



MODUL

Nature-based Solution (NbS)



CAPACITY BUILDING

Kerjasama antara

WWF Indonesia

dengan

Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada



DAFTAR ISI

01

Chapter 1.

Pengenalan Nature Based Solutions

8

02

Chapter 2.

Overview Lingkup dan Skenario Jasa Lingkungan

12

03

Chapter 3.

Pemodelan Spasial

19

3.1 Pengantar Permodelan spasial

22

Konsep dan Teori Permodelan Spasial

22

Sumber dan Akuisisi Data

22

Kualitas Data Spasial

22

Konsep Skala

25

Pengayaan

27

3.2. Penutup dan Penggunaan Lahan

28

Perbedaan Definisi Penutup dan Penggunaan Lahan

28

Kegunaan Peta Penutup dan Penggunaan Lahan

29

Klasifikasi Visual dan Digital

30

Klasifikasi Multispektral

31

Indeks Vegetasi

32

Tahap Pemetaan Penutup dan Penggunaan Lahan

33

Pengayaan

34

Praktik Pengolahan Data

36

3.3. Analisis medan

50

Definisi dan Perbedaan DEM, DSM, DTM, DHM

50

Pengolahan Data DEM

51

Contoh Penggunaan Analisis Medan dalam Permodelan Spasial

54

Pengayaan

55

Praktik Pengolahan Data

55

04

Chapter 4.

Analisis Jasa Ekosistem Menggunakan InVEST

67

4.1 Preface Pemodelan Jasa Lingkungan menggunakan InVEST	70
4.2 Modul Habitat Quality	73
Pendahuluan	73
Tujuan	74
Alat dan Bahan	74
Metodologi	75
Hasil	80
4.3 Module Sediment Delivery Ratio	82
Pendahuluan	82
Tujuan	83
Alat dan Bahan	84
Metodologi	84
Hasil	93
4.4 Module Carbon Storage and Sequestration	97
Pendahuluan	97
Tujuan	98
Alat dan Bahan	99
Metodologi	99
Hasil	105
4.5 Module Annual Water Yield	106
Pendahuluan	106
Tujuan	107
Alat dan Bahan	107
Metodologi	108
Hasil	116

05

Chapter 5.

Lembar Kerja Evaluasi dan Interpretasi Hasil
Pemodelan Jasa Lingkungan

120

06

Chapter 6.

Perencanaan Jalan Berbasis Konservasi Alam

131

Pendahuluan	134
Tujuan	138
Analisis	138



DAFTAR ISI

07

Chapter 7.

Studi Kasus

170

7. 1. Analisis Tumpangsusun Jasa Lingkungan dengan Jalan

171

Skenario

171

Metodologi

172

Analisis

179

7. 2. Analisis Annual Water Yield dan Iklim (Indeks Kekeringan)

180

Skenario

180

Metodologi

180

Analisis

187

7. 3. Perubahan Penutup/Penggunaan Lahan dan Jasa Lingkungan

189

Skenario

189

Metodologi

189

Analisis

201

Post

Assesment Test

207

08

Chapter 8.

Overview Pelatihan dan Potensi Pemodelan Jasa Lingkungan Ke Depan

209

Overview Pelatihan Jasa Lingkungan

212

Potensi Pemodelan Jasa Lingkungan ke depan

213

Penutup

215

Daftar

Pustaka

216

Rangkuman

Modul Invest

219

Post Assesment Test

<https://bit.ly/PreTestNBS>

Pre assesment test

Soal Pre Assesment Test terdiri dari 30 soal. Masing-masing soal memiliki bobot yang sama, yakni 1 poin. Mohon cermati petunjuk soal yang ada. Selamat mengerjakan.

 mail.com [Switch account](#)



 Not shared

Guna menghadapi krisis iklim dan bencana yang tengah terjadi di seluruh dunia, diperlukan solusi dengan pendekatan berbasis ekosistem. Apa istilah pendekatan tersebut? 1 point

- Energy-based Solution
- Social-based Solution
- Landscape-based Solution
- Nature-based Solution

Berikut ini merupakan manfaat pendekatan Nature-based solution dalam perencanaan wilayah, kecuali? 1 point

- Mengatasi tantangan yang muncul dari kejadian bahaya dan bencana
- Menghadirkan banyak peluang bagi manusia untuk memperoleh kesehatan yang lebih baik
- Meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim
- Menyediakan layanan infrastruktur yang luas



MODUL

Nature-based Solution (NbS)





**MODUL
PENDAHULUAN**

Chapter 1.

Pengenalan Nature Based Solutions

Format | lecture
Durasi pembelajaran | 1 jam

Dunia sedang menghadapi tantangan iklim yang menjadi permasalahan serius bagi kita semua.

Sebagian besar tantangan tersebut berkaitan langsung dengan aktivitas manusia, seperti industrialisasi tak terkendali, urbanisasi tanpa perencanaan yang matang, pengeboran tak terkontrol, penangkapan ikan berlebih, penggundulan hutan, penambangan terbuka dan aktivitas lainnya.

Maka dari itu, manusia dihadapkan pada sebuah pilihan, yakni melanjutkan langkah yang tidak berkelanjutan atau berhenti dan mulai merenungkan. Berhenti dan belajar dari alam. Alam sangat berperan penting dalam segala perubahan serta permasalahan yang terjadi di bumi dengan menawarkan banyak solusi untuk mengurangi dampak bencana dan iklim. Terkhusus, krisis iklim yang tengah terjadi di seluruh dunia. ‘Solusi Berbasis Alam’ (NbS) adalah bagian penting untuk membangun ketangguhan rumah tangga dan masyarakat terhadap kejadian bencana yang terus meningkat di seluruh dunia.

Solusi berbasis alam (Nature-based Solutions) adalah istilah umum yang meliputi serangkaian pendekatan berbasis ekosistem untuk mengatasi berbagai tantangan sosial. Melalui kongres konservasi dunia pada tahun 2016, anggota IUCN mengadopsi resolusi (WCCC-2016-Res-069-EN) yang untuk pertama kalinya, mendefinisikan pemanfaatan alam untuk memberikan manfaat simultan bagi keanekaragaman hayati dan kesejahteraan masyarakat. Menurut resolusi tersebut, Solusi Berbasis Alam (NbS) adalah “tindakan untuk melindungi, mengelola secara berkelanjutan, dan memulihkan ekosistem alami atau ekosistem yang dimodifikasi untuk mengatasi tantangan masyarakat secara efektif dan adaptif, sekaligus memberikan manfaat bagi kesejahteraan manusia dan keanekaragaman hayati”. Definisi ini diambil dari publikasi IUCN yang menguraikan kerangka NbS (Cohen-Sacham, 2016).



Gambar 1. Ilustrasi Diagram Pendekatan Berbasis Ekosistem dalam Permasalahan di Masyarakat
Sumber: IUCN

Inti pendekatan solusi berbasis alam berupa gagasan bahwa hidup harus selaras dengan alam bukan bertentangan dengannya. Lebih tepatnya, pendekatan ini memiliki arti untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur, menangani perubahan iklim dengan strategi adaptasi dan mitigasi. Menjaga planet kita secara berkelanjutan melalui mitigasi perubahan iklim dan pengelolaan lingkungan. Salah satu tujuan utama Solusi Berbasis Alam adalah mengatasi tantangan yang muncul dari kejadian bahaya, seperti gempa bumi, banjir, dan tanah longsor. Kejadian tersebut dapat membahayakan, tetapi tidak selalu berkembang menjadi peristiwa yang biasanya disebut bencana. Istilah (bencana) ini cenderung digunakan untuk menyebut kejadian bahaya yang berdampak pada manusia atau mata pencaharian dan aset mereka. Sejauh mana masyarakat (mampu) mempersiapkan diri dan menanggapi kejadian bahaya menunjukkan ukuran ketangguhan mereka.

Sebagai contoh, Solusi Berbasis Alam dapat menghadirkan banyak peluang untuk memperoleh kesehatan yang lebih baik. Misalnya, terbukti bahwa menanam vegetasi di daerah perkotaan dapat memperkuat sistem kekebalan dan meningkatkan kesehatan mental. Contoh lainnya, pengelolaan ekosistem yang lebih baik dapat mencegah munculnya patogen seperti COVID-19. Solusi berbasis alam untuk mengatasi tantangan yang muncul dari kejadian bahaya telah diterapkan pada beberapa negara.

Sri Lanka menerapkan solusi berbasis alam dengan melibatkan dukungan masyarakat dalam penanaman pohon di lereng curam untuk mengurangi risiko tanah longsor dengan memanfaatkan pengetahuan tradisional tentang pengelolaan banjir dan pemanenan air hujan, seperti kolam konservasi, untuk mengurangi terjadinya banjir.

Contoh lainnya adalah Great Green Wall di Sahel yang berawal dari proyek penanaman sederet pohon di sepanjang tepi selatan Gurun Sahara untuk mencegah meluasnya desertifikasi dan telah berkembang menjadi prakarsa yang masif yang dipimpin oleh Uni Afrika untuk menciptakan bentang alam yang hijau dan produktif serta mampu mengatasi tantangan yang dihadapi penduduk di Sahel dan Sahara.

Solusi yang dapat membangun ketahanan iklim dengan memberikan peningkatan layanan infrastruktur dan menjaga ekosistem berharga yang menjadi sandaran manusia. Terdapat pengakuan umum dan kesadaran yang semakin besar bahwa Solusi Berbasis Alam (NbS) dapat memainkan peran penting dalam meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim dan memastikan penyediaan layanan infrastruktur yang berkelanjutan.

Adaptasi Berbasis Ekosistem (Ecosystem-based Adaptation/EbA) adalah pemanfaatan keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem sebagai salah satu strategi adaptasi untuk membantu manusia agar dapat beradaptasi terhadap dampak buruk perubahan iklim. Pendekatan ini dapat dianggap sangat mirip, terkait dalam hal mengatasi bencana jangka pendek hingga jangka panjang, serta dampak perubahan iklim. Keduanya harus diterapkan secara optimal pada skala bentang alam, seperti pada DAS atau pesisir, yang menjadi batas-batas alami.



Chapter 2.

Overview Lingkup dan Skenario Jasa Lingkungan

Format | lecture

Durasi pembelajaran | 1 jam

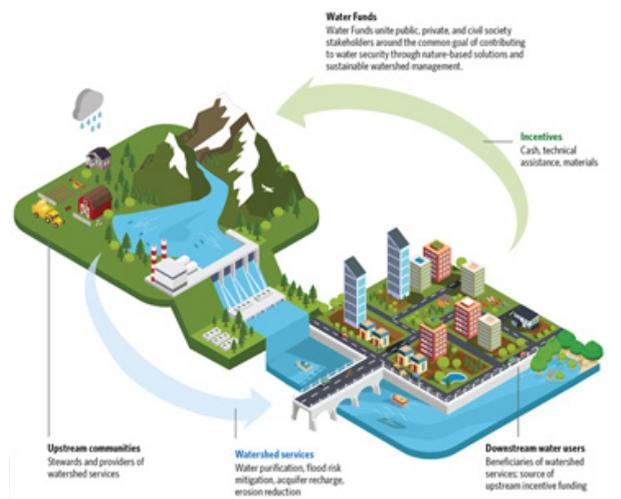
Indonesia merupakan negara mega biodiversity, keanekaragaman hayati di dalamnya sangat berlimpah dan tidak tertandingi di seluruh dunia. Kekayaan alam tersebut sebagian besar berada di kawasan ekosistem.

Ekosistem yang dikelola dengan baik akan menghasilkan keanekaragaman hayati yang mampu menopang dan memenuhi kehidupan antar ekosistem di dalamnya.

Pengelolaan ekosistem yang baik dapat dimulai dengan mengidentifikasi dan menilai kekayaan atau *value* dari ekosistem itu sendiri, pengelolaan ekosistem yang buruk akan menimbulkan berbagai risiko bahaya dan ancaman untuk ekosistem tersebut. Perlu dilakukannya identifikasi dan penilaian ekosistem menggunakan metode jasa lingkungan. Jasa lingkungan adalah produk sumberdaya dari ekosistem alam yang dapat dirasakan manfaatnya baik secara langsung maupun tidak langsung.

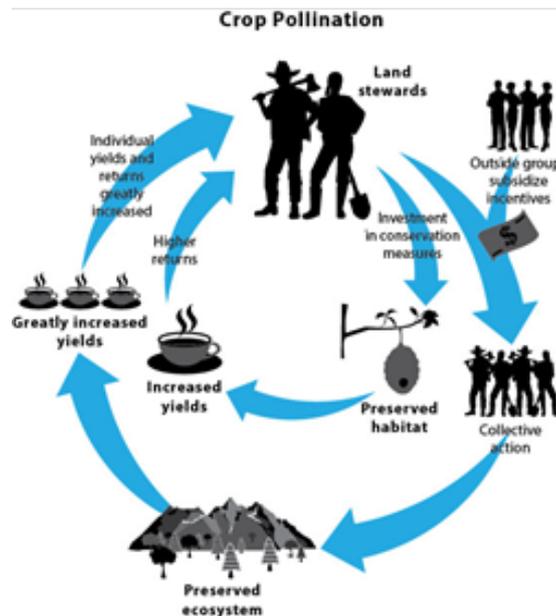
Pemanfaatan jasa lingkungan oleh masyarakat luas belum begitu dipahami karena kebermanfaatannya hanya akan terasa jika hal-hal berharga pada alam telah hilang atau rusak, beberapa bentuk dari pemanfaatan jasa lingkungan adalah konservasi dan restorasi. Perlu dilakukannya pemodelan, pemetaan, dan penilaian terhadap pemanfaatan jasa lingkungan untuk memahami dalamnya pemanfaatan sumberdaya alam menggunakan jasa lingkungan dalam memberikan masukan untuk pengambilan keputusan atau kebijakan sehingga dapat memberikan hasil yang lebih baik bagi ekosistem dan interaksi di dalamnya. Produk jasa lingkungan melingkupi pemodelan terhadap komponen air, pangan, perubahan iklim, dan kota yang berkelanjutan dan layak huni.

Air merupakan komponen paling penting terhadap kesejahteraan dan kesehatan secara global. Ketersediaan air menjadi prioritas bagi sistem alami ekosistem. Tanpa ketersediaan air, kerentanan dan ancaman terhadap suatu ekosistem akan meningkat dan mengakibatkan kehancuran ekosistem itu sendiri. Permasalahan ketersediaan air dalam suatu ekosistem harus diatasi dengan solusi berbasis alam (*nature-based solutions*). Pemanfaatan air yang baik akan memperbaiki kualitas ekosistem, termasuk di dalamnya tujuan konservasi, pengelolaan lahan, peningkatan kualitas dan kuantitas air untuk mengamankan ketersediaan air di masa depan.



Gambar 2. Komponen air
Sumber: <https://waterfundstoolbox.org/>

Ketahanan pangan merupakan program prioritas dalam multiskala (daerah, nasional, dan internasional). Pemanfaatan ketahanan pangan secara global diawali dengan produksi dan pelestarian pangan, Pengelolaan lahan yang baik dari hasil panen pangan juga merupakan bentuk ketahanan pangan yang merupakan bagian dari pelestarian keanekaragaman hayati regional. Keanekaragaman hayati berupa serangga poliantor juga menjadi salah satu bukti dari dukungan terhadap ketahanan pangan melalui penyerbukan tanaman.



Gambar 3. Komponen pangan dalam ekosistem
 Sumber: <https://studio.edx.org/>

Perubahan Iklim

Peningkatan emisi menjadi salah satu sumber perubahan iklim. Salah satu metode yang efektif dalam mengurangi emisi adalah berbasis lahan. Pemanfaatan mengurangi emisi berbasis lahan mencakup reboisasi, konservasi atau pengurangan deforestasi. Lahan dapat menjadi solusi dalam penggantian kerugian karbon, manfaat lain pengurangan emisi berbasis lahan yaitu konservasi keberanekaragaman hayati, ketahanan pertanian dan ketersediaan air dan perlindungan tanah.

Kota yang Berkelanjutan dan Layak Huni

Lebih dari 70% penduduk dunia tinggal di perkotaan. Urbanisasi merupakan faktor utama yang membuat pertumbuhan penduduk perkotaan tumbuh dengan pesat, salah satu faktor penyebab tingginya nilai urbanisasi karena perkotaan dapat memberikan fasilitas kesehatan dan peningkatan kesejahteraan lebih baik. Perencanaan perkotaan layak huni dengan mempertimbangkan ekosistem dan keberlanjutan membuat perkotaan menjadi lebih baik dan menghasilkan manfaat yang lebih besar.

Jasa lingkungan dapat dijadikan sebagai pertimbangan utama berbagai unsur di pemerintahan maupun masyarakat untuk identifikasi *value* dari perencanaan perkotaan untuk integrasi berbagai kegiatan dan keanekaragaman hayati perkotaan. Kesetaraan dalam akses terhadap alam merupakan komponen penting dalam membangun lingkungan perkotaan yang berkelanjutan.

Kebutuhan masyarakat dengan sumber kekayaan alam pada ekosistem tidak serta merta meningkatkan kesejahteraan pada masyarakat. Keterbatasan kemampuan sumber daya dan akses pengelolaan menjadi salah satu penyebabnya.

Pemberdayaan masyarakat menjadi salah satu bentuk penyadaran dan edukasi dari pentingnya menjaga keseimbangan ekosistem dan keanekaragaman hayati di dalamnya.

Arti penting dari peningkatan kesejahteraan ekosistem dan keanekaragaman hayati bagi pemangku kebijakan dan masyarakat untuk menjaga keseimbangan dan keselarasan interaksi di dalam ekosistem adalah dengan meningkatkan kesadaran terhadap pentingnya berbagai skenario pemanfaatan jasa lingkungan seperti **konservasi** dan **restorasi**.

● **Konservasi**

Konservasi merupakan salah satu bentuk dari pemanfaatan jasa lingkungan, secara definisi konservasi adalah upaya dalam pengelolaan, pemanfaatan, dan perlindungan terhadap ekosistem dengan bijaksana. Tindakan konservasi yang tepat dapat menjaga kesejahteraan ekosistem secara berkelanjutan.

Tujuan konservasi adalah memelihara proses ekologi penting dan sistem pendukung kehidupan, melestarikan keanekaragaman genetic, dan memastikan pemanfaatan spesies dan ekosistem yang berkelanjutan. Konservasi tidak hanya terbatas pada ruang lingkup flora dan fauna, namun mencakup aspek lain, yaitu satwa liar, ekologi, sumber daya, dan warisan budaya.

Manfaat utama dari konservasi paling utama dari segi ekologi dan ekonomi. Secara ekologi, salah satu manfaat konservasi adalah menjaga keberlanjutan sumber daya yang dimiliki.

- **Restorasi**

Restorasi adalah kegiatan pemulihan lingkungan sebagai bagian dari usaha untuk memperbaiki kembali fungsi ekosistem lingkungan yang rusak ke keadaan semula (KLHK, 2022). Restorasi merupakan salah satu bentuk pemanfaatan jasa lingkungan yang berdampak positif terhadap lingkungan dan ekonomi dan berkontribusi terhadap perkembangan dan kelestarian keanekaragaman hayati di dalamnya.

Konservasi dan Restorasi keduanya merupakan skenario pemanfaatan jasa lingkungan. Pemodelan dan penilaian *value* pada jasa lingkungan adalah bentuk dari skenario jasa lingkungan dalam menjaga keanekaragaman hayati dan keberlangsungan ekosistem dan sebagai penunjang konservasi dan restorasi.

Skenario jasa lingkungan yang berupa pemodelan dan penilaian *value* keanekaragaman hayati dalam ekosistem sangatlah luas. Berikut merupakan beberapa modul bentuk pemodelan dan penilaian *value* yang dapat dilakukan:

- 1. Annual Water Yield**

Model ini mampu memperkirakan kuantitas dan nilai rata-rata tahunan dari besaran hasil air atau nilai interaksi air pada lanskap setiap tahunnya.

- 2. Habitat Quality**

Model ini bertujuan untuk memodelkan kualitas dan kelangkaan habitat sebagai ukuran keanekaragaman hayati dengan memperkirakan luas habitat dan tipe vegetasi di suatu lanskap, serta kondisi degradasinya.

3. Habitat Risk Assessment

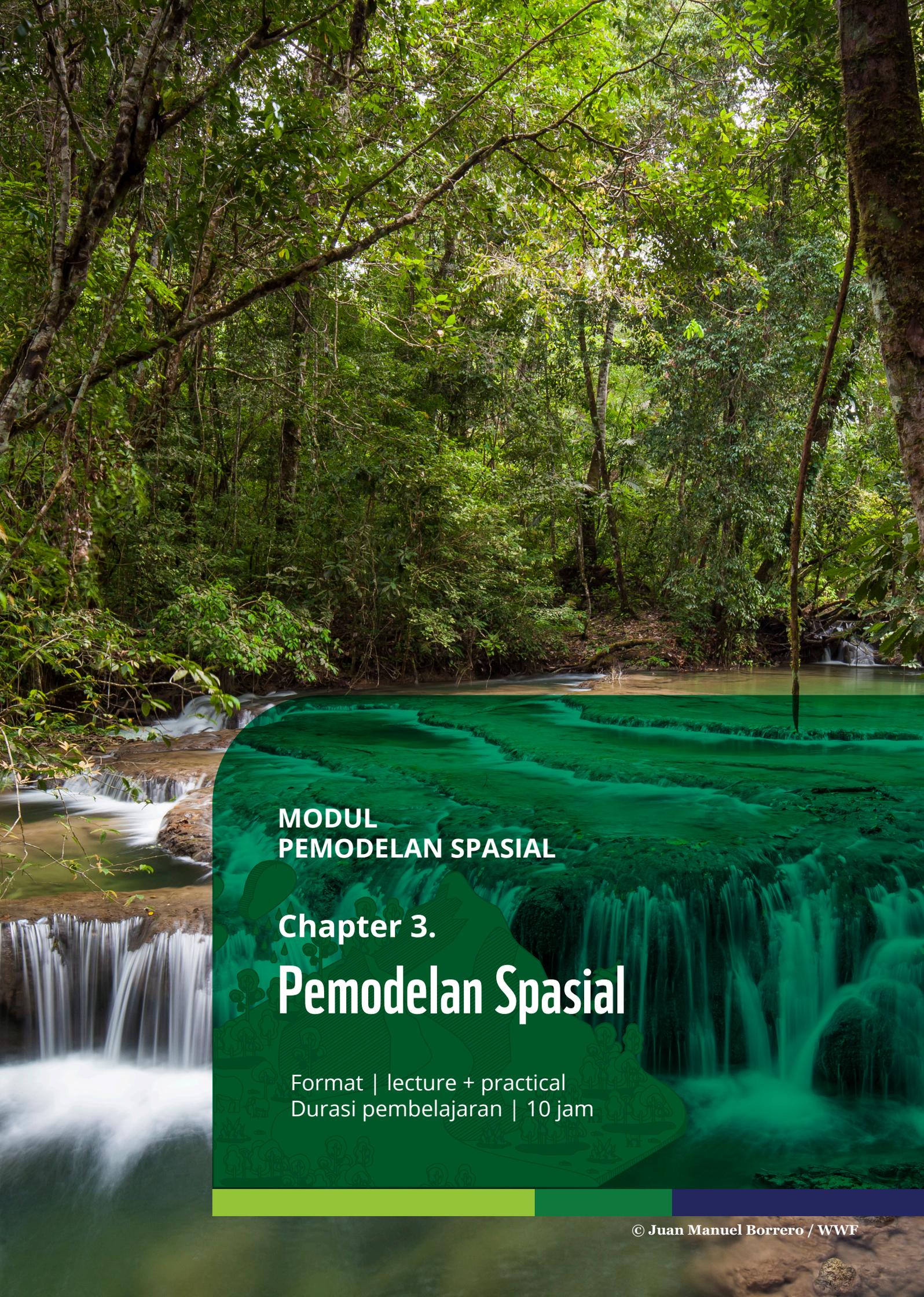
Penilaian Habitat Risk Assessment (HRA) didasarkan pada seberapa besar dampak aktivitas manusia (antropogenik) terhadap kondisi habitat dan spesies. Modul ini memungkinkan penilaian yang bersifat kumulatif dan mengeksplorasi dampaknya terhadap kondisi modal alam dan kemampuan memberikan jasa lingkungan.

4. Carbon Storage and Sequestration

Model penyimpanan dan penyerapan karbon (Carbon Storage and Sequestration) memperkirakan nilai karbon yang tersimpan pada biomassa atas permukaan (*Above Ground Biomass/AGB*), biomassa bawah permukaan (*Below Ground Biomass/BGB*), biomassa serasah (*Leaf Litter*), dan biomassa tanah (*Soil Biomass*) berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya.

5. Sediment Delivery Ratio

Analisis Sediment Delivery Ratio bertujuan untuk mengukur dan memetakan pembentukan sedimen darat dan pengiriman ke sungai. Jasa penyimpanan/retensi sedimen oleh vegetasi sangat dibutuhkan guna menghindari peningkatan transportasi sedimen ke sungai.



**MODUL
PEMODELAN SPASIAL**

Chapter 3.

Pemodelan Spasial

Format | lecture + practical
Durasi pembelajaran | 10 jam



MODUL

Nature-based Solution (NbS)



3.1. Pengantar Permodelan spasial

Durasi pada sub bab ini : 2 jam

Konsep dan Teori Permodelan Spasial

Analisis spasial adalah proses pemeriksaan lokasi, atribut, dan hubungan fitur dalam data spasial melalui overlay dan teknik analisis lainnya untuk menjawab suatu pertanyaan atau memperoleh pengetahuan yang berguna. Analisis spasial mengekstrak atau menciptakan informasi baru dari data spasial (GIS Dictionary, ESRI). Berikut merupakan beberapa definisi terkait spasial.

- Spasial adalah aspek keruangan suatu objek atau kejadian yang mencakup lokasi, letak, dan posisinya.
- Geospasial atau ruang kebumian adalah aspek keruangan yang menunjukkan lokasi, letak, dan posisi suatu objek atau kejadian yang berada di bawah, pada, atau di atas permukaan bumi yang dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu.
- Data Geospasial adalah data tentang lokasi geografis, dimensi atau ukuran, dan/atau karakteristik objek alam dan/atau buatan manusia yang berada di bawah, pada, atau di atas permukaan bumi.
- Informasi Geospasial adalah Data Geospasial yang sudah diolah sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perumusan kebijakan, pengambilan keputusan, dan/atau pelaksanaan kegiatan yang berhubungan dengan ruang kebumian.

Sumber dan Akuisisi Data

Sumber data yang dapat digunakan untuk penyusunan peta antara lain:

- Data hasil pengukuran lapangan, dihasilkan dari survei terestris
- Data statistik
- Citra satelit, diperoleh dari perekaman satelit penginderaan jauh
- Citra foto, diperoleh dari perekaman foto udara
- Digitalisasi peta cetak, mengubah peta cetak yang sudah ada sebelumnya menjadi peta digital
- Sensus lapangan

Kualitas data spasial merupakan aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan pemetaan atau pengolahan data spasial. Hal tersebut berlaku pada data input yang akan digunakan sekaligus data yang akan dihasilkan.

Sebelum dilakukan pengolahan, informasi terkait kualitas data input perlu diketahui apakah data tersebut layak secara kualitas dan cocok untuk digunakan. Terdapat 7 elemen terkait kualitas data spasial menurut Guptill & Morrison (1995), yaitu:

- Lineage

Lineage berkaitan dengan asal-usul/histori dari sebuah data. Informasi ini memuat sumber data yang digunakan, metode akuisisi dan kompilasi, konversi, transformasi, analisis dan pembuatan turunan data yang telah dilakukan, serta asumsi dan kriteria yang perlu diperhatikan ketika menggunakan data tersebut. Berdasarkan informasi tersebut dapat diketahui apakah kualitas hasil dari tiap pemrosesan sudah sesuai dengan kebutuhan. Umumnya informasi tersebut terangkum dalam sebuah dokumen yang biasa disebut “metadata”.

- Akurasi posisi

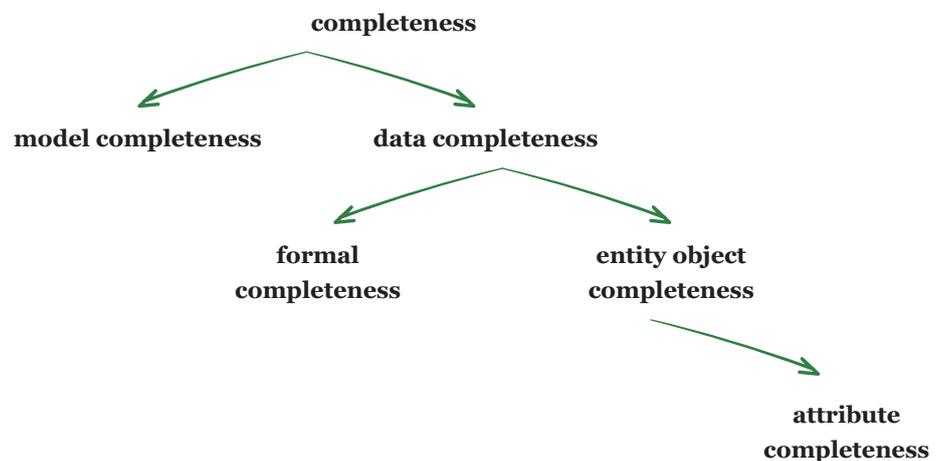
Akurasi posisi berkaitan dengan ketepatan suatu peta menggambarkan objek sesuai posisi sebenarnya di permukaan bumi. Statistik yang mewakili keakuratan informasi posisi objek menunjukkan kemungkinan terdekat dengan posisi sebenarnya dan menunjukkan kemungkinan Kesalahan Maksimum dari informasi posisi objek. Aspek ini mencakup kesalahan pengukuran posisi secara mentah dan kesalahan ketika menggabungkan beberapa pengukuran untuk memperoleh hasil akhir. Informasi posisi ditunjukkan dengan jarak, sudut atau waktu, atau kombinasi dari semuanya. Ukuran akurasi yang digunakan adalah root mean square error (RMSE) sedangkan ukuran presisi yang digunakan adalah standar deviasi.

- Akurasi atribut

Akurasi atribut merupakan informasi tentang suatu lokasi, kumpulan lokasi, atau fitur di permukaan bumi. Informasi tersebut dapat berupa hasil pengukuran menggunakan maupun penafsiran oleh ahli. Misalnya informasi kelas tanah, kelas penutup/penggunaan lahan, atau informasi toponimi. Atribut berfungsi untuk membedakan suatu lokasi atau kumpulan lokasi dengan lokasi lainnya, atau suatu fitur dengan fitur lainnya.

- Kelengkapan

Kelengkapan merupakan atribut yang menggambarkan hubungan antara objek yang direpresentasikan dalam kumpulan data dan objek secara keseluruhan di bumi. Penilaian kelengkapan dapat sangat bervariasi. Bergantung penggunaannya, suatu data dapat dikatakan lengkap untuk suatu penggunaan, tetapi bisa jadi tidak lengkap untuk suatu penggunaan yang lain. terdapat 2 aspek yakni kualitas data dan kesesuaian penggunaan. Kelengkapan data berkaitan dengan tingkat kesalahan (error) dan komponen kualitas data yang dapat diukur, sedangkan kelengkapan model merupakan aspek kesesuaian penggunaan.



Gambar 4. Hierarki kelengkapan data spasial
Sumber: Guphill & Morrison (1995)

- **Konsistensi logis**

Konsistensi logis berkaitan dengan aturan logis struktur dan aturan atribut data spasial serta menggambarkan kompatibilitas suatu datum dengan data lain dalam suatu kumpulan data. Suatu kumpulan data spasial dikatakan konsisten secara logis jika data tersebut sesuai dengan karakteristik struktural model data yang dipilih dan sesuai dengan batasan atribut yang ditentukan. Konsistensi dilihat dari konsistensi database, konsistensi topologi, dan konsistensi *scene*. Contoh penerapan konsistensi logis adalah dengan melakukan pengecekan topology rules.

- **Akurasi semantik**

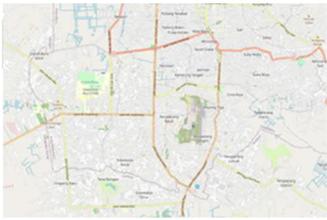
Akurasi semantik mengacu pada kualitas deskripsi objek geografis berdasarkan model yang dipilih. Akurasi ini merupakan evaluasi “kesesuaian penggunaan” yang dilakukan pengguna sebelum menggunakan data spasial. Akurasi semantik mengacu pada relevansi makna objek geografis, bukan pada representasi geometris.

- **Informasi temporal**

Informasi temporal berkaitan dengan histori waktu dari sebuah data. Misalnya waktu akuisisi data dan waktu pengolahannya. Informasi ini dapat berupa waktu secara keseluruhan maupun waktu dari tiap proses/bagian dari sebuah data.

Konsep Skala

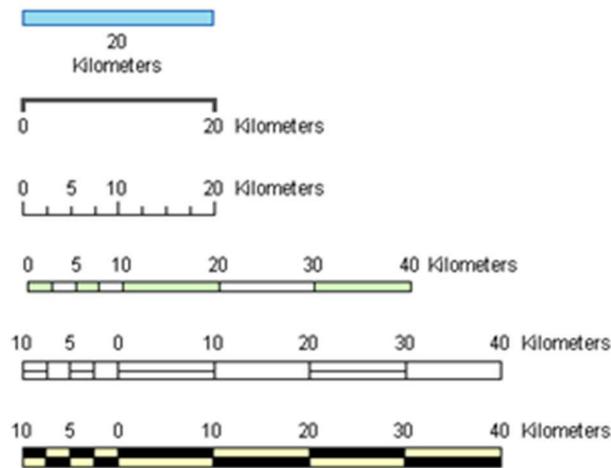
Skala peta merupakan perbandingan jarak antara dua titik sembarang di peta dengan jarak horisontal kedua titik tersebut di permukaan bumi (dengan satuan ukuran yang sama). Dalam konteks pemetaan, semakin kecil lingkup wilayah yang dipetakan maka skalanya akan lebih besar. Perbedaan besar kecilnya skala digambarkan pada ilustrasi berikut.

Skala 1:50.000	Skala 1:100.000	Skala 1:200.000
		

Ilustrasi perbandingan skala peta
 Sumber: Analisis data, 2023

Terdapat 3 cara dalam menyatakan skala peta, yakni:

- Skala Angka, merupakan skala yang ditulis dengan angka atau pecahan. Contoh 1 : 100.000
- Skala Grafik, merupakan skala yang ditunjukkan oleh garis lurus yang dibagi-bagi menjadi satuan yang sama panjang, tiap-tiap unit/satuan menunjukkan panjang yang sebanding di lapangan. Contoh:



Gambar 6. Contoh skala grafik

- Skala Verbal, merupakan skala yang dinyatakan dengan kalimat. Contoh: One inch to one mile

Terdapat standar penggunaan skala dalam interpretasi visual, yakni tiga kali lipat lebih besar daripada skala keluaran peta. Contohnya, bila ingin menghasilkan peta penutup lahan pada skala 1:50.000, maka tampilan citra komposit dan digitisasi harus dilakukan pada skala minimal 1:17.000, mengacu pada skala yang ditampilkan di layar monitor.

Pemilihan skala peta juga mempengaruhi jenis sumber data yang digunakan. Berikut merupakan contoh penggunaan citra berdasarkan resolusi spasialnya untuk berbagai skala.

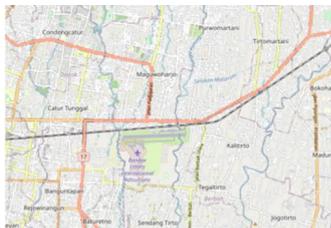
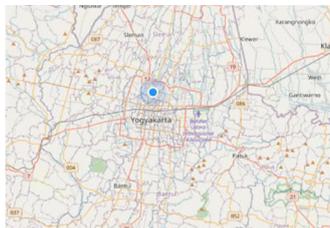
Tabel 1.

Resolusi spasial (meter)	Skala citra		Contoh citra
	Skala ideal	Skala optimal	
30	1:300.000	1:100.000	Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8, ASTER-SWIR
20	1:200.000	1:70.000	SPOT 4
15	1:150.000	1:50.000	Landsat 7 dan Landsat 8 (pansharpened)
10	1:100.000	1:35.000	ALOS AVNIR-2, SPOT 1-3
5	1:50.000	1:17.000	ALOS dan APOT 6 (pansharpened)
1	1:10.000	1:3.500	Quickbird, worldview

Pengayaan

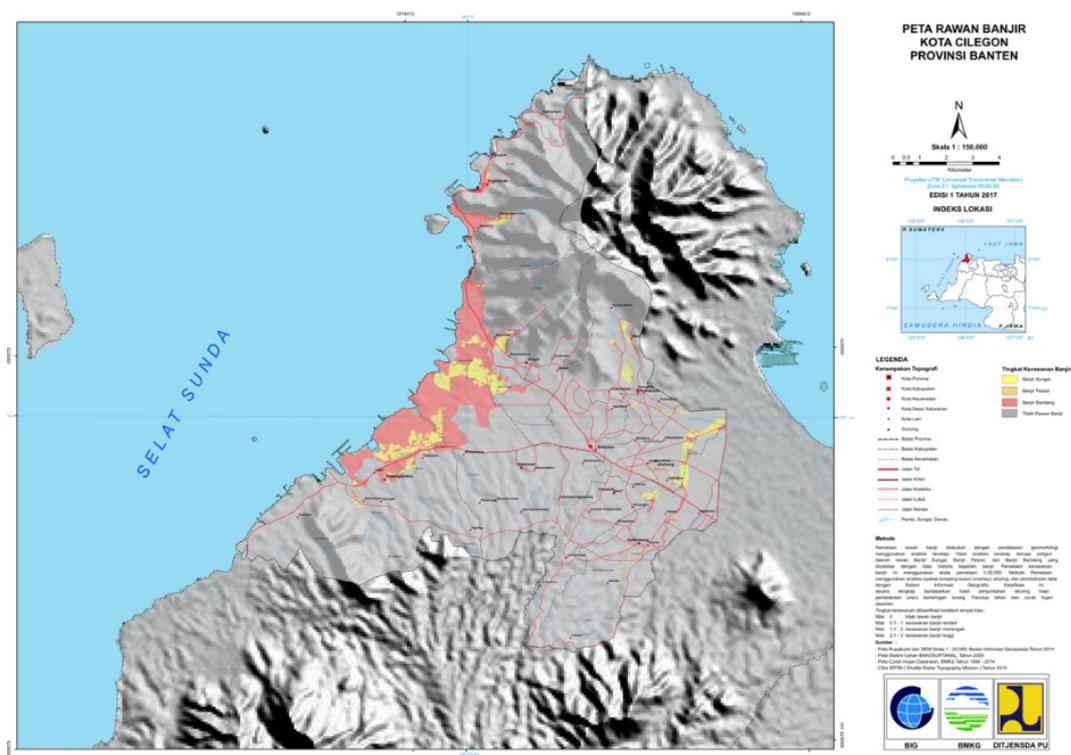
Berdasarkan yang telah dipelajari sebelumnya dapat diketahui bahwa sebelum dilakukan pemodelan spasial, data yang akan digunakan haruslah dapat dipertanggungjawabkan kualitasnya agar hasil yang diperoleh dari permodelan juga dapat dipertanggungjawabkan.

a. Perhatikan perbedaan ke-3 peta dibawah ini :

Skala 1:25.000	Skala 1:50.000	Skala 1:100.000
		

1. Pada skala berapa Bandara Internasional Adisucipto dapat diidentifikasi dengan jelas?
2. Semakin kecil skala, bagaimana cakupan area yang ditampilkan?

b. Perhatikan Peta Rawan Banjir Kota Cilegon dibawah ini:



3. Data apa saja yang digunakan dalam pembuatan Peta Rawan Banjir diatas?
4. Skala apa yang disajikan pada peta tersebut?
5. Apabila Anda akan membuat Peta Rawan Banjir tersebut dengan menggunakan citra penginderaan jauh sebagai sumber data pengganti Peta Rupabumi, citra apa yang akan Anda gunakan?
6. Pada skala minimal berapa yang dapat Anda gunakan saat melakukan interpretasi citra?

3.2. Penutup dan Penggunaan Lahan

Durasi pada sub bab ini : 4 jam

Perbedaan Definisi Penutup dan Penggunaan Lahan

Penutupan lahan adalah perwujudan secara fisik (visual) dari vegetasi, benda alam, dan unsur-unsur budaya yang ada di permukaan bumi tanpa memperhatikan kegiatan manusia terhadap obyek tersebut (Townshend dan Justice, 1981).

Peta penutup lahan umumnya menampilkan kenampakan yang dapat diidentifikasi langsung melalui citra. Sebab, tiap penutup lahan memiliki karakteristik piksel yang khas. Contoh kenampakan yang ditampilkan pada peta penutup lahan adalah tubuh air, vegetasi, lahan terbuka, dan lahan terbangun. Interpretasi penutup lahan dari citra dapat dilakukan secara digital maupun visual.

Penggunaan lahan merupakan campur tangan manusia baik secara permanen atau periodik terhadap lahan dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan, baik kebutuhan kebendaan, spiritual maupun gabungan keduanya (Malingreau, 1979). Penggunaan lahan cenderung lebih kompleks dari penutup lahan, karena mempertimbangkan aspek fungsional dari penutup lahan. Oleh karena itu, interpretasi penggunaan lahan memerlukan pendekatan khusus dan kemampuan *local knowledge* yang baik. Contoh kenampakan yang ditampilkan pada peta penggunaan lahan adalah hutan, perkebunan, perumahan, dan pertambangan. Interpretasi penggunaan lahan dapat dilakukan secara langsung melalui delineasi visual atau melalui klasifikasi digital dengan pendekatan ekologi bentanglahan.

Penutup lahan dan penggunaan lahan sama sama menunjukkan kenampakan yang ada di permukaan bumi. Penutup lahan bersifat kongkret dan fisik sementara penggunaan lahan bersifat abstrak dan fungsional. Meskipun berbeda, keduanya perlu hadir bersama sama sebagai informasi penutup dan penggunaan lahan karena bersifat saling melengkapi.

Kegunaan Peta Penutup dan Penggunaan Lahan

Peta penutup lahan memberikan informasi tentang distribusi penutup lahan pada suatu wilayah sebagai dasar memahami proses biofisik yang terjadi : erosi, fotosintesis, penyerapan karbon, banjir, dan sebagainya.

Peta penggunaan lahan memberikan informasi tentang tingkat campurtangan manusia terhadap lahan, dan tingkat tekanan oleh manusia terhadap lingkungan.

Klasifikasi visual merupakan jenis klasifikasi yang dilakukan dengan mendelineasi citra baik secara digital maupun non digital. Klasifikasi ini dapat diterapkan untuk interpretasi penutup lahan atau penggunaan lahan. Proses klasifikasi dilakukan dengan mempertimbangkan 8 unsur interpretasi yang meliputi rona/warna, tekstur, bentuk, ukuran, kesan kedalaman/ketinggian, pola, situs, dan asosiasi. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan klasifikasi yang representatif dengan kondisi di lapangan. Contoh dokumen yang dapat dijadikan acuan dalam pengkelasan hasil klasifikasi visual adalah SNI 7645:2010. Terdapat 2 macam pendekatan interpretasi visual, yakni:

- Pendekatan fotomorfik, merupakan pendekatan dalam interpretasi visual yang bertumpu pada kenampakan fotomorfik citra. Kenampakan fotomorfik pada citra adalah kenampakan homogen objek pada citra yang dicirikan oleh kesamaan rona/warna, bentuk, tekstur, kesan ketinggian/bayangan, dan pola
- Pendekatan ekologi bentanglahan, merupakan pendekatan interpretasi citra yang mengkaitkan pemahaman tentang karakteristik lahan dengan keberadaan atau kemunculan jenis penutup lahan, bentuk penggunaan, atau tipe vegetasi tertentu. Aspek situs dan asosiasi memegang peranan penting dalam pendekatan ini

Klasifikasi digital disebut juga klasifikasi multispektral. Klasifikasi ini dilakukan melalui pengelompokan piksel citra berdasarkan kesamaan karakteristik pantulan menggunakan pendekatan statistik. Asumsi yang diterapkan dalam klasifikasi ini adalah setiap objek di muka bumi memiliki kenampakan yang khas. Unit analisis dalam klasifikasi digital adalah piksel. Klasifikasi ini dapat diterapkan langsung untuk memetakan penutup lahan. Untuk hasil yang lebih akurat, penutup lahan hendaknya dikelaskan berdasarkan karakteristik tiap jenis kelas. Misalnya lahan terbuka basah dan lahan terbuka kering. Setelah terklasifikasi kemudian keduanya digabungkan kembali menjadi kelas lahan terbuka.

Klasifikasi digital untuk memetakan penggunaan lahan memerlukan pendekatan khusus, karena penggunaan lahan tidak dapat secara langsung diklasifikasikan dari citra. Kehadiran suatu penggunaan lahan tidak terlepas dari pengaruh faktor-faktor fisik lahan disamping kemampuan dan teknologi yang dimiliki oleh manusia. Pendekatan yang dapat diterapkan dalam pemetaan penggunaan lahan adalah pendekatan ekologi bentanglahan. Pendekatan ini mengkolaborasikan aspek penutup, penggunaan, dan karakteristik fisik lahan (Danoedoro, 2009). Oleh karena itu, penggunaan lahan didefinisikan berdasarkan kondisi penutup dan karakteristik medan.

Klasifikasi Multispektral

Klasifikasi multispektral merupakan suatu metode yang digunakan untuk menurunkan informasi tematik dengan cara mengelompokkan fenomena berdasarkan kriteria tertentu (Danoedoro, 2012). Klasifikasi ini merupakan penerapan dari klasifikasi digital. Hasil klasifikasi multispektral adalah peta tematik, biasanya dijadikan masukan dalam pemodelan spasial SIG. Asumsi dasar dalam klasifikasi multispektral berbasis piksel adalah setiap objek dapat dibedakan berdasarkan karakteristik spektralnya melalui nilai piksel. Klasifikasi multispektral dilakukan menggunakan algoritma yang memiliki prinsip menandai tiap jenis objek hingga terlihat berbeda berdasarkan ciri-ciri spektralnya sekaligus pada beberapa saluran, dan pengelompokan objek dapat dilihat secara visual. Kenampakan objek secara visual kemudian diterjemahkan menjadi parameter-parameter statistik yang dipahami komputer dan kemudian dilakukan klasifikasi. Terdapat dua macam klasifikasi multispektral, yaitu :

- Klasifikasi multispektral berbasis nilai piksel (nilai spektral),
- Klasifikasi berbasis objek (Geobia).

Berdasarkan tingkat otomasinya, klasifikasi multispektral dibagi menjadi dua, yaitu :

- Klasifikasi terselia (klasifikasi terawasi/terkontrol/supervised)

Klasifikasi terselia merupakan klasifikasi menggunakan sekumpulan algoritma yang didasari input/masukan contoh objek (sampel) oleh operator. Sebelum sampel diambil, operator harus menyiapkan sistem klasifikasi dan memperhatikan kriteria sampel. Pengambilan sampel bertujuan untuk melatih komputer mengenali objek berdasarkan nilai pikselnya. Contoh algoritma yang diterapkan dalam klasifikasi terselia adalah *minimum distance to mean*, *parallelepiped*, *maximum likelihood*, *support vector machine* (SVM).

- Klasifikasi tak terselia (klasifikasi tak terawasi/tak terkontrol/unsupervised).

Klasifikasi tak terselia secara otomatis dilakukan oleh komputer tanpa campur tangan operator, merupakan proses iterasi hingga menghasilkan pengelompokan akhir gugus-gugus spektral. Oleh karena itu, klasifikasi ini tidak memerlukan sampel dalam proses klasifikasi. Operator bertugas menandai setiap gugus-gugus spektral sebagai objek tertentu. Contoh algoritma yang digunakan untuk klasifikasi tak-terselia adalah *minimum distance to cluster center*, *statistical clustering*, *algoritma campuran*, dan ISODATA.

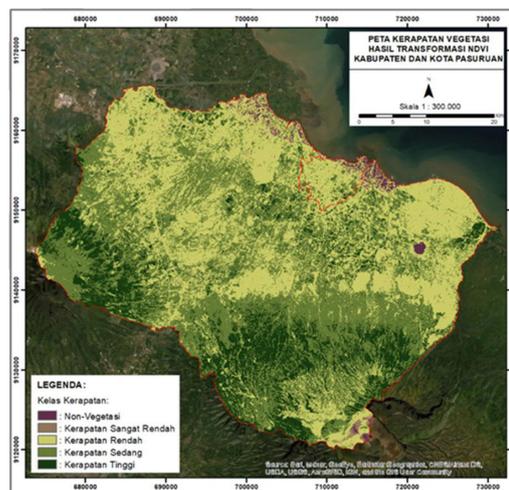
Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan salah satu bentuk transformasi spektral yang berguna untuk merepresentasikan fenomena terkait tingkat kerapatan, kehijauan, kesehatan, atau status nutrisi vegetasi.

Diturunkan dari kombinasi dua saluran spektral atau lebih, yang masing masing sensitif terhadap pantulan dan/atau serapan vegetasi dengan pasangan yang saling berlawanan. Indeks vegetasi umumnya melibatkan saluran merah dan inframerah dekat, ditambah saluran lainnya. Masing memerlukan kalibrasi dan korelasi dengan data hasil pengukuran lapangan dan /atau laboratorium. Proses ini sensitif terhadap koreksi/kalibrasi radiometrik. Asumsi dikembangkannya indeks vegetasi adalah:

- Beberapa kombinasi aljabar dari saluran-saluran spektral dapat memberikan informasi tertentu tentang vegetasi.
- Semua tanah terbuka (gundul) pada suatu citra akan membentuk garis imajiner yang disebut garis tanah, apabila piksel-pikselya diplot pada feature space.

Terdapat 4 macam klasifikasi indeks vegetasi menurut Ray (1995), yakni Indeks vegetasi dasar (menggunakan kombinasi antara saluran hijau, merah, atau inframerah dekat), indeks vegetasi yang meminimalkan pengaruh latar belakang tanah, indeks vegetasi yang meminimalkan pengaruh atmosfer, dan indeks vegetasi lainnya. Berikut adalah contoh hasil indeks vegetasi dasar NDVI.



Gambar 6. Contoh peta hasil pengolahan indeks vegetasi NDVI
Sumber: Analisis data, 2023

Tahap Pemetaan Penutup dan Penggunaan Lahan

1. **Tahap pra lapangan**
 - a. Mempersiapkan data yang dibutuhkan, seperti citra, peta dasar/topografi, peta karakteristik medan, dan peta pendukung lainnya.
 - b. Interpretasi citra. Dapat dilakukan secara visual maupun digital.
 - c. Pembuatan peta titik sampel untuk pengamatan di lapangan. Sampel yang dibuat terdiri dari sampel untuk reinterpretasi dan sampel untuk validasi/uji akurasi.

2. Tahap lapangan

- a. Mengunjungi tiap titik sampel dan mencatat kondisi penutup dan penggunaan lahan serta kondisi fisik lahan
- b. Mengelompokkan sampel berdasarkan sampel reinterpretasi dan sampel validasi

3. Tahap pasca lapangan

- a. Merekap hasil pengamatan di lapangan.
- b. Reinterpretasi peta berdasarkan *local knowledge* yang telah didapatkan di lapangan. Proses ini dibantu dengan menggunakan sampel reinterpretasi.
- c. Integrasi peta penutup lahan dengan peta karakteristik medan melalui proses overlay dengan menerapkan aturan (*rule base*) khusus.
- d. Uji akurasi peta. Proses ini diterapkan pada peta penggunaan lahan hasil integrasi (proses c) dan diuji menggunakan sampel validasi.

Pengayaan

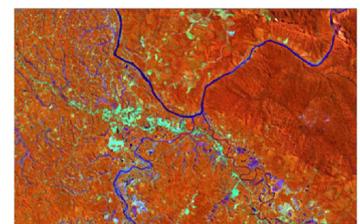
Band atau saluran spektral merupakan bagian dari wilayah spektrum elektromagnetik dengan rentang (julat) panjang gelombang tertentu. Penyajian citra multispektral dapat dilakukan melalui satu jenis band atau komposit dari 3 band. Penggunaan komposit bertujuan untuk menonjolkan suatu kenampakan berdasarkan karakteristik pantulan spektralnya. Dibawah ini merupakan Citra Sentinel-2A dengan berbagai jenis komposit beserta tabel saluran spektral citra Sentinel-2A.



