference Wetness Index (NDWI) dengan Menggunakan Data Citra Satelit Landsat 5 TM (Studi Kasus: Provinsi Jambi Path/Row: 125/61). *Scientific Repository*, <http://repository.ipb.ac.id>.
- Hardjowigeno, S., 2003. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Edisi Baru, Akademik Pressindo, Jakarta.
- Hardjowigeno, S., dan Widiatmaka, 2015. *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tata Guna Lahan*. Cetakan Ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Haryani, N.S., Zubaidah, A., Dirgahayu, D., Yulianto, H.F., Passaribu, J., 2012. Model Bahaya Banjir Menggunakan Data Penginderaan Jauh di Kabupaten Sampang. *Jurnal Penginderaan Jauh*, Vol. 9, No. 1: 52 - 66, jurnal.lapan.go.id/index.php/jurnal.inderaja.
- Harry, C.H., 2007. Kajian Sebab-sebab Kerusakan Perkerasan Jalan di Ruas Jalan Demak-Kudus Terkait dengan Karakteristik Tanah-Dasar (Subgrade). *Prosiding Konferensi Nasional/Transportasi dan Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil FT-UGM*, Februari, <https://journal.untar.ac.id/index.php/jmistki>.
- Hermawanto, T., Arifin, M.Z., Wicaksono, A., 2006. Pemilihan Trase Jalan dengan Metode IPA (Importance Performance Analysis) dan AHP (Analytic Hierarchy Poces). *Simposium IX FSTPT, Universitas Brawijaya Malang*, <http://www.scribd.com/doc/86186534>.

- Hooijer, A.S., Page, J., Canadell, G., Kwadijk, J., Westen, H., and Jauhiainen, J., 2010. Current and Future CO₂ Emissions from Drained Peatland in Southeast Asia, *Biogeosciences*, <http://www.biogeosciences.net>.
- Huete, A.R., Glenn, E.P., 2011. Remote Sensing of Ecosystem Structure and Function. *Advnce in Environment Remote Sensing*, CRC Press, Boca Raton.
- Ibrahim. F., Pangeran, M.H., dan Wihartanto, A., 2013. Perbandingan Hasil Pemilihan Trase Jalan dengan Menggunakan Pendekatan AHP dan ANP (Study Kasus: Pengembangan Jalan Kolektor Provinsi Gorontalo). Konferensi Nasional Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, www.sipil.ft.uns.ac.id/konteks7/prosiding.
- Indrayani., Buchari, E., Putranto, D.D.A., Saleh, E., 2016. The Analysis of Geotechnical and Topographical Aspect Base on GIS as Initial Identification of Road Alignment Determination on Swamp Areas. *Proceeding The 4th International Conference on Sustainable Built and Environment: 350 - 359*, Yogyakarta.
- Indrayani., Buchari, E., Putranto, D.D.A., Saleh, E., 2017. Analysis of landuse in the Banyuasin district using the image Landsat 8 by NDVI method. *AIP Conference Proceedings 1903, 030007*, <https://doi.org/10.1063/1.5011514>.
- Indrayani., Buchari, E., Putranto, D.D.A., Saleh, E., 2018a. The analysis of landuse weights on road traces selection., <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819504018>.

- Indrayani., Buchari, E., Putranto, D.D.A., Saleh, E., 2018b. Spatial analysis of soil texture and peat soil by NDSI method at swamp area of Banyuasin District, Indonesia., *Ecology, Environment and Conservation*, Vol.24, No.2: 674-680, ISSN 0971 - 765 X.
- Indrayani., Buchari, E., Putranto, D.D.A., Saleh, E., 2018c. Analysis of Puddles in swamp area of Banyuasin District using the imange Landsat 8 by NDWI method., *Ecology, Environment and Conservation*, Vol.24, No.3: 1069-1075, ISSN 0971 - 765 X.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., 2010. Soft soil improved by prefabricated vertical drains: performance and prediction. *Symposium on New Techniques for Design and Contruction in Soft Clays*, 227-246, Brazil: Officna de Textos, <http://ro.ro.ouw.edu.ua/engpapers/870>.
- Jankowski, P., and Nyerges, T., 2001. *Geographical Information Systems for Group Decision Making: Toward a Participatory, Geographic Information Science*. Taylor and Francis, New York.
- Jha, A. K., Bloch, R., and Lamond, 2012. *Cities and Flooding: a Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. World Bank Publications.
- Johnston, R.J., Sidaway, J., 2004. *Geography and Geographers Anglo-American Human Geography since 1946*. Edward Arrnold, London.
- Kaharu, A., 2014. *Pengembangan Jaringan Jalan Berdasarkan Daya Dukung Wilayah di Provinsi Gorontalo*. Disertasi, Program Pascasarjana, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, www.etd.repository.ugm.ac.id.