Komposit true color (432)



Komposit false color standard (843)



Komposit false color (8 12 4)

Sentinel-2 Bands	Central wavelength (um)	Resolution (m)
Bands 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Bands 2 - Blue	0.490	10
Bands 3 - Green	0.560	10
Bands 4 - Red	0.665	10
Bands 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Bands 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Bands 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Bands 8 - NIR	0.842	10
Bands 8 - Vegetation Red Edge	0.865	20
Bands 9 - Water vapour	0.945	60
Bands 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Bands 12 - SWIR	1.610	20
Bands 12 - SWIR	2.190	20

Setelah anda memahami kenampakan citra beserta perbedaannya pada tiap jenis komposit, jawablah pertanyaan dibawah ini.

- Objek apa saja yang terdapat pada citra? Sebutkan berdasarkan penutup lahan dan penggunaan lahan pada tabel dibawah ini. Petunjuk: dalam membedakan penutup dan penggunaan lahan, lihat aspek fungsionalnya. Penutup lahan tidak melibatkan aspek fungsional objek, sedangkan penggunaan lahan melibatkan aspek fungsional objek.

Penutup lahan	Penggunaan lahan

- Objek apa yang ditonjolkan pada tiap jenis komposit?

Komposit	Objek yang ditonjolkan
Komposit true color (432)	
Komposit false color standard (843)	
Komposit false color (8 12 4)	

Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan klasifikasi penutupan lahan menggunakan perangkat lunak QGIS:

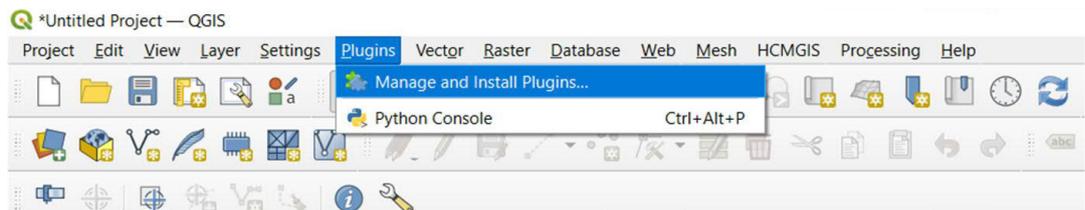
Mendownload dan menginstal QGIS.

Software QGIS dapat diunduh di <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>. Cara menginstalnya dapat dilakukan dengan cara klik kanan, lalu pilih Run as administrator. Kemudian klik Next hingga muncul notifikasi Finish. Proses instalasi selesai dan aplikasi siap digunakan.

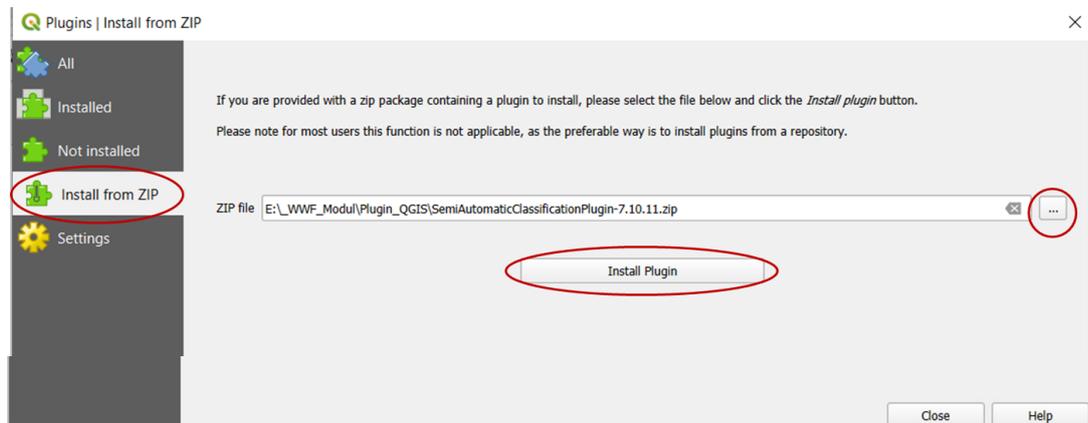
Menginstal Semi-Automatic Classification Plugin

Plugin Semi-Automatic Classification versi 7.10.11. dapat diunduh melalui <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>

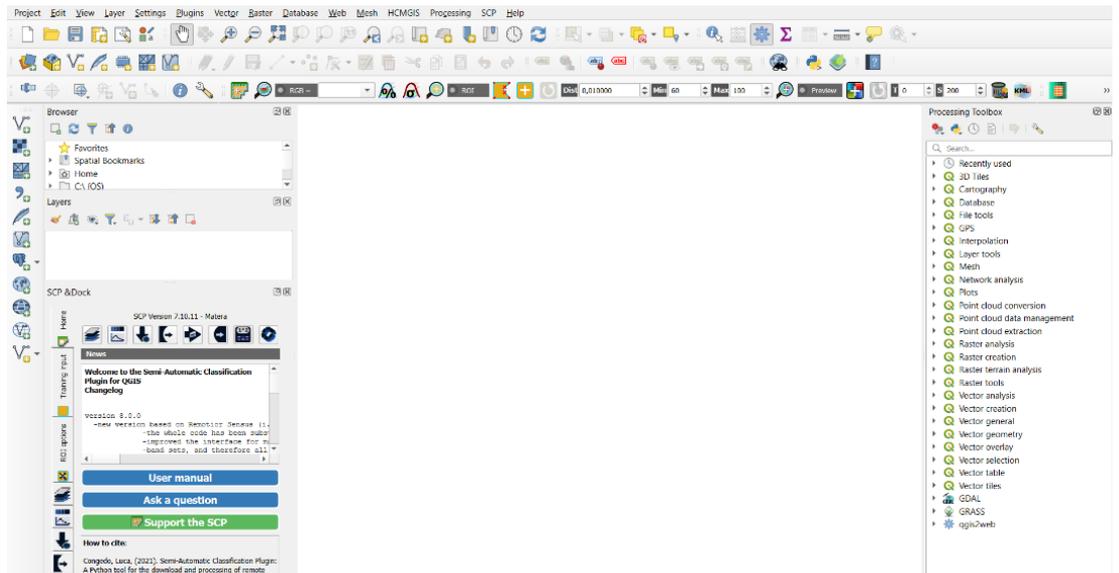
1. Pada menu bar select menu **Plugins > Manage and Install Plugins.**



2. Setelah muncul tampilan seperti di bawah ini, pilih **Install from ZIP**. Masukkan file zip dari plugin yang sebelumnya telah diunduh, lalu klik **Install Plugin**.



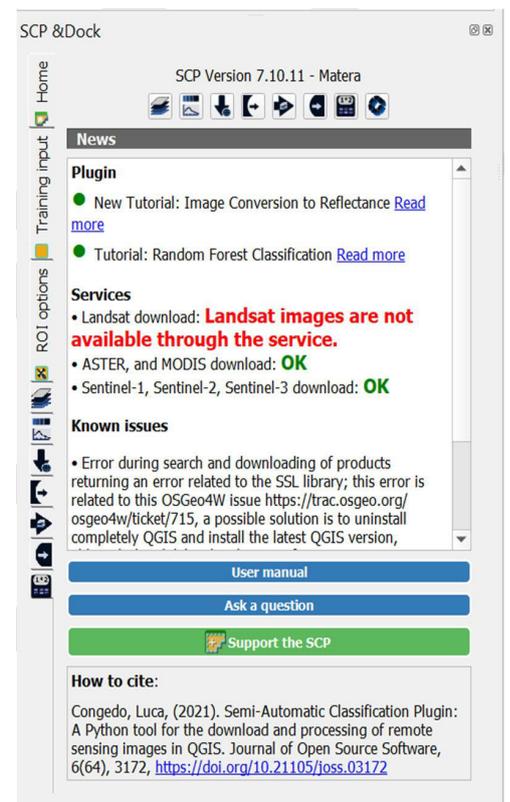
3. **Semi-Automatic Classification Plugin** sudah terinstal. SCP Dock dan toolbar telah ditambahkan ke QGIS. Menu SCP juga telah tersedia di Menu Bar QGIS.



The interface of SCP

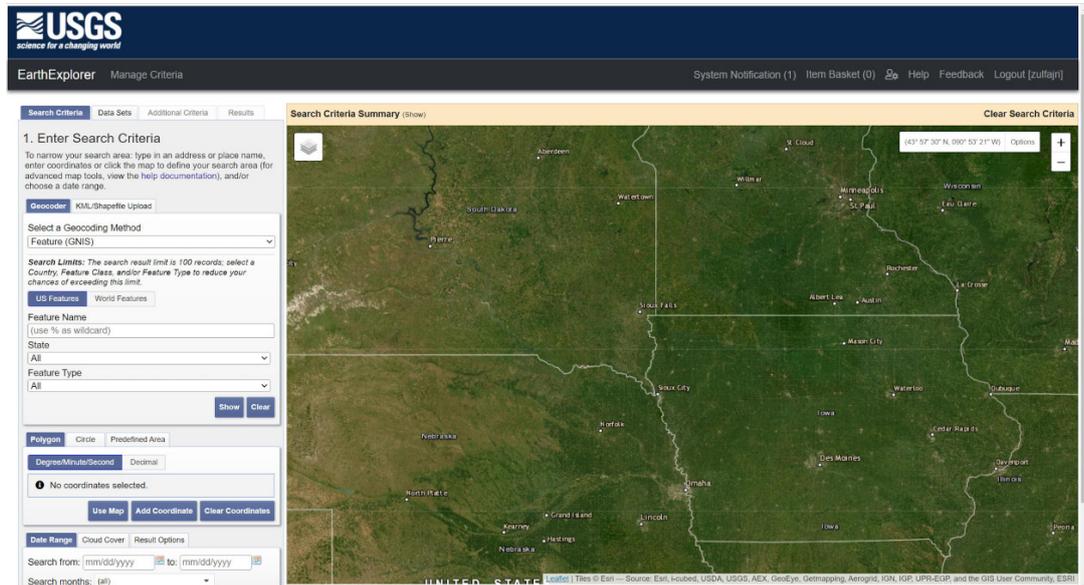


SCP menu

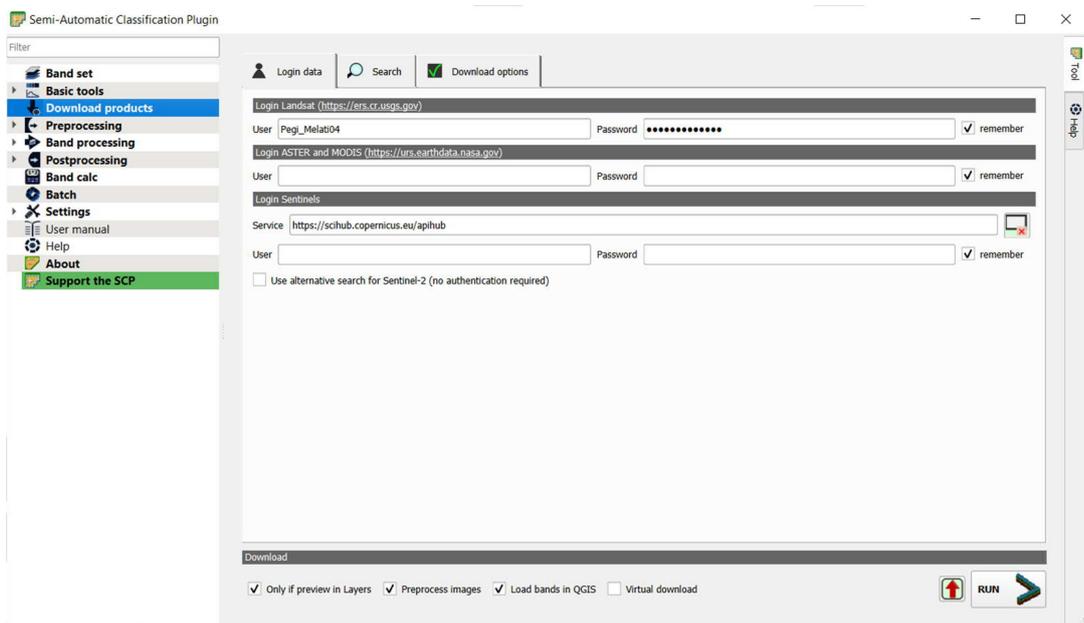


SCP & Dock

Citra Landsat 8 dapat diunduh pada situs <https://earthexplorer.usgs.gov/> dan juga bisa mengunduh langsung di QGIS dengan terlebih dahulu menginstal **Semi-Automatic Classification Plugin**.



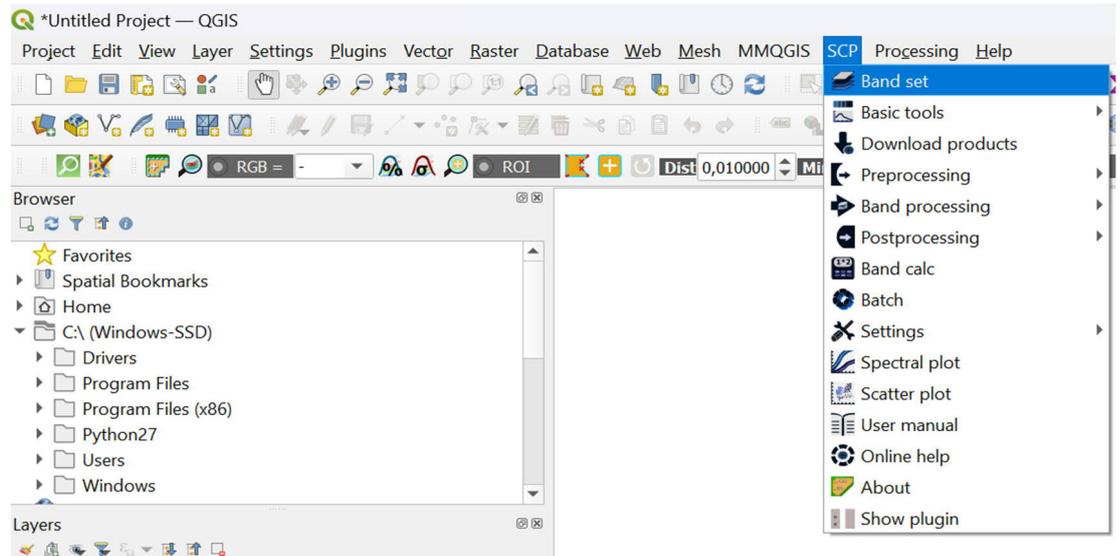
<https://earthexplorer.usgs.gov/>



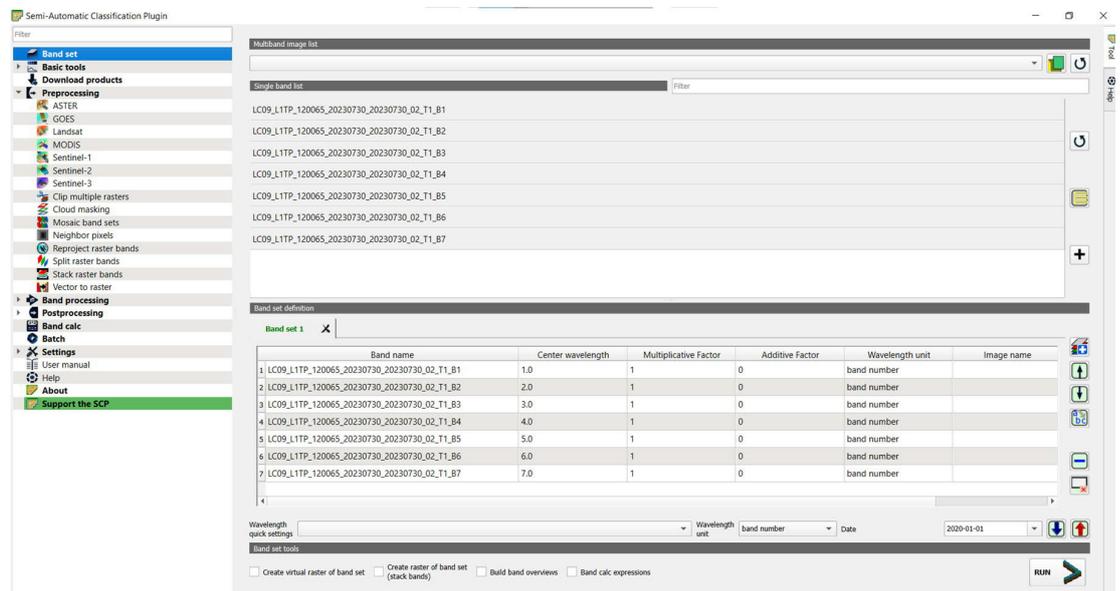
Landsat Download from SCP

Input Data

1. Pada menu utama, klik **SCP** lalu pilih **Band set**.

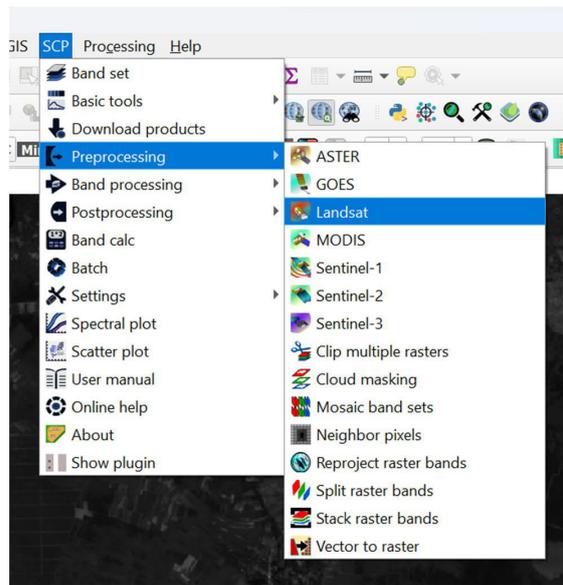


2. Klik **Open a file** atau **Refresh list** untuk menginput data.
3. Pastikan bahwa data dari Single band list selanjutnya sudah masuk ke Band set definition (Band set 1), yang ada pada bagian bawah. Jika belum, dapat klik **Select all** kemudian klik **Add band to Band set**.

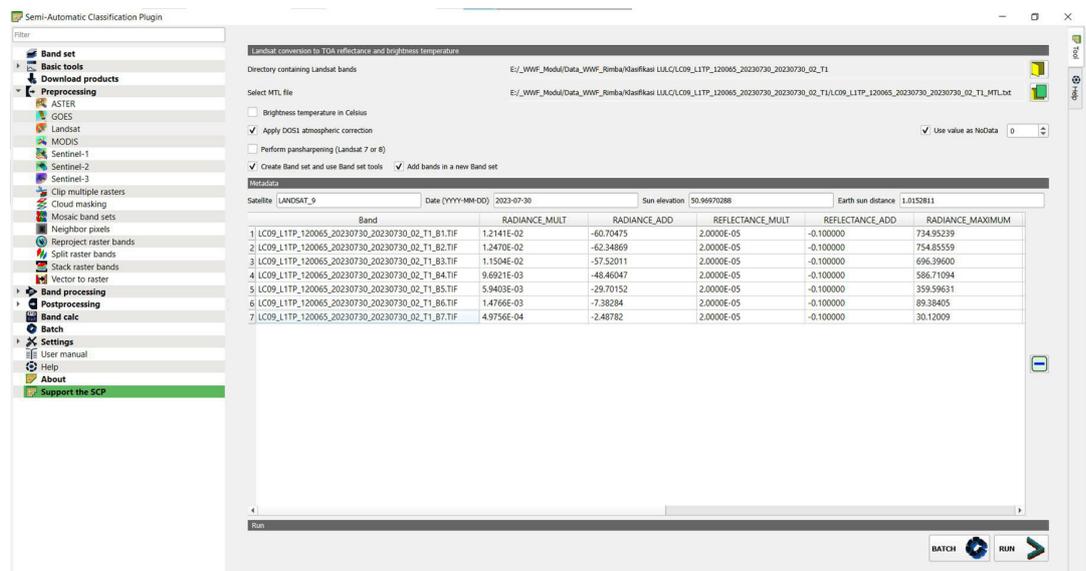


Convert Data to Surface Reflectance

1. Pada menu SCP > Preprocessing > Landsat

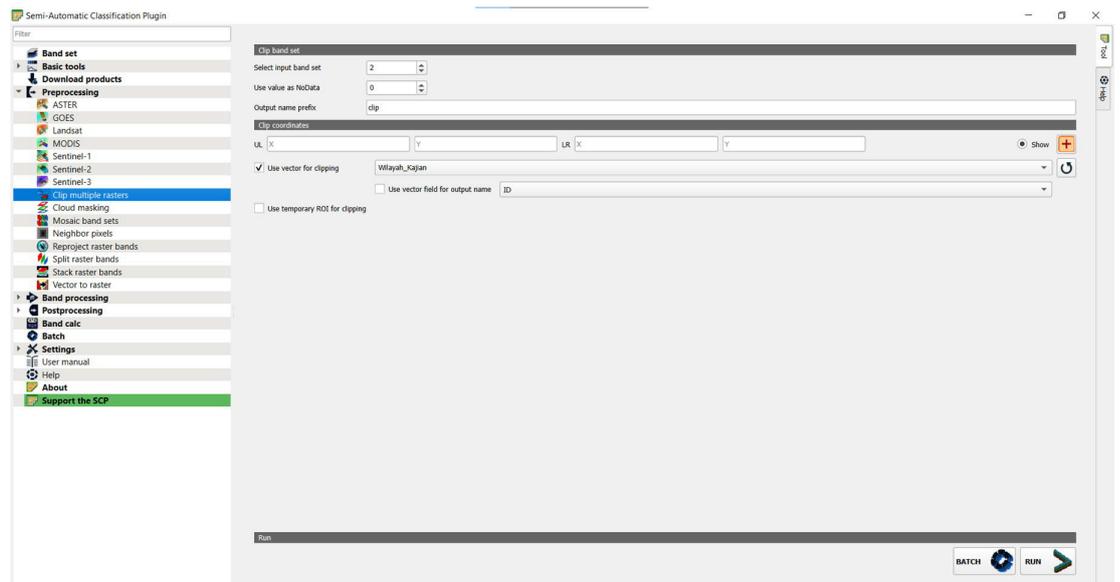


2. Masukkan data citra Landsat 8 pada bagian **Directory containing**
3. Masukkan data MTL citra Landsat 8 pada bagian **Select MTL file**
4. Eliminasi Band 8, 9, 10, dan 11 yang tidak digunakan, dengan cara select band tersebut kemudian klik **Delete row**
5. Checklist **Apply DOS1** atmospheric correction.
6. Checklist **Create Band set and use Band set tools** serta **Add bands in a new Band set**, kemudian klik **Run**.

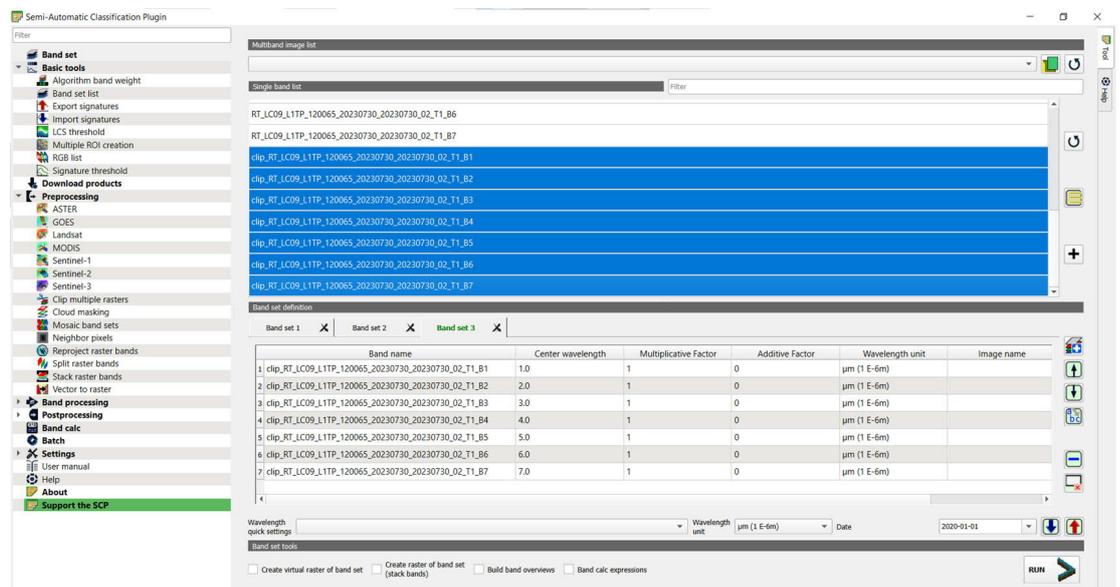


Clip Data

1. Selanjutnya klik **Preprocessing** lalu pilih **Clip multiple rasters**.
2. Atur Select input band set menjadi 2 (Band yang telah terkoreksi surface reflectance)
3. Pilih checklist Use vektor for clipping, lalu klik refresh dan pilih data vektor area kajian. Selanjutnya klik Run.

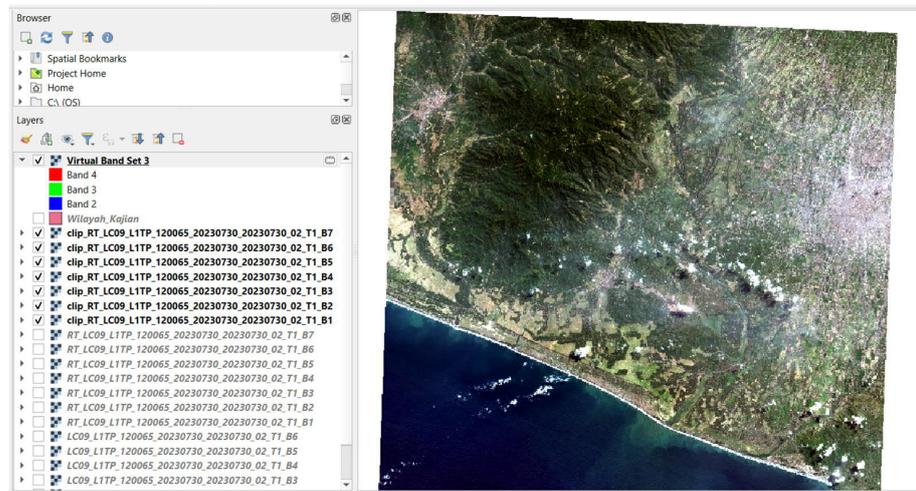


4. Masukkan data yang telah di clip ke dalam Band Set 3. Tambahkan Band set dengan klik **Add new band set** lalu select band yang diinginkan, kemudian klik **Add band to Band set**.

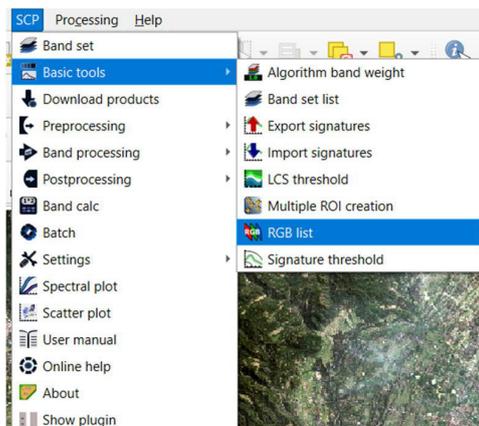


Komposit Citra

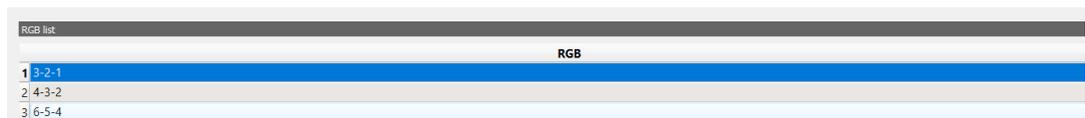
1. Visualisasikan citra dengan komposit *true color* atau warna asli, dengan memilih komposit RGB 4-3-2 pada bagian .



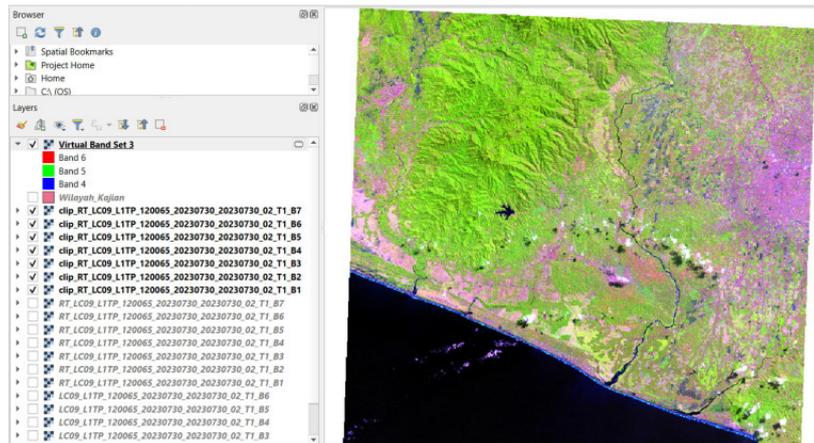
2. Atur komposit dengan kombinasi band lain melalui SCP > Basic tools > RGB list



3. Tambahkan row dengan klik  lalu ketikkan misalnya komposit RGB 6-5-4.



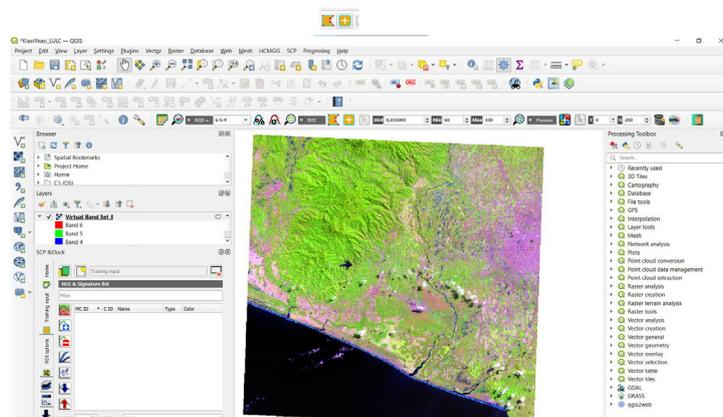
4. Maka tampilan citra akan menjadi seperti gambar di bawah ini.



Membuat Training Area (Create the ROIs)

Tahapan Untuk Membuat Training Area

1. Pada SCP Dock, klik Training Input, lalu klik Create a new training input.
2. Setelah itu isi dan simpan nama file nya, misal “Training_Area”.
3. Kemudian untuk membuat ROI, klik 

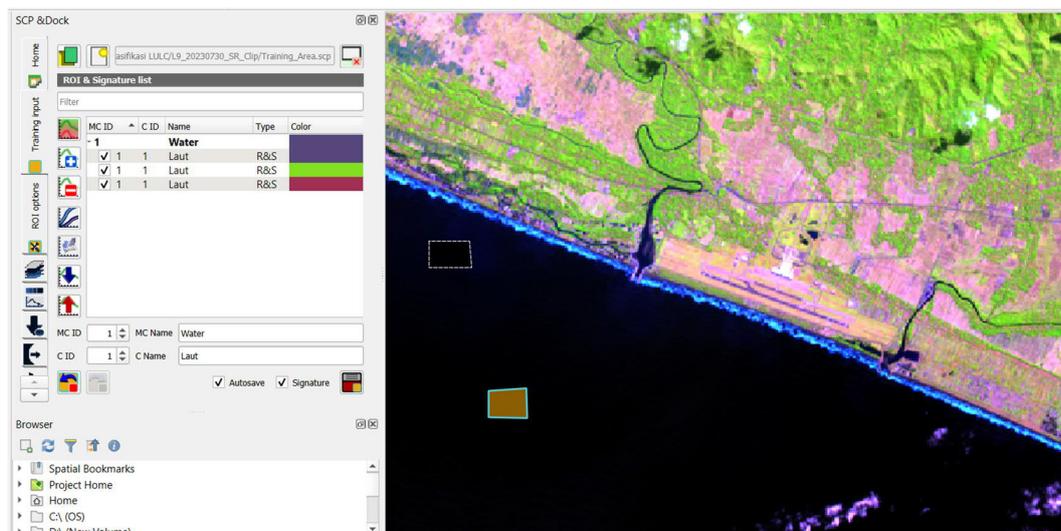


4. Setelah itu buat polygon ROI. Isikan data di *Macro Class* (MC ID) dan *Class* (C ID). Lalu klik Save Temporary ROI to training input. Lakukan hal yang sama di setiap pembuatan ROI.

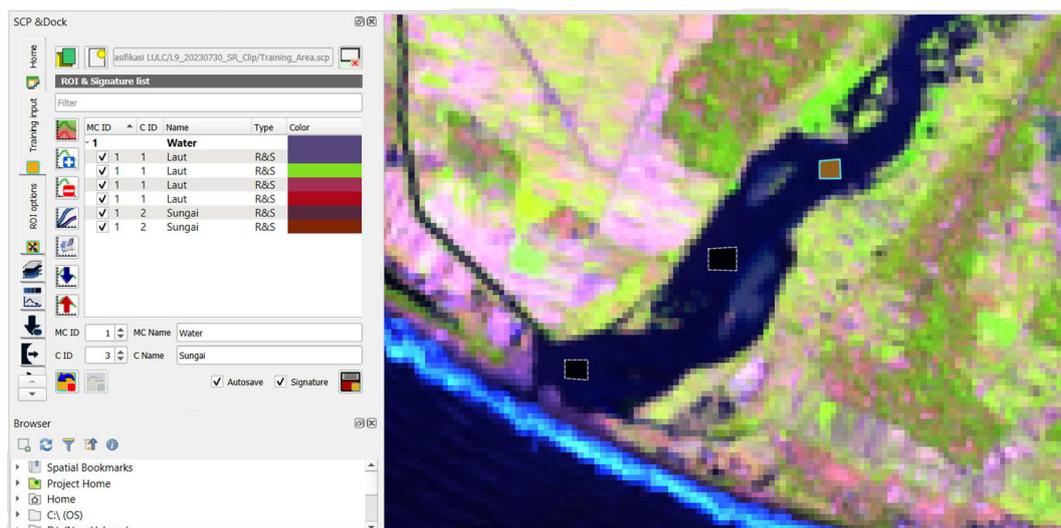
Beberapa contoh kelas ROI:

MC ID	C ID
Water	River, Lake, Sea
Built-up	Buildings
Vegetation	Trees, Non-Trees
Bare Soil	Open land
Cloud	Cloud

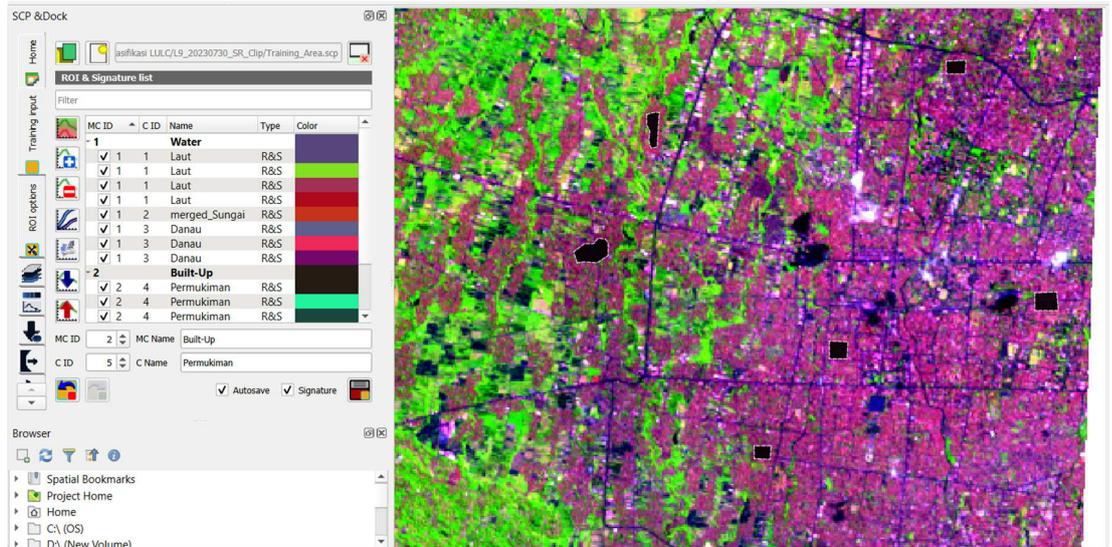
ROI Laut



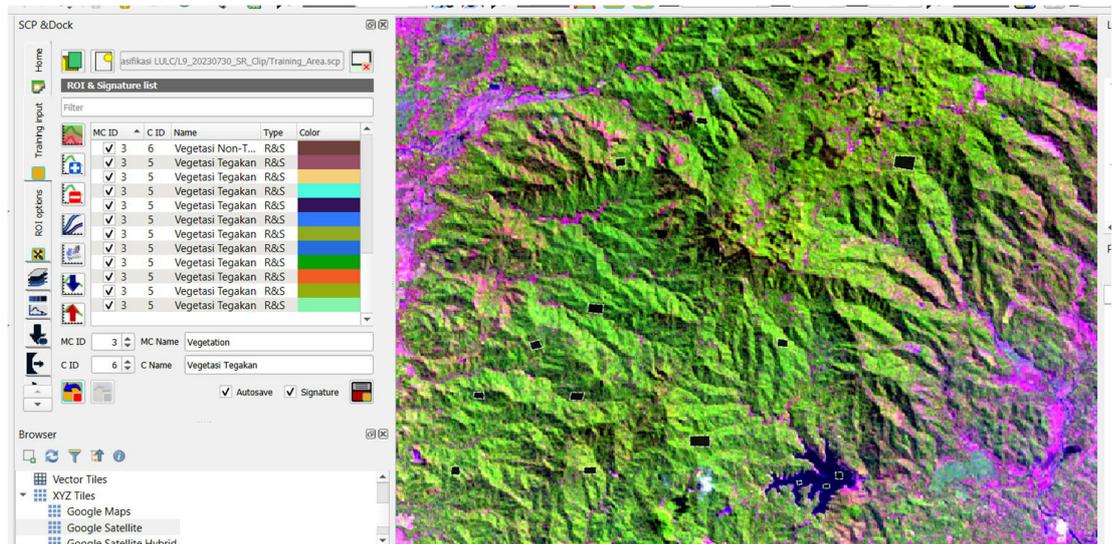
ROI Sungai



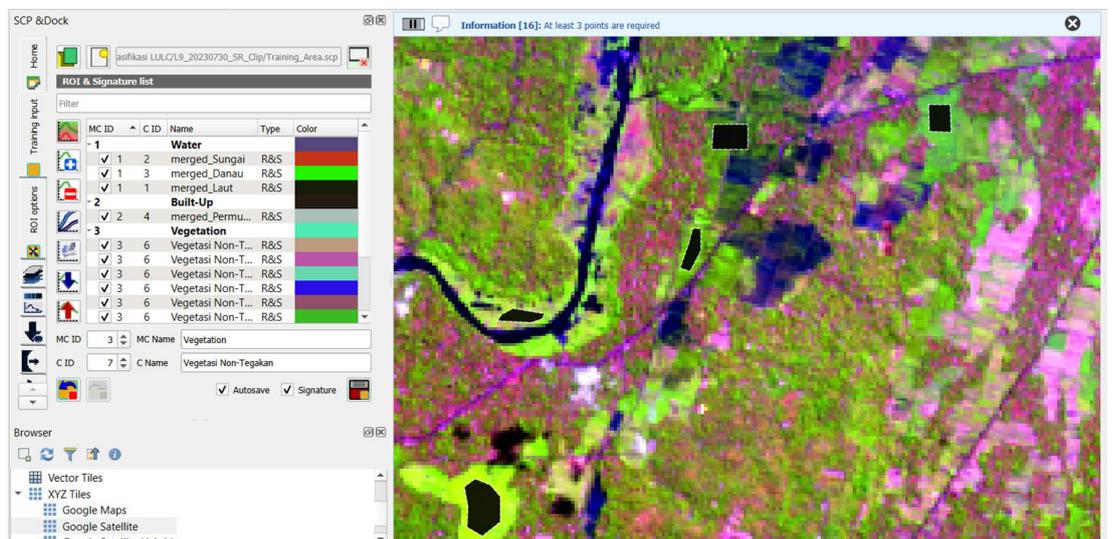
ROI Lahan Terbangun (Permukiman)



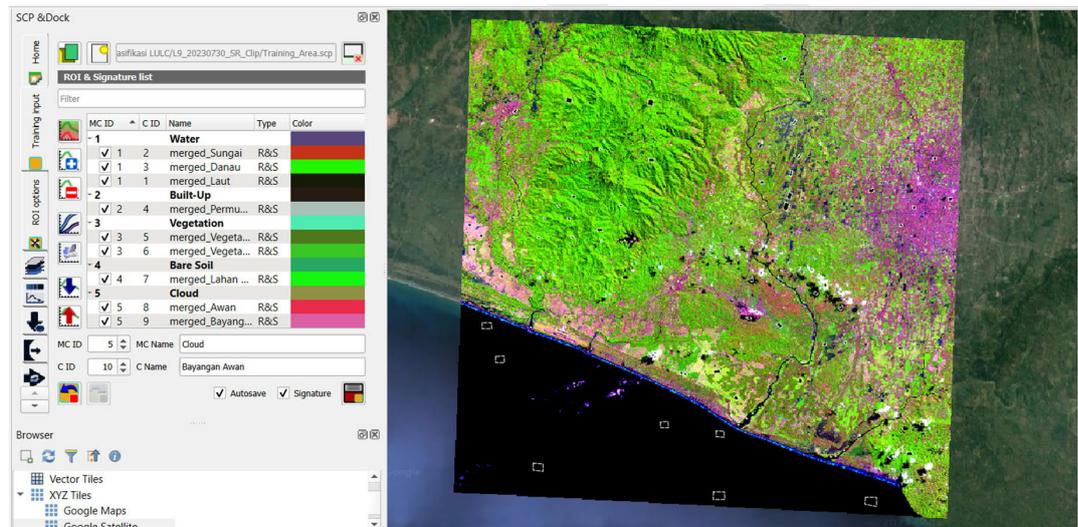
ROI Vegetasi Tegakan



ROI Vegetasi Non-Tegakan

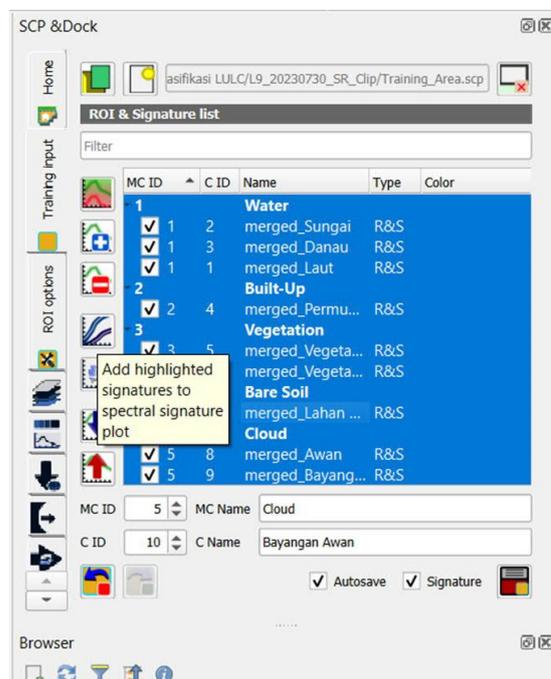


Berikut merupakan sebaran seluruh ROI untuk masing-masing kelas penutup lahan.

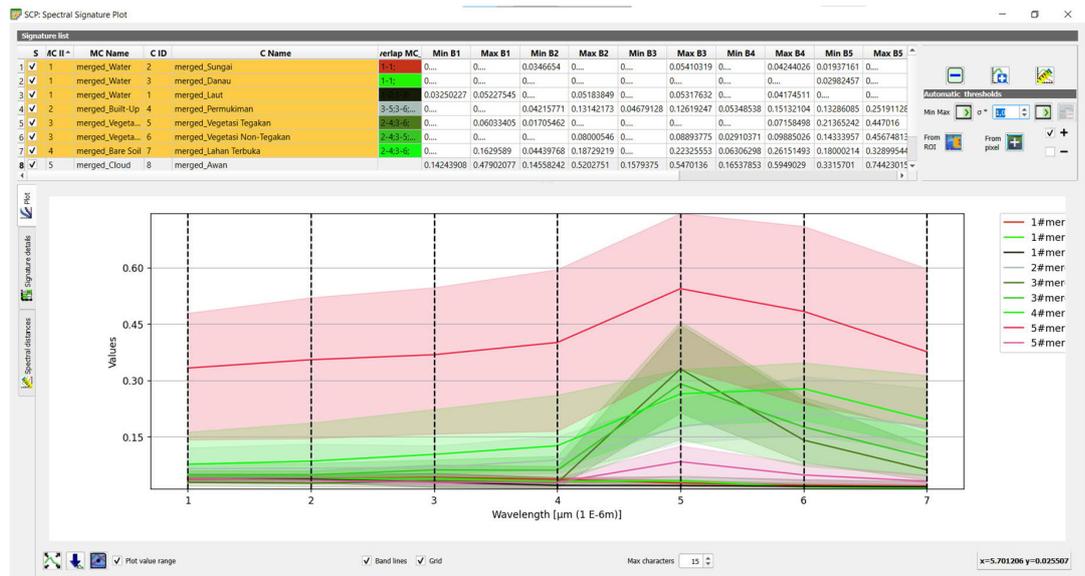


Mengakses Kurva Pantulan Spektrols

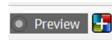
1. Select semua kelas ROI tutupan lahan, kemudian **klik Add highlighted signatures to spectral signature plot**, untuk menampilkan spectral signature plot.



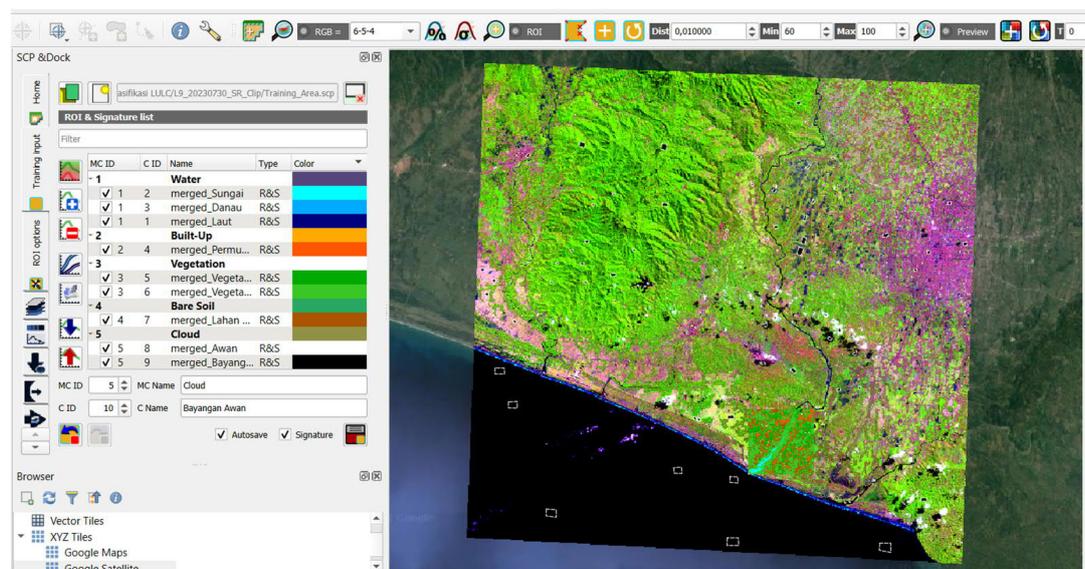
2. Berikut merupakan contoh plot kurva pantulan spektral (spectral signature). Di sini kita bisa melihat *spectral distances* dan *signature details*.



Membuat *classification preview*

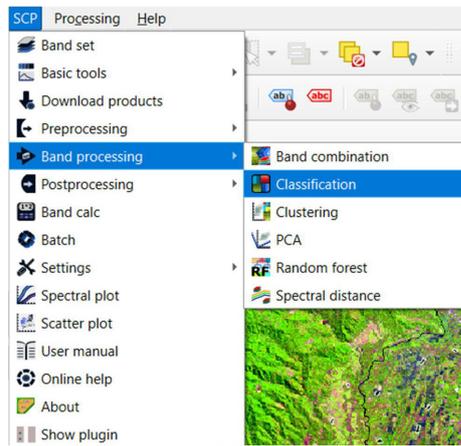


Atur warna kelas penutup lahan terlebih dahulu, kemudian klik .
Setelah itu letakkan kursor pada area yang diinginkan.



Melakukan Klasifikasi Penutup Lahan

1. Klik **SCP > Band processing > Classification**.

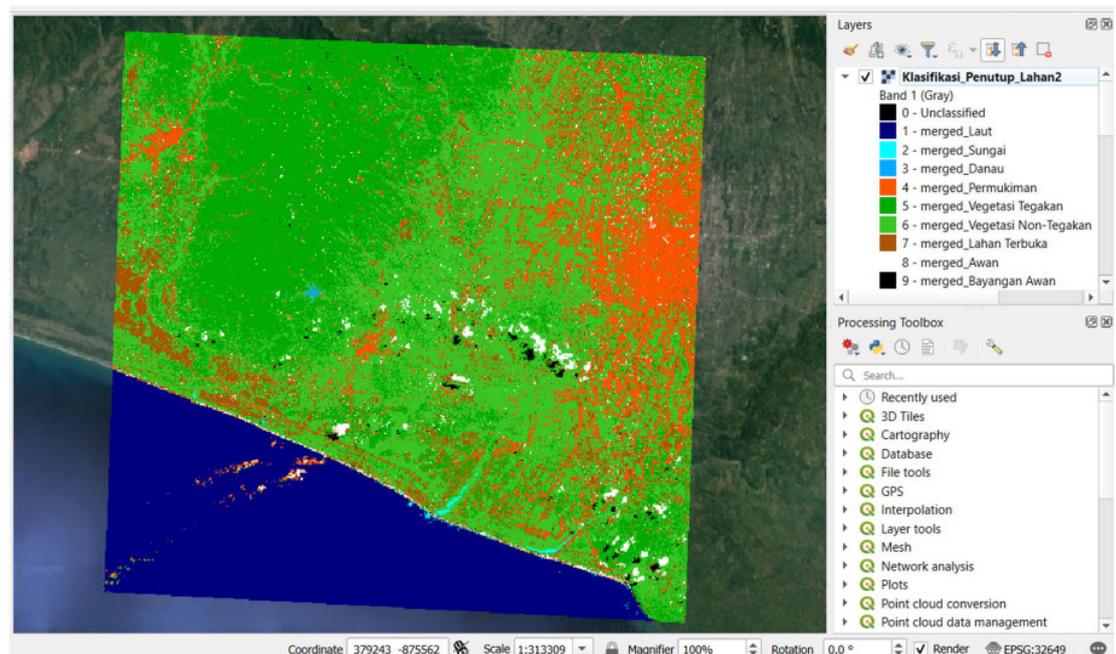


2. Tentukan metode klasifikasi yang akan digunakan, misalnya metode Maximum Likelihood. Pastikan band set pada **Select input band set** yang digunakan sesuai dengan citra yang telah terkoreksi Surface Reflectance.



3. Klik Run dan simpan hasil klasifikasi.

Berikut merupakan contoh hasil klasifikasi dari metode Maximum Likelihood. Selain metode Maximum Likelihood, terdapat juga metode Minimum Distance dan metode Spectral Angle Mapping.



3.3. Analisis medan

Durasi pada sub bab ini : 2 jam

Definisi dan Perbedaan DEM, DSM, DTM, DHM

Model Medan Digital (DEM) adalah data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi (atau bagiannya) yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dan dari algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991). Terdapat berbagai macam model permukaan bumi, antara lain:

- DSM

Model permukaan digital Model permukaan mencakup topografi dan seluruh objek di permukaan bumi, seperti pohon dan bangunan.

- DTM

Terdapat dua perspektif mengenai pengertian DTM. Berdasarkan perspektif geodesi, DTM atau model medan digital yang biasa disebut dengan tanah kosong, tidak berisi benda-benda seperti bangunan dan pepohonan. Berdasarkan perspektif geografi/geomorfologi, DTM merupakan model medan digital yang berisi info atribut medan yang diturunkan dari DEM, baik atribut primer maupun sekunder. Atribut primer misalnya slope dan aspect, sedangkan atribut sekunder misalnya arah aliran, akumulasi aliran, toposhape (Hugget and Cheesman, 2002).

- DHM

Digital Height Model. Digunakan digunakan untuk menghitung ketinggian di atas tanah untuk bangunan, pohon, dan fitur lainnya.

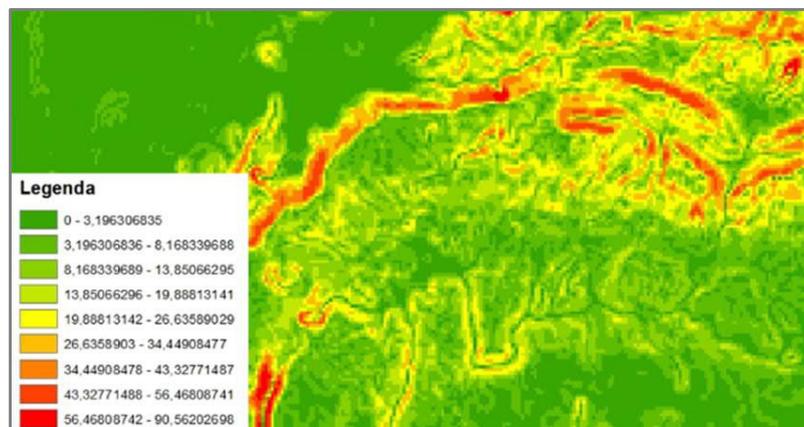
- Batimetri

Merupakan model topografi dasar laut atau dasar danau. Data batimetri umumnya dikumpulkan dengan menggunakan sonar, yang merupakan sensor aktif yang mirip dengan lidar tetapi dilakukan dari kapal yang mengapung di permukaan air. Data DEM dapat diperoleh dengan mengunduh data pada katalog USGS melalui website atau melalui google earth engine. Salah satu contoh DEM yang umum digunakan adalah DEM SRTM. Data ini berbentuk raster dengan resolusi spasial 30x30 meter.

Data DEM dapat diturunkan menjadi model 3D untuk berbagai keperluan. Proses pengolahan dilakukan secara otomatis melalui perangkat lunak ArcGIS atau QGIS. Berikut merupakan contoh pengolahan turunan data DEM.

1. Slope atau kemiringan lereng

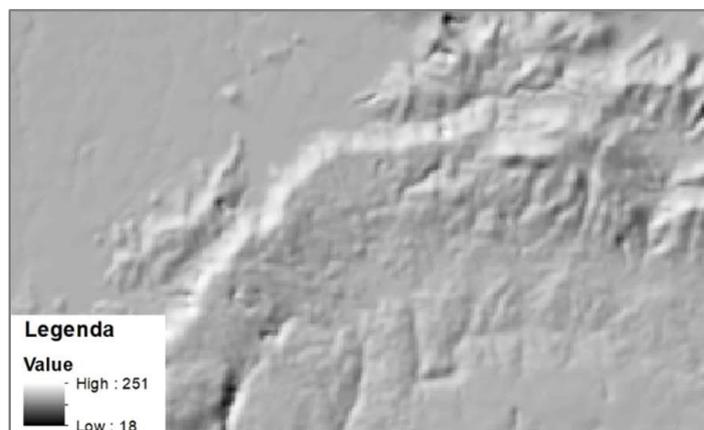
Turunan dari DEM yang menyatakan intervalisasi perubahan kemiringan lahan hasil bentukan 3 dimensi.



Gambar 7. Contoh hasil pengolahan kemiringan lereng (slope)
Sumber: Analisis data, 2023

2. Hillshade

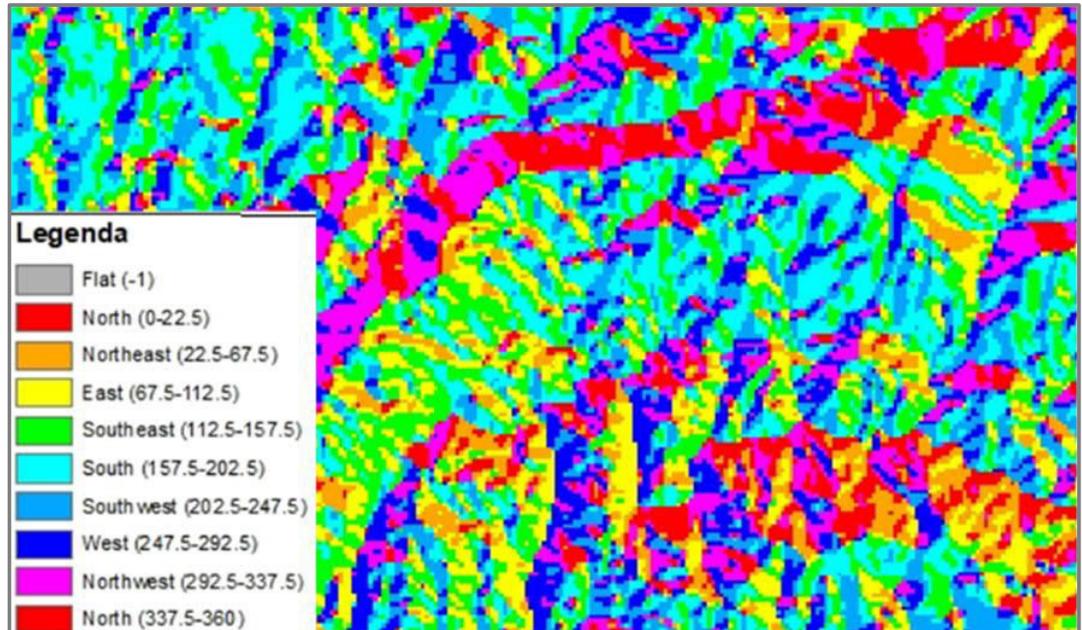
Prinsip hill shading adalah memakai pengaruh efek bayangan akibat penyinaran dari arah-arrah tertentu yang dipergunakan untuk memberikan kesan 3D pada medan.



Gambar 8. Contoh hasil pengolahan Hillshade
Sumber: Analisis data, 2023

3. Aspect

Turunan dari DEM yang menyatakan jurusan atau arah hadap dari suatu objek. Pada umumnya proses yang terlibat didalamnya adalah proses statistika untuk memperoleh trend value dari luasan tertentu



Gambar 9. Contoh hasil pengolahan Hillshade
Sumber: Analisis data, 2023

4. Visibility

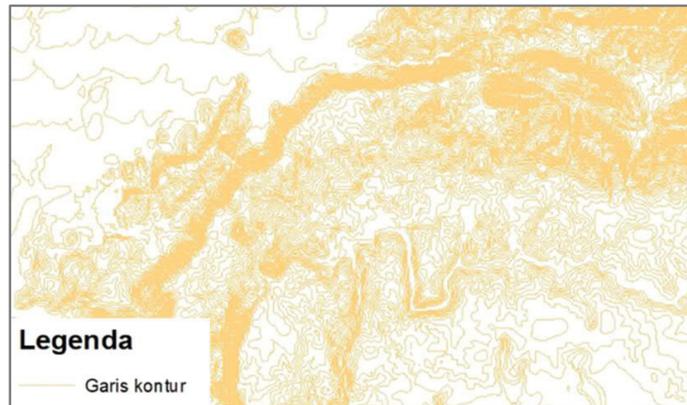
Prinsip analisis pandangan karena pengaruh topografi. Analisis visibility menunjukkan daerah pandangan melalui satu atau lebih stasiun titik pengamatan.



Gambar 10. Contoh hasil pengolahan visibility
Sumber: Analisis data, 2023

5. Kontur

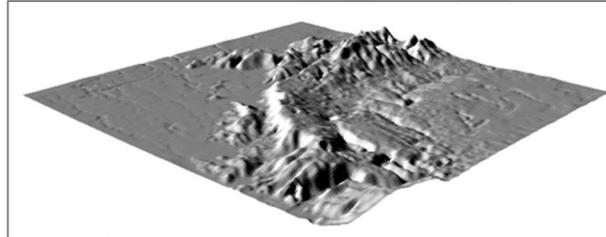
Kontur adalah visualisasi dua dimensi dari relief permukaan bumi yang dinyatakan dalam bentuk interval garis-garis dengan ketinggian yang berbeda-beda. Setiap garis kontur menyatakan daerah dengan dengan titik ketinggian yang sama, (hasil interpolasi, ingat rumusan di atas).



Gambar 11. Contoh hasil pengolahan kontur
Sumber: Analisis data, 2023

6. Model 3 dimensi

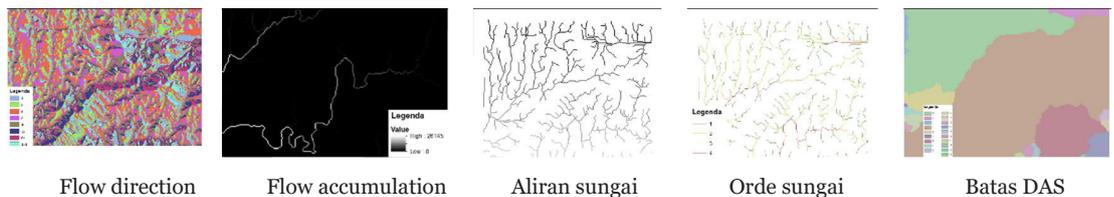
Menggunakan nilai ketinggian pada DEM untuk visualisasi secara 3 dimensi.



Gambar 12. Contoh hasil pengolahan model 3D
Sumber: Analisis data, 2023

7. Analisis hidrologi

Analisis ini digunakan untuk mengetahui pola aliran berdasarkan kondisi permukaan bumi. Analisis ini meliputi arah aliran (flow direction), akumulasi aliran (flow accumulation), identifikasi orde sungai, dan penentuan batas DAS.

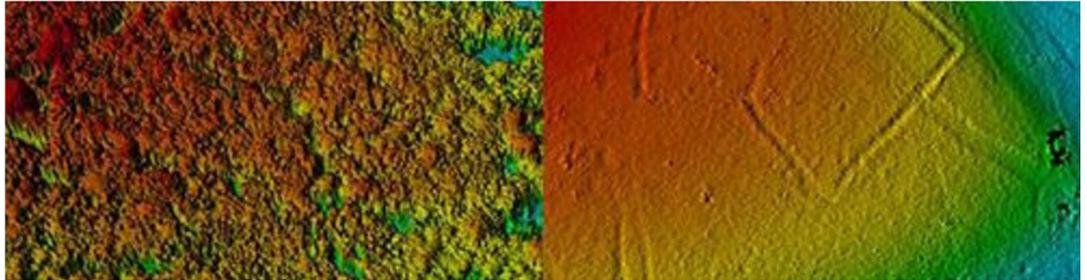


Gambar 13. Sumber: Analisis data, 2023

Permodelan spasial untuk analisis medan dapat dilakukan melalui dua macam pendekatan, yaitu pendekatan holistik dan pendekatan reduksionistik (Kumar, L. et.al, 1997). Pada pendekatan holistik, setiap satuan pemetaan dapat diturunkan banyak atribut medan atau lahan melalui proses deduksi logis. Dengan demikian, pendekatan holistik akan sangat efektif dilakukan dengan bantuan penginderaan jauh dan melalui pendekatan fisiografik atau pendekatan bentuklahan. Sementara itu, pendekatan reduksionistik menggunakan masukan dari berbagai peta (tanah, lereng, dan sebagainya), serta memerlukan tumpang-susun (overlay) berbagai peta masukan tadi untuk menghasilkan satuan-satuan evaluasi lahan.

Salah satu contoh penerapan analisis medan adalah evaluasi lahan. Evaluasi lahan merupakan suatu ilmu terapan yang ditujukan untuk menilai lahan dari sisi kemampuan dan kesesuaiannya bagi satu atau beberapa pemanfaatan sekaligus. Evaluasi lahan secara garis besar terbagi menjadi dua kelompok aktivitas utama, yaitu **evaluasi kemampuan** dan **evaluasi kesesuaian** lahan. Evaluasi kemampuan lahan adalah evaluasi daya dukung dan kecocokan bagi serangkaian pemanfaatan dengan memperhatikan faktor kesinambungan (sustainability). Evaluasi kemampuan lahan lebih bersifat umum, dan dapat diterapkan untuk banyak (berbagai) pemanfaatan. Sebaliknya, evaluasi kesesuaian lahan lebih bersifat spesifik, mengacu pada persyaratan spesifik setiap peruntukan. Di samping itu, evaluasi kesesuaian lahan hanya bermakna dalam kaitannya dengan pemanfaatan spesifik. Misalnya untuk komoditas kopi robusta, atau untuk komoditas kelapa sawit.

Berdasarkan materi sebelumnya dapat diketahui bahwa dalam analisis medan data yang akan digunakan haruslah dapat dipertanggungjawabkan kualitasnya agar hasil yang diperoleh dari analisis dan permodelan dapat dipertanggungjawabkan.

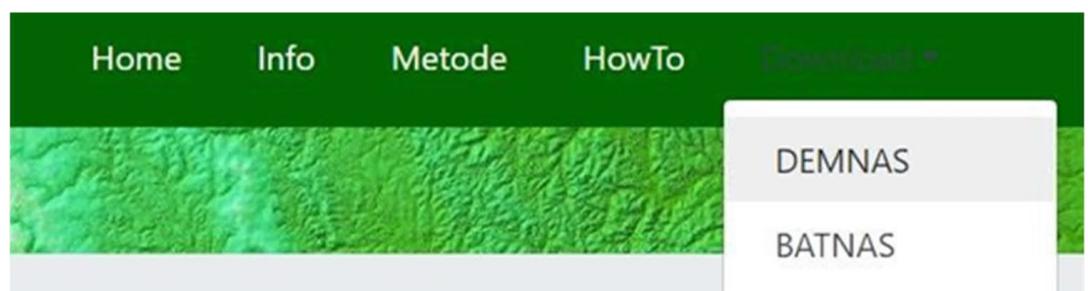


Perbedaan data DSM dan DTM.

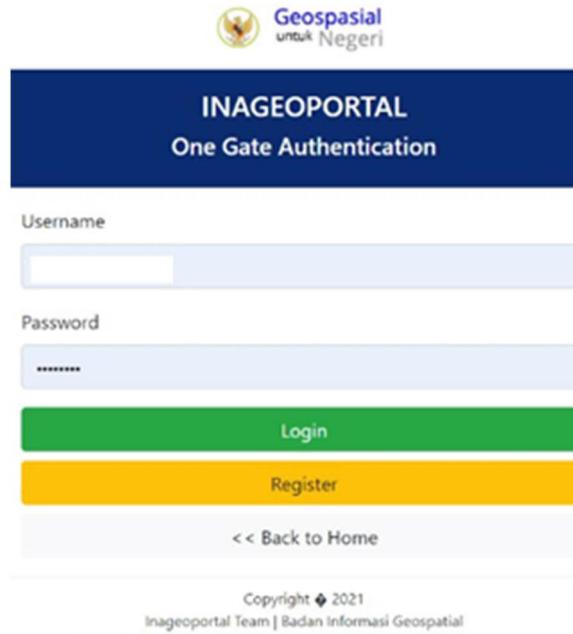
- Jelaskan pengertian dari turunan DEM: Slope?
- Jelaskan pengertian dari turunan DEM: Hillshade?
- Analisis apa saja yang memanfaatkan data Digital Elevation Model (DEM) sebagai input data?
- Pemanfaatan DEM dalam analisis jasa lingkungan sangatlah penting. Sebutkan dan jelaskan bentuk dari pemanfaatan pengaplikasian DEM pada analisa jasa lingkungan!

Download DEMNAS dan persiapan data

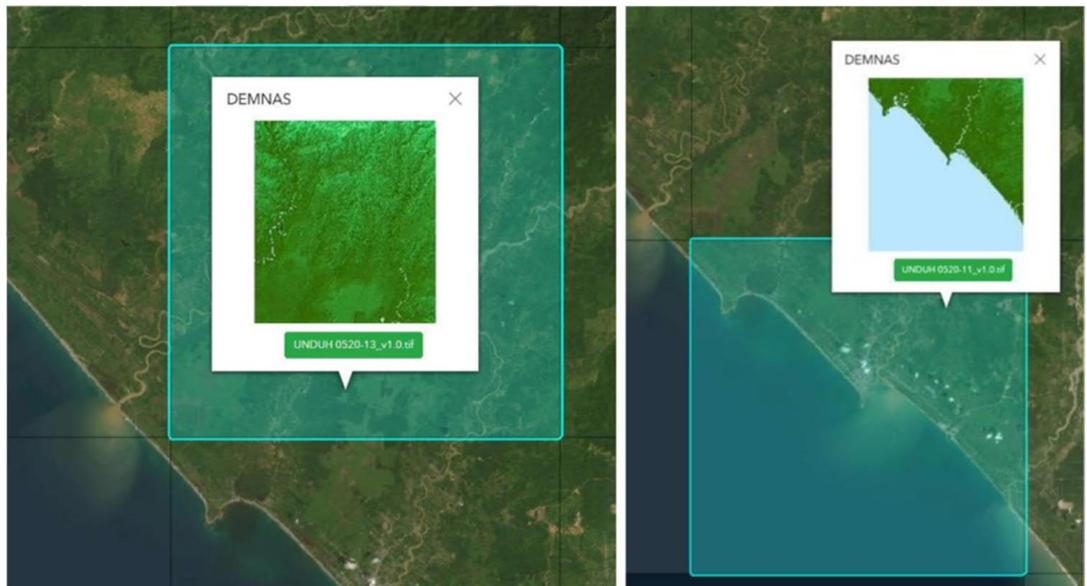
1. Masuk ke laman <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>. Pada menu Download pilih DEMNAS.



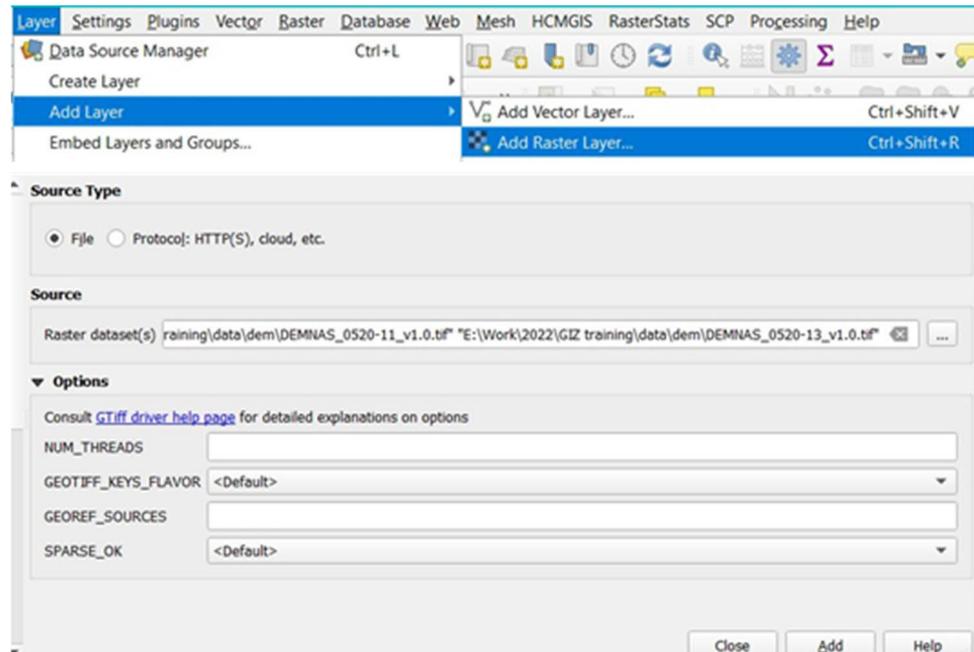
- Lakukan registrasi akun dan login dengan akun tersebut.



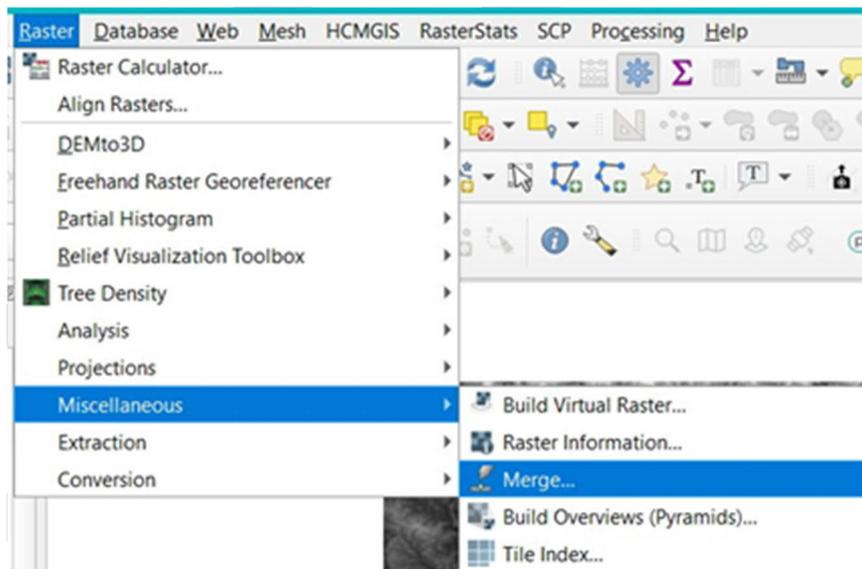
- Cari area kajian yang dimaksud, yaitu Aceh Barat. Klik kiri dan klik download. Download juga lembar untuk daerah di sebelah selatan.



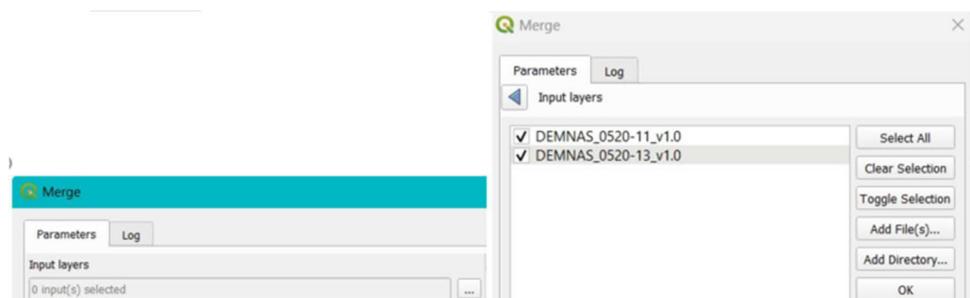
4. Masukkan kedua data DEMNAS ke dalam QGIS. Pilih file, dan klik Add.



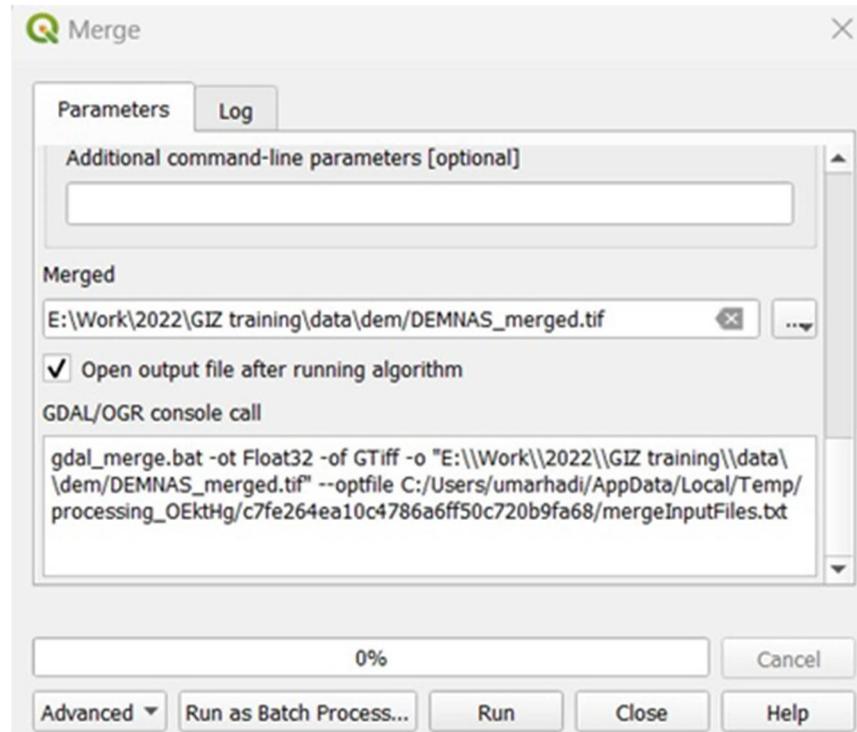
5. Lakukan penggabungan dua data raster menjadi satu. Pada Menu bar Raster -> Miscellaneous -> Merge.



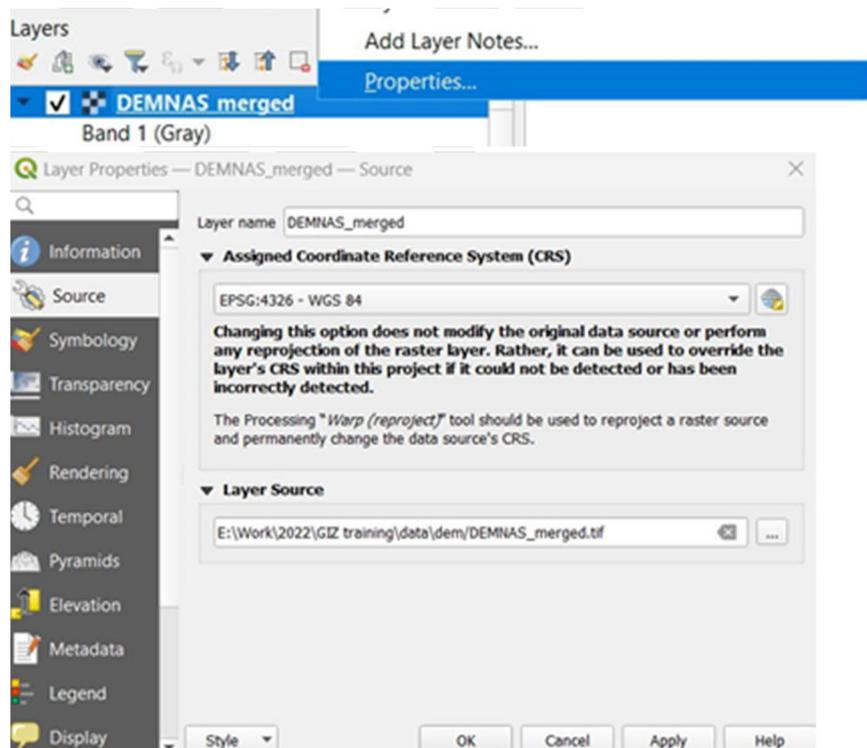
6. Masukkan input layers kedua data DEMNAS tersebut.



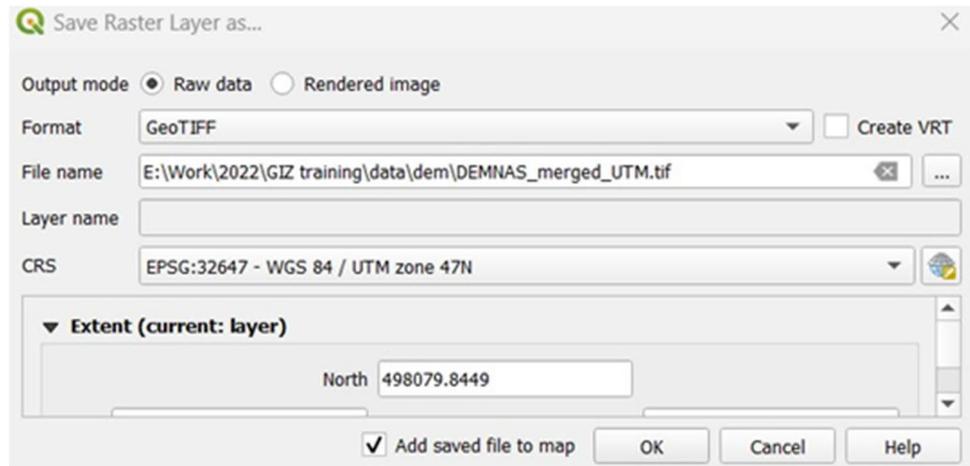
7. Tentukan file output, klik Run.



8. Data DEMNAS belum terdeteksi memiliki sistem proyeksi, sehingga perlu ditambahkan informasi sistem koordinatnya. Klik kanan pada data tersebut, klik Properties. Pada menu Source, pilih EPSG:4326 – WGS 84 sebagai CRS nya.

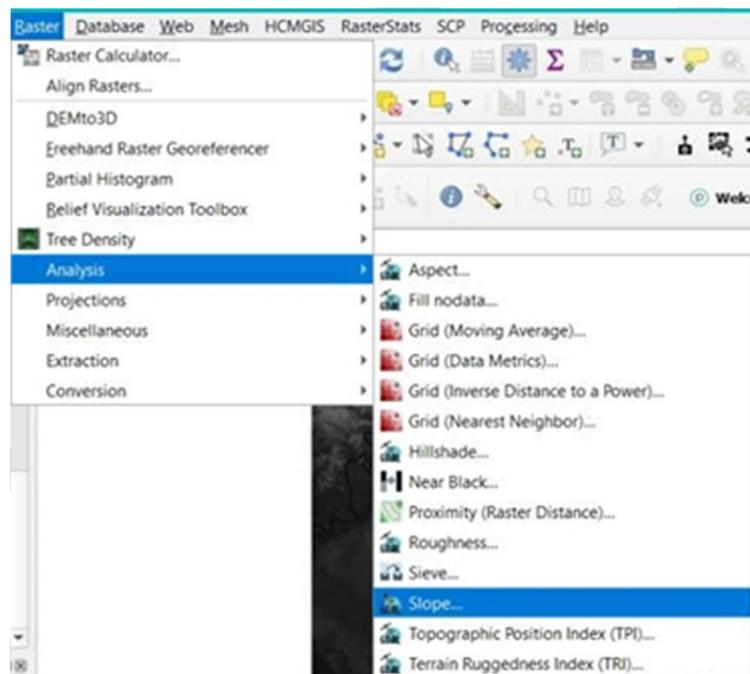


9. Untuk analisis, data DEM harus memiliki koordinat metrik, sehingga perlu dikonversi ke sistem koordinat UTM. Klik kanan pada DEMNAS_merge, Save as. Pilih CRS sebagai berikut EPSG:32647 – WGS 84 / UTM zone 47N. Tentukan file dan klik OK.

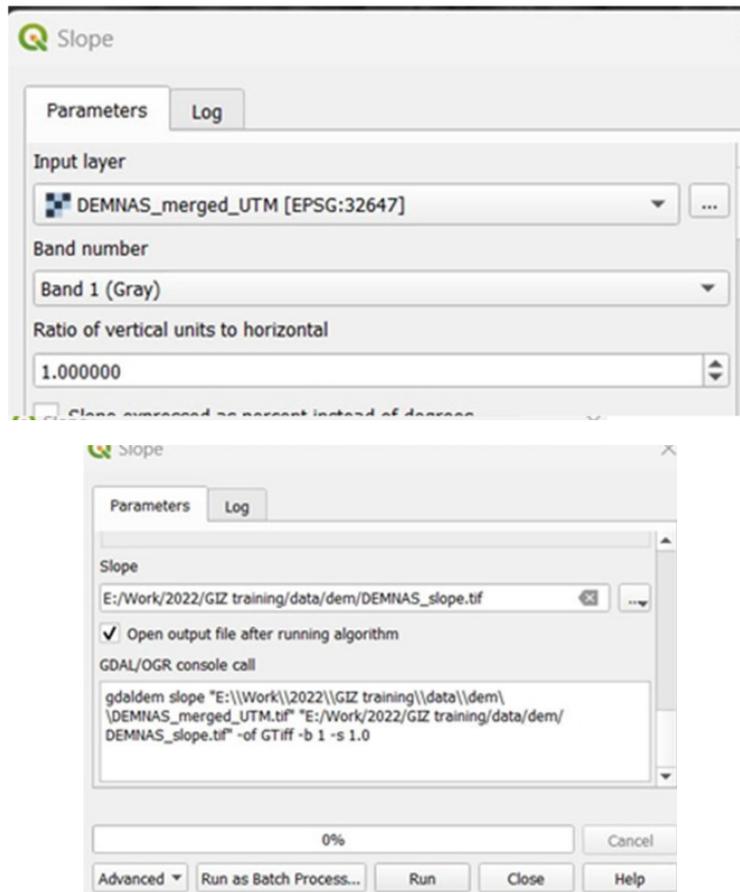


Turunan data DEM

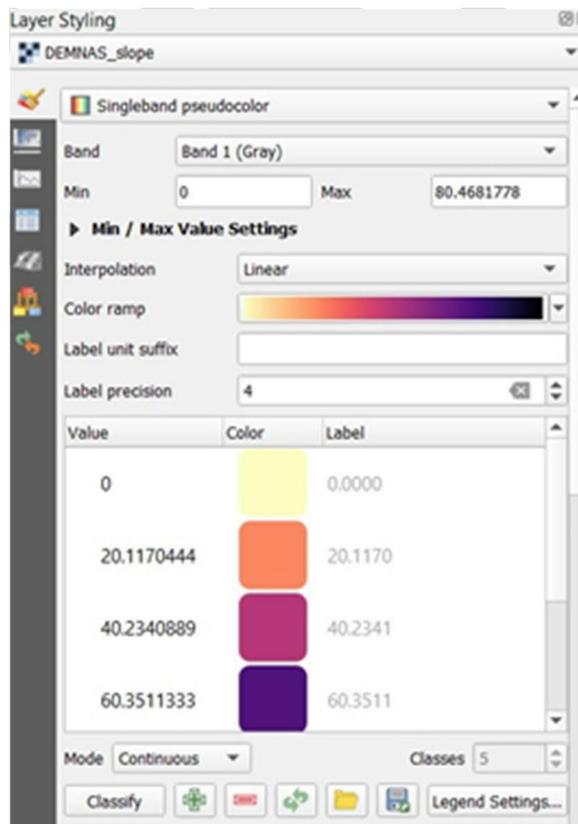
1. Pada Menu bar Raster -> Analysis -> Slope.



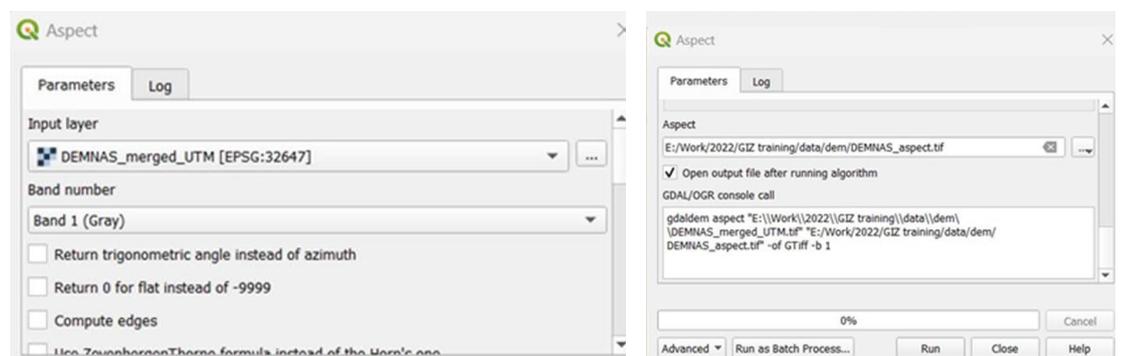
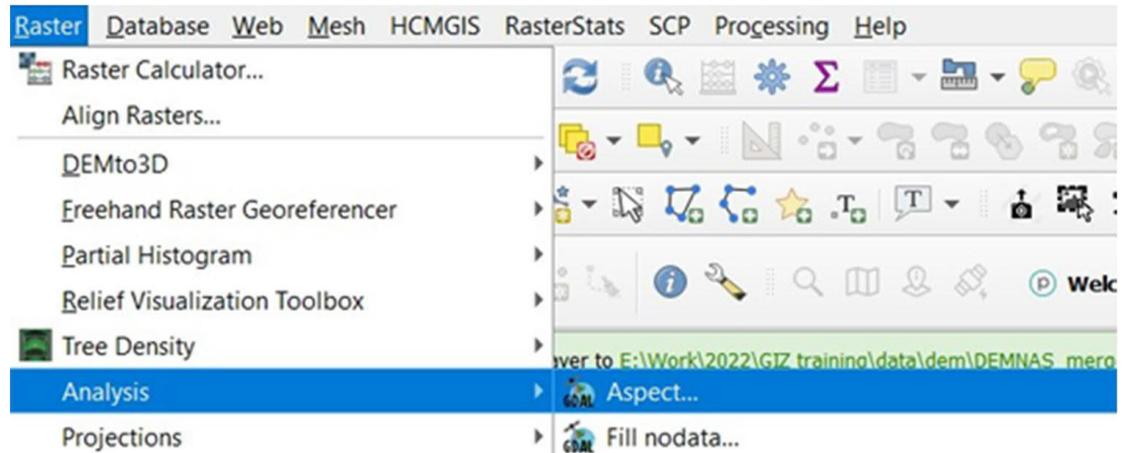
- Masukkan data DEMNAS merged sebagai input, pilih file output, klik Run.



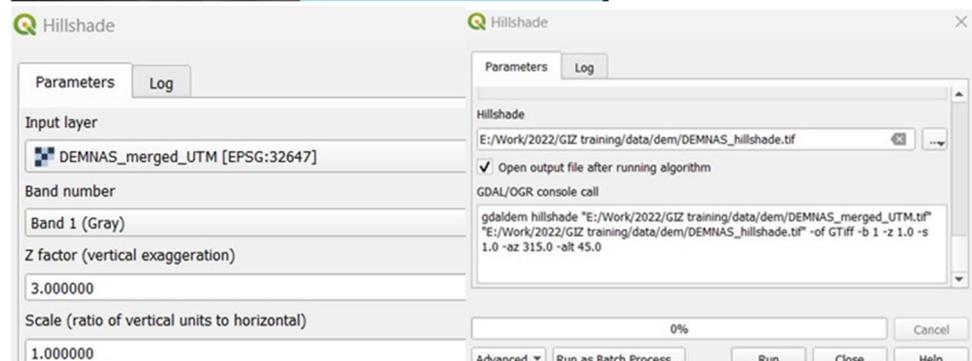
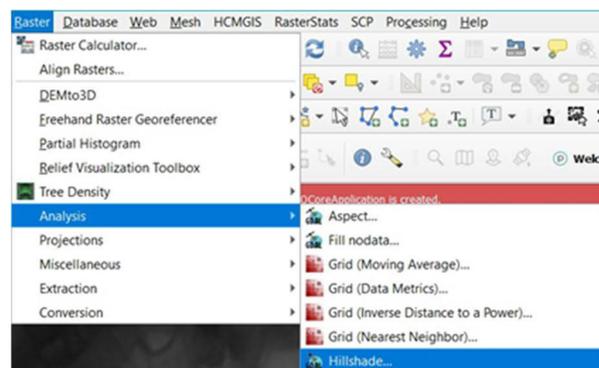
- Lakukan simbolisasi pada Layer Styling.



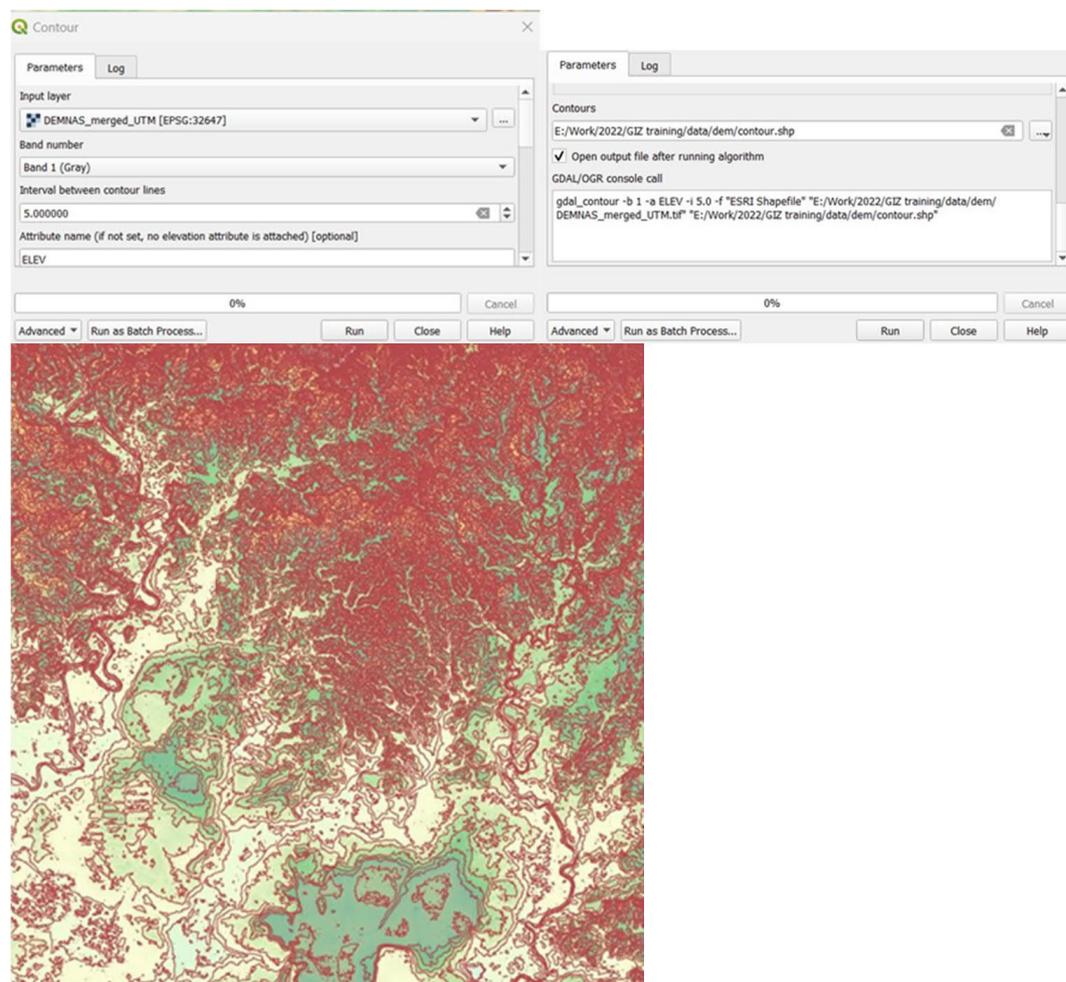
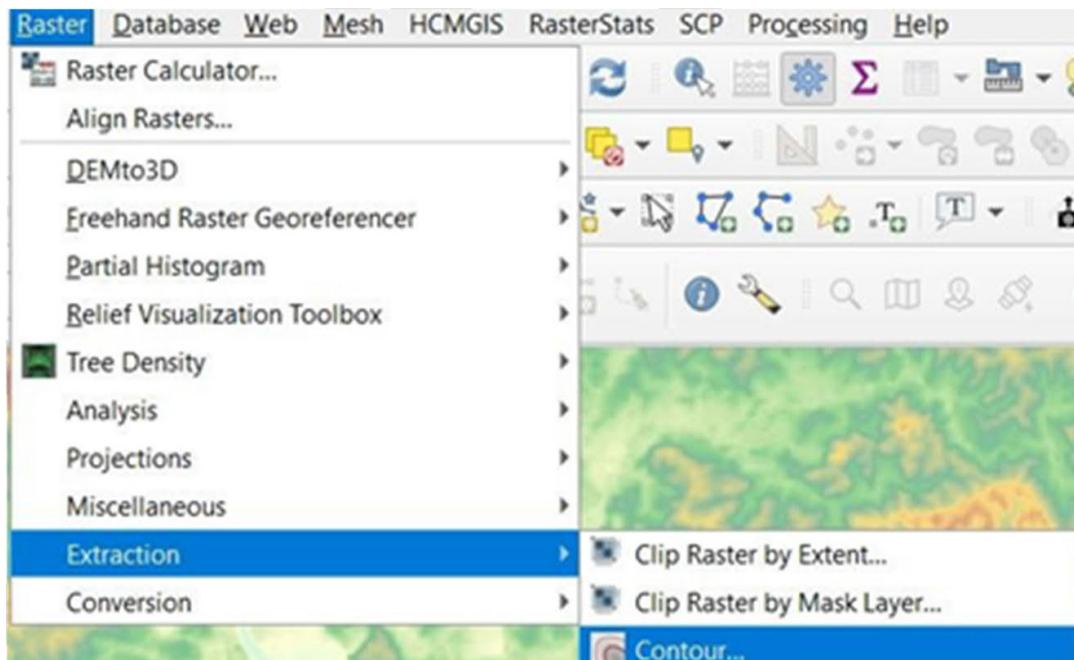
4. Pada Menu bar Raster -> Analysis -> Slope. Masukkan data DEMNAS merged sebagai input, pilih file output, klik Run.



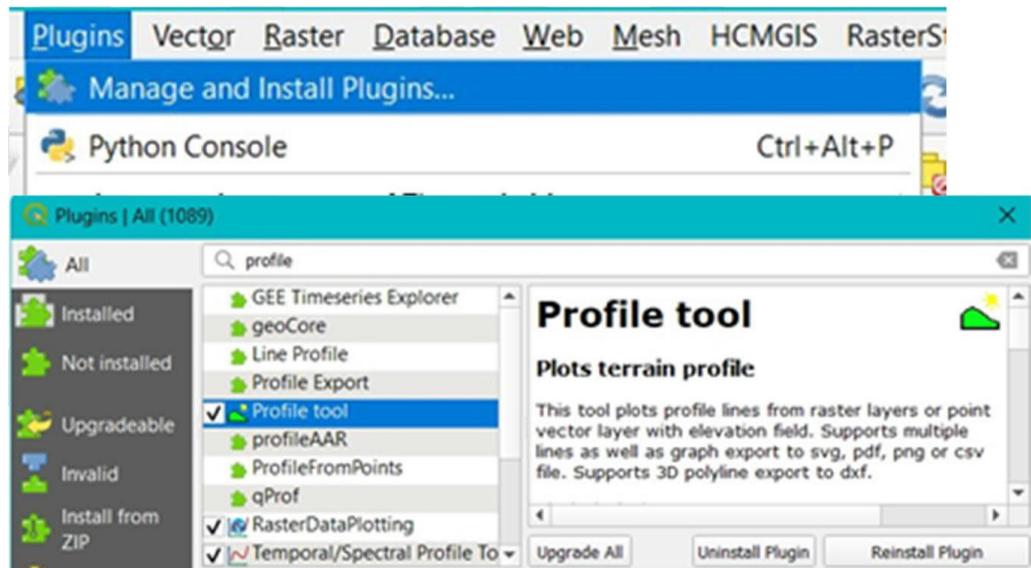
5. Pada Menu bar Raster -> Analysis -> Hillshade. Masukkan data DEMNAS merged sebagai input, Z factor: 3, pilih file output, klik Run. Z factor diperbesar untuk visualisasi bentuk topografi yang lebih jelas.



6. Pada Menu bar Raster -> Extraction -> Contour. Masukkan data DEMNAS merged sebagai input, interval: 5 meter, pilih file output, klik Run.



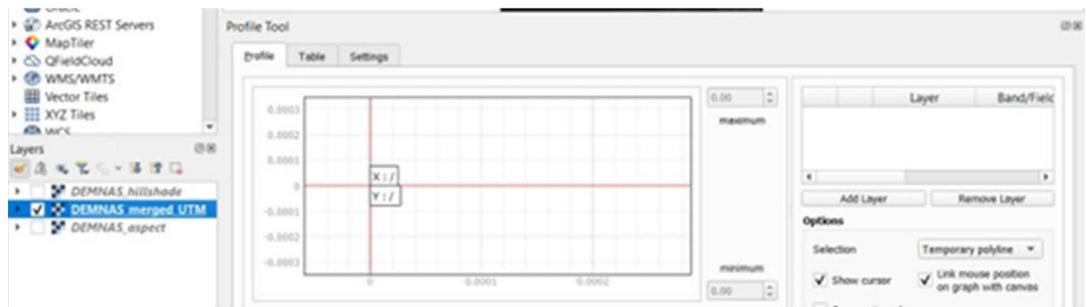
7. Pada menu bar Plugins klik Manage and Install Plugins. Install Plugin Profile tool.



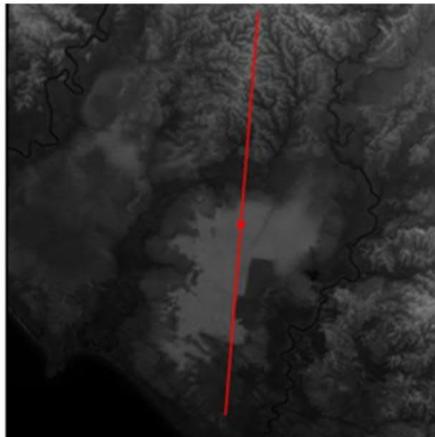
8. Pada Toolbar klik Profile terrain.



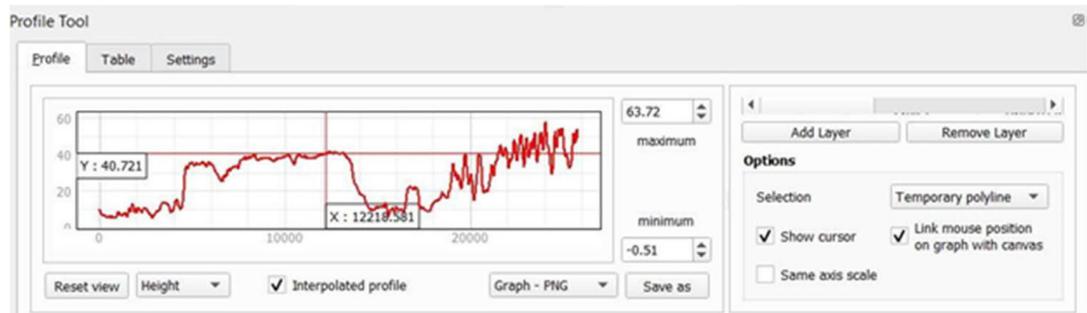
9. Klik Layer DEMNAS_merged_UTM kemudian Add layer.



10. Buatlah garis melintang pada area kajian.

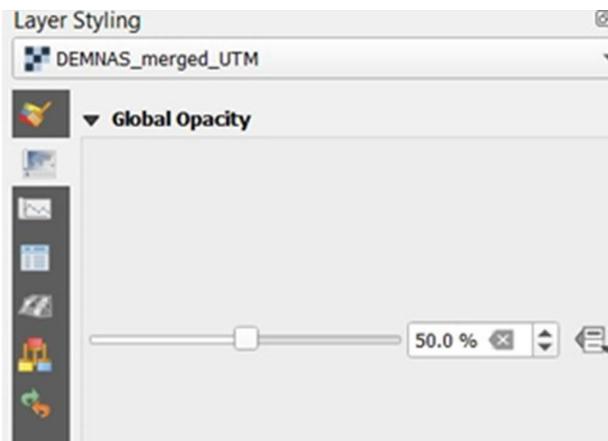
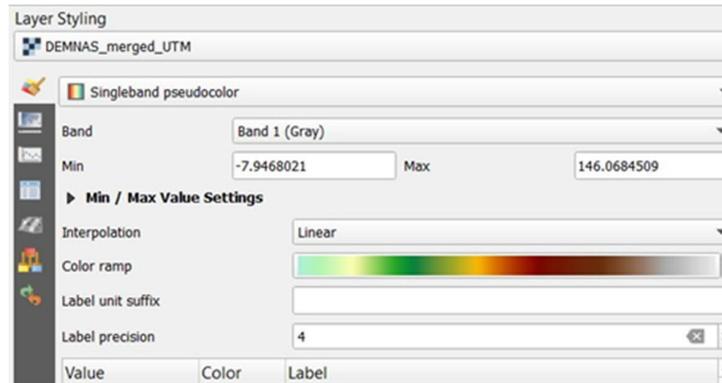


11. Grafik profil dapat disimpan dengan klik menu Save as.

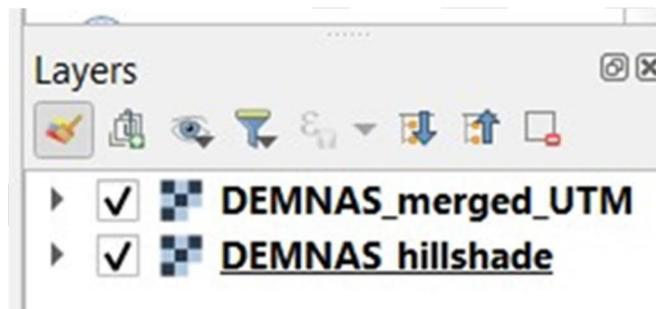


3D View

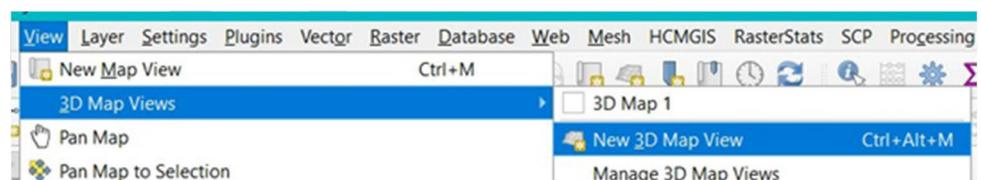
1. Lakukan simbolisasi data DEMNAS_merged_UTM. Atur transparency sebesar 50%.