- Karlson, M., Karlsson, C.S.J., Mortberg, U., Olofsson, B., Balfors, B., 2016. Design and Evaluation of Railway Corridors Based on Spatial Ecological and Geological Criteria. *Transportation Research part D*, Elsevier: 207 – 228.
- Keputusan Menteri Kimpraswil No. 534/KPTS/M/2001. Pedoman Standar Pelayanan Minimal Penataan Ruang.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2013. Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013. Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2007. Panduan Penilaian AMDAL atau UKL/UPL untuk Kegiatan Pembangunan Jalan.
- Keshkamat, S., 2007. Formulation and Evaluation of Transport Planning Alternatives using Spatial Multi Criteria Assesment and Network Analysis: A Case Study of North-Eastern Poland. Master Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Netherlands, scholar.google.com/citations?user.
- Khadse, G.K., 2012. Spectral Reflectance Characteristic of the Soils on Basaltic Terrain of Central Indian Plateau. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Volume 40: 717 -724, <https://link.springer.com>.
- Kusumowidagdo, M., 2007. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Pusat Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional, Jakarta, <http://openlibrary.org/books/ol2447604717>.

- Kustiyo, Dewanti, R., Lolitasari, I., 2014. Pengembangan Metoda Koreksi Radiometrik Citra SPOT 4 Multi-Spektra dan Multi-Temporal untuk Mozaik Citra. Akuisisi dan Penginderaan Jauh, Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh. sinasinderaja.lapan.go.id/wp-content.
- Lapan, 2015. Pedoman Pemanfaatan Data Landsat-8 untuk Deteksi Daerah Tergenang Banjir (Inundated Area). Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 2008. Remote Sensing And Image Interpretation, 6th Edition. Jhon Wiley & Sons Inc, New York.
- Li, S., and Chen, X., 2014. A New Bare-Soil Index For Rapid Mapping Developing Areas Using Landsat 8 Data. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XL-4: 139 – 144., <https://www.researchgate.net>.
- Liu, J. G., and Masson, P, J., 2009. Essetial Image Processing and GIS for Remote Sensing. A John Wiley&Sons, Ltd, Publication.
- Lo, C.P., 1996. Penginderaan Jauh Terapan. UI Press, Jakarta.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., 2005. Geographical Information System and Science: 2nd Edition. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Lu, D., Hetrick, S., Moran, E., 2011. Impervious Surface Mapping with Quickbird Imagery. HHS Public Access: 2519 – 2533, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21643434>.

- Lukman, S., 2002. *Managemen Keruangan Perusahaan Konsep Aplikasi Perencanaan, Pengawasan dan Pengambilan Keputusan*. Edisi Baru, Cetakan Ketujuh, Rajawali Pers, Jakarta.
- Malczewski, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wely Publishers, New York.
- Malczewski, J., 2004. *GIS-Based Land-Use Suitability Analysis: a Critical Overview*. *Progress in Planning*, www.sciencedirect.com/science/article.
- Marantika, E.P., dan Sudaryanto, 2012. Hubungan antara Nilai Spektral dengan Tekstur Tanah pada Data Digital Citra Alos ANVIR-2 sebagian Kabupaten Purworejo Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, Volume 1, No. 2: 94 – 100.
- Mather, P.M., 2004. *Computer Processing of Remotely-Sensed Imag An Introduction*. Chichster: John Willey & Sons Inc.
- Matorurrozaq dan Diputro, S.H., 2010. Analisa Pemilihan Keputusan Trase Jalan dengan Menggunakan Metode Fuzzy Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus: Ruas Jalan Pacitan-Hadiwarno, Kabupaten Pacitan). *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XI*, Surabaya, mmm.its.ac.id.
- Mulmi, A. D., 2009. Green Road Approach in Rural Road Construction for the Sustainable Develompment of Nepal. *Journal of Sustainable Develompment*, Vol 2, No. 3, November; 149 – 165.
- Noor, M., 2007. *Rawa Lebak: Ekologi, Pemanfaatan, dan Pengembangannya*. Raja Persada, Jakarta.