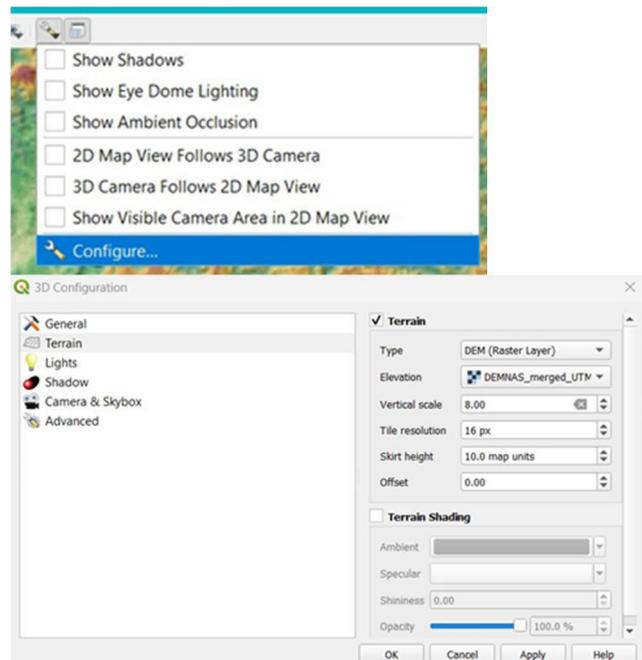
2. Letakkan layer Hillshade di bawah layer DEMNAS.



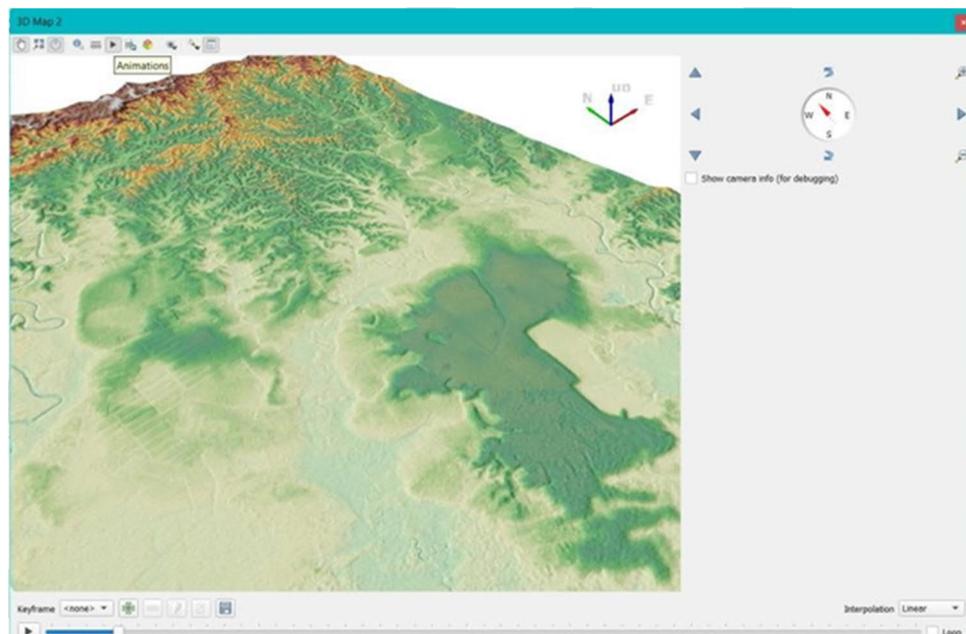
3. Pada menu bar View -> 3D Map Views -> New 3D Map View.



4. Klik Configure pada Options, pada menu Terrain pilih Type: DEM, dan pilih DEMNAS pada Elevation. Atur Vertical scale sebesar 8, klik OK.



5. Animasi 3D view dapat dibuat dan disimpan. **Chapter 4.**





**MODUL
TEKNIS**

Chapter 4.

Analisis Jasa Ekosistem Menggunakan InVEST

Format | lecture + practical
Durasi pembelajaran | 9 jam



MODUL

Nature-based Solution (NbS)



4.1. Preface Pemodelan Jasa Lingkungan menggunakan InVEST

InVEST (Integrated valuation of ecosystem services and tradeoff) merupakan salah satu dari banyak software yang tersedia yang dapat digunakan dalam pemodelan jasa lingkungan, seperti Soil and Water Assessment Tool – SWAT, Artificial Intelligence for Ecosystem Services – ARIES, Multiscale integrated models of ecosystem services – MIMES dan sebagainya (Ochoa & Cardona, 2017). InVEST, merupakan produk software open source dari proyek Natural Capital (<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/>) yang berfungsi untuk memetakan jasa lingkungan secara spasial.

InVEST dapat melakukan pemodelan dari beberapa jasa ekosistem secara spasial dan pada skala yang bervariasi (lokal – global), menyesuaikan dari kualitas sumber data yang digunakan. Pemodelan jasa lingkungan, serta supporting tools yang dapat dilakukan menggunakan inVEST, dapat dilihat dari Tabel berikut. Setiap pemodelan jasa lingkungan memerlukan input data yang berbeda. Input data dari setiap pemodelan jasa lingkungan dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

Tabel 2. Pemodelan Jasa Lingkungan yang ada di InVEST

No	Jasa Lingkungan	Keterangan
1	Habitat Risk Assessment	Melakukan identifikasi resiko kumulatif terhadap habitat suatu spesies akibat aktifitas manusia
2	Habitat Quality	Melakukan pemetaan extent dari habitat dan vegetasi dari suatu bentanglahan serta jarak dari ancaman yang mempengaruhi fauna
3	Pollinator Abundance: Crop Pollination	Mengestimasi banyaknya populasi lebah dengan parameter ketersediaan sarang dan bunga pada jarak terbang lebah

No	Jasa Lingkungan	Keterangan
4	Forest Carbon Edge Effect	Mengestimasi jumlah karbon yang terdegradasi pada tepian hutan (forest edges)
5	Carbon Storage dan Sequestration	Menggabungkan jumlah karbon yang tersimpan di atas, tanah, bahan organik dan bawah permukaan ini sesuai dengan peta penggunaan lahan dan klasifikasi yang diberikan oleh pengguna.
6	Coastal Blue Carbon	Mengestimasi jumlah karbon yang disimpan pada area pesisir pada suatu waktu
7	Annual Water Yield	Mengestimasi kontribusi relatif air dari berbagai bagian lanskap, memberikan informasi tentang bagaimana perubahan pola penggunaan lahan memengaruhi hasil air permukaan tahunan dan produksi energi hidroelektrik
8	Nutrient Delivery Ratio	Memetakan sumber nutrient dari vegetasi di suatu DAS dan transportnya ke pola aliran
9	Sediment Delivery Ratio	Mengkuantifikasi dan memetakan sedimen atas permukaan yang dihasilkan dan dikirimkan ke pola aliran
10	Unobstructed Views: Scenic Quality Provision	Menentukan viewshed yang menunjukkan area offshore atau nearshore yang dapat terlihat
11	Visitation : Recreation dan Tourism	Memprediksi penyebaran jumlah orang yang melakukan rekreasi berdasarkan lokasi habitat alami dan fitur lain yang mempengaruhi keputusan orang tentang di mana berrekreasi.

No	Jasa Lingkungan	Keterangan
12	Wave Energy Production	Menilai potensi daya ombak dan energi ombak yang dihasilkan berdasarkan kondisi ombak (misalnya, ketinggian gelombang signifikan dan periode gelombang puncak) serta informasi teknologi khusus perangkat WEC (misalnya, tabel kinerja dan kapasitas maksimum).
13	Offshore Wind Energy Production	Memberikan peta ketersediaan energi angin di suatu daerah, menggunakan tipe turbin yang bervariasi
14	Crop Production	Mengestimasi hubungan antara jumlah panen dan nutrient dari suatu komoditas yang dihasilkan dari peta land cover
15	Seasonal Water Yield	Estimasi total water yield pada musim yang berbeda
16	Urban Cooling	Menghitung indeks mitigasi panas berdasarkan naungan, evapotranspirasi, dan albedo, serta jarak dari area pendinginan (misalnya taman). Indeks ini digunakan untuk memperkirakan pengurangan suhu oleh vegetasi
17	Urban Flood Risk	Menghitung pengurangan limpasan, yaitu jumlah limpasan yang disimpan per piksel dibandingkan dengan volume badai. Untuk setiap daerah aliran sungai, juga menghitung potensi kerusakan ekonomi dengan menumpuk informasi tentang potensi luas banjir dan infrastruktur yang dibangun.
18	Mitigation Urban Nature Access	Memberikan ukuran baik supply sumber daya alam perkotaan maupun demand sumber daya alam oleh penduduk perkotaan, pada akhirnya menghitung keseimbangan antara pasokan dan permintaan.
19	Urban Stormwater Retention	Menghitung volume retensi air hujan tahunan dan manfaat kualitas air yang terkait (yaitu, menghindari pengangkutan nutrisi atau polutan ke danau, sungai, atau muara yang menerima air hujan).

Tool untuk memfasilitasi Analisa Jasa Lingkungan		
1	Coastal Vulnerability	Memproduksi estimasi kualitatif terkait exposure terhadap erosi dan banjir dikaitkan dengan populasi yang tinggal di area pesisir
Tool Pendukung		
1	RouteDEM	Menurunkan peta arah aliran dan akumulasi aliran
2	DelineateIT	Delineasi DAS dan subDAS
3	Scenario Generator: Proximity Based	Melakukan perubahan kelas penutup/penggunaan lahan yang mempengaruhi habitat

Instalasi

1. Software InVEST dapat didownload dari laman berikut: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest/invest-downloads-data>
2. Selain itu, peserta juga membutuhkan software GIS untuk menampilkan data, i.e. QGIS atau ArcGIS

4.2 Modul Habitat Quality

Pendahuluan

Kontribusi keanekaragaman hayati terhadap perekonomian global, kelangsungan hidup manusia, dan kesejahteraan telah meningkat secara signifikan. Namun, tekanan antropogenik sebagai ancaman terhadap habitat asli juga ikut meningkat. Tujuan utama konservasi adalah melindungi keanekaragaman hayati, termasuk kisaran gen, spesies, populasi, habitat, dan ekosistem di suatu kawasan yang diminati. Agar pengelola dapat memahami pola sebaran dan kekayaan di seluruh lanskap, baik secara individual maupun agregat, maka perlu dilakukan pemetaan kisaran atau keberadaan elemen-elemen (misalnya spesies, komunitas, habitat). Sejauh mana penggunaan dan pengelolaan lahan saat ini mempengaruhi kelangsungan elemen-elemen tersebut juga harus dinilai untuk merancang strategi konservasi yang tepat dan mendorong pengelolaan sumber daya yang memaksimalkan keanekaragaman hayati di kawasan tersebut.

Alasan untuk memodelkan keanekaragaman hayati bersama dengan jasa ekosistem sangatlah sederhana dan kuat. Hal ini memungkinkan kita untuk membandingkan pola spasial keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem, dan untuk mengidentifikasi wilayah yang saling menguntungkan (yaitu wilayah di mana konservasi dapat memberikan manfaat bagi sistem alam dan perekonomian manusia) serta wilayah yang tujuan-tujuannya tidak selaras. Lebih lanjut, hal ini memungkinkan kita menganalisis trade-off antara keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem di berbagai skenario perubahan penggunaan lahan di masa depan. Pola penggunaan/tutupan lahan (LULC) yang menghasilkan produksi jasa ekosistem yang lebih besar mungkin tidak selalu mengarah pada konservasi keanekaragaman hayati yang lebih besar (Nelson et al. 2008), dan pemodelan pilihan masa depan saat ini dapat membantu mengidentifikasi dan menghindari trade-off.

Tujuan

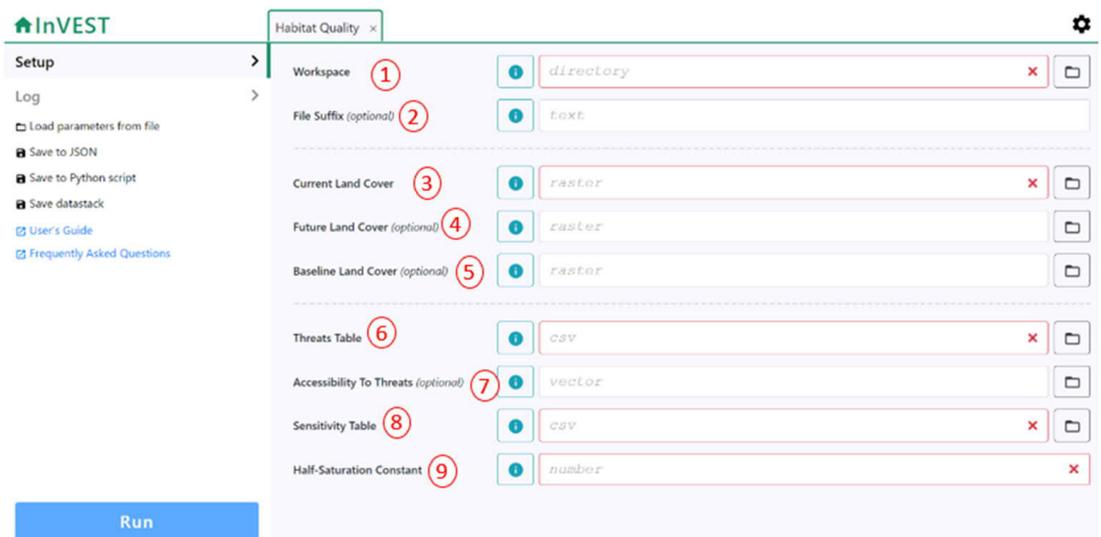
Pada modul praktek ini, peserta diharapkan untuk :

1. Melakukan pemodelan kualitas dan kelangkaan habitat dengan menggunakan InVEST

Alat dan Bahan

Data yang dibutuhkan antara lain :

1. Peta penutup dan penggunaan lahan masa kini (raster)
2. Peta Infrastruktur jalan (vektor)
3. Peta DEM (raster)
4. Peta Elevasi (raster)
5. Tabel habitat stressor (csv)
6. Tabel Sensitivitas (csv)
7. Peta kantong habitat (vektor)



Pengenalan Interface InVEST

Berikut merupakan tampilan InVEST untuk pemodelan Habitat Quality:

Keterangan:

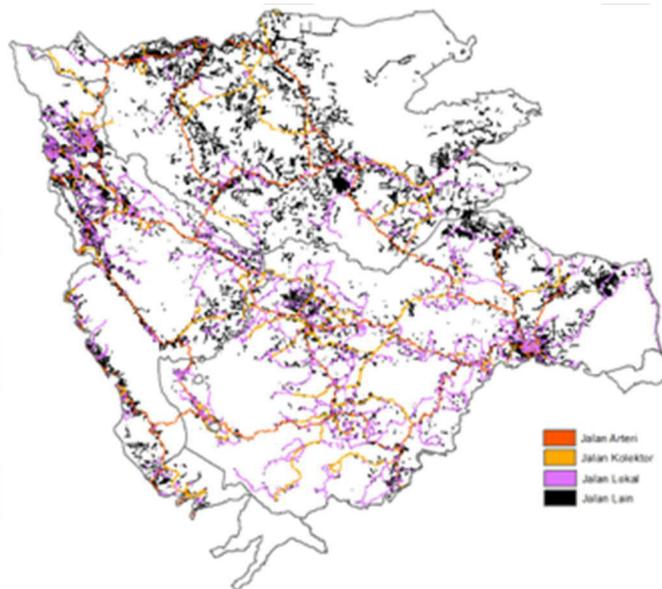
1. **Workspace** merupakan folder lokasi untuk menempatkan file hasil permodelan.
2. **File suffix** merupakan akhiran yang akan ditambahkan ke semua nama file hasil permodelan.
3. **Current Land Cover** merupakan peta penutup/penggunaan lahan di masa kini.
4. **Future Land Cover** merupakan peta prediksi penutup/penggunaan lahan di masa depan.
5. **Baseline Land Cover** merupakan peta kelangkaan atau sebaran spesies yang digunakan untuk melakukan penilaian kelangkaan spesies.
6. **Threats Table** merupakan tabel ancaman yang berisikan direktori peta – peta paramater ancaman habitat Gajah Sumatra.
7. **Accesibility to Threats** merupakan data aksesibilitas terhadap ancaman dalam format vektor
8. **Sensitivity Table** merupakan tabel sensitivitas relatif terhadap penutup dan penggunaan lahan.
9. **Half Saturation** merupakan nilai konstanta dalam penilaian pemodelan kualitas habitat.

Persiapan Data

1. Peta Penutup dan Penggunaan Lahan di masa kini
2. Memisahkan kelas penggunaan lahan dalam Peta Penutup dan Penggunaan Lahan yang dianggap sebagai ancaman habitat Gajah Sumatra menjadi file tersendiri. Dalam pemodelan ini, kelas penutup dan penggunaan lahan yang menjadi ancaman habitat Gajah Sumatra antara lain :
 - a. Permukiman
 - b. Pertanian
 - c. Perkebunan
 - d. Hutan Tanaman Industri
 - e. Pertambangan
 - f. Jalan Arteri
 - g. Jalan Lokal
 - h. Jalan Kolektor
 - i. Low Impact Road



Gambar. Tampilan Raster Perkebunan



Gambar. Tampilan Raster Infrastruktur Jalan

3. Tabel Sensitivitas berisikan 2 informasi utama, yaitu sensitivitas relatif dari setiap kelas LULC pada habitat spesies dan sensitivitas relatif dari setiap kelas LULC untuk setiap jenis ancaman. Urutan dan jumlah ancaman pada tabel sensitivitas harus sama jumlah dan jenisnya dengan tabel ancaman. Dalam penilaian sensitivitas relatif dari tiap kelas LULC pada habitat, semakin mendekati nilai 0 mengindikasikan suatu LULC tertentu tidak sesuai/tidak mendukung suatu habitat (*suitable*). Semakin mendekati nilai 1 mengindikasikan suatu LULC sesuai/mendukung suatu habitat (*suitable*). Adapun penilaian sensitivitas relatif dari setiap kelas LULC untuk setiap jenis ancaman, dimana 1 mewakili sensitivitas tinggi dan 0 menyatakan tidak terpengaruh.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	LULC	Name	Habitat	Permukiman	Pertanian	Perkebunan	Hutan Tanaman Industri	Pertambangan	Highway	Jalan Arteri	Jalan Kolektor	Jalan Lokal	Low Impact Road	
1	0	Frame	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	1	Hutan Lahan Kering	0.95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	
3	2	Hutan Mangrove	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	
4	3	Hutan Rawa	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	
5	4	Hutan Tanaman	0.7	0.8	0.7	0.5	0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	
6	5	Perkebunan	0.4	0.2	0	0	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	
7	6	Semak Belukar	0.6	0.6	0.5	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	
8	7	Semak Belukar Rawa	0.6	0.6	0.5	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	
9	8	Padang rumput	0.6	0.5	0.4	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	
10	9	Pertanian Lahan Kering	0.6	0.6	0.5	1	1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	
11	10	Sawah	0.1	0.6	0.5	1	1	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	
12	11	Permukiman	0.03	0	0.5	0.9	0.9	0.83	0.5	0.16	0.16	0.16	0.08	
13	12	Lahan Terbuka	0.1	0.6	0.5	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	
14	13	Pertambangan	0	0	0.5	1	1	1	0	0	0	0	0	
15	14	Tubuh Air	0	0	0.5	1	1	0	0	0	0	0	0	
16	15	Rawa	0.6	0.6	0.5	1	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	
17	16	Awan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

4. Tabel Ancaman. Jenis ancaman yang dipilih merupakan jenis ancaman yang bisa ditampilkan secara spasial. Penilaian (*skoring*) tabel ancaman dilakukan oleh *expert person* terkait habitat Gajah Sumatra yang didasarkan atas kapasitas dan pengalaman selama di lapangan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	MAX_DIST	WEIGHT	THREAT	DECAY	BASE_PATH	CUR_PATH	FUT_PATH				
2	10	1	Permukiman	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input future\Permukiman_F.tif					
3	8	0.8	Pertanian	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input future\Pertanian_F.tif					
4	5	0.5	Perkebunan	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input future\Perkebunan_F.tif					
5	4	0.3	Hutan Tanaman	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input future\HTI_C.tif					
6	10	1	Pertambangan	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input future\Pertambangan_F.tif					
7	5	0.8	Highway	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input future\Highway_F.tif					
8	8	0.7	Jalan Arteri	Exponential		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input\Jalan_Arteri.tif					
9	7	0.7	Jalan Kolektor	Exponential		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input\Jalan_Kolektor.tif					
10	5	0.7	Jalan Lokal	Exponential		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input\Jalan_Lokal.tif					
11	4	0.5	Low Impact Road	Linear		D:\WWF\01 Modu\Hq_Indragiri\Input\LowImpact_JalanLain.tif					
12											

Keterangan :

Max Distance	Jarak maksimum di mana setiap ancaman mempengaruhi kualitas habitat. Dampak dari setiap sumber degradasi akan menurun hingga nol pada jarak maksimum ini
Weight	Dampak setiap ancaman terhadap kualitas habitat, relatif terhadap ancaman lainnya Bobot bernilai dari 0-1 (semakin mendekati 1, artinya semakin besar dampak relatif yang dihasilkan)
Threat	Tipe kerusakan yang dihasilkan dapat bersifat linear (efek ancaman meluruh secara linear dengan jarak dari ancaman) ataupun eksponensial (efek ancaman meluruh secara eksponensial dengan jarak dari ancaman)
Current Path	Data raster masing-masing ancaman

Running Model

1. Buka aplikasi InVEST Workbench > pilih sub bagian Habitat Quality

The screenshot shows the InVEST Habitat Quality setup window. On the left, there is a sidebar with options like 'Setup', 'Log', 'Load parameters from file', 'Save to JSON', 'Save to Python script', 'Save datastack', 'User's Guide', and 'Frequently Asked Questions'. The main area contains several input fields for configuration. The 'Workspace' field is highlighted with a red border and contains the text 'directory'. Below it are fields for 'File Suffix (optional)' (text), 'Current Land Cover' (raster), 'Future Land Cover (optional)' (raster), 'Baseline Land Cover (optional)' (raster), 'Threats Table' (csv), 'Accessibility To Threats (optional)' (vector), 'Sensitivity Table' (csv), and 'Half-Saturation Constant' (number). Each field has an information icon on the left and a delete icon on the right. A blue 'Run' button is located at the bottom left of the main area.

2. Tentukan direktori penyimpanan file, dan berikan nama pada file yang dihasilkan setelah dilakukan pemodelan.

This close-up shows the 'Workspace' field containing the path 'D:\WWF\Wildlife' and the 'File Suffix (optional)' field containing 'Habitat_Quality_250K'. The file suffix field has a green checkmark on the right, indicating it is valid.

3. Masukkan data yang dibutuhkan sesuaikan dengan format yang dibutuhkan

This close-up shows the input fields for land cover and threat data. The 'Current Land Cover' field is set to '\Wildlife\[FIX] LULC InVEST\LULC InVEST\LULC_250K.tif' and has a green checkmark. The 'Future Land Cover (optional)' field is set to 'raster'. The 'Baseline Land Cover (optional)' field is set to 'raster'. The 'Threats Table' field is set to 'C:\Users\ACER\Downloads\threat tabel csv.csv'. The 'Accessibility To Threats (optional)' field is set to 'vector'. The 'Sensitivity Table' field is set to 'C:\Users\ACER\Downloads\tabel sensitivitas hq.csv'.

4. Berikan nilai half saturation sebesar 0.5 . Nilai ini merupakan nilai *default* atau nilai konstanta.



A screenshot of a software interface showing a parameter input field. The label 'Half-Saturation Constant' is on the left. The input field contains the value '0.5' and has a green checkmark on the right, indicating it is valid.

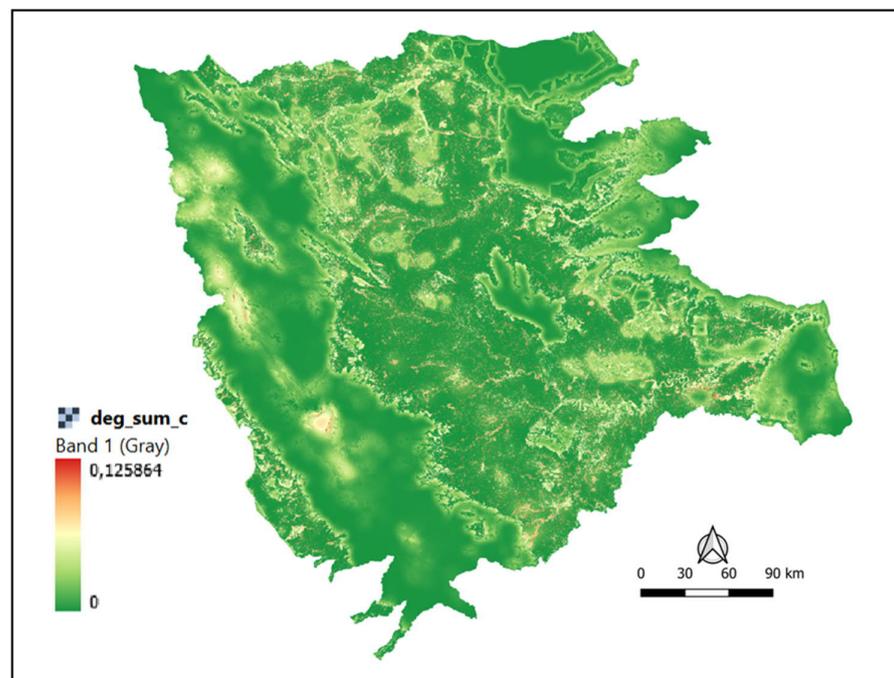
5. Lakukan Run untuk melakukan pemodelan



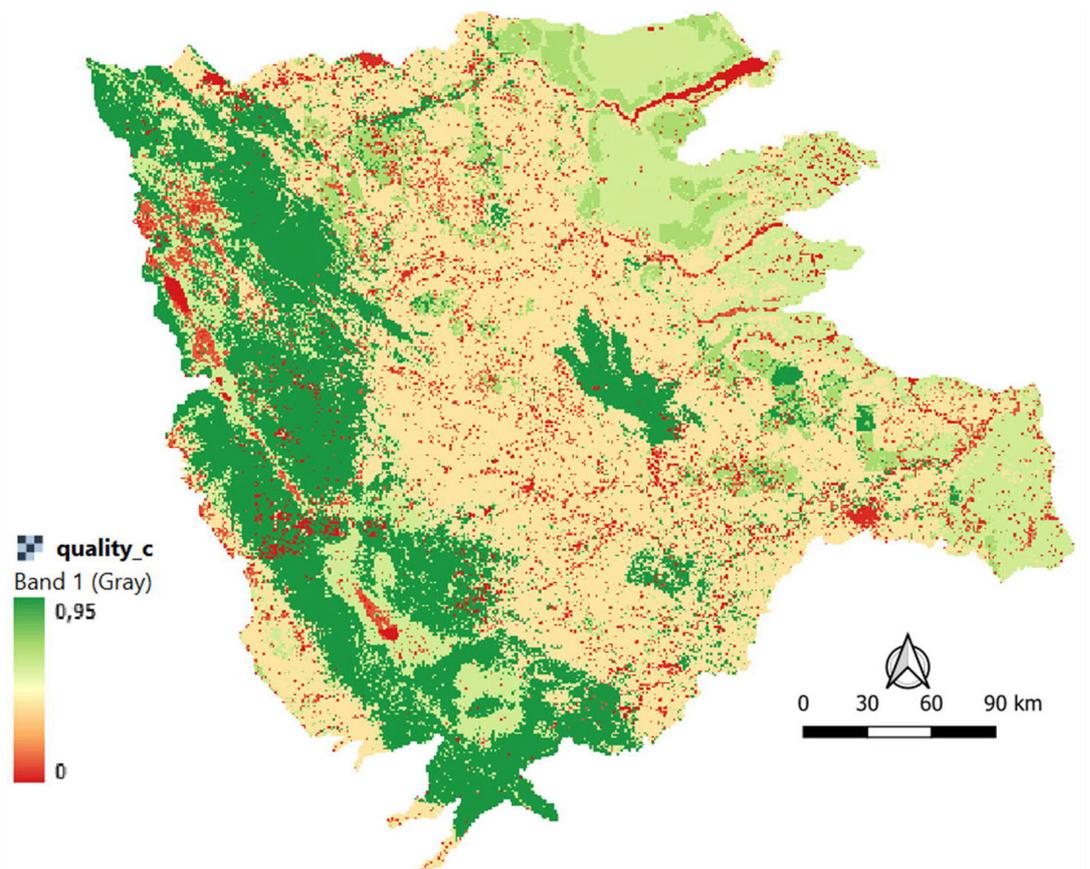
Hasil

Pemodelan ini akan menghasilkan beberapa data yang disesuaikan dengan masukan yang dilakukan pada pemodelan. Adapun data yang dihasilkan :

1. Deg_sum_out_c_[Suffix].tif = merupakan nilai relatif degradasi habitat pada lanskap masa kini. Tingginya nilai pada grid menunjukkan degradasi habitat yang tinggi. Apabila nilai degradasi 0, menunjukkan bahwa kawasan di lanskap tersebut bukan habitat.



2. Quality_out_c_[Suffix].tif = merupakan nilai relatif kualitas habitat pada lanskap masa kini. Angka yang lebih tinggi menunjukkan kualitas habitat yang lebih baik dibandingkan dengan distribusi kualitas habitat di seluruh lanskap. Kawasan yang bukan habitat akan bernilai 0. Nilai yang dihasilkan dalam pemodelan ini tidak memiliki unit dan tidak mengacu pada ukuran keanekaragaman hayati tertentu. Meskipun pada nilai kualitas habitat yang tinggi, hasil ini tidak menunjukkan apakah ada aktivitas Gajah Sumatra pada area tersebut atau tidak.



4.3. Module Sediment Delivery Ratio

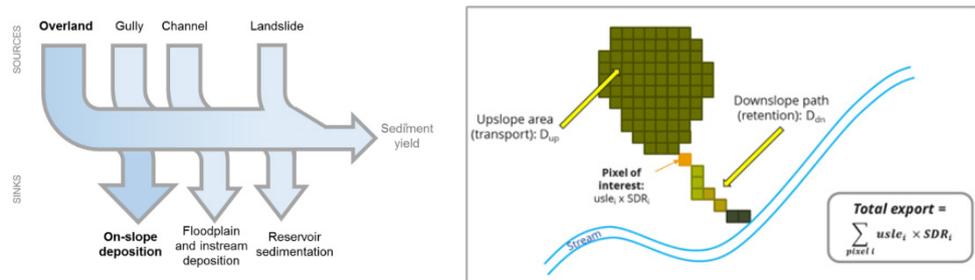
Pendahuluan

Sediment delivery ratio (SDR) atau rasio pengiriman sedimen memberikan informasi terkait pemetaan transportasi sedimen dalam suatu DAS kemudian ditransportasikan ke aliran sungai. Berdasarkan kondisi yang sering ditemukan di lapangan, perubahan transportasi sedimen akan mempengaruhi irigasi, kualitas air, dan kondisi bendungan. Jika hilangnya tanah terjadi pada lahan pertanian, maka hal tersebut akan menurunkan produktivitas pertanian.

Melalui analisis SDR dapat diketahui dimana sedimen diproduksi dan ditransportasikan, sehingga para pemangku kebijakan dapat merancang strategi untuk mengurangi erosi dan transportasi sedimen. Terlebih saat ini banyak terjadi alih fungsi lahan yang menyebabkan berubahnya penggunaan lahan (LULC), sehingga analisis ini penting dilakukan guna menjaga keberlangsungan ekosistem.

Analisis SDR berkaitan dengan kehilangan tanah atau erosi, sehingga dalam permodelannya menggunakan metode USLE (Universal Soil Loss Equation). Kebutuhan data dalam analisis ini mencakup data erosivitas hujan, erodibilitas tanah, DEM (*Digital Elevation Model*) serta nilai faktor C dan P pada masing-masing kelas penutup dan penggunaan lahan (LULC).

Erosivitas hujan merupakan kemampuan hujan yang menyebabkan erosi. Erodibilitas tanah merupakan faktor kepekaan tanah atau kemudahan tanah tererosi. Perlu diketahui bahwa dalam permodelan ini nilai erosi atau kehilangan tanah yang dihitung hanya terbatas pada erosi aliran permukaan (overland flow) dan tidak memasukan tipe erosi lainnya, seperti erosi parit (gully), erosi tebing (bank), atau tanah longsor (mass erosion) (Natural Capital Project, 2022).



Gambar 14. (sumber: <https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/sdr.html#data-needs>)

Permodelan ini menghasilkan beberapa peta terkait transportasi sedimen. Peta-peta yang dihasilkan berasal dari persamaan yang berbeda-beda, misalnya peta potensi kehilangan tanah dari persamaan RKLS dan peta potensi kehilangan tanah dari persamaan USLE. Peta yang seringkali digunakan dalam analisis adalah peta total sedimen yang terekspor dari tiap piksel yang mengalir hingga ke sungai. Satuan yang dihasilkan dari permodelan ini adalah ton/piksel/tahun.

Hasil permodelan SDR menggambarkan faktor yang menjadi input dalam permodelan, yakni erosivitas hujan, erodibilitas tanah, serta kondisi penggunaan lahan. Dengan adanya analisis ini diharapkan dapat dijadikan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan untuk perencanaan suatu wilayah. Jika terdapat wilayah dengan tingkat erosi atau transportasi sedimen yang tinggi, pemangku kebijakan dapat menyesuaikan penggunaan lahan yang cocok dengan kondisi tersebut.

Analisis SDR dalam lingkup regional dalam modul ini meliputi wilayah RIMBA dan sekitarnya. Wilayah ini mencakup beberapa DAS di Provinsi Riau, Jambi, dan Sumatera Barat. Peta yang menjadi input data dan yang dihasilkan berbentuk raster dengan ukuran piksel 30x30 meter.

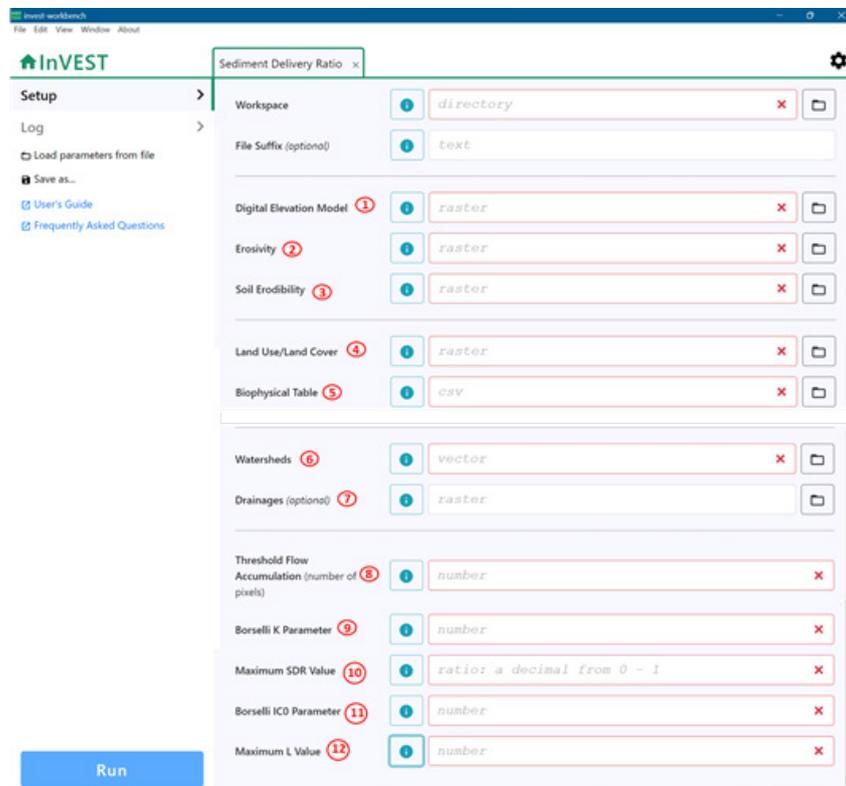
Tujuan

Pada modul praktek ini, peserta akan memiliki pengetahuan dan keterampilan untuk:

1. Melakukan pemodelan transportasi sedimen dalam suatu DAS
2. Melakukan pemetaan transportasi sedimen dalam suatu DAS

1. Digital elevation model (raster).
2. Peta erosivitas hujan (raster).
3. Peta erodibilitas tanah (raster).
4. Peta penutup dan penggunaan lahan/LULC (raster).
5. Tabel biofisik (csv).
6. Watershed atau batas DAS (shapefile)
7. Peta drainase (opsional, raster).
8. Threshold flow accumulation (value).
9. Borselli K Parameter (value).
10. Maximum SDR value (value).
11. Borselli IC0 Parameter (value).
12. Maximum L value (value).

Pengenalan InVEST untuk permodelan Sedimen Delivery Ratio



Input data meliputi:

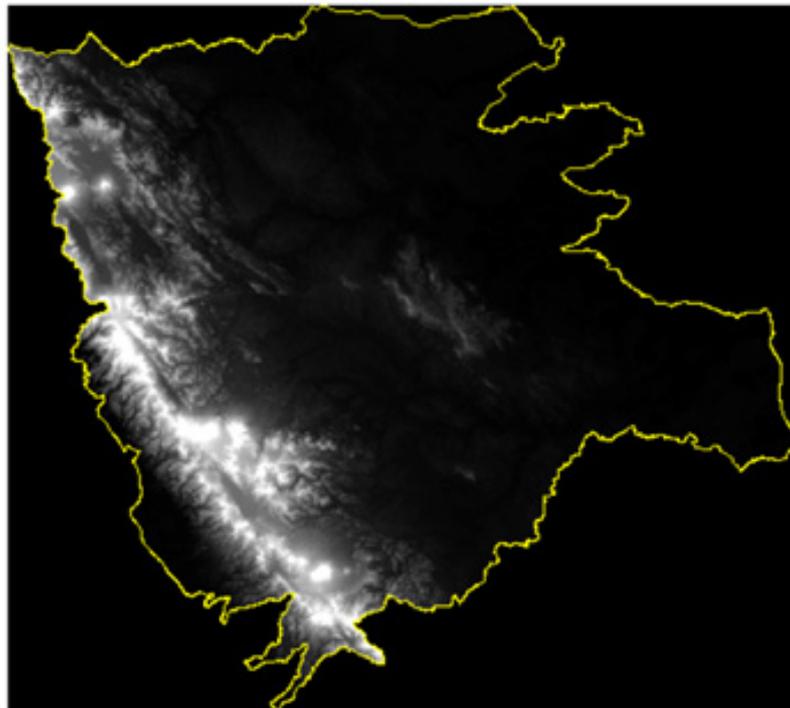
1. **Digital elevation model (DEM).**
2. **Peta erosivitas hujan** merupakan peta yang menggambarkan intensitas dan durasi hujan di suatu wilayah. Peta ini diperoleh dari pengolahan data curah hujan. Data curah hujan dapat diunduh melalui laman resmi BMKG.
3. **Peta erodibilitas tanah** merupakan peta yang menggambarkan kepekaan tanah atau kemudahan tanah untuk tererosi. Apabila nilai erodibilitas tanah tinggi pada kondisi curah hujan yang sama, maka tanah akan lebih mudah tererosi.
4. **Land use/land cover (LULC)** merupakan peta penutup/penggunaan lahan.
5. **Tabel biofisik** yang meliputi faktor pengelolaan tanaman berdasarkan USLE (usle_c), faktor konservasi tanah berdasarkan USLE (usle_p), beban nutrisi (load), nilai maksimum retensi nutrisi (eff), jarak LULC dengan aliran sungai yang dimaksudkan memperkiraan kapasitas retensi nutrisi (crit_len), kedalaman akar (root_depth), koefisien tanaman untuk memprediksi nilai evapotranspirasi (Kc), dan keberadaan vegetasi dalam kelas penggunaan lahan (LULC_veg).
6. **Watershed** atau batas DAS. Bisa juga menggunakan batas gabungan beberapa DAS.
7. **Peta drainase** (opsional).

Input nilai meliputi:

8. **Threshold flow accumulation** atau jumlah piksel lereng atas yang didefinisikan sebagai piksel. Jika melebihi jumlah tersebut akan diklasifikasikan sebagai aliran.
9. **Borselli K Parameter** menggunakan nilai tetap, yaitu 2.
10. **Maximum SDR value** merupakan nilai maksimum dalam rasio yang akan digunakan. Nilai default yang digunakan yakni 0,8.
11. **Borselli ICo Parameter** menggunakan nilai tetap yaitu 0,5.
12. **Maximum L value** atau nilai L maksimum yang merupakan nilai maksimum yang diperbolehkan dari parameter panjang lereng (L) dalam faktor LS pada rumus USLE. Default nilai yang digunakan adalah 122.

Persiapan data

1. Pengunduhan data DEM. Data DEM yang digunakan adalah DEM SRTM yang diunduh dari website <https://www.usgs.gov/>

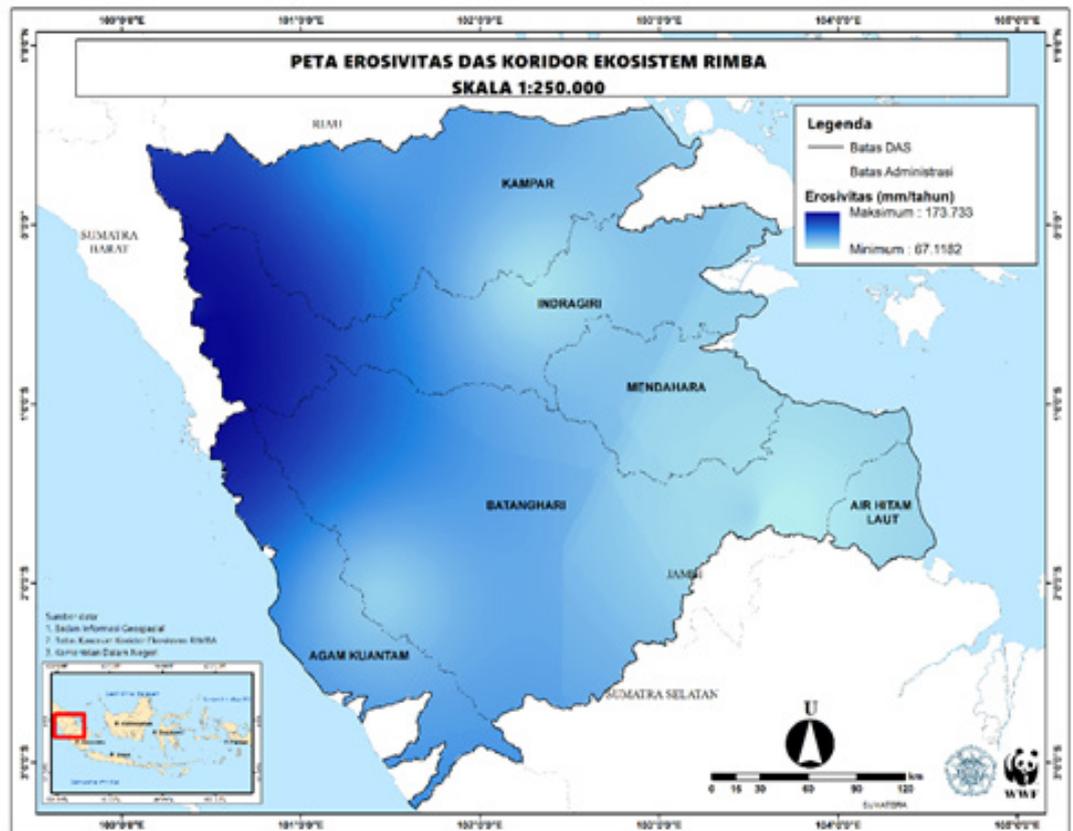


2. Pengunduhan data curah hujan untuk pemetaan erosivitas hujan. Data tersebut diunduh pada laman <https://dataonline.bmkg.go.id>. Data curah hujan yang digunakan berasal dari stasiun hujan di dalam dan di sekitar area kajian.

Erosivitas tahunan													
Tahun	Bulan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nov	Des	
2014	355.9	19	175.6	408.8	236.9	142.1	190.4	151.7	142.4	400.3	384.6	303.9	2911.6
2015	179.1	65.2	387	157.5	143.6	153.9	16.9	389.5	75.5	75.1	411.5	352.6	2407.4
2016	304.2	47.8	205.9	390.3	272.4	126.2	289.3	69.9	276.3	177.6	538	220.5	2918.4
2017	408.9	325.9	442.1	439.5	437.2	396.4	143.9	177.9	275.4	222.8	577.5	300.1	4148
2018	205.6	154.5	293.7	204.5	238.9	300.2	137.2	109.9	136.8	323.7	345.5	536.2	2986.7
2019	229.9	125.9	126.8	317.2	190.2	290.6	98.3	46	74.1	213.9	313.5	179.5	2205.9
2020	146.4	70.4	186.8	455.8	265.4	224.4	109.2	231.5	129.3	208.1	359.7	134.3	2521.3
2021	330.9	108	389.2	437.8	269.6	216.1	91.1	208.8	350.8	384.6	350	274.2	3411.3
													2938.825

Tahun	Bulan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nov	Des	
2014	12.42	0.23	4.75	15.00	7.14	3.56	5.31	3.90	3.57	14.58	13.80	10.02	94.29
2015	4.88	1.24	13.92	4.10	3.62	3.97	0.20	14.04	1.51	1.50	15.13	12.27	76.37
2016	10.03	0.81	5.90	14.08	8.64	3.03	9.37	1.36	8.80	4.83	21.79	6.48	95.12
2017	15.00	11.02	16.69	16.55	16.43	14.38	3.63	4.84	8.76	6.57	23.99	9.86	147.74

3. Pemetaan erosivitas hujan atau *rainfall erosivity index* berdasarkan data curah hujan bulanan selama 8 tahun. Pemetaan dilakukan dengan menginterpolasi data curah hujan pada stasiun hujan yang dipilih.



4. Pengumpulan data tekstur tanah, permeabilitas, struktur, dan bahan organik tanah untuk pemetaan erodibilitas tanah. Data tersebut dapat diperoleh dari hasil analisis laboratorium pada sampel tanah yang diambil di lapangan.

5. Perhitungan indeks erodibilitas tanah atau *soil erodibility* (K). Perhitungan erodibilitas tanah mengikuti persamaan (Renard *et al.*, 1997) yang diuraikan sebagai berikut.

$$K = \frac{(2,1 \cdot 10^{-4} (12-a) M^{1,4} + 3,25(b-2) + 2,5(c-3))}{759}$$

dengan:

K : faktor erodibilitas tanah

a : bahan organik tanah

M : [(%debu+%pasir+)(100-%lempung)]

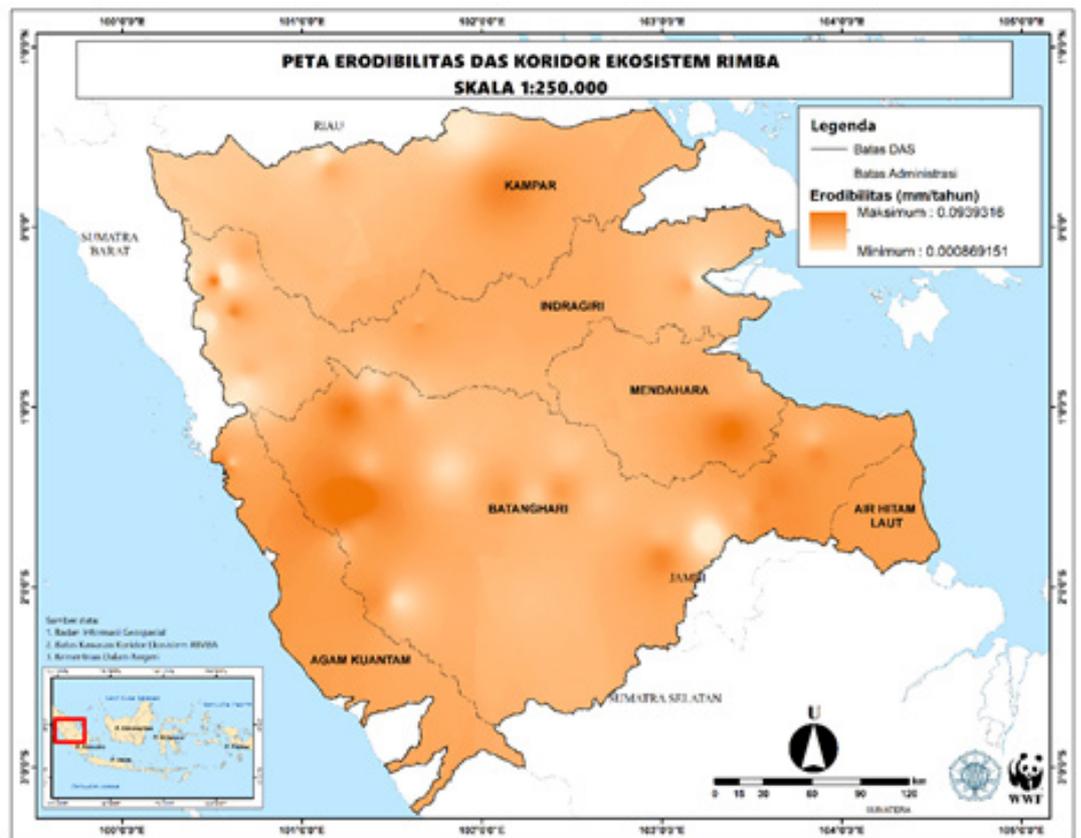
b : struktur

c : permeabilitas

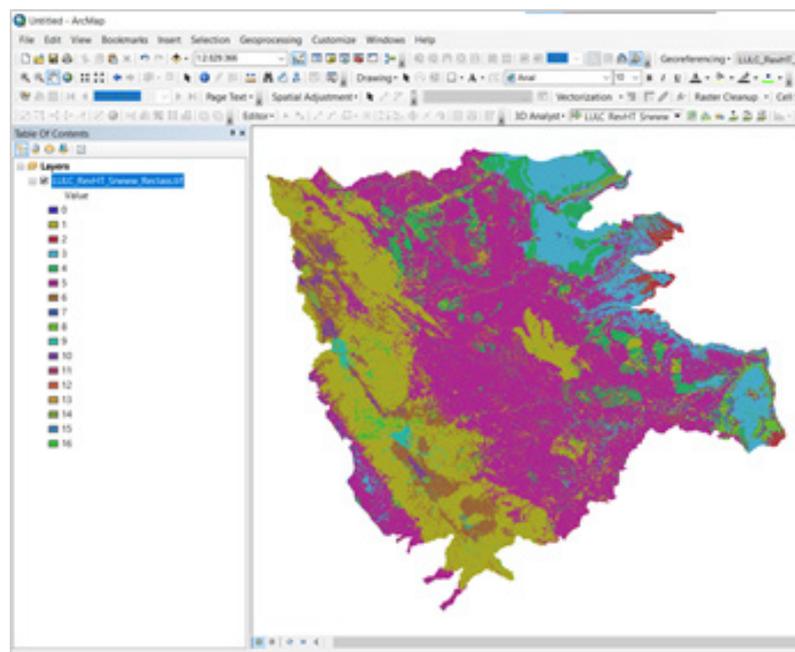
Dibawah ini merupakan contoh hasil analisis laboratorium untuk tiap sampel tanah beserta hasil perhitungan indeks erodibilitas.

Kode sampel	% silt	% very fine sand	% clay	M	% bahan organik	struktur	permeabilitas	K (Indeks Erodibilitas)
1	15,03	66,93	18,04	6.717,442	1,475	1	1	0,056
2	7,04	15,05	77,91	487,9681	4	4	3	0,011
3	11,64	59,62	28,74	5.077,988	4	4	1	0,039
4	44,19	13,46	42,35	3.323,523	4	1	1	0,012
5	20,93	47,79	31,28	4.722,438	4	1	1	0,023
6	47,55	23	29,45	4.977,303	4	2	1	0,030
7	13,99	68,65	17,36	6.829,37	4	1	1	0,041
8	47,61	16,16	36,23	4.066,613	2,14	4	1	0,037
9	14,65	21,45	63,9	1.303,21	3,77	1	2	0,001
10	29,54	25,05	45,41	2.980,068	4	1	1	0,009
11	34,71	24,59	40,7	3.516,49	3,44	2	1	0,020
12	16,82	11,77	71,41	817,3881	4	3	1	0,002
13	36,16	12,91	50,93	2.407,865	4	4	3	0,024
14	69,03	27,86	3,11	9.387,672	4	1	1	0,064
15	42,99	27,03	29,98	4.902,8	4	2	1	0,029

6. Pemetaan erodibilitas tanah dengan cara interpolasi nilai erodibilitas tiap titik sampel.



7. Pemetaan penutup/penggunaan lahan (LULC). Dilakukan menggunakan metode klasifikasi digital citra Sentinel 2A. Guna memperoleh akurasi yang baik, dilakukan pengambilan sampel di lapangan dan reinterpretasi peta.



8. Pengisian tabel biofisik berdasarkan jenis penutup/penggunaan lahan
 - a. *usle_c* diisi berdasarkan literatur terkait pengelolaan tanaman pada tiap kelas LULC
 - b. *usle_p* diisi berdasarkan literatur terkait konservasi tanah pada tiap kelas LULC
 - c. *load* diisi berdasarkan beban sedimen yang dimiliki tiap jenis penggunaan lahan. Data *load* didapatkan dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh WWF terkait SDR.
 - d. *eff* atau nilai maksimum retensi nutrisi diisi berdasarkan data dari referensi literatur.
 - e. *crit_len* atau jarak LULC dengan aliran sungai diisi berdasarkan perkiraan jarak antara penggunaan lahan dan sungai.
 - f. *root_depth* atau kedalaman akar diisi berdasarkan hasil interpolasi kedalaman akar sampel tanah yang diambil di lapangan.
 - g. *Kc* atau koefisien tanaman diisi berdasarkan data dari FAO.
 - h. *LULC_veg* diisi 1 jika penggunaan lahan adalah vegetasi dan 0 jika bukan vegetasi.

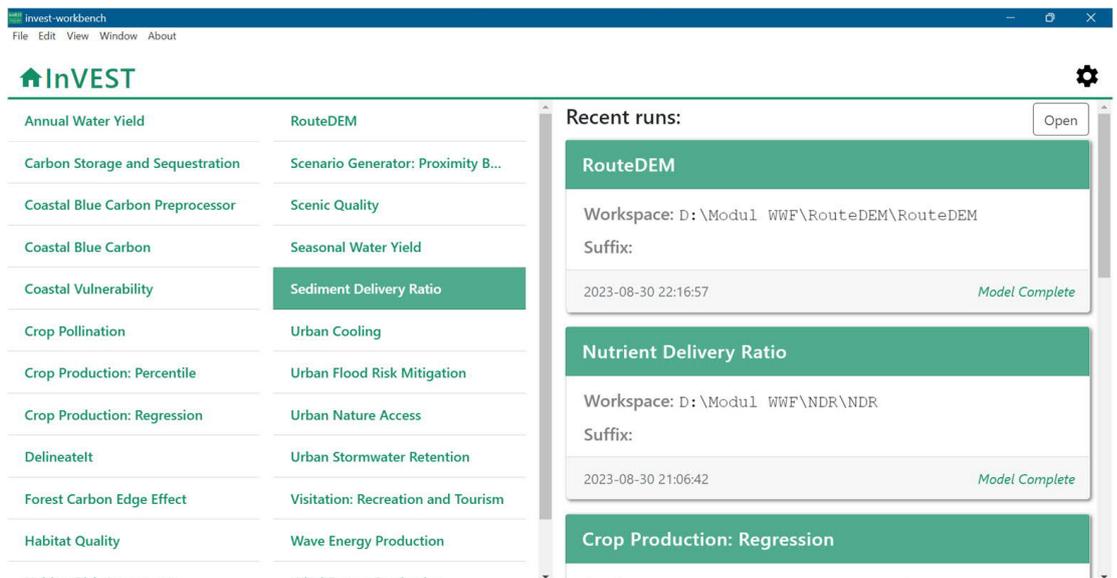
LULC	lucode	<i>usle_c</i>	<i>usle_p</i>	<i>load_p</i>	<i>eff_p</i>	<i>crit_len_p</i>	<i>root_depth</i>	<i>Kc</i>	<i>LULC_veg</i>
Hutan Lahan Kering	1	0.001	0.75	470	0,5	5	7000	0.15	1
Hutan Mangrove	2	0.001	1	650	0,6	1	5000	0.6	0
Hutan Rawa	3	0.05	1	590	0,32	1	5500	0.6	0
Hutan Tanaman	4	0.2	0.5	60	0,5	10	7000	0.15	1
Perkebunan Sawit	5	0.5	0.5	3.41	0,8	5	7000	0.95	1
Perkebunan Karet	6	0.6	0.2	4.31	0,6	5	5000	0.95	1
Perkebunan Campuran	7	0.2	0.5	6.45	0,6	1	5000	0.95	1
Semak Belukar	8	0.3	0.2	0	0,15	1	7000	0.8	1
Semak Belukar Rawa	9	0.05	1	20	0,15	1	5100	0.9	0
Rumput	10	0.3	0.2	0	0,3	10	200	0.8	1
Pertanian Lahan Kering	11	0.4	0.15	1.64	0,3	10	2600	0.7	1
Pertanian Lahan Basah	12	0.01	0.15	620	0,3	1	2100	1.05	0
Permukiman	13	0	0	830	0	0	200	0	0
Lahan Terbuka	14	1	0.9	0	0,05	5	100	0	0
Pertambangan	15	0	0	10	0,05	1	0	0	0
Tubuh Air	16	0	0	0	0,6	0	0	1.05	0
Rawa	17	0.05	0	0	0	0	0	1	0
Awan	18	0	0	0	0	0	0	0	0

9. Pengunduhan/penyiapan *shapefile* batas DAS.

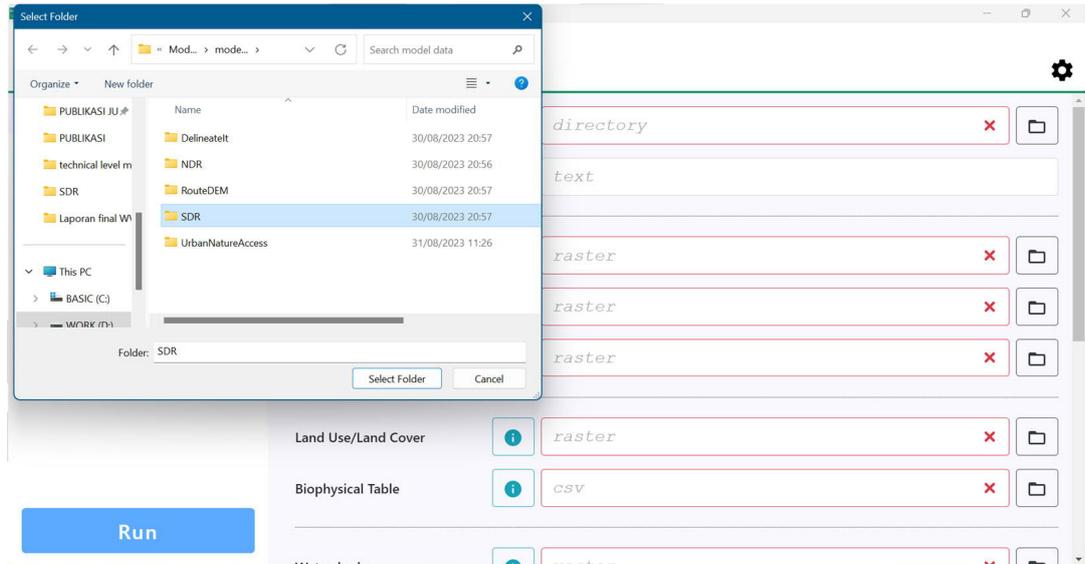


Running model

1. Buka InVEST, kemudian pilih Sediment Delivery Ratio



2. Tentukan lokasi penyimpanan pada menu “workspace”.



3. Jika ingin menambahkan nama akhiran untuk semua file output, dapat dituliskan pada menu “file suffix”.



4. Masukkan semua data yang dibutuhkan sesuai format data yang telah ditentukan.



5. Masukkan pula value/nilai sesuai kebutuhan atau menyesuaikan default nilai yang disarankan.

Threshold Flow Accumulation (number of pixels)	<input type="text" value="1000"/>
Borselli K Parameter	<input type="text" value="2"/>
Maximum SDR Value	<input type="text" value="0.8"/>
Borselli IC0 Parameter	<input type="text" value="0.5"/>
Maximum L Value	<input type="text" value="122"/>

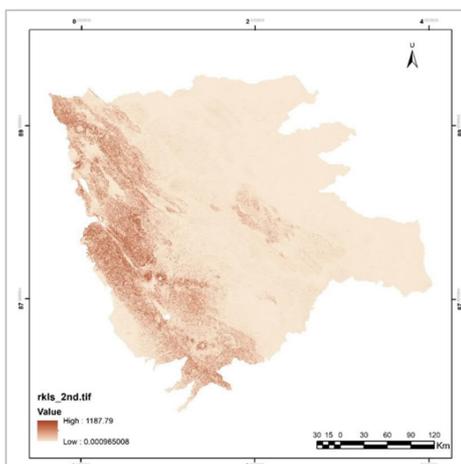
6. Klik menu “run” untuk menjalankan model.



Hasil

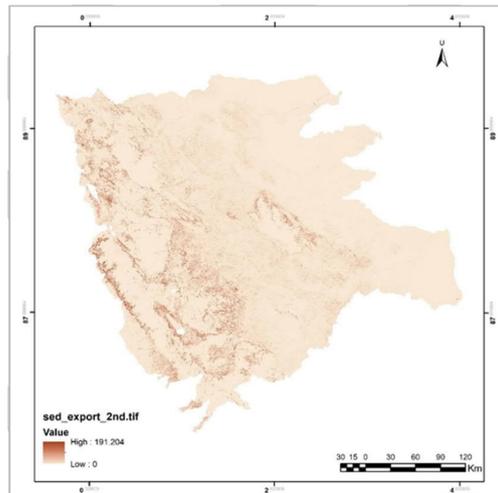
1. Peta rkls (raster)

Merupakan peta yang menyajikan potensi kehilangan tanah total pada tiap piksel. Satuan yang digunakan adalah ton/piksel/tahun. Peta ini dihasilkan dari persamaan RKLS yang menyesuaikan jenis penutup/penggunaan lahan. Persamaan RKLS merupakan persamaan USLE tanpa melibatkan faktor C dan P, sehingga hasilnya dapat diartikan dengan kehilangan tanah pada lahan gundul (bare soil). Dibawah ini merupakan peta rkls yang dihasilkan dari permodelan. Nilai tertinggi adalah 1187,79 sedangkan nilai terendah adalah 0,000965008. Semakin tinggi nilai menggambarkan potensi kehilangan tanah yang tinggi pula.



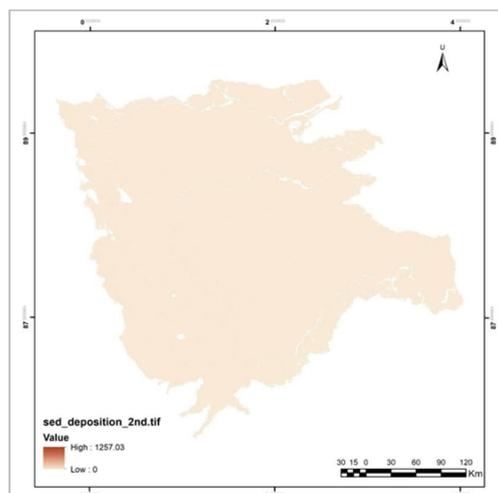
2. Peta sed_export (raster)

Merupakan peta yang menyajikan jumlah total sedimen yang diekspor dari setiap piksel yang mencapai aliran sungai (stream). Satuan yang digunakan yakni ton/piksel/tahun. Semakin tinggi nilai, maka total sedimen yang terekspor semakin tinggi. Total sedimen ekspor tertinggi dalam satu piksel pada peta dibawah ini adalah 191,204 sedangkan yang terendah adalah 0 yang berarti tidak ada ekspor sedimen.



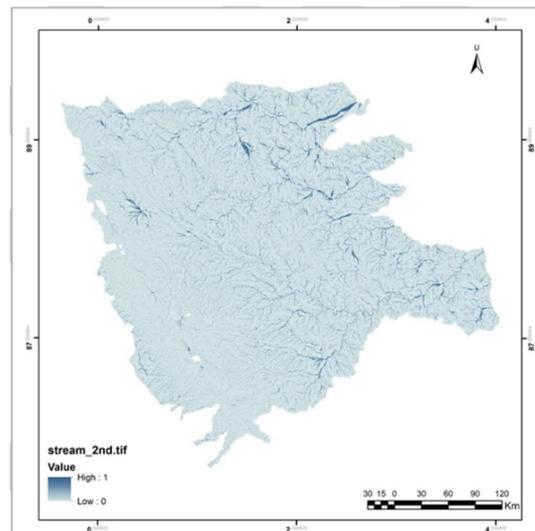
3. Peta sediment_deposition (raster)

Jumlah total sedimen yang diendapkan dari sumber lereng atas. Sedimen yang diendapkan merupakan sedimen yang terperangkap pada suatu wilayah. Satuan yang digunakan yakni ton/piksel/tahun. Semakin tinggi nilai, maka sedimen yang diendapkan akan semakin banyak. Total sedimen paling banyak yang diendapkan dalam satu piksel pada peta ini adalah 1257,03 sedangkan yang terendah adalah 0.



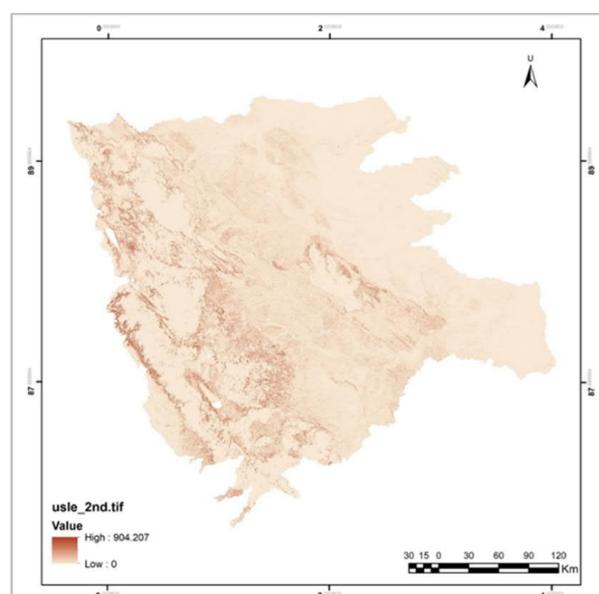
4. Peta stream (raster)

Merupakan peta aliran sungai yang berasal dari pengolahan data DEM yakni flow direction dan flow accumulation. Nilai 1 menggambarkan aliran sungai, sedangkan nilai 0 bukan aliran sungai.



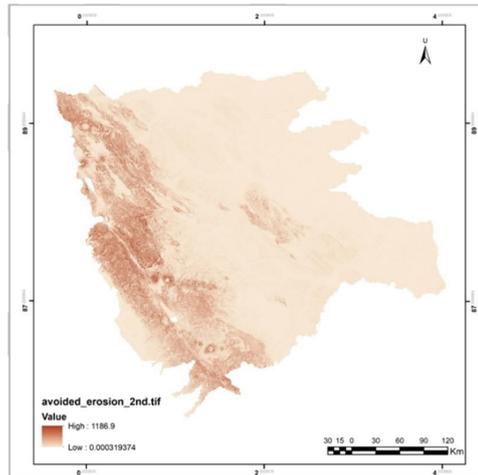
5. Peta usle (raster)

Merupakan peta yang menggambarkan total potensi kehilangan tanah pada tiap penutup/penggunaan lahan. Peta ini dihasilkan dari persamaan USLE. Semakin tinggi nilai, maka potensi kehilangan tanah akan semakin besar. Nilai tertinggi yang dihasilkan pada permodelan ini adalah 904,207 sedangkan yang terendah adalah 0.



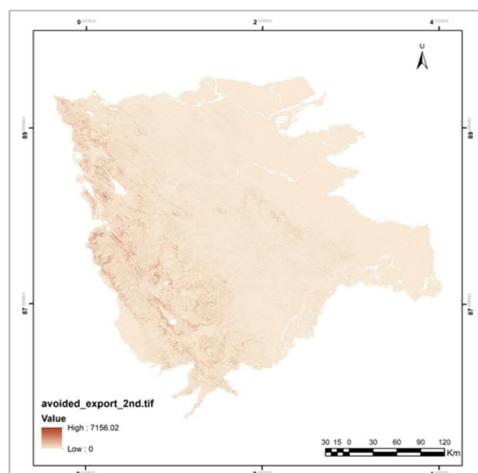
6. Peta **avoided_erosion** (raster)

Merupakan peta yang menggambarkan jumlah tanah yang terhindar dari erosi karena adanya vegetasi. Satuan yang digunakan yakni ton/piksel/tahun. Semakin tinggi nilai, maka jumlah tanah yang terhindar dari erosi semakin besar. Nilai terendah dalam permodelan ini adalah 0,000319374 sedangkan yang tertinggi adalah 1186,9.



7. Peta **avoided_export** (raster)

Merupakan peta yang menggambarkan jumlah tanah yang terhindar dari erosi ke aliran sungai karena adanya vegetasi. Peta ini merupakan hasil kombinasi antara retensi sedimen lokal/piksel dengan penangkapan erosi dari lereng atas suatu piksel. Satuan yang digunakan yakni ton/piksel/tahun. Semakin tinggi nilai, maka jumlah tanah yang terhindar dari erosi semakin besar. Nilai terendah dalam permodelan ini adalah 0 sedangkan yang tertinggi adalah 7156,02.



8. Watershed/DAS (shapefile)

Shapefile yang merangkum semua hasil permodelan SDR pada tiap DAS. Shapefile yang dihasilkan memuat tabel biofisik yang meliputi total sediment export, total sediment deposition, total USLE, total avoided erosion, dan total avoided export. Pada permodelan ini DAS yang digunakan hanya satu, sehingga tabel yang dihasilkan merupakan rangkuman dari seluruh cakupan wilayah. Berikut merupakan tabel biofisik pada atribut tabel.

watershed_results_sdr_2nd								
	FID	Shape	NAME	usle_tot	sed_export	sed_dep	avoid_exp	avoid_eros
▶	0	Polygon	897	39659449.984152	6175207.20089	31762168.851047	84522382.39439	761610072.031587

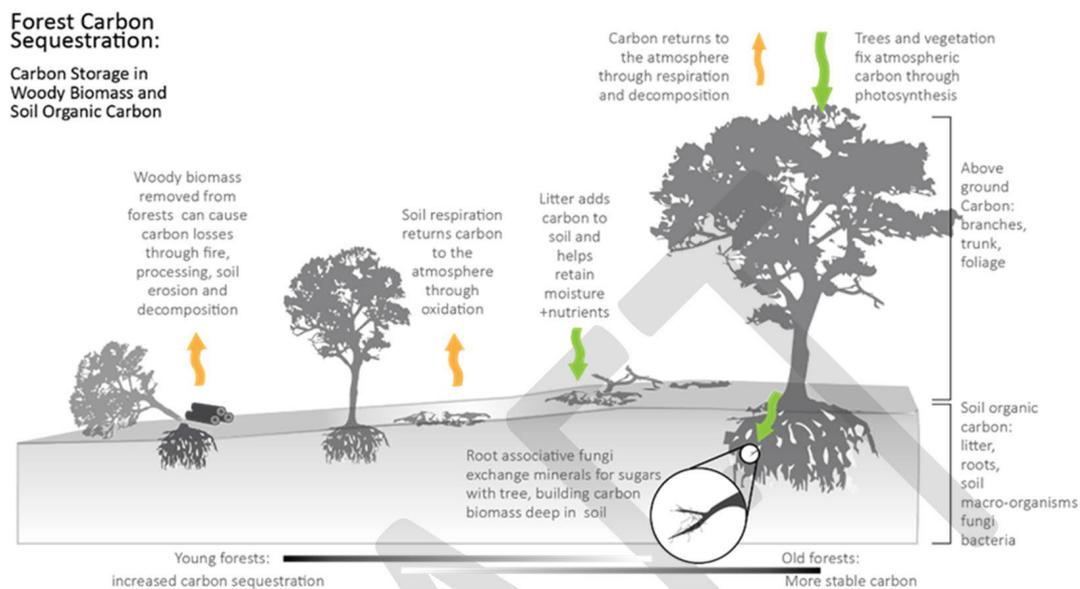
4.4 Module Carbon Storage and Sequestration

Pendahuluan

Ekosistem memiliki peran sebagai pengatur iklim yang juga berkaitan dengan penyimpanan dan penyerapan karbon. Karbon secara kolektif lebih banyak tersimpan pada ekosistem hutan, padang rumput, rawa gambut, atau ekosistem terrestrial lainnya dibandingkan atmosfer.

Namun, kebakaran, penebangan liar, dan konversi lahan bervegetasi (konversi penutup dan penggunaan lahan) dapat menyebabkan pelepasan karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer atau disebut juga emisi karbon. Hal tersebut dapat mempengaruhi siklus karbon hingga menyebabkan perubahan iklim global.

Sebaliknya, restorasi hutan merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan penyimpanan karbon serta mengurangi emisi karbon di atmosfer. Oleh sebab itu, pengelolaan jasa ekosistem penyimpanan dan penyerapan karbon sangat penting dalam pengaturan iklim.



Gambar 15. Ilustrasi Penyerapan dan Penyimpanan Karbon Hutan
Sumber: <https://bwsr.state.mn.us/carbon-sequestration-forests>

Upaya pengelolaan tersebut dapat dilakukan melalui inventarisasi nilai simpanan karbon pada suatu lanskap, identifikasi serapan atau hilangnya karbon dari waktu ke waktu, serta analisis pengaruh perubahan penutup/penggunaan lahan terhadap simpanan atau serapan karbon. Model *Carbon Storage and Sequestration* (Penyimpanan dan Penyerapan karbon) memperkirakan nilai karbon yang tersimpan pada biomassa atas permukaan (*Above Ground Biomass/AGB*), biomassa bawah permukaan (*Below Ground Biomass/BGB*), biomassa serasah (*Leaf Litter*), dan biomassa tanah (*Soil Biomass*) berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya. Model ini juga dapat mengestimasi jumlah karbon yang tersimpan saat ini serta penyerapan karbon (penyekuesterasian) dari waktu ke waktu.

Tujuan

Pada modul praktek ini, peserta akan memiliki pengetahuan untuk:

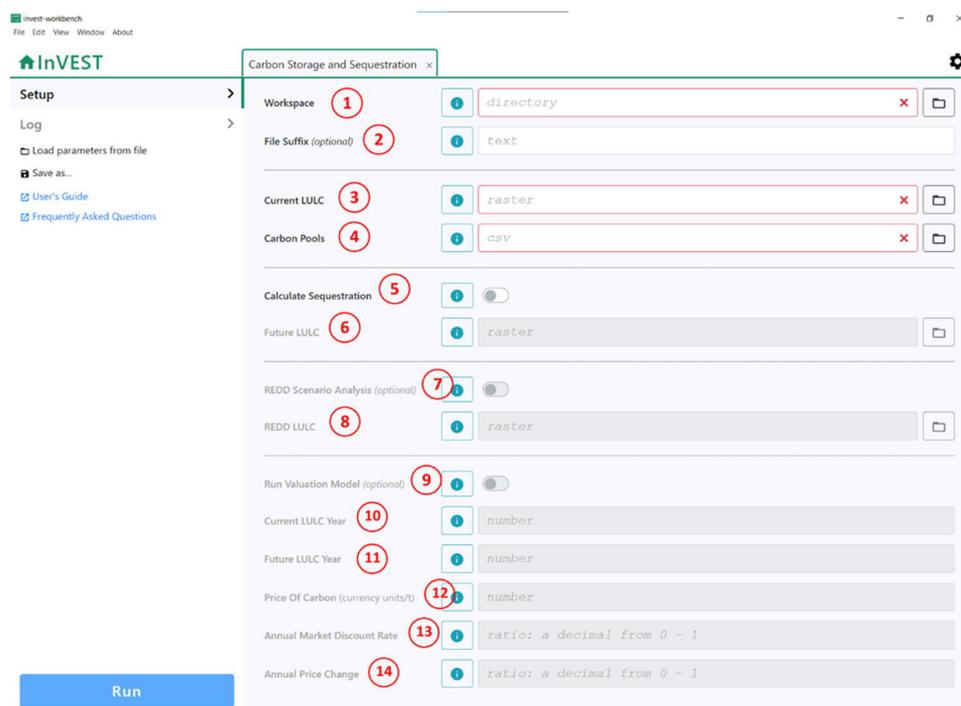
1. Melakukan estimasi simpanan karbon pada suatu wilayah berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya.

Data yang dibutuhkan, antara lain:

1. Peta penutup dan penggunaan lahan (raster)
2. Tabel biofisik data sumber karbon (*carbon pool*) untuk setiap jenis penutup dan penggunaan lahan (csv)

Pengenalan InVEST untuk Pemodelan Carbon Storage and Sequestration

Berikut merupakan tampilan InVEST untuk pemodelan Carbon Storage and Sequestration:



Keterangan:

1. **Workspace:** folder/lokasi untuk menyimpan file hasil permodelan
2. **File suffix:** akhiran yang akan ditambahkan ke semua nama file hasil permodelan
3. **Current LULC (raster):** peta penutup dan penggunaan lahan di masa saat ini
4. **Carbon pools (csv):** data sumber karbon berformat tabel (csv)

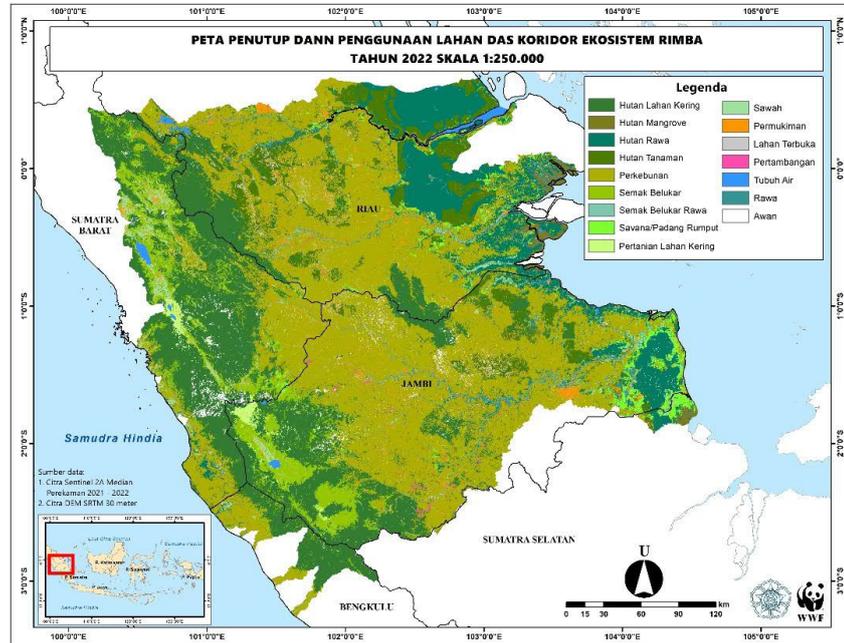
5. **Calculate Sequestration:** untuk menghitung penyerapan karbon (penyekuesterasian)
6. **Future LULC (raster):** peta penutup dan penggunaan lahan di masa mendatang
7. **REDD Scenario Analysis:** untuk menjalankan analisis berdasarkan scenario kebijakan REDD (*Reducing Emissions Deforestation and Forest Degradation*)
8. **REDD LULC (raster):** peta penutup dan penggunaan lahan di masa mendatang berdasarkan kebijakan REDD
9. **Run Valuation Model:** untuk menghitung nilai bersih berdasarkan skenario masa mendatang dan skenario REDD
10. **Current LULC Year:** tahun dari peta penutup/penggunaan lahan saat ini
11. **Future LULC Year:** tahun dari peta penutup/penggunaan lahan di masa mendatang
12. **Price of Carbon:** nilai harga karbon
13. **Annual Market Discount Rate:** nilai preferensi masyarakat terhadap nilai manfaat di masa ini dibandingkan dengan manfaat di masa mendatang
14. **Annual Price Change:** nilai kenaikan tahunan relatif dari harga karbon di masa mendatang

Perhitungan nilai simpanan karbon, perhitungan penyerapan karbon berdasarkan prediksi penutup/penggunaan lahan di masa mendatang maupun berdasarkan skenario REDD, serta analisis nilai bersih karbon dapat dilakukan pada pemodelan ini.

Namun, perhitungan penyerapan karbon serta analisis nilai bersih karbon bersifat opsional bila data yang diperlukan tersedia. Pada contoh praktek kali ini, pemodelan hanya akan dilakukan untuk mengetahui nilai simpanan karbon di suatu wilayah.

Persiapan Data

1. Persiapan data raster Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai Koridor Ekosistem RIMBA Skala 1:250.000.



2. Pengumpulan jurnal atau literatur sebagai bahan referensi untuk mengetahui nilai karbon pada setiap jenis penutup dan penggunaan lahan, sesuai dengan skema klasifikasi yang digunakan. Beberapa contoh literatur, diantaranya dokumen *Forest Reference Emission Level/Forest Reference Level* atau FREL/FRL (2022), Uryu et al. (2008), dan Bhagabati et al. (2012).

Nilai karbon yang digunakan merupakan nilai rata-rata dari literatur-literatur tersebut. Sebagai catatan pada contoh pemodelan ini, nilai karbon tanah tidak dipertimbangkan karena minimnya literatur data karbon tanah yang tersedia. Nilai karbon tanah dapat dimasukkan untuk meningkatkan akurasi estimasi simpanan karbon, bila tersedia.

3. Memastikan tabel data sumber karbon berformat csv dan disajikan seperti contoh di bawah ini:

lucode	LULC_Name	C_above	C_below	C_soil	C_dead
0	nodata	0	0	0	0
1	Hutan Lahan Kering	160.138	25.6906	0	2
2	Hutan Mangrove	110.9999	19.097	0	1
3	Hutan Rawa	167.1461	20.384	0	2
4	Hutan Tanaman	73.95	27.26	0	2
5	Perkebunan	50.29	12.07	0	1
6	Semak Belukar	20.68	8.46	0	1
7	Semak Belukar Rawa	18.95	14.1	0	1
8	Savanna/Padang Rumput	6.11	1.41	0	0
9	Pertanian Lahan Kering	13.16	3.16	0	1
10	Sawah	4.35	0.94	0	1
11	Permukiman	0	0	0	0
12	Lahan Terbuka	0	0	0	0
13	Pertambangan	0	0	0	0
14	Tubuh Air	0	0	0	0
15	Rawa	0	0	0	0
16	Awan	0	0	0	0

Keterangan:

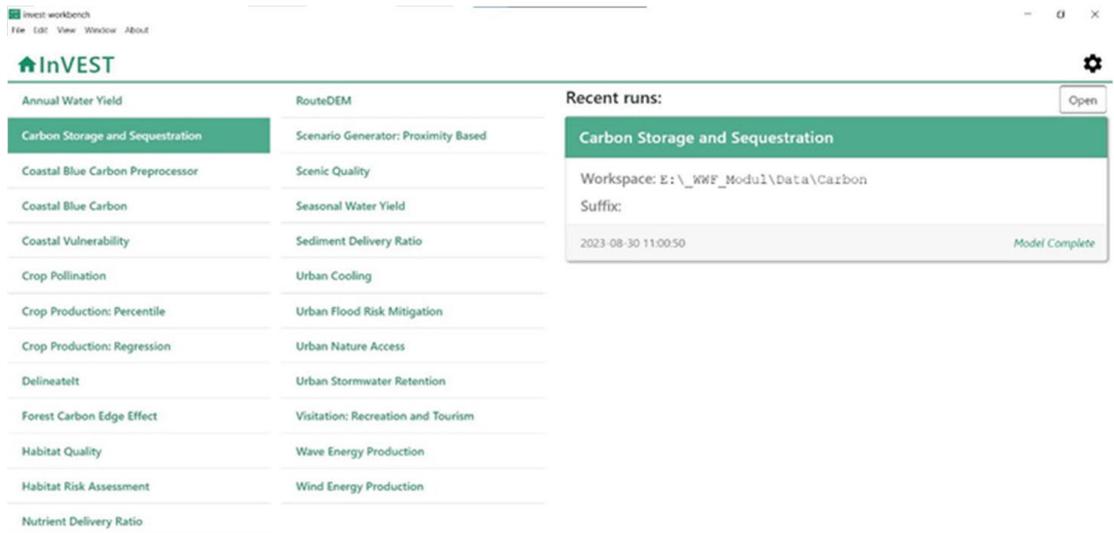
- lucode = kode kelas penutup/penggunaan lahan, harus berupa integer
- LULC_Name = nama kelas penutup/penggunaan lahan sesuai skema klasifikasi yang digunakan
- C_above = karbon dari biomassa atas permukaan
- C_below = karbon dari biomassa bawah permukaan
- C_soil = karbon tanah
- C_dead = karbon dari vegetasi yang telah mati atau serasah

Catatan: Satuan nilai karbon dapat berupa ton/hektar

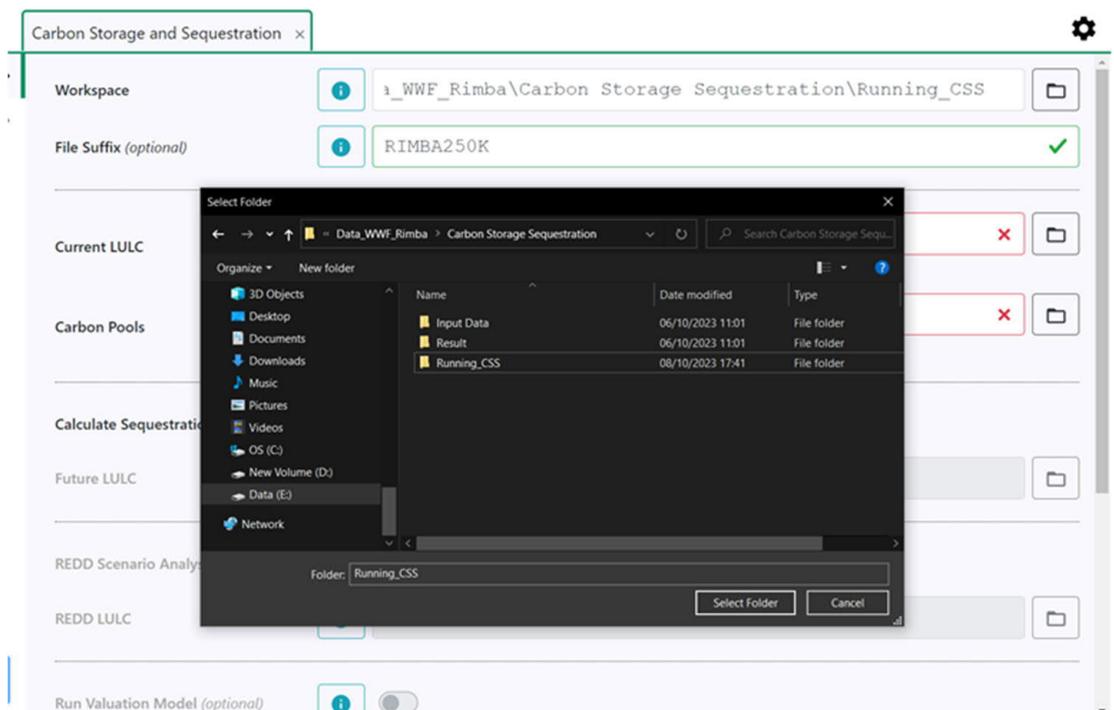
Running Model

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan:

1. Buka aplikasi InVEST lalu pilih sub-bagian **Carbon Storage and Sequestration**.



2. Tentukan folder/lokasi untuk menyimpan file hasil permodelan pada bagian *workspace*. Lalu tentukan nama akhiran file yang akan ditambahkan ke semua file hasil permodelan.



3. Masukkan data-data utama yang dibutuhkan, yakni Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai Koridor Ekosistem RIMBA Tahun 2022 (Current LULC) serta tabel biofisik sumber karbon (Carbon Pools).



4. Bila ingin menjalankan analisis perhitungan penyerapan karbon, maka dapat mengaktifkan perhitungan penyerapan karbon (Carbon Sequestration). Setelah diaktifkan, bagian untuk meng-*input* peta penutup dan penggunaan lahan prediksi masa mendatang akan aktif. Namun, bila analisis ini tidak ingin dijalankan dapat dinonaktifkan.



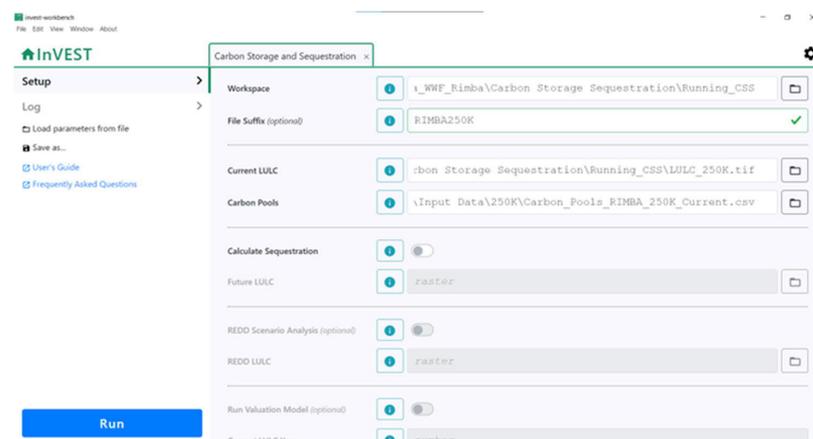
(Fungsi *Calculate Sequestration* ketika diaktifkan)



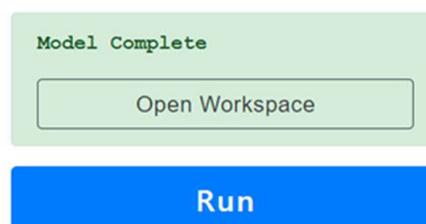
(Fungsi *Calculate Sequestration* ketika dinonaktifkan)

Pada praktek kali ini, perhitungan penyerapan karbon tidak dilakukan melainkan hanya melakukan estimasi nilai simpanan karbon.

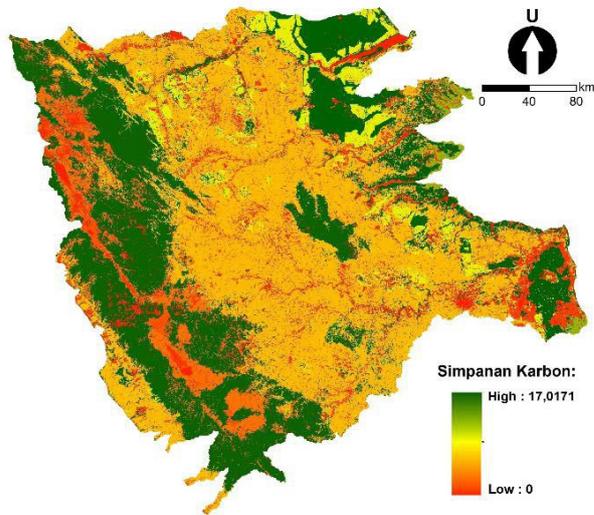
5. Klik tombol **Run** dan pemodelan akan dijalankan untuk mengestimasi nilai simpanan karbon



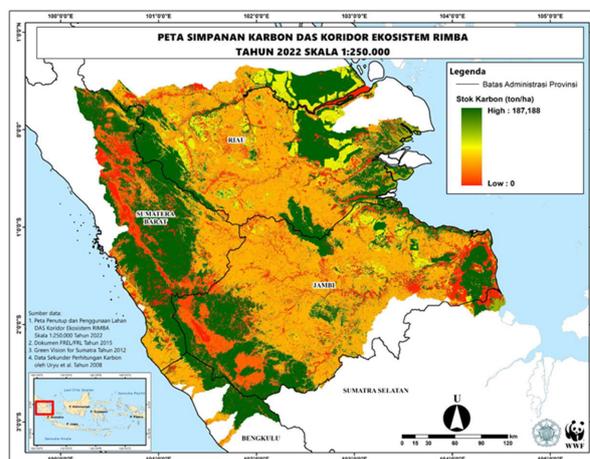
6. Hasil analisis dapat dilihat pada folder *workspace*.



Berikut ini merupakan hasil pemodelan yang telah di lakukan:



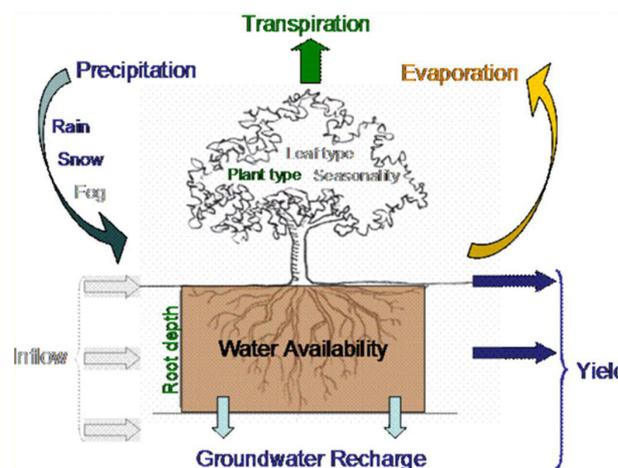
Data raster **tot_c_cur_[Suffix].tif** menunjukkan nilai karbon yang tersimpan di setiap piksel berdasarkan penutup dan penggunaan lahan saat ini. Nilai simpanan karbon tersebut merupakan jumlah dari seluruh sumber karbon yang terdapat pada tabel biofisik. Satuan nilai simpanan karbon ialah metrik ton per piksel (ton/piksel). Semakin tinggi nilainya menunjukkan semakin besar nilai karbon yang tersimpan oleh vegetasi pada piksel tersebut, begitupun sebaliknya. Pada gambar di atas, nilai tertinggi adalah 17,0171 yang artinya nilai simpanan karbon tertinggi pada satu piksel dapat mencapai 17,0171 ton. Secara matematis, satuan ton per piksel (ton/piksel) dapat dikonversi menjadi ton per hektar (ton/ha) yang tetap mewakili satu piksel seluas a x a meter persegi (30 meter x 30 meter untuk hasil pemodelan ini). Maka hasil akhir pemodelan dapat disajikan sebagai berikut:



4.5. Module Annual Water Yield

Jasa ekosistem penyediaan air bersih memberikan berbagai manfaat bagi kesejahteraan masyarakat, salah satunya adalah produksi pembangkit listrik tenaga air. Pemodelan Annual Water Yield (Simpanan Air Tahunan) dirancang untuk memperhitungkan variabilitas volume air tahunan dengan mempertimbangkan volume air pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Model ini sangat bergantung pada penutup dan penggunaan lahan sehingga rentan terhadap terjadinya alih fungsi lahan. Hal ini dikarenakan perubahan penutup/penggunaan lahan (*Land Use Land Cover/LULC*) dapat menyebabkan perubahan siklus hidrologi, mempengaruhi pola evaporasi, infiltrasi, dan retensi air, serta dapat mengubah waktu dan volume air yang tersedia untuk produksi pembangkit listrik tenaga air.

Model Annual Water Yield (AWY) memetakan dan memodelkan simpanan air rata-rata tahunan dari suatu lanskap berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya. Simpanan air rata-rata tahunan yang dimaksud adalah selisih antara nilai curah hujan dan evapotranspirasi pada setiap piksel. Model ini tidak membedakan kondisi aliran permukaan, baik aliran atas permukaan (*surface*), bawah permukaan (*subsurface*), dan aliran dasar (*baseflow*), tetapi mengasumsikan bahwa seluruh simpanan air dari suatu piksel melalui salah satu aliran tersebut. Pemodelan ini dikembangkan pada skala DAS hingga sub-DAS.



Gambar 16. Diagram konseptual dari metode neraca air sederhana yang digunakan dalam model simpanan air tahunan, yang mana aspek-aspek nerca air yang berwarna dimasukkan dalam pemodelan sedangkan aspek-aspek berwarna abu-abu tidak dimasukkan.
Sumber: http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/annual_water_yield.html

Selain simpanan rata-rata tahunan, pemodelan AWY dapat dilakukan untuk menghitung proporsi air permukaan yang tersedia untuk produksi pembangkit listrik tenaga air, dengan mengurangi konsumsi air permukaan untuk penggunaan lain. Energi yang dihasilkan oleh air yang mencapai reservoir pembangkit tenaga air dapat pula diperkirakan. Analisis konsumsi air serta analisis produksi pembangkit listrik tenaga air dan penilaian menjadi analisis opsional yang dapat dilakukan bila data yang diperlukan tersedia.

Tujuan

Pada modul praktek ini, peserta akan memiliki pengetahuan untuk:

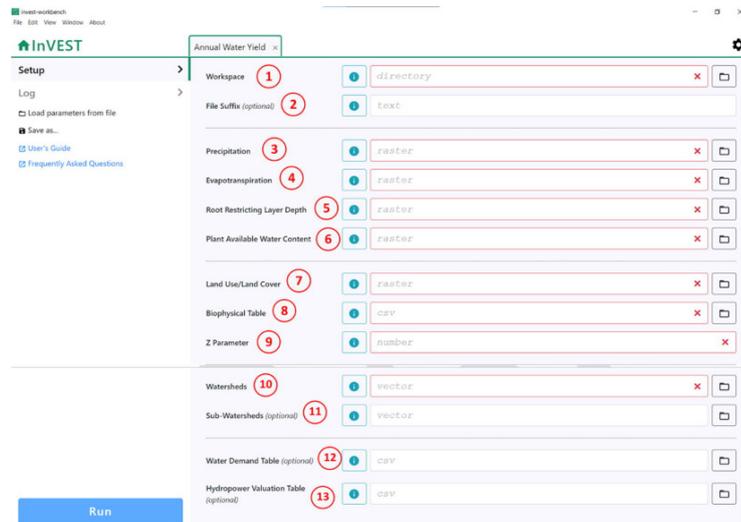
1. Memperkirakan simpanan air rata-rata tahunan pada suatu lanskap berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya.

Alat dan Bahan

Data yang dibutuhkan, antara lain:

1. Peta Penutup dan Penggunaan Lahan (raster)
2. Peta Curah Hujan Tahunan Rata-Rata (raster)
3. Peta Evapotranspirasi (raster)
4. Peta Kandungan Air yang Tersedia untuk Tanaman (Plant Available Water Content) (raster)
5. Peta Kedalaman Perakaran (Root Restricting Layer Depth) (raster)
6. Tabel Biofisik (csv)
7. Z Parameter (1-30) (value)
8. Batas DAS (shapefile)
9. Bata Sub-Das (optional, shapefile)
10. Tabel Kebutuhan Air (optional, csv)
11. Tabel Penilaian Pembangkit Listrik Tenaga Air (optional, csv)

Pengenalan InVEST untuk Pemodelan Annual Water Yield

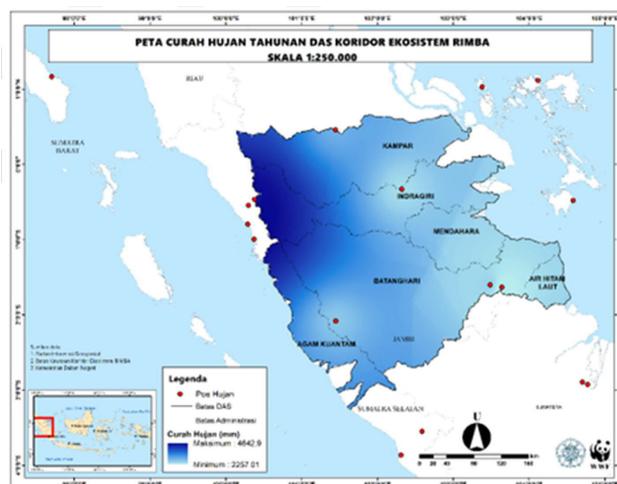


Keterangan:

1. **Workspace:** folder/lokasi untuk menyimpan file hasil permodelan
2. **File suffix:** akhiran yang akan ditambahkan ke semua nama file hasil permodelan
3. **Precipitation:** data raster curah hujan tahunan rata-rata
4. **Evapotranspiration:** data raster evapotranspirasi
5. **Root Restricting Layer Depth:** data raster kedalaman perakaran
6. **Plant Available Water Content:** data raster kandungan Air yang tersedia untuk tanaman
7. **Land Use/Land Cover:** peta penutup dan penggunaan lahan
8. **Biophysical Table:** tabel parameter biofisik untuk setiap kelas penutup dan penggunaan lahan
9. **Z Parameter:** faktor musim hujan yang mewakili karakteristik hidrogeologi dan distribusi musiman curah hujan
10. **Watersheds:** shapefile Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai unit analisis
11. **Sub-watershed (optional):** shapefile sub-DAS sebagai unit analisis
12. **Water Demand Table (optional):** tabel kebutuhan air
13. **Hydropower Valuation Table (optional):** tabel penilaian pembangkit listrik tenaga air

Persiapan Data

1. Pembuatan Peta Penutup dan Penggunaan Lahan menggunakan skema klasifikasi yang disesuaikan dengan metode klasifikasi (digital atau interpretasi visual) serta skala *output* peta. Pada praktek kali ini, pemodelan Annual Water Yield akan dilakukan di Daerah Aliran Sungai Koridor Ekosistem RIMBA berdasarkan Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Skala 1:250.000 sebagai berikut:
2. Pembuatan Peta Curah Hujan Rata-Rata Tahunan menggunakan data curah hujan yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data tersebut dapat diunduh melalui laman <https://dataonline.bmkg.go.id/home>. Pada praktek kali ini, sumber data yang digunakan merupakan data curah hujan harian dalam 12 bulan selama kurun waktu 8 tahun (2014–2021) pada masing-masing stasiun yang meliputi DAS Koridor Ekosistem RIMBA dan sekitarnya (19 stasiun hujan). Pengolahan data tersebut hingga menjadi Peta Curah Hujan Rata-Rata Tahunan melalui proses sebagai berikut:
 - a. Pengisian data yang hilang menggunakan metode *Inverse Square Distance*.
 - b. Perhitungan data hujan tahunan rata-rata pada masing-masing stasiun.
 - c. Pembuatan Peta Curah Hujan Tahunan dengan metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW).



Sumber: Pengolahan Data 2022

3. Pembuatan Peta Evapotranspirasi dengan menghitung nilai evapotranspirasi potensial atau *potential evaporation* (PET) menggunakan persamaan Thornthwaite-Matter.

$$E_p = 1.6b \left(\frac{10t}{I} \right)^a \cdot \left(\frac{s.Tz}{30 \cdot 12} \right)$$

Keterangan:

E_p : evapotranspirasi potensial

b : lama penyinaran matahari

t : suhu rerata bulanan

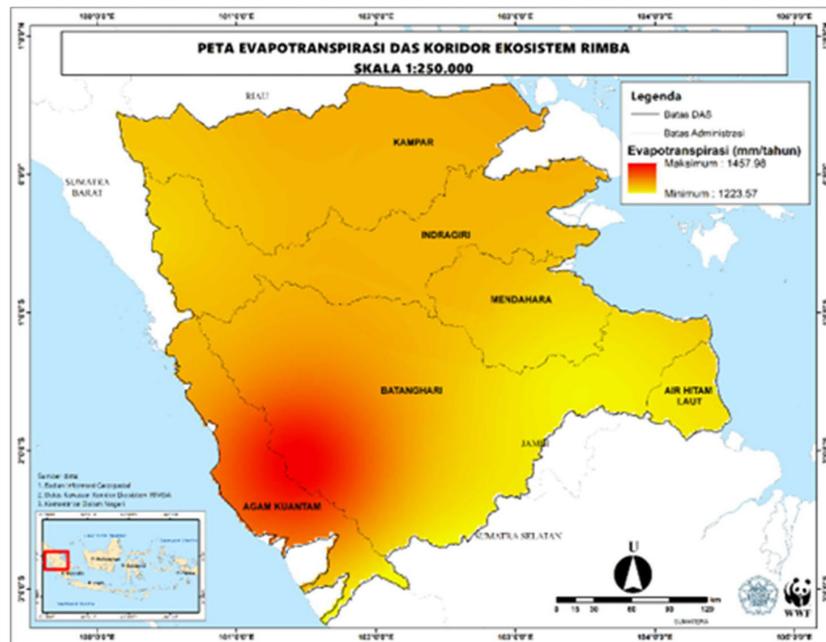
I : indeks panas tahunan (annual heat index)

a : $(675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2) + (1792 \cdot 10^{-5} \cdot I) + 0,49239$

$s.Tz / 30 \cdot 12$: faktor koreksi terhadap lintang

Data suhu diperoleh dari data online BMKG melalui laman <https://dataonline.bmkg.go.id/home>. Data suhu yang digunakan merupakan data temperatur rata-rata harian selama 8 tahun (2014–2021) pada 19 stasiun hujan di DAS Koridor Ekosistem RIMBA dan sekitarnya. Pengolahan data tersebut hingga menjadi Peta Evapotranspirasi melalui proses sebagai berikut:

- a. Perhitungan data suhu rata-rata harian menjadi suhu rata-rata bulanan, dengan asumsi 1 bulan terdiri dari 30 hari.
- b. Perhitungan evapotranspirasi bulanan menggunakan metode Thornthwaite-Matter, yang membutuhkan data suhu rata-rata bulanan, data indeks panas tahunan, serta lama penyinaran matahari yang diasumsikan selama 12 jam sehari.
- c. Perhitungan rata-rata evapotranspirasi dalam satu tahun.
- d. Perhitungan total nilai evapotranspirasi tahunan dalam rentang tahun 2014 hingga 2018 pada setiap stasiun hujan.
- e. Pembuatan Peta Evapotranspirasi Tahunan menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW).