- Ontah, G.M., Weku, W.C.D., Rindengan, A.J., 2014. Sistem Pendukung Keputusan dalam Memetakan Wilayah Resiko Banjir Menggunakan Fuzzy Multi Criteria Decision Making. *JdC*, Vol. 3, No. 2, <https://ejournal.unsrat>.
- Page, S.E., A. Hoschilo, Westen, H., J. Jauhiainen, Silvius, M., Rieley, J., Vasander, H., and Limin, S., 2009. Restoration Ecology of Lowland Tropical Peatland in Southeast Asia: Current Knowledge and Future Research Direction. *Ecosystems*: 888 - 905, <http://link.springer.com>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006. Tentang Jalan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 73 Tahun 2013. Tentang Rawa.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 41/PRT/M/2007. Tentang Pedoman Kriteria Teknik Kawasan Budi Daya.
- Peraturan Pemerintah No. 51 Tahun 2011. Tentang Kawasan Ekonomi Tanjung Api-Api.
- Peraturan Presiden No. 9 Tahun 2016. Tentang Percepatan Pelaksanaan Kebijakan Satu Peta Pada Tingkat Ketelitian Peta Skala 1 : 50.000.
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P.12/Menhut-II/2012. Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Kehutanan No P.32/Menhut-II/2009 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTk RHL-DAS).

- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 12 Tahun 2014. Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 6 Tahun 2015. Tentang Norma, Standar, Prosedur, dan Kriteria Pemetaan Biomassa Permukaan Skala 1 : 250.000.
- Peraturan Daerah Kota Palembang No. 13 Tahun 2002. Tentang Pembinaan dan Retribusi Pengendalian dan Pemanfaatan Rawa.
- Plate, E.J., 2002. Flood Risk and Flood Management. Journal of Hydrology, Elsevier Science: 2-11, www.sciencedirect.com/science/article.
- Portal Data Kabupaten Banyuasin, 2016. Peta Penggunaan Lahan Kabupaten Banyuasin 2014. <http://simbangda.banyuasinkab.go.id>.
- Prahasta, E., 2006. Sistem Informasi Geografis Membangun Aplikasi Webbased GIS dengan MapServer. Informatika, Bandung.
- Priyambada, R., Nurhayati, W., Djakfar, L., Prawito, G.S., 2010. Studi Kelayakan Jalan Lingkar Timur Kabupaten Malang. Jurnal Civitas Akademik, sipil.ub.ac.id.
- Puntodewo, 2003. Sistem Informasi Geografi untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam. Center for Information Forestry Research, Bogor.
- Purwadhi dan Hardiyanti, S., 2001. Interpretasi Citra Digital. Grasindo, Jakarta.
- Pusat Penelitian Tanah Bogor, 1982. Peta Klasifikasi Tanah Indonesia.

Pusat Penelitian Kehutanan Internasional (CIFOR), 2017. Mengapa Lahan Gambut Penting. <https://id/linkedin.com/company/center-for-international>.

Putro dan Nurhamsyah, 2016. Pola Permukiman Tepian Air (Studi Kasus : Desa Sepuk Laut, Punggur Besar dan Tanjung Saleh Kecamatan Sungai Kakap, Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Langkau Betang*, Vol. 2, No.1: 65 -76, file:///C:/Users/Pavillion/Downloads/13841-42111-1-SM%20.pdf.

Raaijmakers, R.J.J., 2006. A Spatial Multi Criteria Analysis Methodology for the Development of Sustainable Flood Risk Management in the Ebro Delta. University of Twente Department Water Engineering and Management. <http://essay.utwente.nl/57138/1/scriptie> Raaijmakers.pdf.

RSNI T - 14 - 2004. Geometri Jalan Perkotaan. Revisi Standar Nasional Indonesia, Badan Standarisasi Nasional.

Ritohardoyo, S., 2013. Penggunaan dan Tata Guna Lahan. Ombak, Yogyakarta.

Ritung, S., Wahyunto, K., Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Supranto, dan Tafakresnanto, C., 2011. Peta Lahan Gambut Indonesia, skala 1 : 250.000. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian.