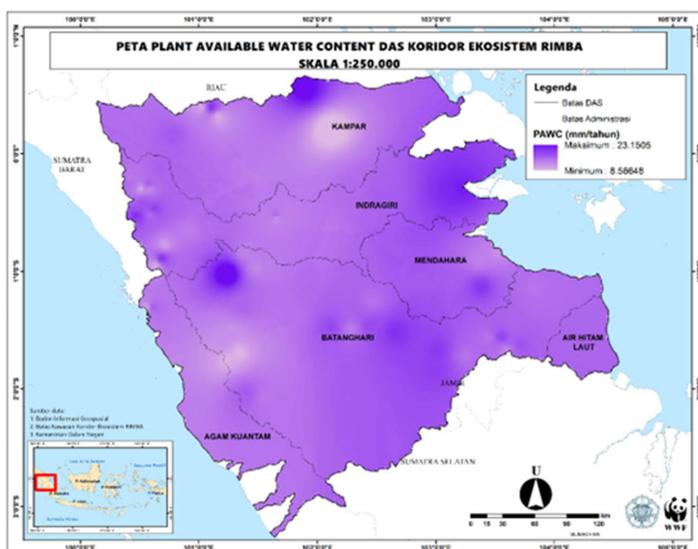


Sumber: Pengolahan Data 2022

4. Pembuatan Peta *Plant Available Water Content* (PAWC) atau Peta Kandungan Air yang Tersedia untuk Tanaman berdasarkan hasil perhitungan tekstur tanah. Nilai PAWC merupakan nilai yang mendefinisikan perbedaan antara fraksi kapasitas lapang volumetrik dan titik layu permanen. PAWC juga dapat dipahami sebagai fraksi air yang dapat disimpan dalam profil tanah yang tersedia bagi tanaman.

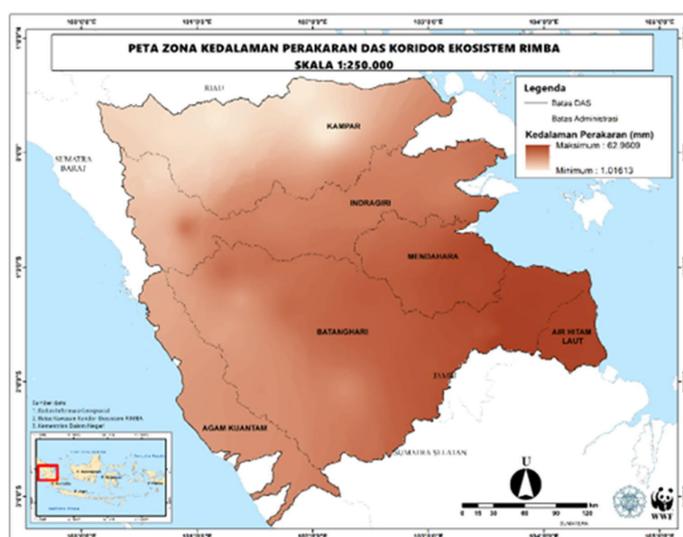
Nilai PAWC ditentukan dengan meninjau rata-rata tekstur tanah (% pasir, % lempung, dan % lanau). Berdasarkan hasil survei lapangan pada sebanyak 63 titik sampel tanah di DAS Koridor Ekosistem RIMBA, persentase *clay*, *silt*, *sand*, dan *organic matter* yang terkandung dalam tekstur tanah adalah 0.99 – 21.15 %.

Penentuan nilai PAWC dapat dilakukan menggunakan bantuan aplikasi Soil Water Characteristic yang dikembangkan oleh USDA Agricultural Research Services. Nilai PAWC di setiap titik kemudian diinterpolasi sehingga menghasilkan Peta *Plant Available Water Content* (PAWC).



Sumber: Pengolahan Data 2022

5. Pembuatan Peta Root Restricting Layer Depth atau Peta Kedalaman Perakaran yang dapat menunjukkan kedalaman tanah dimana penetrasi akar sangat terhambat karena sifat fisik atau kimia tanah. Peta tersebut dapat dibuat berdasarkan data hasil survei lapangan jenis tanah, dimana pengukuran kedalaman akar dilakukan pada tanaman yang mendominasi lokasi sampling. Selanjutnya nilai kedalaman perakaran masing-masing titik sampel diinterpolasi menggunakan metode IDW.



Sumber: Pengolahan Data 2022

6. Pengisian Tabel Biofisik berdasarkan kelas klasifikasi penutup dan penggunaan lahan yang digunakan. Tabel tersebut berisikan kode kelas penutup/penggunaan lahan, nilai kedalaman perakaran (*root depth*), serta nilai koefisien tanaman (*Kc*). Pastikan tabel biofisik berformat csv. Tabel biofisik untuk pemodelan Annual Water Yield dapat disajikan seperti contoh di bawah ini:

LULC	lucode	root_depth	Kc	LULC_veg
Hutan Lahan Kering	1	7000	0.15	1
Hutan Mangrove	2	5000	0.6	0
Hutan Rawa	3	5500	0.6	0
Hutan Tanaman	4	7000	0.15	1
Perkebunan Sawit	5	7000	0.95	1
Perkebunan Karet	6	5000	0.95	1
Perkebunan Campuran	7	5000	0.95	1
Semak Belukar	8	7000	0.8	1
Semak Belukar Rawa	9	5100	0.9	0
Rumput	10	200	0.8	1
Pertanian Lahan Kering	11	2600	0.7	1
Pertanian Lahan Basah	12	2100	1.05	0
Permukiman	13	200	0	0
Lahan Terbuka	14	100	0	0
Pertambangan	15	0	0	0
Tubuh Air	16	0	1.05	0
Rawa	17	0	1	0
Awan	18	0	0	0

Keterangan:

- **LULC** = nama kelas penutup/penggunaan lahan sesuai skema klasifikasi yang digunakan
- **lucode** = kode kelas penutup/penggunaan lahan, harus berupa integer
- **root_depth** = kedalaman akar maksimum untuk tanaman sesuai dengan kelas penutup dan penggunaan lahan yang bervegetasi.
- **Kc** = koefisien tanaman sesuai dengan penutup dan penggunaan lahannya.
- **LULC_veg** = kode yang menunjukkan kelas LULC bervegetasi. Angka 1 untuk kelas LULC bervegetasi kecuali lahan basah (wetlands) dan 0 untuk kelas lain, seperti area permukiman, badan air, dan juga termasuk lahan basah.

Nilai kedalaman perakaran dapat diisikan berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, sementara nilai Kc pada masing-masing kelas penutup dan penggunaan lahan dapat bersumber dari literatur atau penelitian sebelumnya. Pada praktek ini, nilai Kc diperoleh dari Bhagabati *et al.* (2012) dan publikasi FAO berjudul *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements* (Allen, et al., 1998).

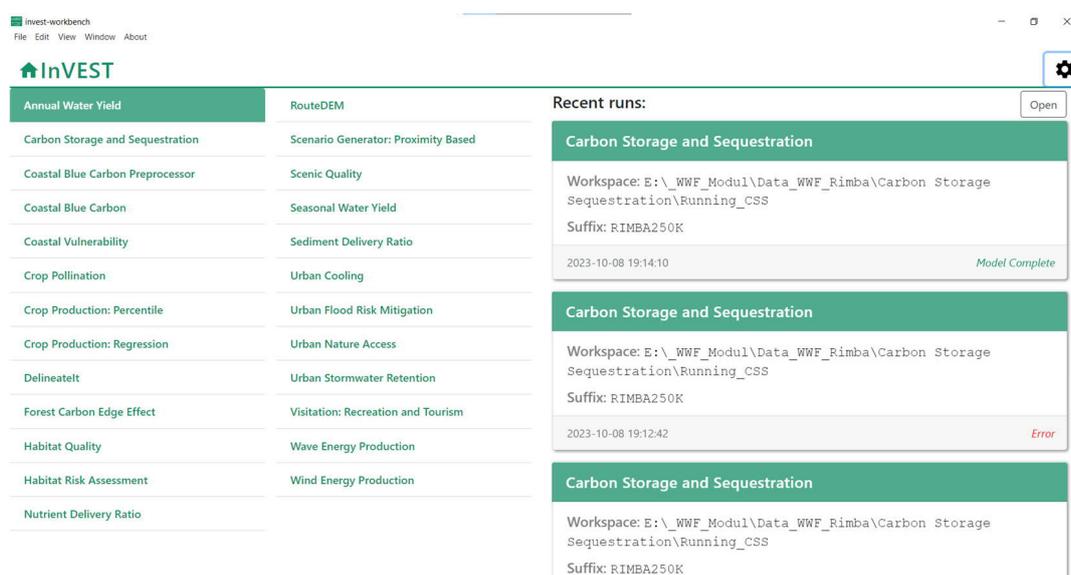
7. Penentuan nilai parameter Z sebagai faktor musim hujan yang mewakili karakteristik hidrogeologi dan distribusi musiman curah hujan. Nilai parameter Z memiliki rentang nilai 1 – 30. Adapun nilai parameter Z yang digunakan pada praktek ini adalah 14.

8. Persiapan *shapefile* Daerah Aliran Sungai (DAS) atau sub-DAS, yang akan digunakan sebagai unit analisis pada pemodelan Annual Water Yield.

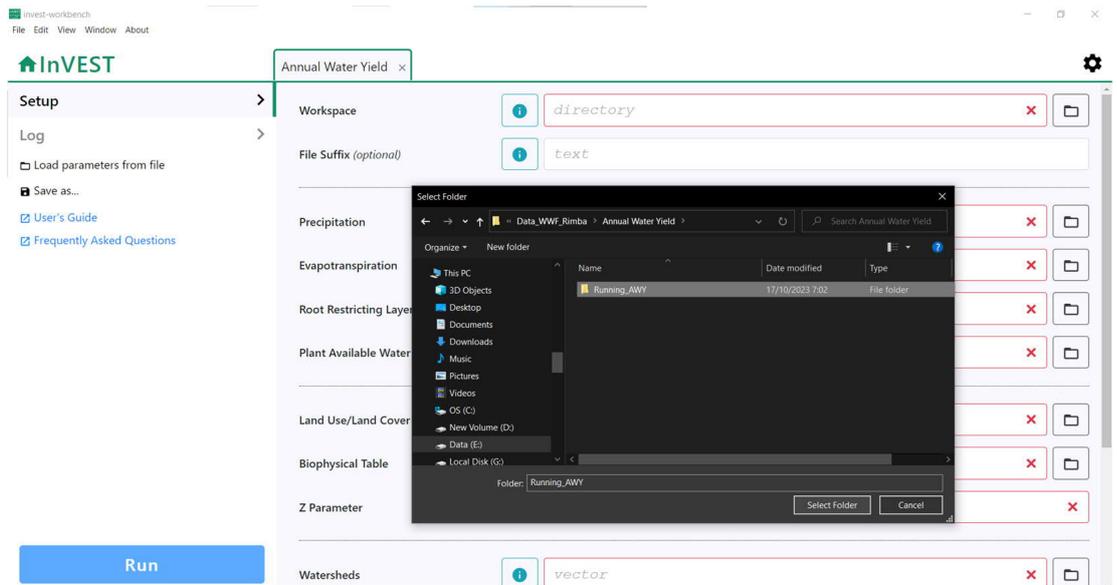
Running Model

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan:

1. Buka aplikasi InVEST lalu pilih sub-bagian **Annual Water Yield**



2. Tentukan folder/lokasi untuk menyimpan file hasil permodelan pada bagian *workspace*. Lalu tentukan nama akhiran file yang akan ditambahkan ke semua file hasil permodelan.



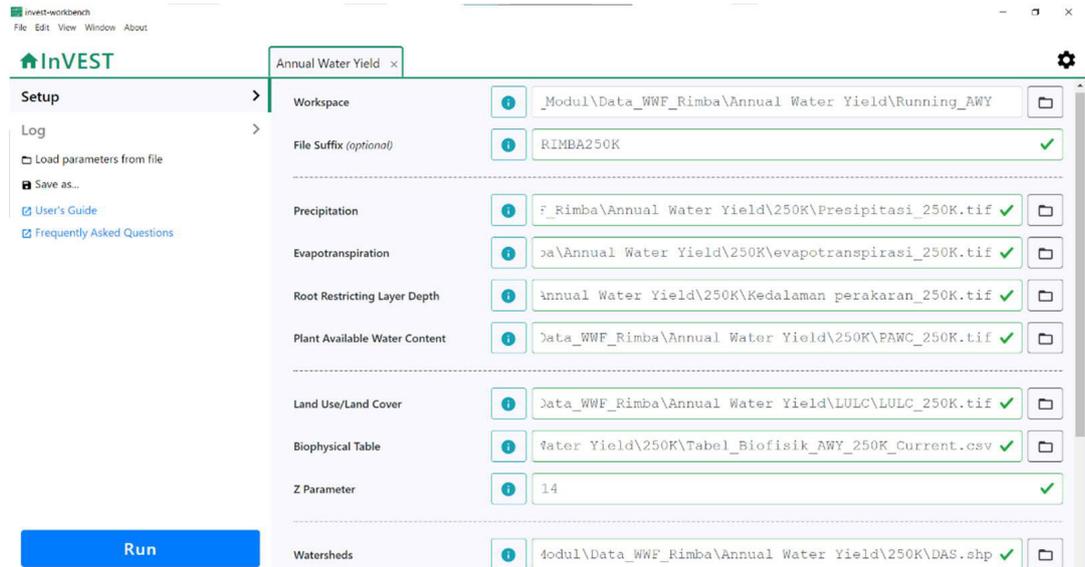
3. Masukkan data-data utama yang dibutuhkan untuk memodelkan simpanan air rata-rata tahunan, yakni Peta Penutup dan Penggunaan Lahan, Peta Curah Hujan Rata-Rata Tahunan, Peta Evapotranspirasi, Peta Kandungan Air yang Tersedia untuk Tanaman (Plant Available Water Content), Peta Kedalaman Perakaran (Root Restricting Layer Depth), Tabel Biofisik, serta data batas DAS Koridor Ekosistem RIMBA. Pastikan seluruh data/peta memiliki sistem koordinat yang sama.



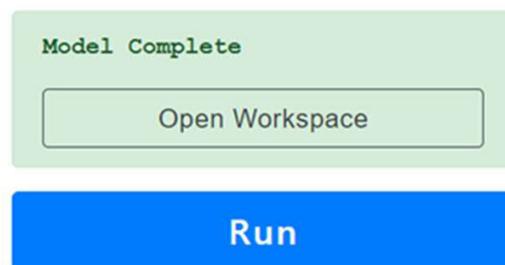
- Masukkan nilai Z parameter sebesar 14



- Klik tombol **Run** dan pemodelan akan dijalankan untuk memodelkan simpanan air rata-rata tahunan



- Hasil analisis dapat dilihat pada folder *workspace*.

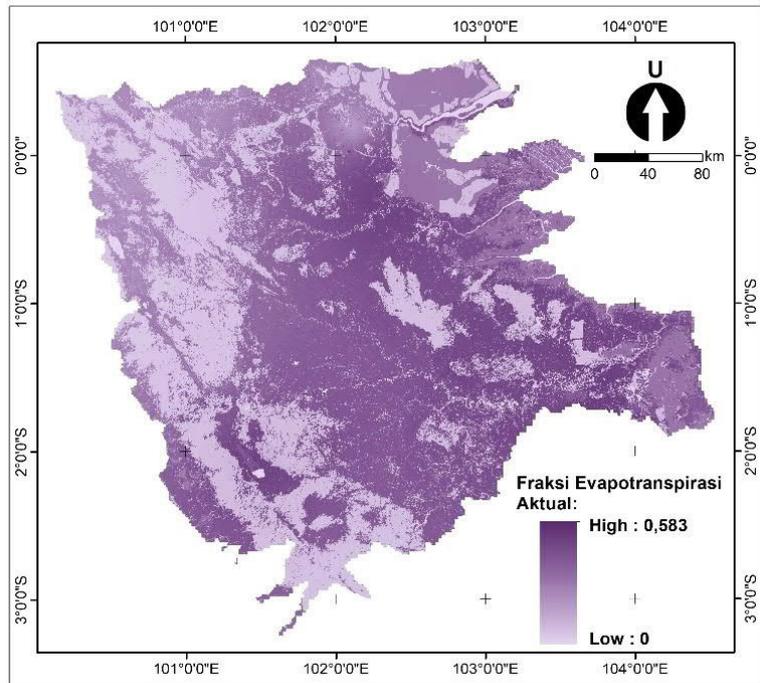


Hasil

Pemodelan Annual Water Yield menghasilkan beberapa luaran (output), diantaranya:

- Data Raster Fraksi Estimasi Evapotranspirasi Aktual

Data Raster Fraksi Estimasi Evapotranspirasi Aktual menunjukkan nilai estimasi aktual terhadap presipitasi per piksel atau merupakan perbandingan antara evapotranspirasi aktual dan presipitasi (evapotranspirasi aktual/presipitasi). Satuannya adalah fraksi, dimana semakin besar nilainya berarti semakin besar fraksi rata-rata presipitasi menguap pada tingkat piksel.

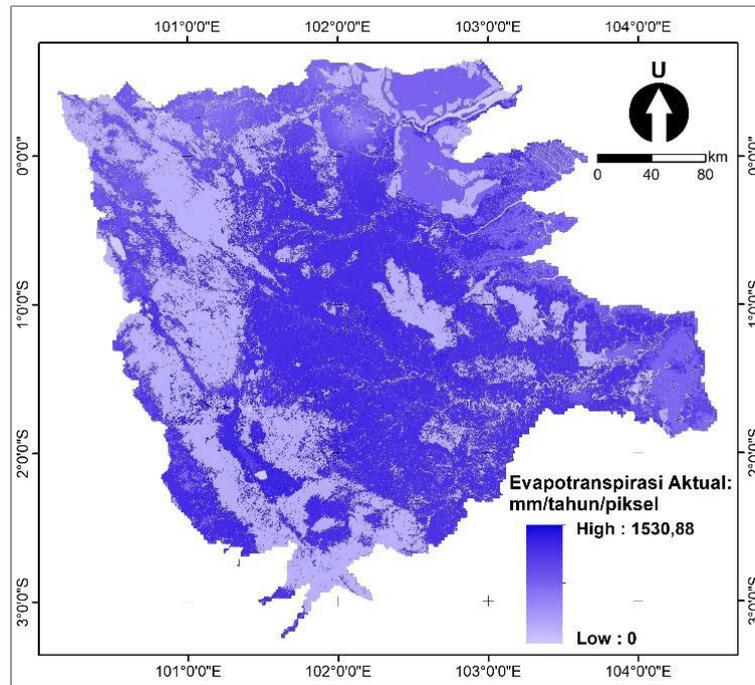


Gambar: Peta Fraksi Estimasi Evapotranspirasi Aktual
 Sumber: Pengolahan Data 2023

2. Data Raster Estimasi Evapotranspirasi Aktual

Data Raster Estimasi Evapotranspirasi Aktual menunjukkan nilai evapotranspirasi aktual pada setiap piksel. Evapotranspirasi adalah proses penguapan air dari suatu tutupan lahan menuju atmosfer, baik berupa proses evaporasi (penguapan yang berasal dari berbagai sumber seperti permukaan tanah, atap bangunan, dan lain sebagainya) maupun transpirasi (penguapan air yang berasal dari tumbuhan).

Evapotranspirasi aktual (Eta) merupakan jumlah kehilangan air sesungguhnya akibat proses evapotranspirasi. Artinya semakin besar nilai Eta (mm) pada suatu piksel, maka semakin besar jumlah air yang hilang pada piksel tersebut.

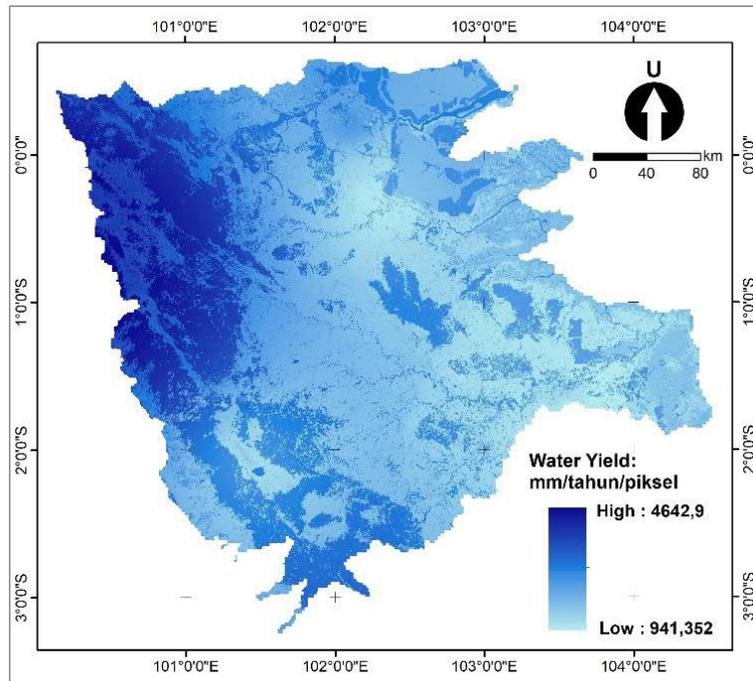


Peta Evapotranspirasi Aktual
Sumber: Pengolahan Data 2023

3. Data Raster Simpanan Air Rata-Rata Tahunan (Model Annual Water Yield)

Simpanan Air Rata-Rata Tahunan (mm) merupakan selisih antara nilai curah hujan dan evapotranspirasi aktual pada setiap piksel, yang kemudian dapat diasumsikan sebagai simpanan air yang tersedia di suatu kawasan.

Semakin besar nilai AWY pada suatu piksel menunjukkan semakin besar nilai simpanan air yang tersedia pada piksel tersebut. Keluaran dalam folder per_pixel, termasuk data raster simpanan air rata-rata tahunan, sebaiknya tidak diinterpretasikan pada tingkat piksel, karena asumsi model didasarkan pada proses yang dipahami pada skala DAS atau Sub-DAS.



Sumber: Pengolahan Data 2023

4. Data Vektor dan Tabel Nilai Biofisik (shapefile dan csv)

Data vektor dan tabel nilai biofisik yang menjadi hasil pemodelan berisikan nilai biofisik pemodelan AWY untuk setiap Daerah Aliran Sungai (DAS) atau sub-DAS yang menjadi unit analisis.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ws_id	subws_id	ws_name	precip_mn	PET_mn	AET_mn	wyield_mn	wyield_vol	
2	1	1	Rimba	3113.7519	826.1222	785.6194	2329.5222	2.736E+11	
3									

(Tabel Format csv)

FID	Shape	ws_id	subws_id	ws_name	precip_mn	PET_mn	AET_mn	wyield_mn	wyield_vol
1	0	Polygon	1	Rimba	3113.751934	826.122223	785.619448	2329.522217	273595498869.944366

(Atribut Tabel Shapefile)

Keterangan:

ws_id : Id watershed (Daerah Aliran Sungai/DAS)

subws_id : Id sub-watershed (sub-DAS)

ws_name : Nama DAS

precip_mn : Rata-rata presipitasi per piksel

PET_mn : Rata-rata evapotranspirasi potensial per piksel

AET_mn : Rata-rata evapotranspirasi aktual per piksel

wyield_mn : Rata-rata simpanan air tahunan per piksel

wyield_vol : Total volume simpanan air

An aerial photograph of a coastal town with a green overlay. The town is densely packed with buildings, mostly with blue and red roofs. The town is situated on a peninsula or a narrow strip of land, with a beach and the ocean visible on the left. In the background, there are rolling green hills and mountains under a blue sky with scattered white clouds. A large green semi-transparent circle is overlaid on the right side of the image, containing the text.

**MODUL
EVALUASI DAN INTERPRETASI**

Chapter 5.

**LEMBAR KERJA EVALUASI DAN
INTERPRETASI PEMODELAN
JASA LINGKUNGAN**

Format | Focus Group
Durasi pembelajaran | 4 jam

Berdasarkan pemrosesan dan pengolahan jasa lingkungan yang telah dilakukan sebelumnya, lengkapilah lembar kerja di bawah ini

Nama : _____

Institusi : _____

Annual Water Yield

1. *Print Screen* hasil pemodelan Annual Water Yield dan sajikan pada tabel berikut:

Hasil Pemodelan	Gambar
Peta Simpanan Air Rata-Rata Tahunan (Model Annual Water Yield)	
Peta Estimasi Evapotranspirasi Aktual	
Peta Fraksi Estimasi Evapotranspirasi Aktual	
Atribut Tabel Nilai Biofisik Hasil Pemodelan	

2. Berdasarkan permodelan Annual Water Yield yang telah dilakukan, lengkapilah workflow berikut dan buatlah diagram alir yang menggambarkan proses permodelan tersebut!

Data Input :

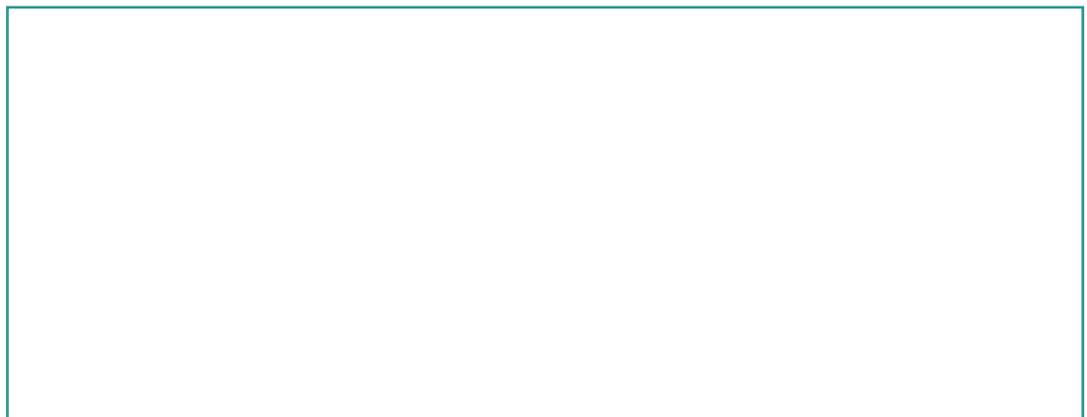
- a. Raster = 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- b. Vektor = 1.
- 2.
- c. Tabel =
- Z parameter =
- Data Output = 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Diagram Alir :

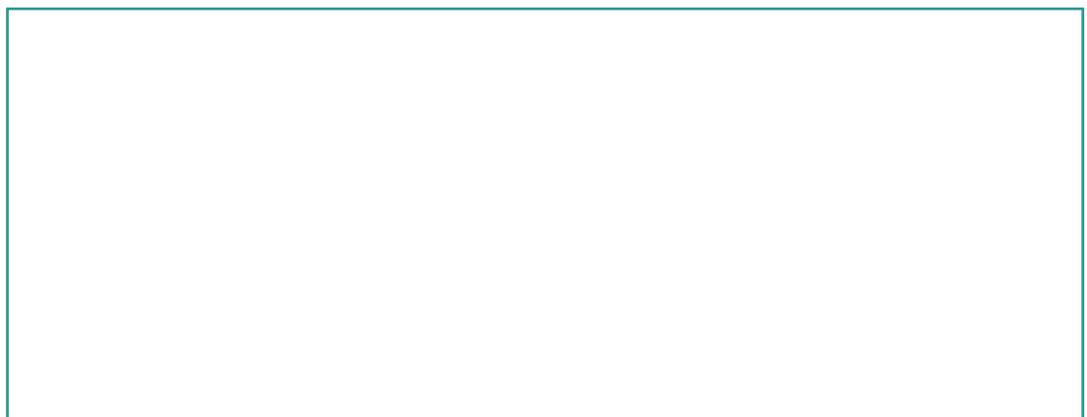
3. Lampirkan Peta Simpanan Air Rata-Rata Tahunan Koridor Ekosistem RIMBA yang telah anda layout. Lalu jelaskan interpretasi nilai serta sebaran spasialnya!



4. Berdasarkan peta yang dilampirkan di nomor 3, area mana saja yang memiliki simpanan air rerata tahunan paling tinggi?



5. Sebutkan faktor apa saja yang mempengaruhi nilai simpanan air rerata tahunan di suatu kawasan? Menurut anda faktor apa yang paling berpengaruh? Mengapa?



6. Buatlah summary dari input data yang digunakan, hasil pemrosesan dan pengolahan yang dilakukan, dan berikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas data dari pemodelan dan pengolahan data yang dilakukan.

Carbon Stock and Sequestration

1. *Print Screen* data input yang dibutuhkan dalam pemodelan Carbon Stock and Sequestration, lalu sajikan pada tabel berikut :

Data Input	Gambar
Peta penutup dan penggunaan lahan	
Tabel biofisik data sumber karbon (<i>carbon pool</i>)	

2. Berdasarkan tabel biofisik data sumber karbon yang digunakan dalam pemodelan ini, jawablah pertanyaan berikut:

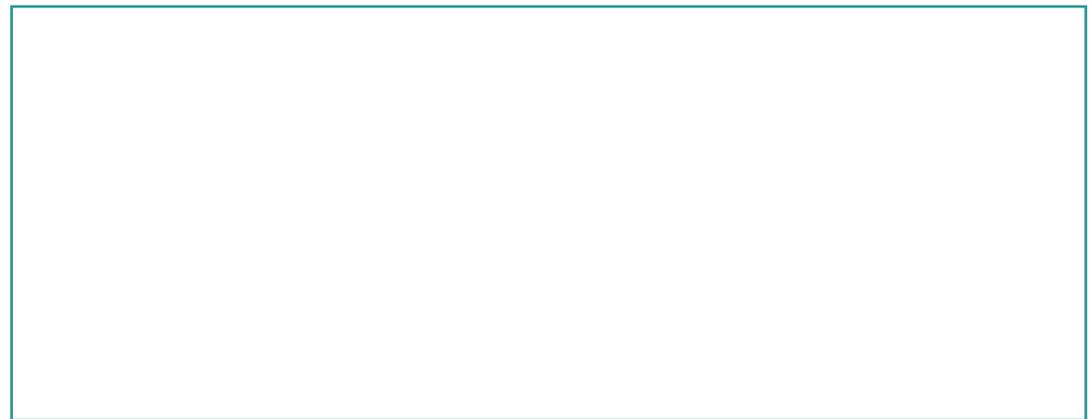
- a. Sebutkan empat kelompok sumber karbon!
- b. Sumber karbon apa saja yang digunakan dalam pemodelan ini?
- c. Penutup/Penggunaan Lahan apa yang memiliki nilai karbon atas permukaan paling besar?
- d. Penutup/Penggunaan Lahan apa yang memiliki nilai karbon atas permukaan paling kecil?

3. Berdasarkan permodelan simpanan karbon yang telah dilakukan, lengkapi workflow berikut dan buatlah diagram alir yang menggambarkan proses permodelan tersebut!

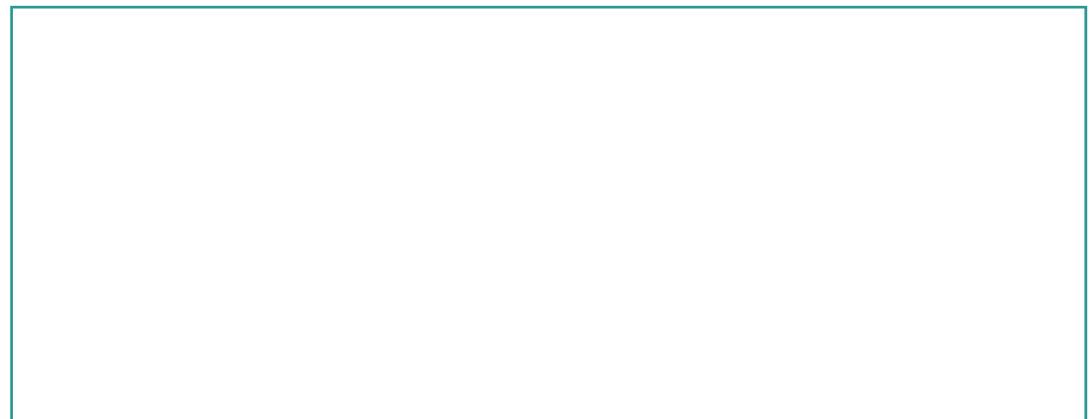
- A. Data Input :
 - a. Raster =
 - b. Tabel =
- B. Data Output :

Diagram Alir

4. Lampirkan Peta Simpanan Karbon Kawasan Koridor Ekosistem RIMBA yang telah anda layout. Lalu jelaskan bagaimana sebaran spasial nilai karbon di wilayah kajian!



5. Menurut anda faktor apa saja yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan simpanan karbon?



6. Lakukan eksplorasi terhadap *software* InVEST Carbon Stock and Sequestration! Selain pemodelan yang telah dilakukan (estimasi simpanan karbon), apakah terdapat model lain yang dapat dihasilkan? Jika iya, sebutkan model apakah itu dan data apa saja yang diperlukan?

Hint: Eksplora tools pada InVEST dan baca kembali modul bagian Pengenalan InVEST untuk Pemodelan Carbon Storage and Sequestration

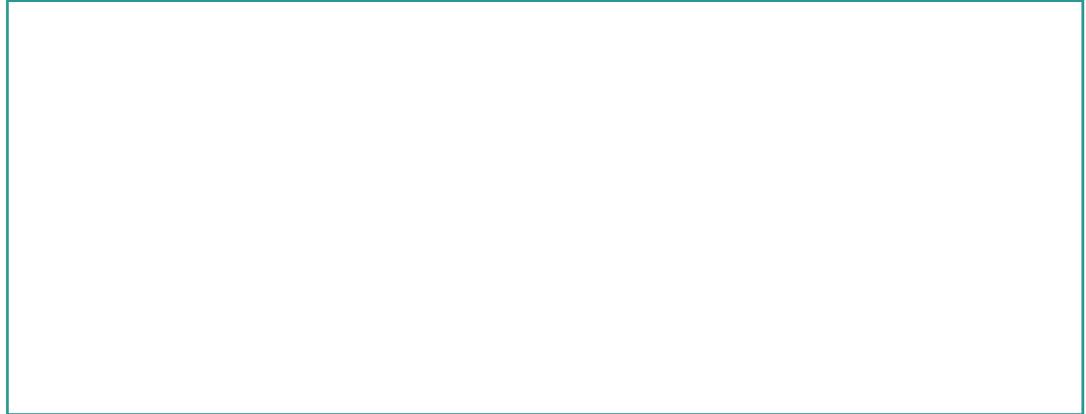
7. Buatlah summary dari input data yang digunakan, hasil pemrosesan dan pengolahan yang dilakukan, dan berikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas data dari pemodelan dan pengolahan data yang dilakukan.

Habitat Quality

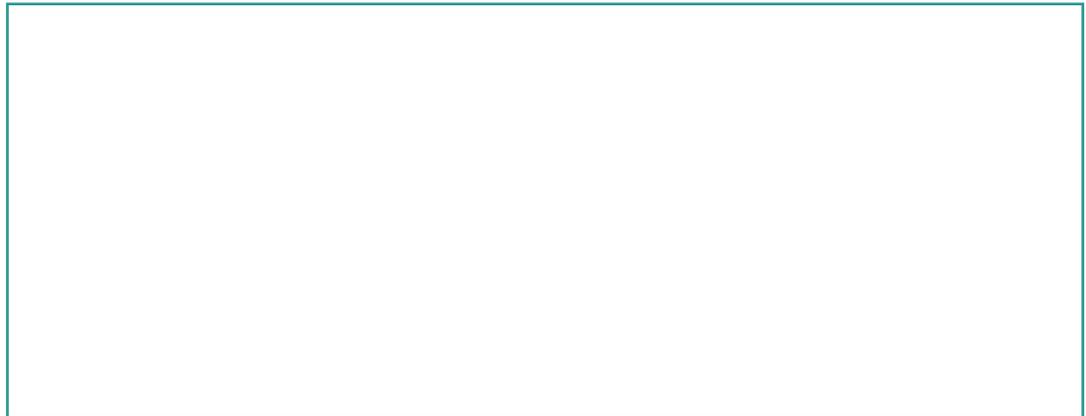
1. *Print Screen* data input yang dibutuhkan dalam pemodelan kualitas habitat dan sajikan pada tabel berikut :

Data Input	Gambar
Tabel Ancaman	
Tabel Sensitivitas	
Peta LULC	

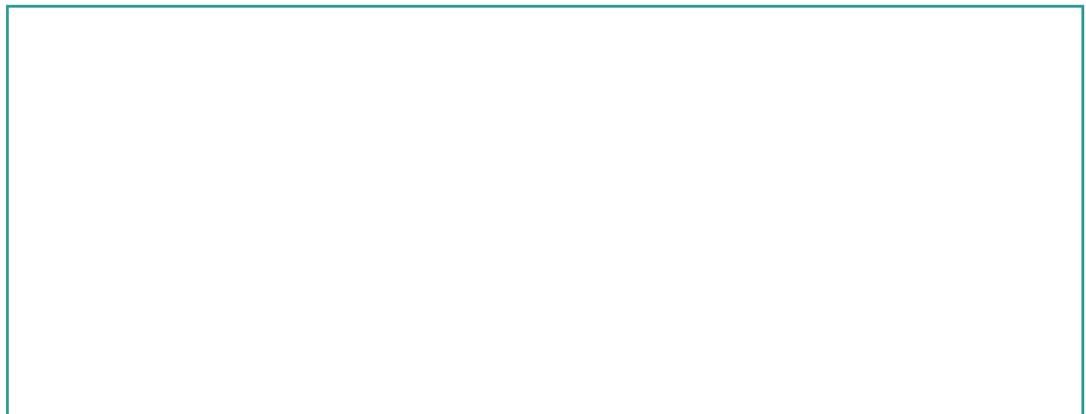
2. Berdasarkan data yang diinput dalam tabel ancaman, penutup dan penggunaan lahan apa saja yang memberikan ancaman pada kualitas habitat dan berikan pendapat Anda mengapa kelas tersebut memberikan ancaman pada kualitas habitat Gajah Sumatera?



3. Lampirkan Peta Kualitas Habitat Gajah Sumatera Koridor Ekosistem RIMBA yang telah anda layout. Lalu jelaskan interpretasi nilai serta sebaran spasialnya!



4. Daerah mana saja yang memiliki kualitas habitat rendah? dan mengapa daerah tersebut memiliki kualitas habitat yang rendah?



5. Pada kondisi habitat seperti apa yang dapat dikatakan baik untuk Gajah Sumatra?

6. Buatlah summary dari input data yang digunakan, hasil pemrosesan dan pengolahan yang dilakukan, dan berikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas data dari pemodelan dan pengolahan data yang dilakukan.

Sediment Delivery Ratio

1. *Print Screen* data input yang dibutuhkan dalam pemodelan Sediment Delivery Ratio dan sajikan pada tabel berikut :

Data Input	Gambar
Peta erosivitas hujan	
Peta erodibilitas tanah	
DEM	
Peta penutup dan penggunaan lahan	
Tabel biofisik	

2. *Print screen* data yang dihasilkan dari permodelan Sediment Delivery Ratio dan sajikan pada tabel berikut

Hasil permodelan	Gambar
Peta rkls	
Peta sediment export	
Peta sediment deposition	
Peta stream	
Peta USLE	
Peta avoided erosion	
Peta avoided export	
Rangkuman hasil dalam unit DAS	

3. Berdasarkan permodelan yang telah anda lakukan, lengkapilah workflow berikut dan buatlah diagram alir yang menggambarkan proses permodelan Sediment Delivery Ratio. Pada bagian akhir diagram alir, sertakan peta sediment export yang telah diberi layout.

<p>A. Data Input :</p> <p>a. Raster = 1. 2. 3. 4. 5.</p> <p>b. Vektor =</p> <p>c. Tabel =</p> <p>B. Nilai Threshold Flow Accumulation</p> <p>C. Nilai Borselli K Parameter =</p> <p>D. Nilai Maximum SDR</p> <p>E. Nilai ICo Parameter =</p> <p>F. Nilai Maximum L Value</p> <p>G. Data Output = 1. 2. 3. 4. 5.</p> <p>Diagram Alir :</p>

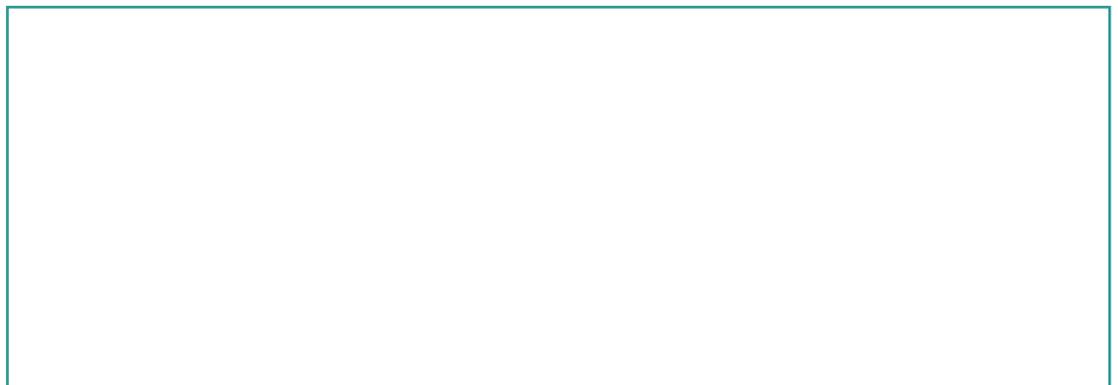
4. Bagaimana distribusi secara spasial nilai ekspor sedimen pada wilayah kajian?



5. Berdasarkan kondisi fisik lahan yang dapat diamati pada DEM (ketinggian, kemiringan lereng, dll), kondisi topografi seperti apa yang menghasilkan ekspor sedimen tinggi? Jelaskan!



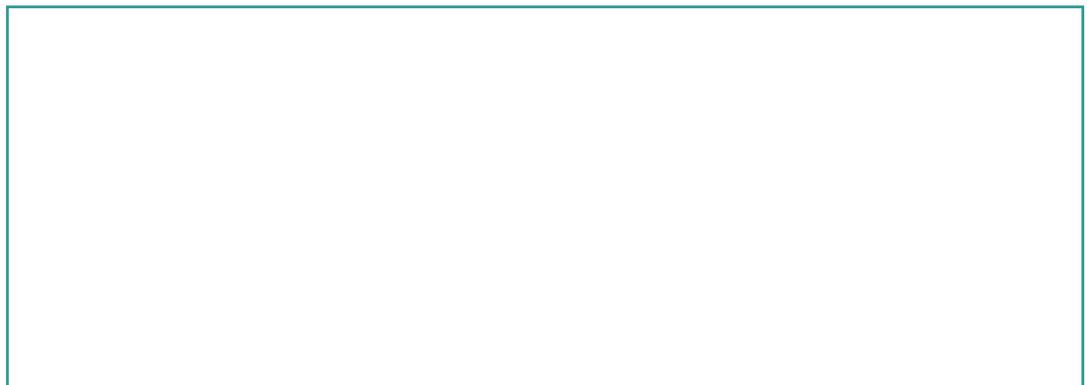
6. Daerah mana saja yang memiliki nilai ekspor sedimen rendah? mengapa?



7. Berdasarkan peta avoided erosion dan avoided export, apakah kondisi penutup dan penggunaan lahan berpengaruh terhadap tingkat erosi dan ekspor sedimen?



8. Buatlah summary dari input data yang digunakan, hasil pemrosesan dan pengolahan yang dilakukan, dan berikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas data dari pemodelan dan pengolahan data yang dilakukan.





**MODUL
PERENCANAAN BERBASIS
KONSERVASI ALAM**

Chapter 6.

**PERENCANAAN BERBASIS
KONSERVASI ALAM**



MODUL

Nature-based Solution (NbS)



Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (PM Pekerjaan Umum No.19/PRT/M/2011). Dengan adanya jalan dapat memudahkan pergerakan orang dan barang dalam memenuhi berbagai kebutuhan sehari-hari serta memudahkan konektivitas antar wilayah.

Dalam merencanakan jalan perlu memperhatikan karakteristik jalan (klasifikasi jalan) yang akan dibangun serta kondisi wilayah dimana jalan tersebut dibangun

1.1 Klasifikasi Jalan

Menurut Surat Edaran Nomor 20/SE/Db/2021 tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan, jalan dikelompokkan berdasarkan beberapa klasifikasi, antara lain:

1. Klasifikasi Berdasarkan Peruntukan Jalan

- a. Jalan Umum, adalah jalan yang dikelola oleh pemerintah untuk lalu lintas umum termasuk jalan bebas hambatan dan jalan tol.
- b. Jalan Khusus, adalah jalan yang dimiliki dan dikelola oleh pihak berkepentingan, seperti perorangan, kelompok masyarakat tertentu, badan usaha, atau instansi tertentu.

2. Klasifikasi Berdasarkan Sistem Jaringan Jalan

- a. Sistem Jaringan Jalan Primer

Sistem jaringan jalan berdasarkan rencana tata ruang dalam peran melayani distribusi barang dan jasa untuk semua wilayah di tingkat nasional dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi berwujud pusat-pusat kegiatan.

b. Sistem Jaringan Jalan Sekunder

Sistem jaringan jalan berdasarkan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota dengan peran melayani distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan.

3. Klasifikasi Berdasarkan Fungsi Jalan

Berdasarkan PP No.34 Tahun 2006 tentang Jalan, sesuai dengan fungsinya jalan dikelompokkan menjadi:

- a. Jalan Arteri Primer, menghubungkan antar pusat kegiatan nasional atau antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan wilayah.
- b. Jalan Kolektor Primer, menghubungkan antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal, antarpusat kegiatan wilayah, atau antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lokal.
- c. Jalan Lokal Primer, menghubungkan antara pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lingkungan, antara pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lingkungan, antarpusat kegiatan lokal, atau antara pusat kegiatan lokal dengan pusat kegiatan lingkungan, serta antarpusat kegiatan lingkungan.
- d. Jalan Lingkungan Primer, menghubungkan antar pusat kegiatan di kawasan pedesaan dan jalan di dalam lingkungan kawasan pedesaan.
- e. Jalan Arteri Sekunder, menghubungkan antara kawasan primer dengan kawasan sekunder kesatu, kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kesatu, atau antara kawasan sekunder kesatu dengan kawasan sekunder kedua.
- f. Jalan Kolektor Sekunder, menghubungkan kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder kedua atau antara kawasan sekunder kedua dengan kawasan sekunder ketiga.
- g. Jalan Lokal Sekunder, menghubungkan antara kawasan sekunder kesatu dengan perumahan, kawasan sekunder kedua dengan perumahan, kawasan sekunder ketiga dan seterusnya sampai ke perumahan.

- h. Jalan Lingkungan Sekunder, menghubungkan antar persil dalam kawasan perkotaan.

4. Klasifikasi Berdasarkan Status Jalan

- a. Jalan Nasional, merupakan jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah pusat
- b. Jalan Provinsi, merupakan jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah provinsi
- c. Jalan Kabupaten, merupakan jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kabupaten

Selain itu, ada jalan sekunder yang tidak termasuk jalan provinsi, jalan sekunder dalam kota, dan jalan strategis kabupaten.

- d. Jalan Perkotaan, merupakan jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kota dan berada dalam jaringan jalan sekunder di dalam kota.
- e. Jalan Desa, merupakan jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kabupaten, yang terdiri dari jalan lingkungan primer dan jalan lokal primer yang tidak termasuk jalan kabupaten di dalam kawasan pedesaan yang menghubungkan kawasan dan/ atau antarpemukiman di dalam desa.
- f. Jalan Lingkungan, merupakan jalan umum yang diselenggarakan oleh pemerintah kota yang menghubungkan antarpersil dalam kawasan perkotaan.

5. Klasifikasi Berdasarkan Kelas Jalan

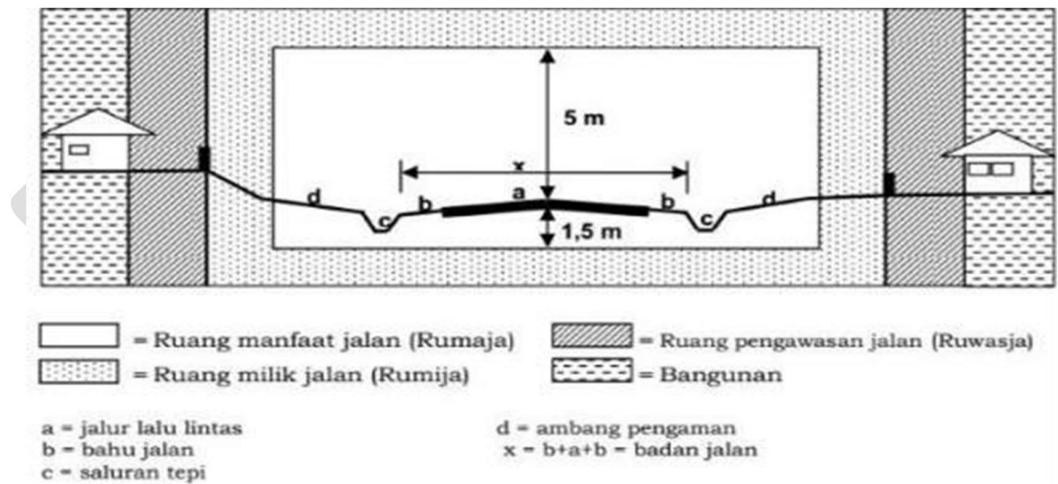
- a. Jalan Kelas I, adalah jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,55 m, ukuran panjang tidak melebihi 18 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat 10 ton.
- b. Jalan Kelas II, adalah jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,55 m, ukuran panjang tidak melebihi 12 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat 8 ton.

- c. Jalan Kelas III, adalah jalan arteri, kolektor, lokal, dan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,2 m, ukuran panjang tidak melebihi 9 m, ukuran paling tinggi 3,5 m, dan muatan sumbu terberat 8 ton.
- d. Jalan Kelas Khusus, adalah jalan arteri dan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor dengan ukuran lebar tidak melebihi 2,55 m, ukuran paling tinggi 4,2 m, dan muatan sumbu terberat 10 ton.

1.2 Ruang Jalan

Ruang jalan dibagi menjadi 3, antara lain:

- a. Ruang Manfaat Jalan (Rumaja), terdiri atas: badan jalan, saluran tepi jalan, dan ambang pengaman jalan.
- b. Ruang Milik Jalan (Rumija), meliputi Rumaja dan sejalur tanah tertentu di luar Rumaja.
- c. Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja), diperuntukan sebagai pandangan bebas pengemudi dan pengaman konstruksi jalan, serta pengaman fungsi jalan.



Gambar 17. Bagian-bagian Jalan

1.3 Peraturan Perundangan terkait

- a. Surat Edaran Nomor: 20/SE/Db/2021 Tentang Pedoman Desain Geometrik Jalan
- b. PP Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan
- c. Permen PU Nomor: 19/PRT/M/2011 Tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan
- d. RSNI T-14-2004 Geometri Jalan Perkotaan
- e. UU RI No. 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.
- f. Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota Nomor 038/TBM/1997
- g. PM Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI no.23/2019

Tujuan

Peserta mendapat teori tentang perencanaan jalan terkait trase jalan, potongan melintang jalan, alinemen horizontal, alinemen vertical yang memperhatikan kelestarian lingkungan atau berbasis alam. Dengan demikian diharapkan para peserta mampu memahami persoalan dalam perencanaan jalan serta kaitannya dengan upaya meminimalkan pemanfaatan sumber daya alam yg berlebih serta dampak negative terhadap lingkungan yang diakibatkan nya.

Analisis

1.1 Perencanaan Trase Jalan

Trase jalan merupakan garis tengah dari sumbu jalan yang merupakan garis lurus saling terhubung dengan peta topografi serta merupakan acuan untuk menetapkan tinggi muka tanah dasar. Penentuan trase jalan diperlukan untuk merencanakan geometrik jalan yang memenuhi persyaratan teknis serta dapat memberikan keuntungan bagi pengguna jalan atau masyarakat di daerah kawasan sekitar trase jalan yang akan ditetapkan.

1.1.1. Pemilihan trase

Trase jalan ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor diantaranya:

a. Sosial-ekonomi

Karakter sosial-ekonomi Masyarakat yang berada di lokasi perencanaan jalan menyangkut aktivitas ekonomi maupun social serta kedudukan kelompok masyarakat yang ada. Potensi ekonomi yang berkembang (perkebunan, pertanian, perindustrian, dll) akan menentukan karakter jalan yang direncanakan

b. Teknis tanah/Geoteknik

Karakter teknis tanah atau geoteknik terkait persebaran jenis tanah dasar atau batuan yang akan memberikan gambaran susunan tanah normal, tanah keras atau tanah lunak pada daerah datar maupun perbukitan.

c. Demografi

Demografi adalah data yang menunjukkan dinamika kependudukan pada daerah tersebut mengindikasikan jumlah kematian, kelahiran, distribusi penduduk, migrasi, ataupun yang lainnya.

d. Hidrologi

Hidrologi digunakan untuk memperkirakan elevasi jembatan pada perlintasan jalan dengan sungai atau saluran air lainnya, elevasi permukaan jalan jika terdapat daerah rawan banjir dan perencanaan drainase jalan.

e. Lingkungan

Aspek lingkungan digunakan untuk merekomendasikan pengelolaan/mitigasi dampak lingkungan yang terjadi pada saat pelaksanaan konstruksi dan saat pengoperasian.

f. Peta guna lahan

Peta guna lahan dapat menunjukkan area yang akan digunakan dalam perencanaan lokasi jalan dan area-area yang harus dihindari.. Pada kawasan ini, peta guna lahan terdapat pada peta kontur.

1.1.2. Penetapan trase terbaik

Trase terbaik ditetapkan dengan mempertimbangkan beberapa hal berikut:

- a. Menghubungkan potensi-potensi ekonomi pada kawasan tersebut;
- b. Meningkatkan potensi pengembangan di daerah industri, pertanian, perkebunan, serta daerah-daerah lainnya;
- c. Mengakomodasi kawasan pemukiman;
- d. Jauh dari kawasan lindung, seperti cagar alam dan cagar budaya;
- e. Tidak melalui daerah konservasi air;
- f. Mengefisienkan biaya pembangunan dengan menghindari daerah tanah lunak serta jenis tanah lainnya.

1.1.3. Kriteria Pemilihan Trase

Pemilihan trase terbaik, dapat dilakukan dengan menggunakan analisis multikriteria yang memanfaatkan berbagai faktor dengan beragam kriteria. Adapun Faktor dan kriteria yang dimaksud adalah:

1. Faktor Teknis

Faktor teknis berpengaruh terhadap tingkat kesulitan dalam pelaksanaan konstruksi dengan mempertimbangkan kriteria dari aspek geologi, topografi, daya dukung tanah, dan kemudahan pengerjaan yang berpengaruh terhadap lama waktu konstruksi.

2. Faktor Ekonomi

Trase jalan yang dipilih harus menghubungkan potensi-potensi ekonomi yang berada di kawasan ini serta dapat memicu potensi perkembangan ekonomi daerah tersebut. Faktor ini perlu memperhatikan biaya galian dan timbunan agar sesuai dengan rencana. Kriteria yang masuk dalam faktor ekonomi ini berupa: a. Biaya pembebasan lahan, b. Potensi manfaat jalan, c. Biaya galian dan timbunan (cut and fill), d. Biaya pembuatan jalan, e. Biaya konstruksi jembatan dan persimpangan

3. Faktor Lingkungan

Sebaran pemukiman daerah cagar alam, cagar budaya, dan konservasi air perlu ditinjau lebih lanjut karena berpengaruh terhadap kebijakan yang diperlukan untuk pembangunan jalan. Kriteria yang dipertimbangkan adalah: a. Konflik Sosial, b. Daerah Konservasi Air dan Hutan, c. Alih Fungsi Lahan

4. Faktor Tata Ruang dan Fungsi

Faktor tata ruang berpengaruh terhadap rute trase yang akan dipilih agar memenuhi rencana umum tata ruang wilayah dan kebutuhan pelayanan yang akan terjadi setelah dipenuhi, maka fungsi dari jalan tersebut dapat terlaksanakan. Kriteria yang dimaksud: a. Jarak dengan Kawasan Permukiman, b. Jarak dengan Kawasan Industri, c. Usaha Pengembangan Wilayah.

1.2 Potongan Melintang Jalan

Penampang melintang jalan merupakan potongan melintang tegak lurus sumbu jalan. Salah satu tujuan penggambaran potongan melintang jalan adalah sebagai tinjauan untuk memudahkan perhitungan galian dan timbunan, yaitu dalam menentukan luas dan volume galian dan timbunan. Tipikal penampang melintang jalan terdiri dari jalur lalu lintas, bahu luar (dan bahu dalam pada Jalan Raya dan Jalan Bebas Hambatan), verge (jika ada), selokan samping, ambang pengaman, dan lereng (jika ada). Badan jalan terdiri dari jalur lalu lintas dan bahu jalan. Lebar jalur lalu lintas dan bahu jalan ditentukan oleh klasifikasi jalan dan volume lalu lintas.

Penampang melintang jalan terdiri dari jalur lalu lintas dengan atau tanpa median, bahu dalam, bahu luar, ada atau tanpa kerb, trotoar, selokan samping baik tipe terbuka maupun tertutup, jalur hijau kalau ada, dan sampai dengan batas Rumija yang bisa berupa pagar rumah penduduk sesuai dengan garis sempadan pagar (GSP), atau garis sempadan bangunan (GSB), seperti muka toko, benteng pabrik atau kesatriaan. Penampang melintang jalan yang didesain dengan mengikuti kriteria desain yang telah ditetapkan berdasarkan Surat Edaran No. 20/SE/Db/2021.

1.2.1 Lebar lajur lalu lintas

Lebar lajur lalu lintas minimum didasarkan pada besaran kecepatan rencana seperti yang ditetapkan dalam Permen PU no.19 tahun 2011.

Tabel 3. Lebar lajur Minimum (Permen PU No.19/2011)

V (km/jam) D	Lebar lajur lalu lintas paling kecil (m)
Kecepatan tinggi: $V \geq 80$ D	3,6
Kecepatan sedang: $40 \leq V < 80$ D	3,5
Kecepatan rendah: $V < 40$ D	2,75

1.2.2 Kemiringan Melintang Perkerasan Jalan

Kemiringan melintang perkerasan jalan ditentukan berdasarkan jenis perkerasan jalan seperti terlihat pada tabel 4 berikut

Tabel 4. Kemiringan Melintang Perkerasan Tipikal pada Jalan Lurus

Jenis Perkerasan	Kemiringan Melintang (%)
Tanah, liat	5
Kerikil (Gravel), water bound macadam	4
Burtu/Burda	3
Aspal	2-3*)
Beton semen	2

Catatan:

*) Kemiringan normal perkerasan jalan umumnya 3% kecuali pada JSD di perkotaan dan JBH, dapat digunakan 2%. Penetapan kemiringan normal ini dapat berpedoman sebagai berikut:

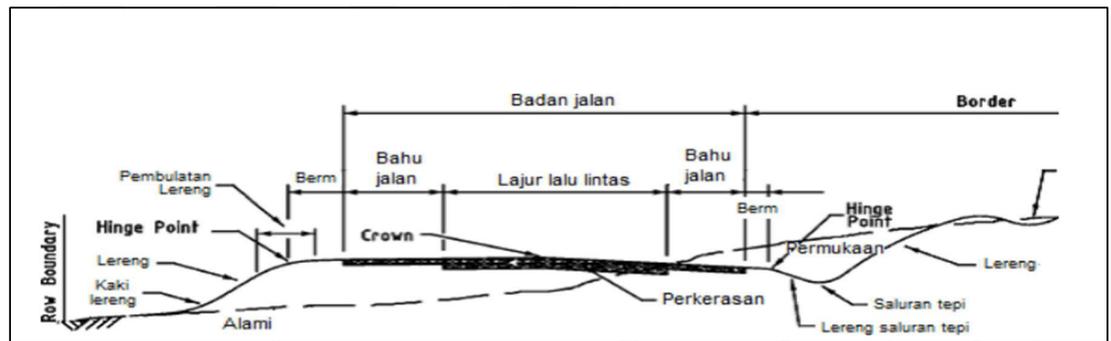
- Kemiringan normal 2% diterapkan terutama pada: a) pelapisan ulang yang kondisi kemiringan eksistingnya sudah 2%, b) rekonstruksi Jalan lebar parsial

- Kemiringan normal jalan 3% diterapkan terutama pada: a) pembangunan Jalan Baru (Perkerasan Aspal), b) pelapisan ulang yang kondisi kemiringan eksistingnya sudah 3%, c) rekonstruksi Jalan lebar penuh jalur lalu lintas

1.2.3 Badan Jalan

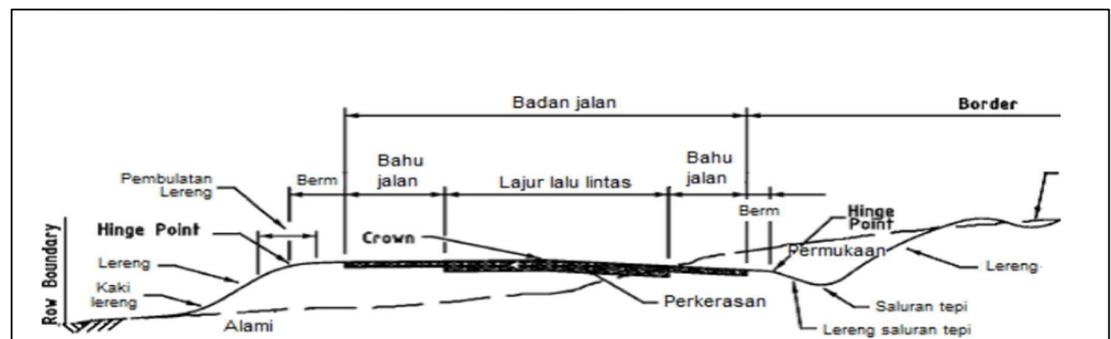
Badan jalan adalah bagian jalan yang meliputi seluruh jalur lalu lintas, median, dan bahu jalan

a. Badan Jalan pada Jalan Tak Terbagi



Gambar 18. Potongan Melintang Jalan Tak Terbagi

b. Badan Jalan pada Jalan Terbagi



Gambar 19. Potongan Melintang Jalan Terbagi

1.2.4. Bahu jalan

Bahu jalan berada di kedua sisi jalur lalu lintas. Untuk jalan yang dilengkapi median, lebar bahu dalam dan bahu luar bisa sama bisa juga berbeda. Bahu jalan segaris dengan perkerasan dan mulai dari tepian jalur lalu lintas hingga tepian badan jalan. Kecuali jika bahu jalan diberi lapisan berpenutup (aspal atau beton), maka bahu jalan harus miring ke arah menjauhi jalur lalu lintas.

Kemiringan bahu jalan umumnya lebih curam dari lajur lalu lintasnya untuk membantu drainase permukaan jalan (dengan kenaikan marjinal 1%). Namun, jika bahu jalan terdiri dari perkerasan penuh dan diberi lapisan penutup, lerengnya bisa sama dengan perkerasan jalan di sebelahnya untuk memfasilitasi konstruksi. Pada jalan lurus, kemiringan bahu jalan ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Kemiringan Melintang Bahu Jalan

Material Bahu Jalan	Kemiringan Melintang Bahu Jalan (%)
Tanah dan liat	5-6
Kerikil atau batu pecah	4-5
60% dari kekuatan perkerasan jalur lalu lintas beraspal	4-5
Perkerasan penuh dengan lapis beraspal	4-5
Beton	Sejajar jalur lalu lintas

1.2.5 Verge

Verge dianggap sebagai bagian formasi jalan yang menghubungkan bahu jalan dengan lereng. Fungsi utama verge adalah untuk memberikan:

1. Transisi yang bisa dilintasi di antara bahu jalan dan lereng, untuk membantu pengendalian kendaraan yang hilang kendali
2. Permukaan keras untuk kendaraan berhenti pada jarak aman dari lajur lalu lintas
3. Penyangga tepian susunan material perkerasan bahu jalan
4. Ruang bagi pemasangan patok-patok pengarah jalan dan pagar pengaman jalan
5. Mengurangi penggerusan (scouring) akibat aliran air hujan

1.2.6. Drainase

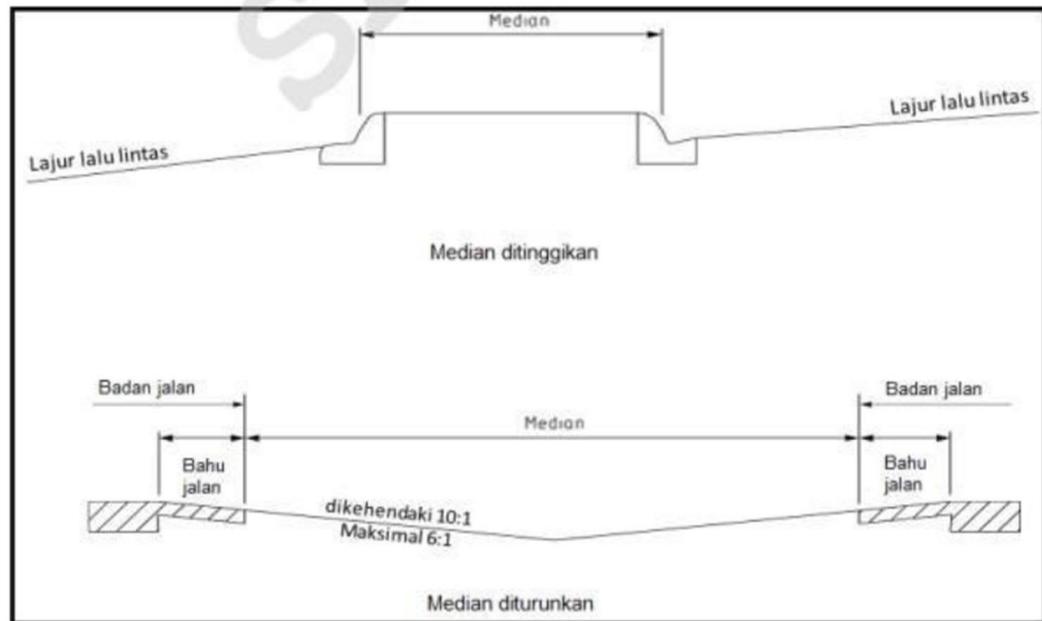
Drainase merupakan prasarana yang berfungsi mengalirkan air dari permukaan perkerasan ke saluran samping jalan dan selanjutnya ke bangunan resapan buatan atau badan air. Saluran tepi jalan membuang air dari jalan dan sekitarnya dalam upaya menjaga keselamatan lalu lintas dan kekuatan perkerasan. Jenis-jenis saluran drainase samping jalan adalah: 1. Saluran samping; 2. Saluran penangkap (*Catch drains*); dan 3. Saluran Median

1.2.7. Median

Median merupakan bagian jalan yang berfungsi memisahkan arus lalu lintas yang berlawanan, yang dapat berbentuk bangunan median yang ditinggikan, atau median yang diturunkan (Gambar 20). Median, pada Jalan raya, disediakan untuk meningkatkan keselamatan dan pengoperasian jalan, khususnya jalan Antarkota dengan paling sedikit dua lajur di setiap arahnya. Fungsi utama median adalah:

1. Memisahkan/mengurangi konflik antara arus lalu lintas yang berlawanan.
2. Mencegah pergerakan menyeberang dan membelok yang tidak diperbolehkan
3. Melindungi kendaraan yang berbelok ke kanan dan menyeberang
4. Tempat untuk meletakkan perlengkapan jalan dan peralatan pengatur lalu lintas, seperti rambu-rambu, lampu pengatur lalu lintas, dan penerangan jalan
5. Memberikan tempat perlindungan bagi pejalan kaki sehingga bisa menyeberangi dua jalur sekaligus
6. Mengurangi efek silau sorotan lampu dan turbulensi udara dari arus lalu lintas berlawanan
7. Menyediakan ruang untuk landsekap
8. Mengakomodasi perbedaan ketinggian di antara dua jalur lalu lintas menjadi dinding pengaman (*safety barrier*)
9. Untuk menjadi daerah henti darurat pada jalan yang memiliki tiga atau lebih lajur lalu lintas di setiap jalurnya

10. Memberikan area mengendalikan kembali terhadap kendaraan yang tak terkendali
11. Mencadangkan ruang jalan untuk peningkatan (penambahan lajur) di masa yang akan datang.



Gambar 20. Median ditinggikan dan diturunkan

1.2.8. Trotoar

Trotoar merupakan bagian dari jalan yang disediakan khusus untuk pejalan kaki, umumnya ditempatkan di sisi luar sejajar dengan jalur lalu lintas, dan dipisah dari jalur lalu lintas oleh permukaannya yang ditinggikan dan dilengkapi kerb. Trotoar didesain dengan memperhatikan aksesibilitas bagi penyandang cacat, adanya kebutuhan untuk pejalan kaki, dan unsur estetika yang memadai. Bagian trotoar yang digunakan sebagai lintasan kendaraan, seperti akses ke pertokoan, ke persil, dan lainlain, harus mempunyai spesifikasi yang lebih tinggi dari pada bagian trotoar yang digunakan untuk pejalan kaki. Untuk trotoar yang dimanfaatkan selain untuk pejalan kaki, contoh sebagai jalur sepeda, tempat rambu lalu lintas, tempat sampah, pot bunga, maka harus diperhatikan bahwa lebar trotoar masih memenuhi ketentuan minimal untuk pejalan kaki, yaitu 1,5m

1.2.9. Separator atau jalur hijau

Jalur hijau merupakan bagian dari jalan yang disediakan untuk penataan tanaman (pohon, perdu, atau rumput), yang dapat ditempatkan menerus berdampingan dengan trotoar, atau jalur sepeda, atau bahu jalan, atau jalur pemisah, atau pada median jalan.

1.2.10. Separator (jalur lambat)

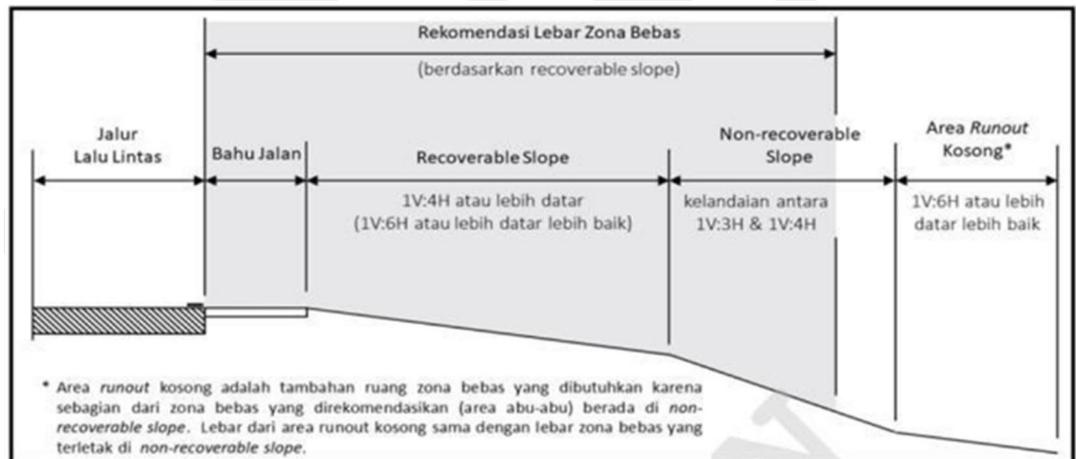
Jalur lambat melayani sejumlah fungsi tergantung pada jenis jalan arteri yang dilayaninya dan daerah di sekitarnya. Jalur ini bisa digunakan untuk mengendalikan akses ke jalan arteri, melayani properti yang bersebelahan, dan sirkulasi lalu lintas setempat pada setiap sisi jalan arteri. Jalur ini juga memisahkan lalu lintas setempat dari lalu lintas arteri berkecepatan tinggi, membantu mengurangi kecelakaan dan menjaga kelancaran arus lalu jalan arteri ke jalan berhierarki lebih rendah. Spesifikasi teknis jalur lambat adalah sebagai berikut:

- 1) Jalur lambat digunakan pada kedua sisi jalan arteri terdiri dari dua atau lebih lajur di setiap arah;
- 2) Umumnya, jalur lambat membentang paralel terhadap jalur lalu lintas dan bisa digeser menjauh dari persimpangan untuk efisiensi. Jalur lambat bisa terdiri dari dua lajur atau lebih, dan satu arah di samping lajur lalu lintas di sebelahnya;
- 3) Jalur lambat tidak perlu menerus sepanjang seluruh ruas jalan arteri.

1.2.11. Lereng

Lereng adalah permukaan yang menghubungkan badan jalan atau elemen penampang melintang lainnya seperti verge atau bahu jalan ke permukaan tanah. Lereng berfungsi untuk menyediakan daerah untuk mengendalikan kembali kendaraan yang hilang kendali. Kendaraan yang keluar lajur, akan menghadapi bagian lereng menurun (foreslope), bagian lereng menanjak (backslope), bagian lereng melintang (transverse slope), dan saluran samping. Lereng pada sisi jalan berupa timbunan atau galian, berperan sebagai area pemulihan bagi kendaraan yang keluar lajur lalu lintas dengan ketentuan:

1. Memiliki lebar ruang antara sisi perkerasan jalan dengan lereng yang mencukupi,
2. Memiliki permukaan yang kuat dan rata,
3. Tidak terdapat objek tetap yang berbahaya, dan
4. Memiliki kemiringan yang memadai.



Gambar 21. Ruang bebas Jalan dua kemiringan, forslope parallel dengan non-recoverable

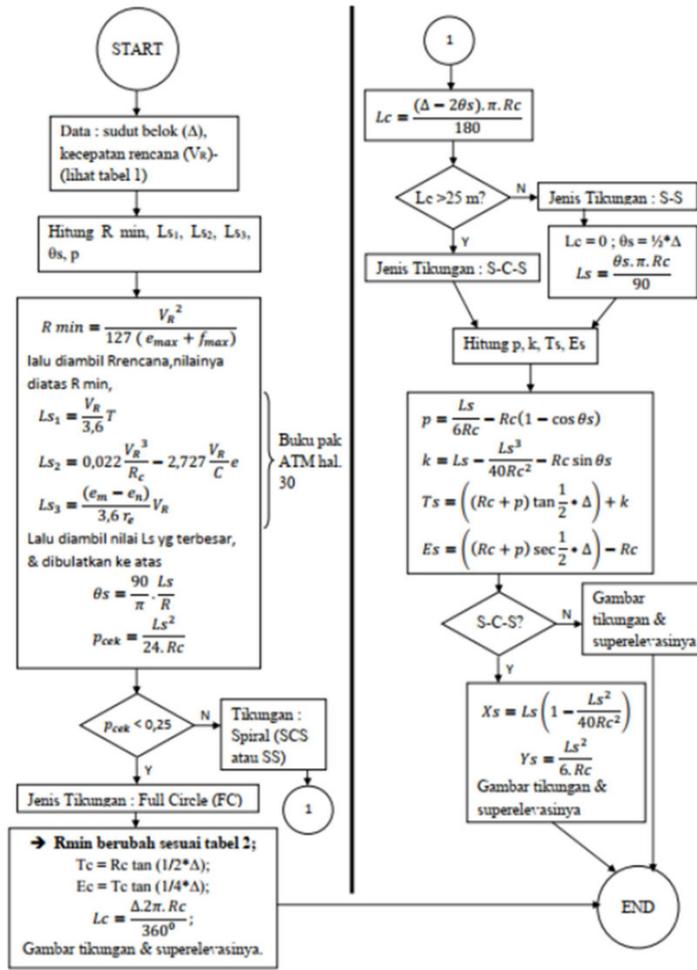
1.3 Alinemen Horizontal

Alinemen horizontal merupakan sebuah prinsip desain grafis yang mengacu pada penempatan elemen visual atau proyeksi garis sumbu jalan pada bidang horizontal. Penggunaan alinemen horizontal disesuaikan dengan kondisi serta kebutuhan desain. Pada perencanaan alinemen horizontal, umumnya akan ditemui dua bagian teknis jalan, yaitu bagian lurus dan bagian lengkung atau biasanya disebut tikungan. Tikungan dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Lingkaran (full circle)
2. Spiral – lingkaran – spiral (Spiral-circle-spiral)
3. Spiral – spiral (SS)

1.3.1. Perencanaan Alinemen Horizontal

Dalam penentuan Alinemen Horizontal digunakan pertimbangan peraturan Pedoman Desain Geometri Jalan Bina Marga 2021 seperti pada Gambar 22.



Gambar 22. Flowchart Perencanaan Alinemen Horizontal

1. Bagian lengkung atau tikungan

Kendaraan pada saat melalui tikungan akan menerima gaya sentrifugal yang menyebabkan kendaraan tidak stabil. Untuk mengimbangi gaya sentrifugal tersebut perlu dibuat suatu kemiringan melintang jalan pada tikungan yang disebut dengan superlevasi (e). Superelevasi diberikan dengan memberikan kemiringan pada permukaan jalan pada sisi dalam tikungan, sehingga kendaraan dapat melintasi tikungan dengan lebih aman dan stabil. Pada saat kendaraan melalui superelevasi, maka akan terjadi gesekan arah melintang jalan dengan gaya normal yang disebut koefisien gesekan melintang (f).

$$R_{min} = (V_r^2) / (127(e_{max} + f_{max}))$$

Dengan,

R_{min} = jari-jari tikungan minimum (m)

V_d = Jari-jari tikungan minimum (m)

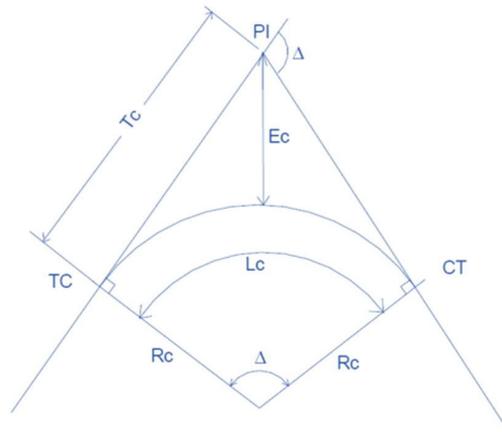
E_{max} = Superelevasi maksimum

F_{max} = Koefisien gesek untuk perkerasan aspal

Beberapa jenis lengkung yang digunakan adalah:

a. Lengkung Lingkaran (Full Circle)

Full Circle (FC) adalah jenis tikungan yang hanya terdiri dari bagian suatu lingkaran saja. Tikungan FC hanya digunakan untuk R (jari – jaritikungan) yang besar dan sudut tangen yang relatif kecil agar tidak terjadi patahan, karena dengan R kecil maka diperlukan superelevasi yang besar. Penentuan tipe tikungan full circle karena tikungan ini tidak membutuhkan lengkung peralihan. Penjelasan mengenai tikungan full circle dinyatakan pada Gambar 7



Gambar 23. Tikungan Full Circle
(Sumber: RSNi T-14-2004 Geometri Jalan Perkotaan)

Keterangan,

PI =Point of Intersection (Titik potong tangen)

Δ =Sudut tikungan alinemen horizontal ($^{\circ}$)

TC = Titik dari tangen ke lingkaran

CT = Titik dari lingkaran ke tangen

T_c = Panjang tangen dari TC ke titik PI atau PI ke titik TC (m)
 R_c = Jari-jari lingkaran (m)

Δ_c = Sudut lingkaran ($^{\circ}$)

E_c = Jarak luar dari PI ke busur lingkaran (m)

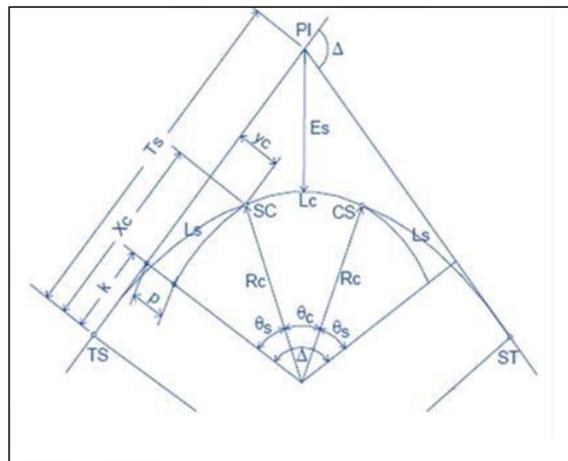
L_c = Panjang busur lingkaran, panjang titik TC ke titik CT (m)

b. Lengkung SCS (Spiral-Circle-Spiral)

Spiral-Circle-Spiral (SCS) merupakan tikungan peralihan yang terdiri dari satu lengkung lingkaran dan dua lengkung spiral. Spiral circle spiral adalah bentuk tikungan dari bagian lurus ke circle yang panjangnya diperhitungkan dengan melihat perubahan gaya sentrifugal dari nol sampai ada nilai gaya sentrifugal.

Lengkung peralihan dibuat untuk menghindari terjadinya perubahan alinyemen yang tiba-tiba dari bentuk lurus ke bentuk lingkaran

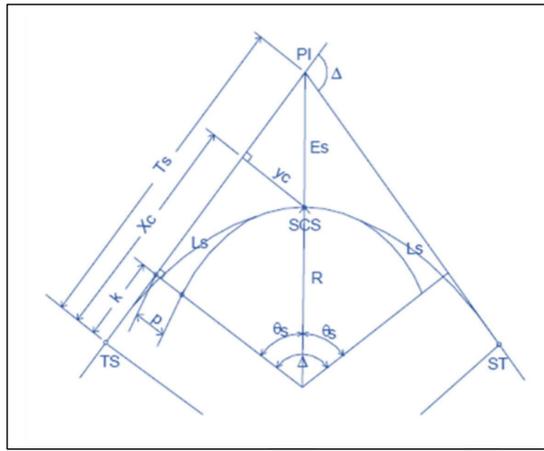
($R = \infty \rightarrow R = R_c$), jadi lengkung peralihan ini diletakkan antara bagian lurus dan bagian lingkaran (circle), yaitu pada sebelum dan sesudah tikungan berbentuk busur lingkaran.



Gambar 24. Lengkung SCS

c. Lengkung Peralihan SS (Spiral – Spiral)

Spiral-spiral (SS) adalah tikungan peralihan yang terdiri dari dua lengkung Spiral, jenis lengkung pada tikungan spiral- spiral mempunyai sudut tangen Δ besar.



Gambar 25. Tikungan Spiral-Spiral (S-S)

2. Pelebaran di Tikungan

Pelebaran perkerasan atau jalur lalu-lintas di tikungan dilakukan untuk mempertahankan kendaraan tetap pada lintasannya sama dengan pada bagian lurus. Hal ini diakibatkan karena pada saat kecepatan tertentu kendaraan pada tikungan cenderung untuk keluar lajur akibat posisi rodadepan dan roda belakang yang tidak sama, hal ini tergantung ukuran kendaraan. Penentuan pelebaran jalur lalu lintas di tikungan ditinjau dari dimensi elemen keluar lakur (off-tracking), radius belok kendaraan rencana, dan kesukaran dalam mengemudi di tikungan. Pelebaran jalur di tikungan untuk lebar jalur 2 x 3,5 meter seperti di Tabel 6.

3. Kelandaian relative

Kemiringan melintang atau kelandaian pada penampang jalan di antara tepi perkerasan luar dan sumbu jalan sepanjang lengkung peralihan disebut landai relatif. Persentase kelandaian ini disesuaikan dengan kecepatan rencana dan jumlah lajur yang ada. Besarnya kelandaian relatif dapat dihitung dengan rumus:

$$1/m = \{ (e + en) B \} / B^2$$

Dengan,

$$1/m = \text{Landai Relative (\%)}$$

e = Superelevasi

en = Kemiringan Melintang Normal

B = Lebar Lajur (m)

Tabel 6. Pelebaran Jalur di Tikungan Untuk Lebar Jalur 2 x 3,5

R (m)	Vr (km/jam)							
	50	60	70	80	90	100	110	120
1500	0	0	0	0	0	0	0	0.1
1000	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
750	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3
500	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	
400	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5		
300	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5			
250	0.4	0.5	0.5	0.6				
200	0.6	0.7	0.8					
150	0.7	0.8						
140	0.7	0.8						
130	0.7	0.8						
120	0.7	0.8						
110	0.7							
100	0.8							
90	0.8							
80	1							
70	1							

Sumber: Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No.038/TBM/1997

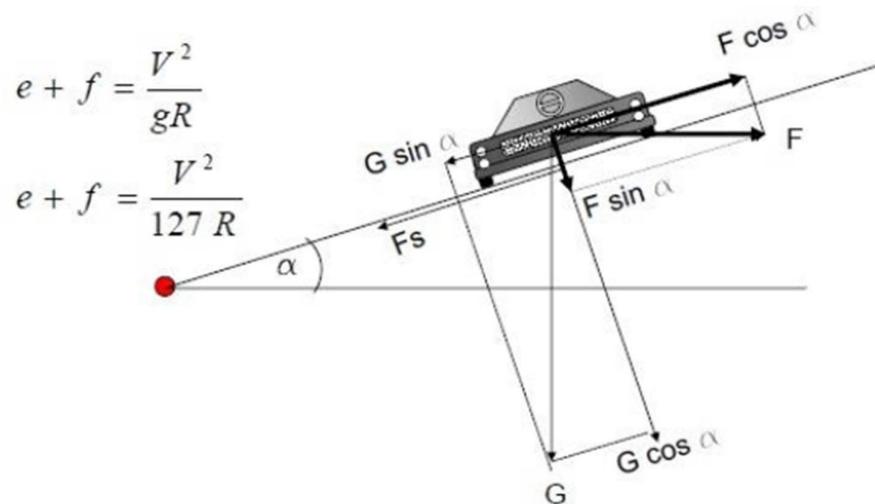
4. Superelevasi

Superelevasi jalan, juga dikenal sebagai kemiringan jalan, merujuk pada kemiringan lateral atau miring pada permukaan jalan yang dirancang untuk mengakomodasi kecepatan kendaraan yang bergerak melalui tikungan atau lengkungan jalan.

Tujuannya adalah untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengendara serta memungkinkan kendaraan untuk melibas tikungan dengan kecepatan yang lebih tinggi tanpa kehilangan kontrol. Pada tikungan atau lengkungan jalan, bagian dalam tikungan memiliki jarak yang lebih pendek dibandingkan bagian luar tikungan.

Oleh karena itu, superelevasi jalan dirancang untuk mengkompensasi perbedaan panjang ini dengan merancang permukaan jalan sedemikian rupa sehingga permukaan dalam tikungan ditinggikan atau dimiringkan.

Ada beberapa alasan mengapa superelevasi jalan diterapkan. Salah satunya adalah untuk mengurangi risiko tergelincir atau terjatuhnya kendaraan dari jalan pada saat melibas tikungan dengan kecepatan tinggi. Dengan memberikan miringan pada permukaan jalan, gaya sentrifugal yang timbul saat kendaraan melibas tikungan dapat diimbangi sehingga kendaraan tetap pada jalurnya dan pengemudi dapat mengendalikan kendaraan dengan lebih baik.



Gambar 26. Skema Gaya Sentrifugal

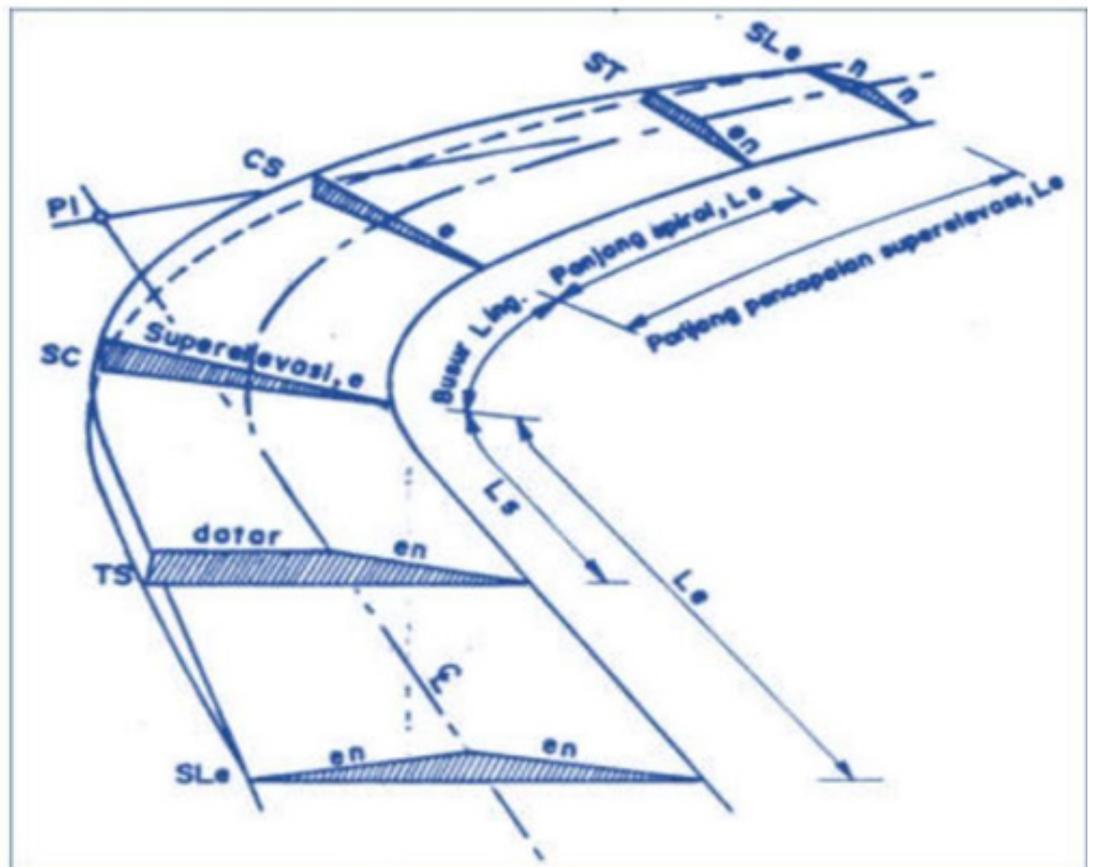
5. Pencapaian superelevasi

Pencapaian superelevasi merupakan proses pencapaian ke puncak elevasi dari elevasi normal. Pencapaian superelevasi ini dilakukan secara bertahap.

- a. Pada tikungan SCS, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear, diawali dari bentuk normal sampai awal lengkung peralihan (TS) lalu dilanjutkan sampai superelevasi penuh pada akhir bagian lengkung peralihan (SC)
- b. Pada tikungan FC, pencapaian superelevasi dilakukan secara linear diawali dari bagian lurus sepanjang $2/3$ LS sampai dengan bagian lingkaran penuh sepanjang $1/3$ bagian panjang LS.
- c. Pada tikungan S-S, pencapaian superelevasi seluruhnya dilakukan pada bagian spiral.

Panjang pencapaian superelevasi adalah transisi kemiringan melintang jalan dari kemiringan badan jalan normal pada bagian jalan lurus hingga kemiringan melintang jalan superelevasi penuh pada busur lingkaran. Panjang total yang diperlukan untuk pencapaian superelevasi disebut panjang pencapaian superelevasi (L_s). Panjang ini terdiri dari dua elemen utama:

1. Panjang superelevation runoff (S_{ro}) adalah panjang jalan yang diperlukan untuk mencapai perubahan kemiringan melintang jalan dari yang datar (dalam gambar disebut level) menjadi superelevasi penuh.
2. Panjang tangent runoff (T_{ro}) adalah panjang jalan yang diperlukan untuk mencapai perubahan kemiringan melintang jalan dari kemiringan normal menjadi datar.



Gambar 27. Superelevasi Tiga Dimensi

1.4. Alinemen Vertikal

Alinemen vertikal merupakan penyesuaian atau pengaturan yang dilakukan terhadap elemen-elemen vertikal pada jalan untuk mencapai kualitas dan keamanan yang optimal. Menurut Saodang (2004), alinemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan bidang permukaan perkerasan jalan melalui sumbu jalan, yang umumnya biasa disebut dengan profil atau penampang memanjang jalan. Profil ini menunjukkan tinggi rendahnya permukaan jalan terhadap muka tanah asli, sehingga memberikan gambaran terhadap kemampuan kendaraan dalam naik dengan muatan penuh.

Alinemen vertikal juga merupakan tampang memanjang jalan, yang disusun atas potongan-potongan garis lurus dan garis lengkung. Garis-garis lurus tersebut disebut tangen, dan dibedakan menurut landai jalan, dan antara landai jalan yang berbeda dihubungkan dengan lengkung vertikal atau landai peralihan. Ketinggian dari setiap titik serta bagian-bagian penting dari jalan dapat dilihat pada alinemen vertikal ini. Menurut Hendarsin L. Shirley (2000), pada perencanaan alinemen vertical akan ditemui kelandaian positif (tanjakan) dan kelandaian negatif (turunan), sehingga terdapat kombinasi berupa lengkung cembung dan lengkung cekung, namun ditemui pula kelandaian datar. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh keadaan topografi yang dilalui rute jalan rencana. Idealnya penampang memanjang suatu jalan adalah datar dengan kelandaian 0,5 %, hal ini ditentukan dengan mempertimbangkan daya yang diperlukan suatu kendaraan untuk bergerak sedikit dan kendaraan dapat berjalan dengan kecepatan maksimum, serta pertimbangan mengenai drainase.

Merencanakan penampang jalan merupakan salah satu bagian dari perencanaan geometrik jalan, sehingga diperlukan berbagai pertimbangan secara aman dan ekonomis. Selain itu, perencanaan alinemen vertikal harus selalu mempertimbangkan kondisi lapisan tanah dasar, tinggi muka air banjir, tinggi muka air tanah, fungsi jalan, kelandaian, dan keadaan medan. Muka jalan rencana yang paling ekonomis adalah muka jalan yang mengikuti kontur muka tanah, sehingga tidak banyak terdapat galian dan timbunan yang menghabiskan dana yang besar.

Tetapi hal ini sangat jarang ditemukan di lapangan. Karena mustahil merencanakan penampang jalan memanjang dengan mengutamakan tanah yang datar. Oleh karena itu, sebaiknya muka jalan berada lebih tinggi dari muka tanah dasar, agar memudahkan pekerjaan drainase. Untuk daerah yang sering banjir, muka jalan sebaiknya direncanakan diatas elevasi banjir. Tujuannya agar jalan tidak terendam air pada saat banjir, sehingga keawetan jalan terjaga.

Secara garis besar, perencanaan alinemen vertikal melihat berbagai pertimbangan seperti :

1. Kesiapan Lahan

Sebelum memulai pembuatan alinemen vertikal, perlu dipertimbangkan kesiapan lahan yang akan digunakan untuk jalan raya. Faktor seperti kondisi tanah, kemiringan alami, drainase, dan keberadaan struktur atau hambatan lainnya harus dievaluasi. Jika ada tanah yang tidak stabil atau kondisi yang tidak sesuai, mungkin diperlukan tindakan perbaikan sebelum memulai konstruksi.

2. Muka Air Tanah dan Elevasi Banjir

Posisi muka air tanah atau muka air banjir terhadap perkerasan jalan, diperlukan perencanaan pada saat menentukan sistem drainase jalan serta perencanaan jembatan.

3. Kebutuhan Lalu Lintas

Alinemen vertikal harus disesuaikan dengan kebutuhan lalu lintas yang akan dilayani oleh jalan raya tersebut. Ini mencakup mempertimbangkan volume lalu lintas yang diperkirakan, jenis kendaraan yang akan menggunakan jalan, kecepatan operasional yang diinginkan, dan fitur jalan seperti jalur kendaraan, jalur sepeda, atau trotoar.

4. Topografi dan Lingkungan

Perubahan tinggi yang ekstrem, sungai, danau, atau perubahan alam lainnya harus diperhitungkan dalam merencanakan alinemen vertikal. Selain itu, perlu diperhatikan pengaruh terhadap lingkungan, seperti pengaruh terhadap keanekaragaman hayati, konservasi sumber daya alam, atau perlindungan lingkungan lainnya.

5. Keseimbangan Galian dan Timbunan

Perencanaan mempertimbangkan besarnya galian dan timbunan terkait dengan faktor ekonomis. Perbandingan galian dan timbunan yang efisien yaitu 60% : 40 %

6. Standar Teknis

Pembuatan alinemen vertikal jalan raya harus sesuai dengan standar teknis yang berlaku. Setiap negara atau yurisdiksi memiliki pedoman dan spesifikasi yang ditetapkan untuk memastikan kualitas jalan yang konsisten.

Selain faktor pertimbangan diatas, salah satu hal yang perlu diperhatikan yaitu kelandaian maksimum. Kelandaian maksimum adalah parameter yang menentukan batas kemiringan maksimum yang diizinkan pada suatu jalan atau ruas jalan. Kelandaian maksimum umumnya dinyatakan dalam bentuk persentase atau rasio, yang mengindikasikan perubahan tinggi dalam satuan jarak horizontal. Sebagai contoh, kelandaian maksimum 5% berarti bahwa setiap kenaikan atau penurunan dalam jarak horizontal sebesar 100 meter akan disertai dengan perubahan tinggi sebesar 5 meter. Pembatasan kelandaian (maksimum) dimaksudkan untuk memungkinkan kendaraan bergerak terus tanpa harus kehilangan kecepatan yang berarti. Kelandaian maksimum yang sesuai dengan VR, ditetapkan sesuai Tabel 7. berikut.

Tabel 7. Kelandaian Maksimum

SPPJ	Kelandaian Maksimum (%)		
	Medan Datar	Medan Bukit	Medan Gunung
JBH	4	5	6
JRY	5	6	10
JSD	6	7	10
JKC	6	8	12

(Sumber : Permen PU No.19/PRT/M/2011)

1.4.1. Jarak pandang

Jarak pandang adalah jarak maksimum di depan pengemudi atau pengguna jalan di mana objek atau peristiwa dapat terlihat dengan jelas. Hal ini sangat penting dalam keselamatan lalu lintas, karena jarak pandang yang memadai memungkinkan pengemudi untuk melihat rintangan, kendaraan, atau situasi

yang mungkin memerlukan tindakan pencegahan atau pengendalian yang tepat. Jarak pandang dibagi menjadi 2, yaitu jarak pandang henti dan jarak pandang mendahului

Jarak Pandang Henti

Jarak pandang henti (stopping sight distance) adalah jarak minimum yang diperlukan oleh pengemudi atau pengguna jalan untuk secara visual melihat hambatan di depan jalan, merespons dengan menginjak rem, dan menghentikan kendaraan secara aman sebelum mencapai hambatan tersebut.

Jarak Pandang Mendahului

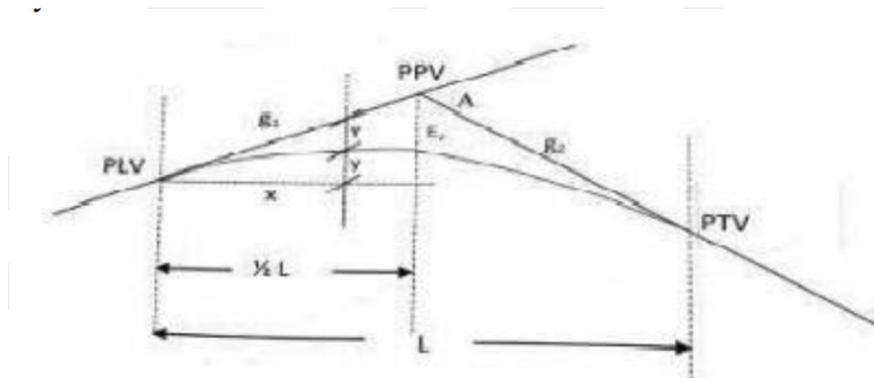
Jarak pandang mendahului (Jd) adalah jarak yang memungkinkan suatu kendaraan mendahului kendaraan lain di depannya dengan aman sampai kendaraan tersebut kembali ke lajur semula. Jd diukur berdasarkan asumsi bahwa tinggi mata pengemudi adalah 105 cm dan tinggi halangan adalah 105 cm

1.4.2. Lengkung vertical

Pada setiap pergantian landai harus dibuat suatu kelengkungan vertikal yang memenuhi keamanan, kenyamanan, dan drainase yang baik. Lengkung vertical direncanakan untuk merubah secara bertahap dari dua macam kelandaian arah memanjang jalan pada lokasi yang diperlukan. Ini dimaksudkan untuk mengurangi guncangan akibat perubahan kelandaian dan menyediakan jarak pandang henti yang cukup. Alinemen vertikal jalan terdiri dari serangkaian kelandaian memanjang dengan lengkung vertikal, dimanfaatkan untuk menerapkan perubahan gradual di antara profil memanjang. Lengkung vertikal dapat berupa lengkung vertical cekung atau cembung. Kelengkungan vertikal maksimum dan minimum yang diizinkan; dinyatakan sebagai nilai K.

Nilai lengkung vertikal K minimum, hendaknya dipilih berdasarkan tiga faktor pengendali, yakni:

- a. Jarak pandang, persyaratan dalam semua situasi untuk keselamatan pengemudi.
- b. Penampilan, biasanya diperlukan pada situasi timbunan rendah dan topografi datar.
- c. Kenyamanan berkendara



Gambar 28. Contoh Lengkung Vertikal

Keterangan:

Titik PPV : Poin Perpotongan Vertikal, biasa disebut juga dengan Point of Vertical intersection (PVI)

Titik PLV : Titik permulaan lengkung vertikal, biasa disebut juga dengan Point of Vertical Curve (PVC)

Titik PTV : Titik Permulaan tangen vertikal, biasa disebut juga dengan Point of Vertical Tangent (PVT)

L: Panjang proyeksi lengkung vertikal atau panjang lengkungvertikal (m)

g1: Kelandaian bagian tangen vertikal sebelah kiri (%)

g2: Kelandaian bagian tangen vertikal sebelah kanan (%)

A: Perbedaan aljabar kelandaian, $A = |g_1 - g_2|$ (%)

Ev: Pergeseran vertikal titik PPV terhadap lengkung vertikal (m)

1.5. Koordinasi Alinemen Horizontal dan Vertikal

Alinemen vertikal dan alinemen horizontal adalah elemen-elemen jalan sebagai keluaran perencanaan yang harus dikoordinasikan sedemikian sehingga menghasilkan suatu bentuk jalan yang baik. Koordinasi antara alinemen vertikal dan alinemen horizontal dalam desain jalan raya sangat penting untuk menciptakan jalan yang aman, efisien, dan nyaman bagi pengguna jalan. Bentuk kesatuan elemen jalan tersebut diharapkan dapat memberikan kesan atau petunjuk kepada pengemudi akan bentuk jalan yang akan dilalui di depannya sehingga pengemudi dapat melakukan antisipasi lebih awal (Dirjen BM 1997).

Dengan adanya koordinasi alinemen yang baik, pengemudi diharapkan dapat melihat kondisi di depannya dengan baik karena tidak terdapat daerah jalan yang tidak terlihat oleh pengemudi. Koordinasi alinemen vertikal dan alinemen horizontal secara garis besar mencakup ketentuan sebagai berikut.