RTRW Banyuasin, 2011. Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Banyuasin 2011 - 2031. Pemerintah Daerah Kabupaten Banyuasin.

- Saaty, T.L., 2008. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No.1: 83 – 98, www.colorado.edu/geography/kyk/geog-5113.
- Salas, J.C., 2006. Assessing the Spatial Relationship Between Public Road Infrastructure and the Socio-Economic Indicator of Urban Poverty in Southern Lima, Peru. Master of Science Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- Saidi, A.I., 2010. Jalan Raya Sebagai Desain Kebudayaan. *Jurnal Sositoteknologi Edisi 19, April: 769-781*, journal.itb.ac.id/index.php/sostek/article/view/1040.
- Scott, R., Gorman, M., D'Amors, L., 2004. Adapting Pavement Evaluation Methodology to The Performance Based Contract of The Frederiction-Moncton Highway Project (A Public-Private Partnership). Annual Conference of The Transportation Association of Canada, Quebec. <https://trid.tib.org>.
- Seah, T.H., Kim, T.B., Thanh, D., 2016. Ground Improvement via Vacuuk Consolidation Method in Vietnam. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, Vol. 47, No. 4, <https://www.researchgate.net/publication>.
- Seboka, G.N, 2016. Spatial Assessment of NDVI as an Indicator of Desertification in Ethiopia using Remote Sensing and GIS. Mater Thesis in Geographical Information Science nr 51, Department of Physical Geography and Ecosystem Science Centre for Geographical Information Systems Lund University, Sweden, lup.lubise/student.papers/record/8877776.

- Sentosa, L., dan Roza, A.A., 2012. Analisis Dampak Beban Overloading Kendaraan pada Struktur Rigid Pavement terhadap Umur Rencana Perkerasan (Studi Kasus : Ruas Jalan Simpang Lago - Sorek Km 77 s/d 78). *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 19, No. 2, Agustus, journals.itb.ac.id.
- Siswanto, 2006. *Evaluasi Sumber Daya Lahan*. UPN Veteran Jawa Timur, Surabaya.
- Subagyo, H., 2006. *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian, Bogor.
- Subramani, T., Nanda, S.K., 2012. National Highway Alignment Using GIS. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Volume 2, Issue 4, July-August: 427 - 436, www.ijeia.com/papers/vol2_issue.
- Sulistiyorini, R., dan Dwi, H., 2010. Analisis Multi Kriteria Sebagai Metode Pemilihan Suatu Alternatif Ruas Jalan di Propinsi Lampung. *Jurnal Rekayasa*, Volume 14, No. 3, ft-sipil.unila.ac.id/ejournals/index.php/jrekayasa/article.
- Sullivan, D., and David, J. U., 2003. *Geographic Information Analysis*. John Wiley&Son, Inc.
- Summers, C.J., 2000, *Guide to Highways Maintenance*. <http://www.highwaysmaintenance.com/cbrtext.htm>.

- Suriadikusumah, A., dan Pratama, A., 2010. Penetapan Kelembaban, Tekstur Tanah dan Kesesuaian Lahan untuk Tanaman Kina (*Chinchona spp*) di Sub Das Cikapundung Hulu Melalui Citra Satelit Landsat-TM Image. *Jurnal Agrikultura*: 85-92, journal.unpad.ac.id/index.php/argicultura/article.
- Suryanto, 2007. Daya Dukung Lingkungan Daerah Aliran Sungai Untuk Pengembangan Kawasan Permukiman (SK: DAS Beringin Kota Semarang). Naskah Tesis, Program Pascasarjana Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Semarang, eprint.undip.ac.id/18725.
- Sutanto, 1999. Penginderaan Jauh Jilid II. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Tinghe, D., 2000. Accessibility Planning. Canada, [www.rural road org/doc/ Accessibility Planning Tingherevised2006.pdf](http://www.ruralroad.org/doc/AccessibilityPlanningTingherevised2006.pdf), diakses: 11 November 2015.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007. Tentang Penataan Ruang.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009. Tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009. Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2011. Tentang Informasi Geospasial.
- United States Geological Survey. Using the USGS Landsat 8 Product. <http://landsat.usgs.gov>.

- Wahyunto, Ritung, R., Nugroho, K., Sarwani, M., 2010. Inventarisasi dan Pemetaan Lahan Gambut di Indonesia. Peneliti Badan Litbang Pertanian, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, [http:// bbsdlp.litbang.pertanian.go.id](http://bbsdlp.litbang.pertanian.go.id).
- Wibowo, L.A., Sholichin, M., Rispiningtati, Asmaranto, R., 2013. Penggunaan Citra Aster dalam Identifikasi Peruntukan Lahan Sub DAS Lesti (Kabupaten Malang). *Jurnal Teknik Pengairan*, Vol. 4, No. 1: 39 - 46, jurnal.pengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/viewfile/179
- Wicaksono, A., Muhsoni, F.F., Fahrudin, A., 2010. Aplikasi Data Citra Satelit NOAA-17 untuk Mengukur Variasi Suhu Permukaan Laut Jawa. *Jurnal Kelautan*, Vo. 3, No. 1; 70-74, <http://journal.trunojoyo.ac.id/jurnalkelautan/article/view/849>.
- Wijayanto, Y., 2012. Kajian Penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Evaluasi Sumber Daya Lahan. Fakultas Pertanian, Universitas Jember, repository.unej.ac.id/bitstream/.../Kajian%20Teknik%20Analisis.pdf.
- Wiweka, Suwarsono, Nugroho, J.T., 2014. Pengembangan Model Identifikasi Daerah Tergenang (Inundated Area) menggunakan Data Landsat-8. Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh, sinasinderaja.lapan.go.id/wp.conten.
- Xu, H., 2006. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote sensing*, 27(14), 3025-3033, <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.

- Yakar, F., and Celik, F., 2014. A Highway Alignment Determination Model Incorporating GIS and Multi Criteria Decision Making. *KSCE Journal of Civil Engineering*, Springer: 1-11, link.springer.com/article/10.1007/s12205-014-0130-1.
- Yang, F., Zeng, G., Du, C., Tang, L., Zhou, J., Li, Z., 2008. Spatial Analyzing System for Urban Landuse Management Based on GIS and Multi Criteria Assessment Modeling. Elsevier Limited and Science, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007108002475.
- Yildirim, V., and Nisanci, R., 2010. Developing a Gospatial Model for Power Transmission Line Routing in Turkey. *Spatial Information Modelling II*, FIG Congress, <https://www.fig.net/resources/proceedings>.

AUTOBIOGRAFI



Dr. Indrayani, S.T., M.T., dilahirkan di Pontianak pada tanggal 10 Februari 1974, merupakan anak kedua dari Ayahnda H. M. Djafri H. Mahyus, S.H. (alm), dan Ibunda Hj. Rugayah. Memiliki 4 saudara perempuan yaitu Hj. Andriani, S.H., Hj. Rendrayani, S.STP., M.Si., Erna Yulianti, S.T., M.T., dan Herlina Agustiningasih, S.T. Menikah pada tanggal 9 Agustus 1998 dengan H. Sumantri Rustam, S.E., M.Si. Dan telah dikaruniai Allah SWT dengan 3 orang anak yaitu seorang putra bernama Arsyil Sumantri Putra, A.P. (21 tahun) dan dua orang putri bernama Dhiya Calista (20 tahun), dan Amanda Trinda Ramadani (14 tahun).

Riwayat pendidikan SDN 69 Pontianak diselesaikan pada tahun 1985, SMPN 3 Pontianak diselesaikan tahun 1988, SMAN 1 Pontianak diselesaikan tahun 1991. Menempuh pendidikan S-1 (S.T.) di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak diselesaikan tahun 1996 dan melanjutkan pendidikan S-2 (M.T.) pada tahun 2003 di Pascasarjana Universitas Sriwijaya, Jurusan Teknik Sipil Bidang Kajian Umum Manajemen Infrastruktur diselesaikan pada tahun 2005. Pendidikan terakhir S-3 (Dr.) pada Program Studi S3 Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Sriwijaya, bidang kajian Lahan Basah diselesaikan pada tahun 2019.

Riwayat pekerjaan sebagai Dosen Tetap (PNS) pada tahun 1997-2000 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak. Sebagai Dosen Luar Biasa pada tahun 1997-1999 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Panca Bakti Pontianak. Pada tahun 2000 sampai sekarang Dosen Tetap pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.