1. Lengkung cembung tidak boleh saling tumpang dengan lengkung horizontal karena akan terjadi pergeseran lateral pada jalan
2. Lengkung horizontal gabungan tidak boleh saling tumpang dengan lengkung vertikal cembung.
3. Lengkung vertikal cembung atau lengkung horizontal tajam diusahakan tidak terjadi di dekat perlintasan sebidang.
4. Persimpangan tidak boleh bersembunyi dibalik lengkung cembung
5. Cekungan tersembunyi, terutama pada radius lengkung horizontal harus dihindari
6. Overlap lengkung vertikal cembung dengan akhir lengkung horizontal harus dihindari.
7. Jika dalam suatu kondisi alinemen horizontal dan vertikal harus overlap, maka harus dipastikan panjang lengkung horizontal harus lebih besar daripada panjang lengkung vertikal

1.6. Kebutuhan Material Konstruksi

Perkerasan jalan adalah lapisan struktural yang ditempatkan di atas tanah dasar untuk memberikan kekuatan, keawetan, dan kenyamanan pada jalan. Fungsi utama perkerasan jalan adalah mendistribusikan beban lalu lintas secara merata ke tanah dasar di bawahnya dan melindungi tanah dasar dari deformasi yang tidak diinginkan. Jenis perkerasan dibagi menjadi:

a. Perkerasan lentur (flexible pavement)

Perkerasan lentur yaitu struktur perkerasan yang menggunakan bahan campuran beraspal sebagai jenis lapisan permukaan serta bahan agregat sebagai lapisan dibawahnya. Agregat merupakan batuan yang terdiri dari batu berukuran besar hingga kecil. Aspal yang biasa digunakan adalah jenis hot mix atau aspal yang dicampur dalam keadaan panas.

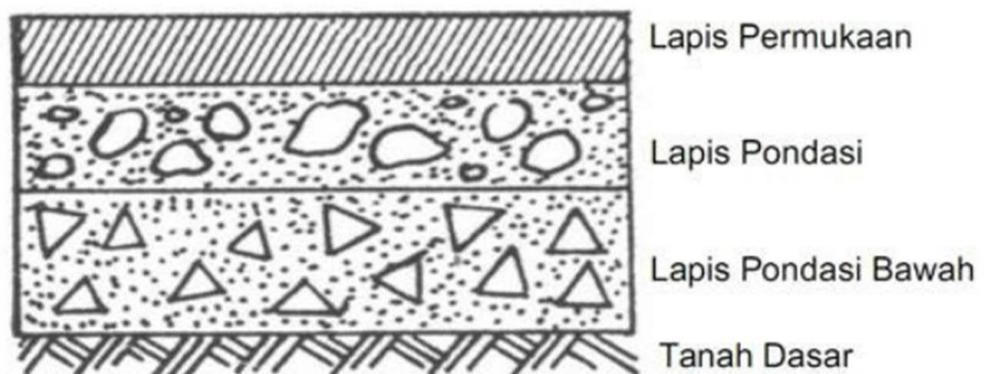
b. Perkerasan kaku (rigid pavement)

Perkerasan jalan beton semen atau secara awam dianggap perkerasan kaku, terdiri atas plat (slab) beton semen menjadi lapis pondasi dan lapis pondasi bawah (bisa juga tidak terdapat) di atas tanah dasar. Perkerasan kaku mempunyai modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban ke bidang tanah dasar yg cukup luas sehingga bagian terbesar asal kapasitas struktur perkerasan diperoleh asal plat beton sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh berasal tebal lapis pondasi bawah, lapis pondasi dan lapis permukaan.

c. Perkerasan komposit (composite pavement)

Perkerasan komposit ialah adonan konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement) dan lapisan perkerasan lentur (flexible pavement) pada atasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerja sama pada memikul beban lalu lintas. Perkerasan memerlukan persyaratan ketebalan perkerasan aspalagar memiliki kekakuan yang cukup dan dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton pada bawahnya.

Lapisan perkerasan sendiri terdiri dari: lapisan permukaan (surface course), lapisan pondasi atas (base course), lapisan pondasi bawah (sub base course) dan Tanah dasar (subgrade)



Gambar 29. Lapisan Perkerasan

1.6.1. Lapisan Permukaan (Surface)

Lapisan permukaan merupakan lapisan paling atas, dimana lapisan biasanya langsung bersentuhan dengan roda kendaraan. Fungsi dari lapisan permukaan sebagai berikut:

- Menahan beban roda, sehingga lapisan ini harus mempunyai stabilitas yang tinggi
- Sebagai lapisan kedap air, sehingga air hujan tidak akan meresap kedalam lapisan perkerasan dan dapat menyebabkan melemahnya lapisan yang ada dibawahnya. Selain itu, lapis ini dapat melindungi badan jalan akibat cuaca.
- Menyalurkan dan menyebarkan beban ke lapisan yang ada dibawahnya
- Sebagai lapisan aus (wearing course), dimana lapisan ini yang menahan aus karena berkontak langsung/bergesekan dengan roda kendaraan

Pada umumnya bahan yang digunakan untuk lapis permukaan sama dengan bahan yang digunakan untuk lapis pondasi, namun memiliki persyaratan yang lebih tinggi. Agar lapisan dapat bersifat kedap air dan dapat memberikan bantuan tegangan Tarik diperlukan penggunaan bahan aspal. Dalam pemilihan bahan lapis permukaan ini perlu dilakukan beberapa pertimbangan, seperti : kegunaan, umur rencana, pertahapan konstruksi. Dengan tujuan manfaat yang diberikan sepadan dengan biaya yang dikeluarkan.

1.6.2. Lapis Pondasi Atas (Base)

Lapis pondasi atau lapis pondasi atas adalah bagian lapis perkerasan yang terletak di antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (atau tanah dasar bila tidak menggunakan lapis pondasi bawah). Lapisan ini merupakan lapisan utama dalam yang menyebarkan beban badan, erkerasan umumnya terdiri dari batu pecah (kerikil) atau tanah berkerikil yang tercantum dengan batuan pasir dan pasir lempung dengan stabilitas semen, kapur dan bitumen. Fungsi lapis pondasi antara lain :

1. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda.
2. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan

1.6.3. Lapis Pondasi Bawah (Sub Base)

Lapis pondasi bawah terletak di antara lapis pondasi atas dengan tanah dasar. Fungsi lapis pondasi bawah antara lain :

1. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
2. Mencapai efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisanlapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
3. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
4. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

1.6.4. Tanah Dasar (Subgrade)

Tanah dasar adalah permukaan tanah asli atau permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perlengkapan bagian-bagian perkerasan lainnya, kekuatan, dan keawetan konstruksi perkerasan jalan tergantung dari sifatsifat daya dukung tanah dasar. Tanah dasar yang baik untuk konstruksi perkerasan jalan adalah tanah dasar yang berasal dari lokasi itu sendiri serta kemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat. Sifat masing-masing tanah tergantung dari tekstur, kadar air, dan kondisi lingkungan.

Berdasarkan kelas jalan dan volume lalu lintas harian rata-rata, maka ketebalan lapis perkerasan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Lapis permukaan (surface course) = 0,075 meter
- Lapis pondasi atas (base course) = 0,20 meter
- Lapis pondasi bawah (subbase course) = 0,31 meter
- Tanah dasar (subgrade) = tak terhingga

1.7. Drainase jalan

1.7.1. Pengertian Umum

Drainase jalan merupakan prasarana yang fungsinya mengalirkan air dari permukaan perkerasan ke saluran samping jalan dan selanjutnya dialirkan ke badan air. Secara umum, ada dua sistem drainase, yang pertama adalah sistem drainase permukaan. Drainase permukaan merupakan drainase yang berkepentingan dengan aliran air yang bergerak sebagai aliran air permukaan. Persentase besarnya aliran air permukaan dinyatakan sebagai *run off coefficient*. Debit air yang berasal dari air permukaan, ditampung dan dialirkan ke dalam selokan samping kemudian dibuang melalui gorong-gorong. Macam-macam drainase permukaan adalah sebagai berikut:

1. Drainase memanjang (*slide-ditch*), merupakan drainase permukaan yang terletak di samping dan memanjang arah jalan
2. Drainase melintang (*cross drainage*), merupakan drainase permukaan yang melintang arah jalan raya

Sistem drainase yang kedua adalah sistem drainase bawah permukaan. Drainase bawah permukaan (*subsurface drain atau subdrain*) merupakan drainase yang mengendalikan kadar kelembaban perkerasan dan material di bawahnya sebagai upaya untuk membantu menjaga kekuatandan tingkat pelayanan perkerasan. Umumnya, drainase bawah tanah dibuat untuk mengatasi pengaruh rembesan air yang berasal dari tanah maupun air hujan yang memungkinkan memengaruhi kadar air pada tanah dasar. Ada satu jenis drainase lagi, yaitu drainase lereng.

Drainase lereng bertujuan untuk mencegah agar air permukaan yang berasal dari punggung lereng tak mengalir deras yang akhirnya dapat menggerus permukaan kaki lereng. Selain itu, drainase lereng dapat mencegah terjadinya aliran rembesan di dalam tubuh lereng tanah, di mana hal ini dapat mengakibatkan lereng bisa longsor secara mendadak dan/atau memperlemah tubuh jalan. Ada perbedaan penggunaan drainase antara jalan rural dan jalan perkotaan. Pada jalan rural biasanya dipilih selokan yang terbuka, sedangkan di jalan perkotaan biasanya menggunakan selokan terbuka atau tertutup tergantung pada kondisi setempat.

Dalam perencanaan dan perancangan drainase, diperlukan data curah hujan, topografi tanah, jenis tanah, tata guna lahan setempat, dan sebagainya. Ada juga persyaratan mengenai kecepatan aliran pembuangan air yang tak boleh terlalu besar untuk mencegah erosi dan tak terlalu kecil untuk mencegah adanya pengendapan. Kecepatan aliran ini juga dipengaruhi oleh bahan pembentuk saluran.

1.7.2. Fungsi Drainase Jalan

Drainase jalan pada konstruksi jalan memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Membuang air di permukaan struktur jalan

Air yang tinggal di permukaan perkerasan menjadi licin saat basah. Bila air masuk ke dalam perkerasan melalui retakan atau sambungan, maka akan melemahkan daya dukung fondasi dan tanah dasar. Air yang tinggal di area bahu jalan akan merembes ke bawah yang kemudian dapat melunakkan bahu jalan dan tanah dasar. Drainase di atas permukaan jalan yang baik, menambah keawetan struktur perkerasan. Untuk memperlancar pembuangan air secepatnya meninggalkan perkerasan, sistem drainase permukaan dibuat dengan cara memiringkan permukaan jalan dalam arah memanjang, melintang, demikian pula dengan kemiringan bahu jalan. Hal ini dilakukan guna meyakinkan aliran permukaan yang lancar dan untuk mengumpulkan air limpasan ke sisi jalan yang kemudian dibuang ke saluran drainase di sekitarnya. Masuknya air ke tanah dasar harus dipindahkan dengan cara membuat sistem drainase jalan yang dipasang pada bagian-bagian tertentu.

2. Menurunkan muka air tanah

Air tanah yang naik ke atas menuju struktur perkerasan melemahkan tanah dasar dan lapis fondasi sehingga diperlukan struktur drainase yang dapat mencegah masuknya air tanah ke bagian ini. Drainase yang berfungsi untuk menurunkan muka air tanah sangat membantu dalam pencegahan pengumpulan air dibawah struktur perkerasan, yaitu mengeliminasi pengumpulan air dalam bentuk aksi uap air atau kapiler. Drainase juga mengurangi penguapan air di dalam tanah dasar, sehingga walaupun pada musim panas, kadar air tidak banyak berubah.

3. Mereduksi tekanan hidrostatik

Untuk mengatasi masalah hidrostatik ini, drainase dibutuhkan guna memotong rembesan dan kemudian mengalirkannya menuju drainase bawah permukaan. Dengan membangun saluran drainase di kaki lereng galian, maka muka airtanah yang tinggi di bawah zona perkerasan dapat diturunkan sehingga perkerasan terhindar dari gangguan air tanah yang merusak.

4. Mencegah erosi

Lereng galian atau timbunan untuk jalan harus tidak dialiri limpasan air hujan. Kemiringan lereng yang tinggi menyebabkan kecepatan air yang mengalir di bagian ini sangat besar. Aliran air dengan kecepatan yang tinggi di permukaan lereng akan mengangkut partikel-partikel tanah dan mengakibatkan erosi. Ukuran partikel yang dipindahkan oleh aliran permukaan bergantung pada kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan air, semakin besar diameter yang dapat terangkut

1.8. Aspek Konservasi Alam dalam perencanaan jalan

Pembangunan jalan di Indonesia seringkali harus melewati Kawasan konservasi yang dapat memberikan ancaman terhadap kelestarian spesies dan ekosistem. Menurut Pudyatmoko (2023) beberapa ruas jalan yang merupakan jalan tol melewati Kawasan hutan yang sensitif secara ekologi, diantaranya ruas jalan tol Trans Pekanbaru-Dumai dan rute jalan tol Tempino-Bitung-Jambi, rute jalan tol Trans Jawa Probolinggo-Banyuwangi. Pembangunan jalan tol yang melewati Taman Nasional dapat berdampak negative terhadap satwa maupun habitatnya. Dampak tersebut bisa terjadi pada saat pembangunan maupun operasional jalan. Berbagai dampak Pembangunan jalan di Kawasan hutan (Taman Nasional):

1. Memberikan Stressor baru yang mengancam jenis-jenis satwa
2. Memecah populasi menjadi sub-sub populasi kecil
3. Menghalangi pergerakan satwa
4. Menimbulkan kematian satwa akibat tertabrak kendaraan
5. Menghalangi konektivitas
6. Memutus aliran gen
7. Merusak system hidrologi alami sebagai faktor kunci kelestarian ekosistem

Oleh karena itu diperlukan pendekatan pemahaman perilaku satwa liar sebelum melakukan Pembangunan jalan untuk keselamatan kedua pihak, manusia dan satwa.

Pembangunan jalan harus mampu mendukung upaya pelestarian keagaman hayati serta tidak menghalangi atau memutus rute pergerakan satwa liar. Disamping itu Pembangunan jalan diharapkan tidak mengganggu habitat mikro penting serta tidak menambah potensi terjadinya kecelakaan (Pudyatmoko, 2023). Penerapan pendekatan *green infrastructure* (koridor satwa dan pembatas alami) dan prinsip *sustainable construction* menjadi satu pilihan yang tepat. Prinsip *sustainable construction* diantaranya keberlanjutan lingkungan, keterlibatan masyarakat, kelayakan ekonomi dan peran pemerintah dan kelembagaan yang efektif.

Dalam merencanakan jalan dikawasan konservasi perlu mempertimbangkan sebaran satwa liar serta kesesuaian lokasi calon jalan sebagai habitat satwa liar khususnya bagi satwa berbadan besar. Jenis satwa tersebut yang sering dijumpai adalah: banteng, rusa, kijang dan Ajag. Semakin banyak terdapat satwa liar dan makin sesuai habitat yang ada, maka harus diupayakan seminimal mungkin terjadinya perubahan alam maupun dampak Pembangunan. Keberadaan jalan baru dapat menjadi faktor pendorong terjadinya pembelahan habitat yang tak terkendali. Jalan dapat menghalangi penyebaran satwa, mengisolasi habitat dan dan populasi. Selain itu, jalan akan meningkatkan kebisingan dan menurunkan kualitas habitat karena efek negative yang muncul dan berdampak pada kematian satwa liar.

Untuk merancang jalan berdasarkan rute satwa liar, beberapa pertimbangan dan prinsip desain perlu diperhitungkan, diantaranya

- 1. Penyeberangan satwa liar**, yang meliputi jalan layang dan underpass (terowongan)

Merupakan struktur yang dirancang untuk menyediakan jalur yang aman bagi satwa liar di atas atau di bawah jalan raya. Penyeberangan ini sering dibangun dalam kombinasi dengan pagar untuk meningkatkan efektivitasnya dan dirancang untuk melayani spesies target untuk lokasi tertentu atau mengakomodasi sebagian besar spesies di suatu daerah.

Jarak penyeberangan satwa liar sangat tergantung pada variabilitas lanskap, medan, kepadatan populasi, penjajaran habitat satwa liar kritis yang memotong jalan, dan persyaratan konektivitas untuk spesies yang berbeda. Perencanaan dan perancangan penyeberangan satwa liar akan sering difokuskan pada spesies tertentu yang menarik minat konservasi, kelompok spesies tertentu, atau spesies berlimpah yang menimbulkan ancaman bagi keselamatan pengendara.

2. Pemasangan pagar

Pagar pada tempat-tempat tertentu diperlukan untuk membatasi arah atau jalur pergerakan satwa. Dengan adanya pagar pembatas di bagian tertentu tepi jalan dapat pula mengarahkan Gerakan atau lintasan satwa liar. Dengan demikian selain dapat melindungi keselamatan satwa juga keamanan dan keselamatan pengguna jalan

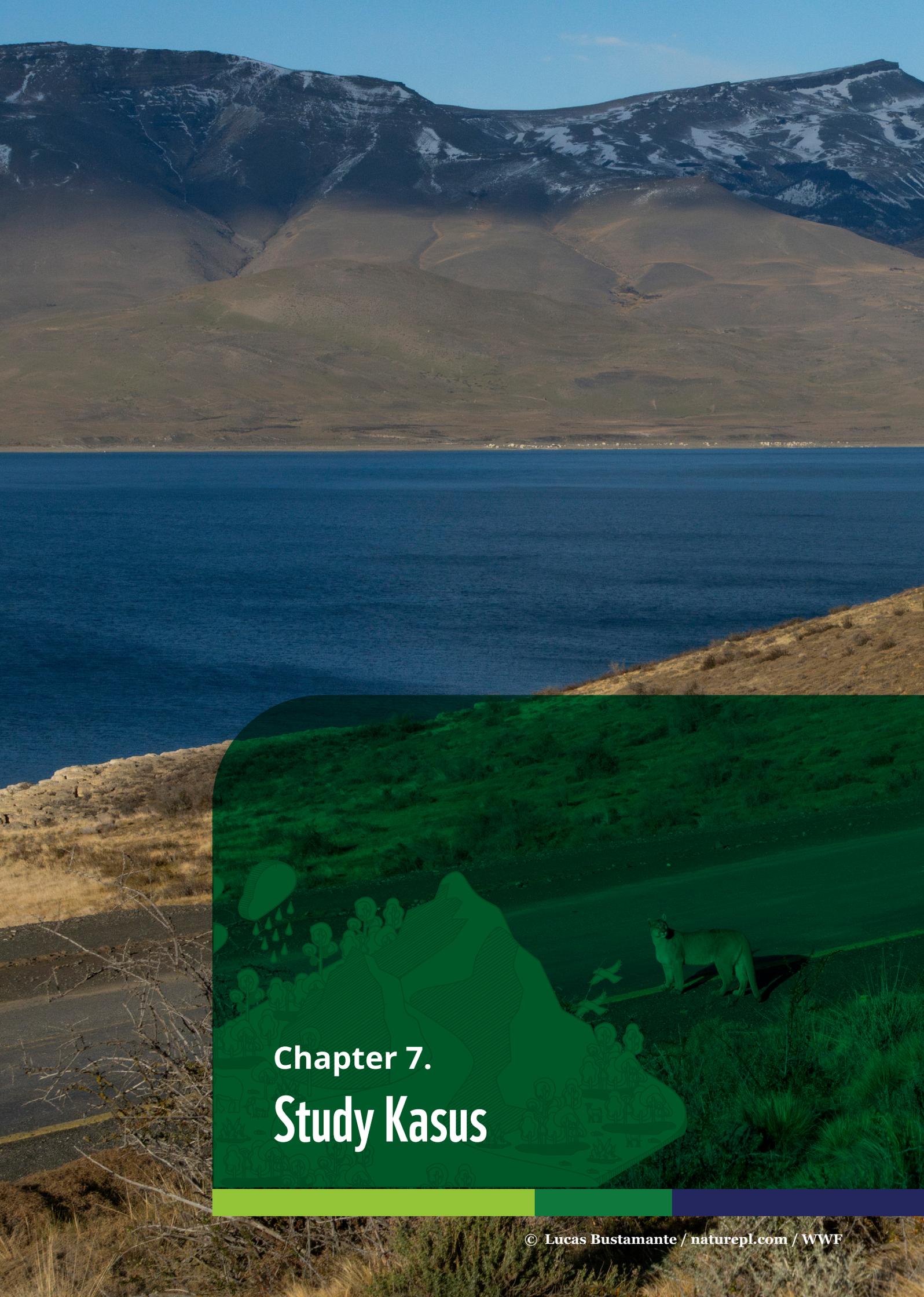
3. Koridor Satwa

Penyediaan koridor khusus untuk pergerakan satwa di atas jalan menjadi satu upaya memberikan fasilitas bagi satwa liar untuk bergerak, beraktifitas (mencari air/sumber makanan) tanpa terganggu aktifitas pergerakan kendaraan di jalan

4. Desain jalan yang peka fauna.

Struktur jalan khusus seperti jalan layang dapat mengurangi dampak buruk pada beberapa spesies. Struktur ini dapat membantu mengurangi populasi satwa liar yang terkena dampak dan mengurangi kecelakaan kendaraan yang mengakibatkan kematian manusia, kerusakan properti, dan kematian satwa liar.

Perencanaan jalan harus memperhatikan risiko dampak bagi kelestarian hayati maupun satwa liar. Khusus bagi satwa liar, perilaku pergerakan menjadi perhatian dalam menetapkan trase jalan maupun kebutuhan fasilitas pergerakan mereka supaya tidak menimbulkan dampak negative jangka panjang. Oleh karena diperlukan mitigasi di setiap tahap Pembangunan dan pemeliharaan jalan.



Chapter 7. Study Kasus

Analisis spasial dapat dilakukan untuk mengekstrak informasi maupun menghasilkan informasi baru dengan cara melakukan kueri data, memahami sebaran data secara spasial, menentukan hubungan, mendeteksi pola, maupun membuat prediksi. Hasil analisis spasial diharapkan dapat membantu menganalisis permasalahan secara spasial sekaligus merumuskan solusi berbasis alam serta merumuskan kebijakan terkait. Pada chapter ini terdapat tiga latihan analisis spasial yang akan dilakukan, yakni: 1) Analisis Data Habitat Quality dan Jalan; 2) Analisis Data Annual Water Yield dan Iklim (Kekeringan); 3) Analisis Perubahan Penutup/Penggunaan Lahan dan Jasa Lingkungan. Peserta diharapkan dapat melakukan analisis spasial hingga menentukan solusi yang memungkinkan untuk diterapkan di wilayah kajian.

7.1. Analisis Tumpang-susun Jasa Lingkungan dengan Jalan

Skenario

Peserta akan diberikan studi kasus mengenai Jasa Lingkungan Kualitas Habitat (*habitat quality/HQ*) dan Rasio Pengiriman Sedimen (*Sediment Delivery Ratio/SDR*). Metode yang akan dilakukan salah satunya adalah tumpang susun (*overlay*) dengan data jalan yang berdampak besar (*high impact*), dalam hal ini adalah Jalan Arteri dan Jalan Kolektor. Tujuannya untuk melihat wilayah kelas HQ dan SDR yang memiliki klasifikasi kualitas habitat tinggi dan rasio pengiriman sedimen tinggi yang bertampalan dengan jalan yang memiliki dampak tinggi terhadap jasa lingkungan. Jalan yang bertampalan dengan jasa lingkungan HQ dan SDR memiliki dampak terhadap habitat satwa seperti gajah dan macan dan kerentanan terhadap pengantaran sedimen di wilayah kajian. Identifikasi tumpang susun jalan dampak tinggi dengan jasa lingkungan merupakan langkah awal dalam menentukan identifikasi pembangunan apa yang sesuai pada suatu wilayah tersebut. Peserta akan diminta untuk menganalisis studi kasus wilayah jalan yang bertampalan dengan kualitas habitat dan rasio pengantaran sedimen tinggi dan memberikan hasil akhir berupa analisis permasalahan serta solusi yang dapat diterapkan.

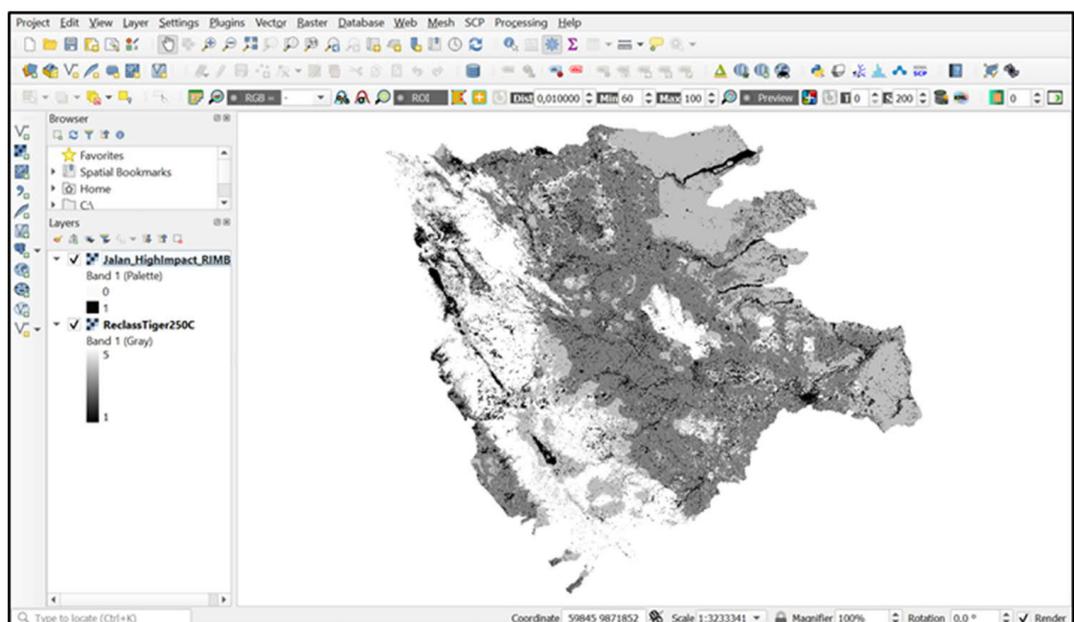
Bahan yang diperlukan:

1. Data Raster Rasio Pengiriman Sedimen Kawasan RIMBA (dapat diperoleh dari hasil praktek sebelumnya)
2. Data Raster Kualitas Habitat Kawasan RIMBA (dapat diperoleh dari hasil praktek sebelumnya)
3. Data Raster Jalan Dampak Tinggi (*High Impact*) yang dapat diperoleh dari tautan berikut: https://drive.google.com/drive/folders/15XutTNRW6cyBWyBqVRCrRhN9Ak_jJWsQ?usp=sharing

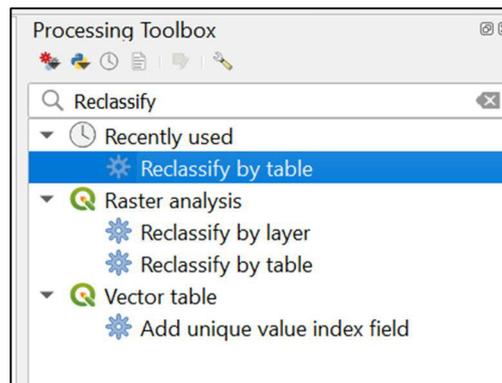
Reclassify Data Raster Jalan

Data raster Jalan *High Impact* merupakan data gabungan dari data raster Jalan Arteri dan Jalan Kolektor. Data raster Jalan *High Impact* perlu direklasifikasi menjadi satu kelas dengan nilai 0 untuk dasar dalam melakukan raster kalkulator dalam proses identifikasi tumpang susun jasa lingkungan dengan jalan. Berikut merupakan tahapan yang harus dikerjakan:

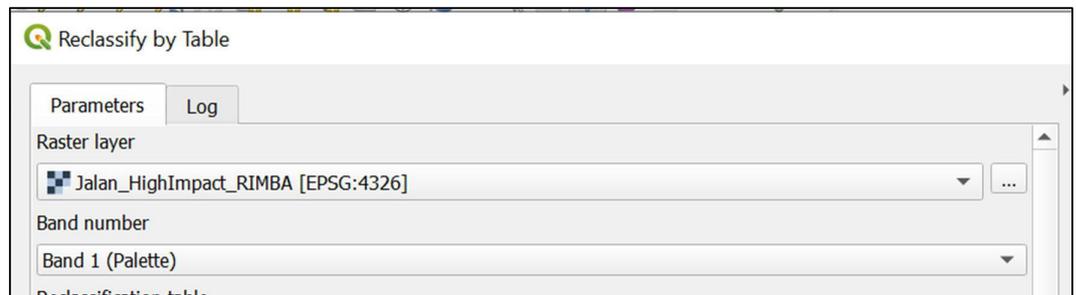
1. *Drag and drop* data-data yang dibutuhkan ke dalam QGIS (data jalan *high impact*, data raster SDR, dan data raster HQ).



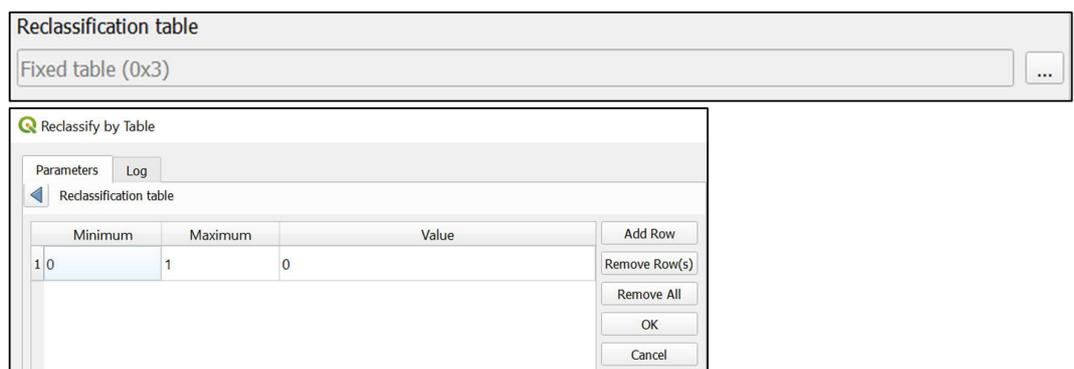
2. Cari tools “Reclassify by Table” pada kolom pencarian Processing Toolbox



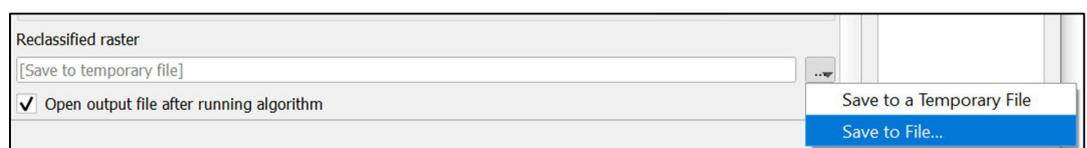
3. Pilih data jalan *high impact* pada kolom Raster Layer



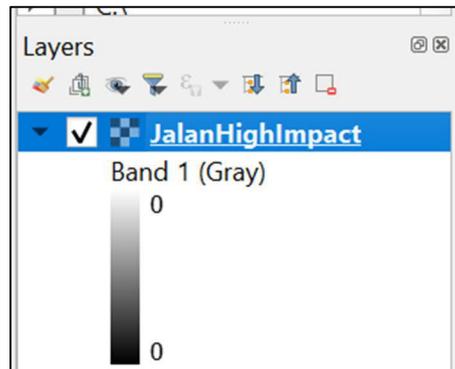
4. Tentukan tabel reklasifikasi dan buat value baru menjadi 0 (null) kemudian pilih OK



5. Pilih lokasi penyimpanan dan tentukan nama file tersebut kemudian pilih Run



- Setelah hasil running selesai, maka akan muncul data jalan hasil reklasifikasi terbaru setelah pemrosesan dengan nilai kelas 0

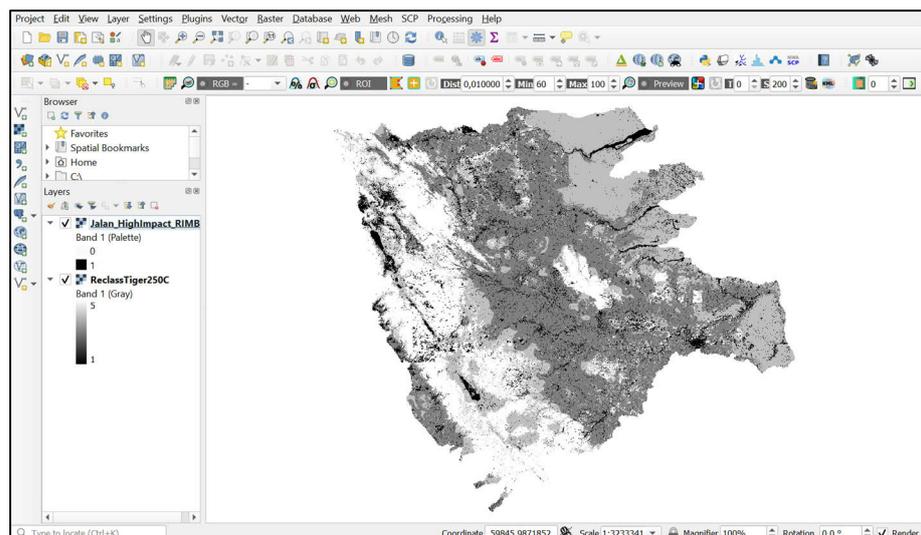


Ekstraksi Nilai Kelas dan Reklasifikasi Jasa Lingkungan HQ dan SDR

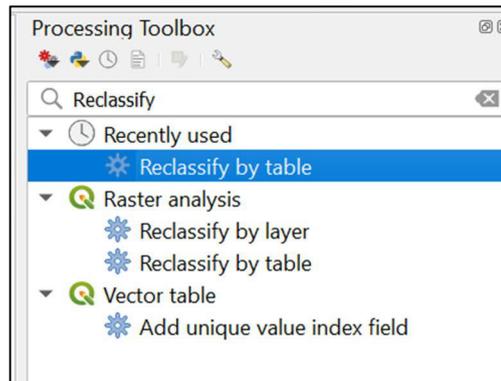
Ekstraksi nilai kelas jasa lingkungan merupakan tahapan untuk memisahkan kelas jasa lingkungan rendah dan tinggi, kelas jasa lingkungan tinggi yang tumpang susun pada wilayah kajian kemudian akan direklasifikasi menjadi kelas dengan nilai 1 (satu) untuk dasar dalam melakukan raster kalkulator dalam proses identifikasi tumpang susun jasa lingkungan dengan jalan.

Berikut merupakan tahapan yang harus dikerjakan:

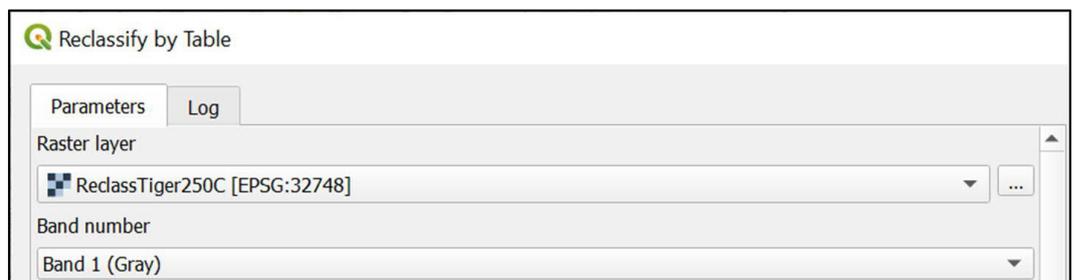
- Drag and drop* data-data yang dibutuhkan ke dalam QGIS (data jalan *high impact*, data raster SDR, dan data raster HQ).



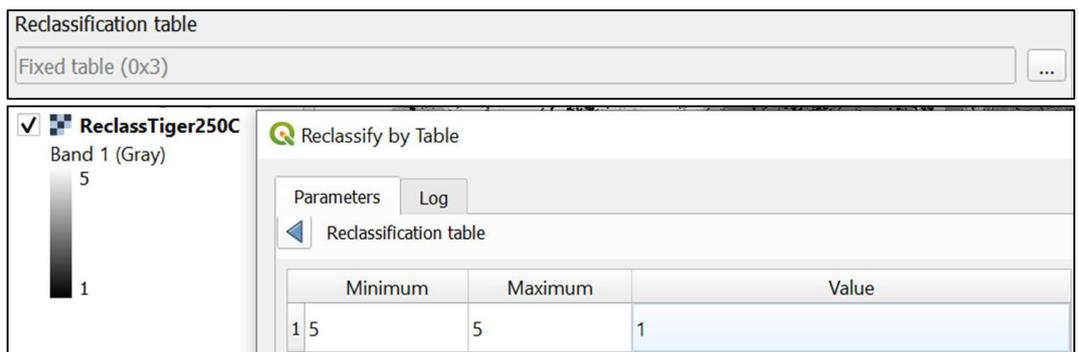
2. Cari tools “Reclassify by Table” pada kolom pencarian Processing Toolbox



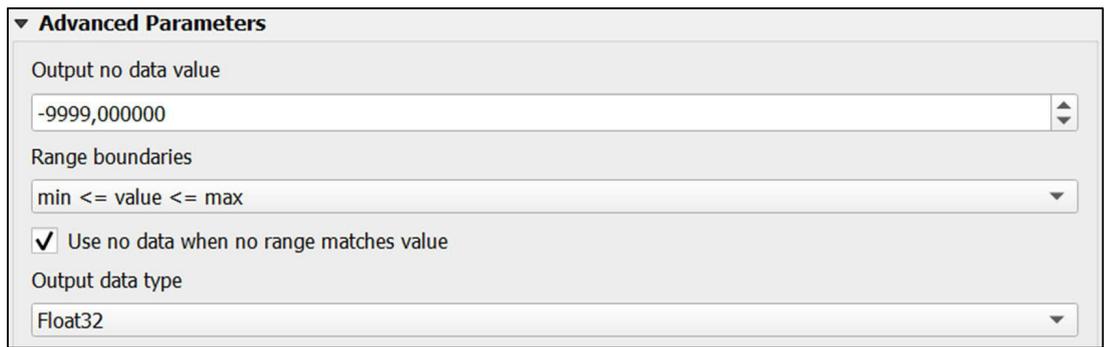
3. Pilih data jasa lingkungan yang digunakan pada kolom Raster Layer, tutorial ini mencontohkan menggunakan data jasa lingkungan kualitas habitat harimau



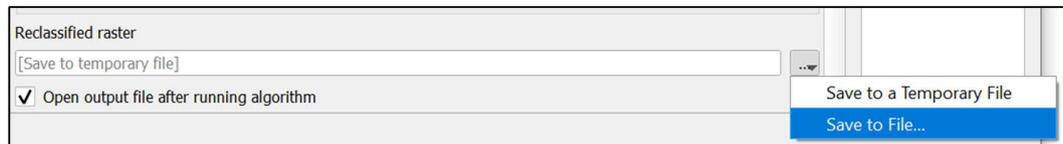
4. Tentukan tabel reklasifikasi dan tentukan value baru menjadi 1 (satu) dari kelas jasa lingkungan klasifikasi “Sangat Tinggi” (Kelas Klasifikasi 5) kemudian pilih OK



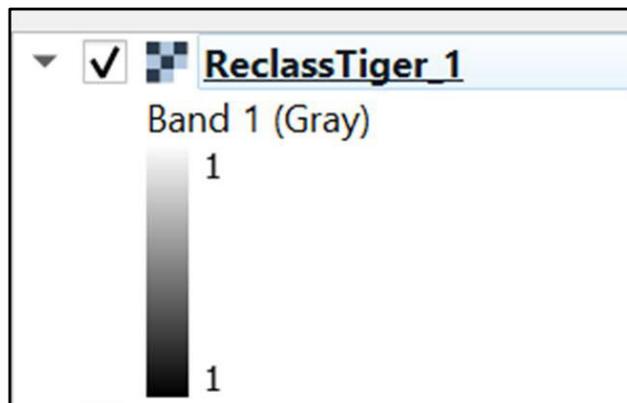
- Centang *checkbox* “Use no data when no range matches value”



- Pilih lokasi penyimpanan dan tentukan nama file tersebut kemudian pilih Run



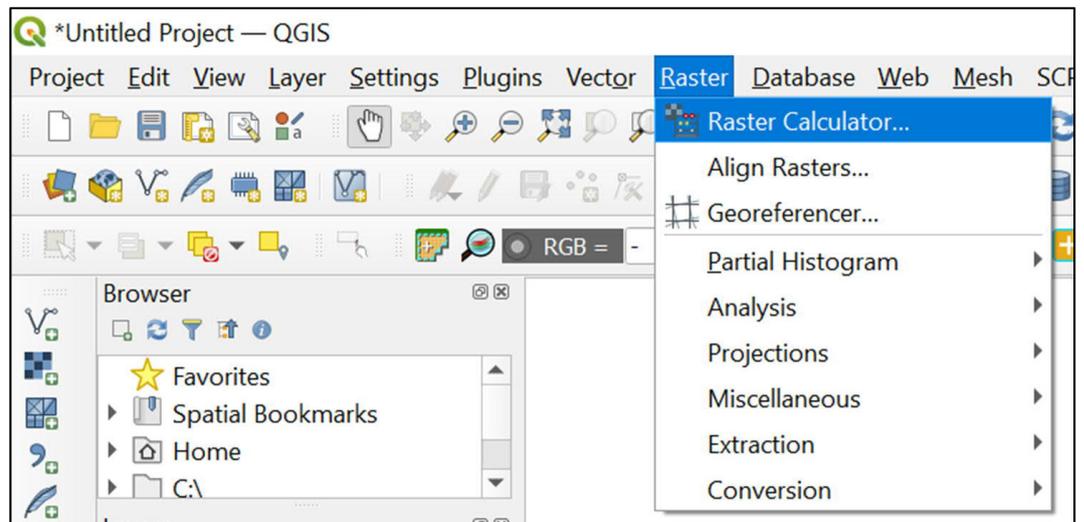
- Setelah hasil running selesai, maka akan muncul data jasa lingkungan hasil reklasifikasi terbaru setelah pemrosesan dengan nilai kelas 1



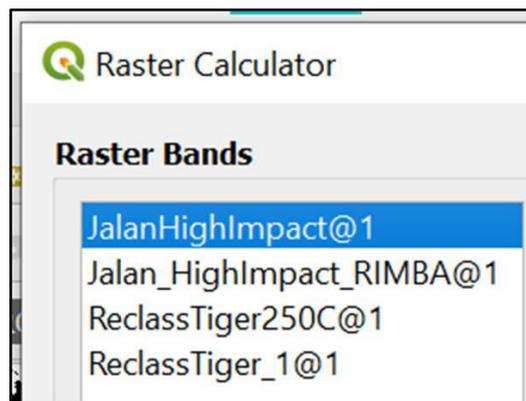
Raster Kalkulator

Tahapan Raster Kalkulator digunakan untuk menyatukan hasil tumpang-susun antara jalan dengan value 0 (nol) dan jasa lingkungan dengan value 1 (satu). Data raster jalan dan jasa lingkungan yang tumpang-susun akan diproses dengan perkalian sederhana. Data yang tumpang-susun akan menghasilkan perkalian dengan hasil 0 (nol) dan identifikasi sebagai wilayah jalan yang melewati jasa lingkungan klasifikasi “sangat tinggi”. Berikut merupakan tahapan-tahapan yang harus dilakukan:

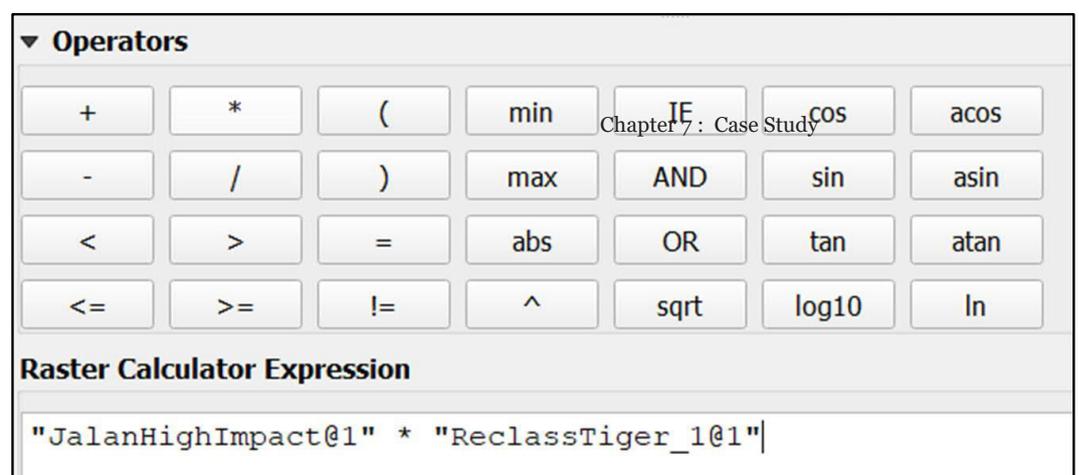
1. Buka Tab Raster kemudian pilih Raster Calculator



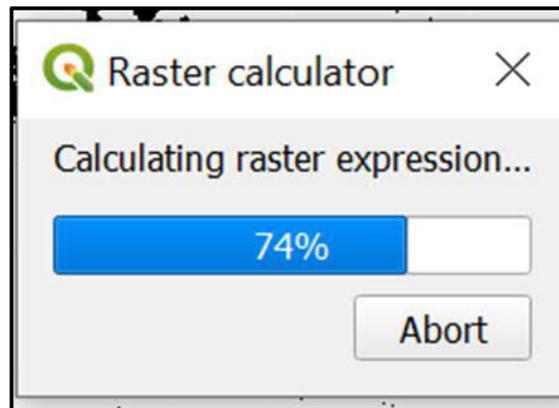
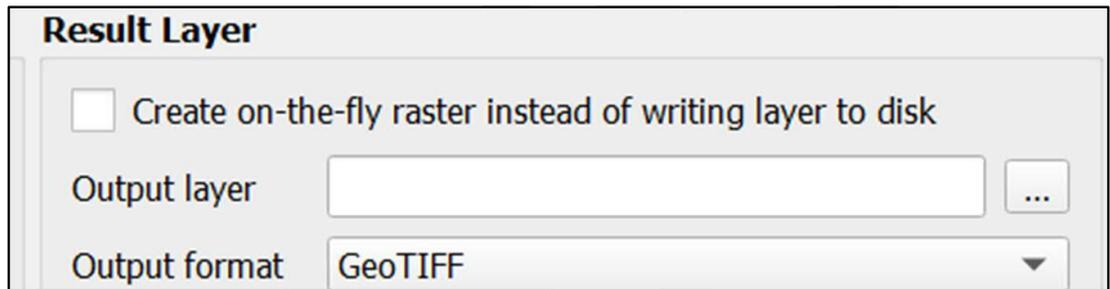
2. Pilih data raster jalan dan raster jasa lingkungan hasil pemrosesan reklasifikasi sebelumnya



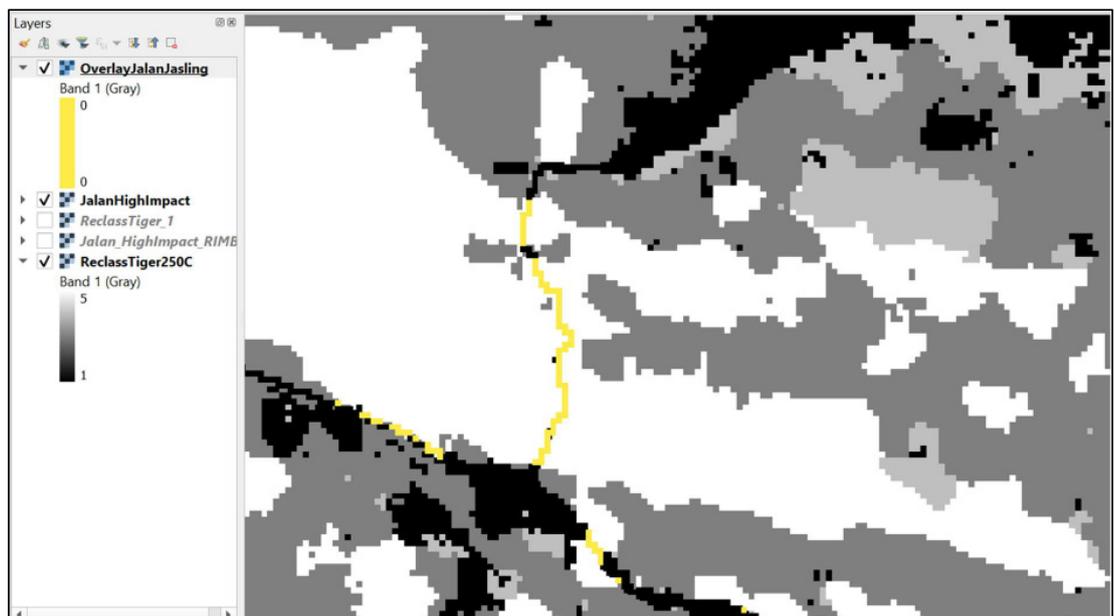
3. Lakukan perkalian sederhana terhadap kedua data tersebut

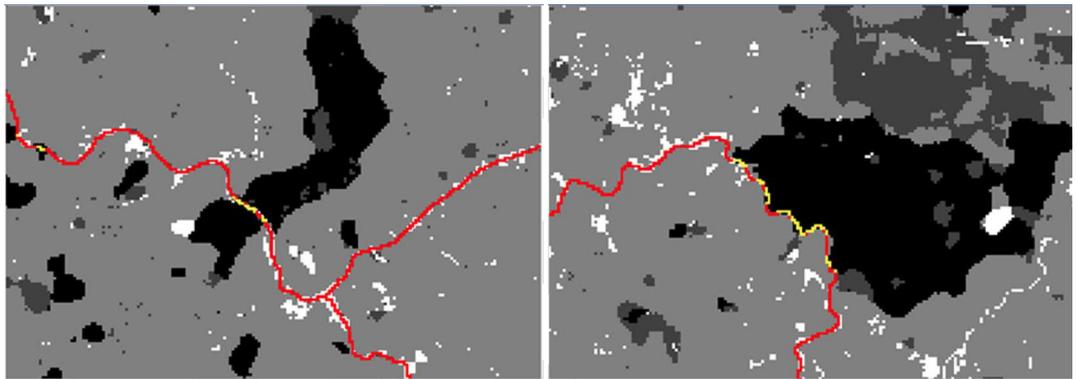


- Pilih lokasi penyimpanan kemudian pilih OK



- Setelah hasil running selesai, maka akan muncul data raster jalan yang tetumpangsusun dengan jasa lingkungan kelas “Sangat Tinggi”, gunakan simbolisasi untuk menyesuaikan visualisasinya





Gambar 30. Contoh data jalan dan jasa lingkungan yang tumpang-susun
Sumber: Pengolahan Data 2023

Data raster jalan dan raster jasa lingkungan yang tumpang-susun mengindikasikan bahwa kondisi pembangunan jalan memiliki pengaruh pada jasa lingkungan. Perlu dilakukannya solusi perancangan pembangunan pada wilayah yang terdampak seperti pembangunan koridor, peredam kecepatan, jalan layang pada wilayah kehutanan, dan lain sebagainya. Contohnya, pada DAS Indragiri terdapat data jalan yang tumpang-susun dengan jasa lingkungan Kualitas Habitat kelas klasifikasi “Sangat Tinggi”. Perlu diakukannya idenitifikasi luas area dan dan karakteristik wilayah pada wilayah khusus tumpang-susun tersebut. Hasil identifikasi kemudian akan menjadi bahan dasar dalam pertimbangan perencanaan pembangunan dalam penyusunan kebijakan oleh pemerintah daerah maupun setempat, hal yang sama juga berlaku dalam penentuan penyusunan zona khusus pada jasa lingkungan yang neniliki kelas klasifikasi Kualitas Habitat “Sangat Tinggi” seperti zona taman nasional, zona konservasi khusus satwa, dan lain sebagainya.

7. 2. Analisis Annual Water Yield dan Iklim (Indeks Kekeringan)

Skenario

Peserta akan melakukan analisis spasial dengan menumpang susunkan antara data simpanan air rerata tahunan (Annual Water Yield) dan indeks kekeringan (Keetch-Byram Drought Index/KBDI). Tujuannya untuk melihat wilayah yang memiliki simpanan air yang melimpah dan wilayah dengan nilai indeks kekeringan tinggi. Pada wilayah dengan indeks kekeringan tinggi, ketersediaan air diharapkan dapat diperoleh dari area sekitarnya yang memiliki simpanan air tinggi. Peserta diharapkan dapat menentukan perkiraan lokasi wilayah-wilayah tersebut pada praktek studi kasus ini.

Keetch-Byram Drought Index (KBDI) merupakan skala kontinu yang dapat memperkirakan kekeringan serta tanah lapisan duff (Takeuchi et al., 2015; Keetch&Byram, 1968). Nilainya berkisar antara 0 hingga 800. Nilai 0 berarti tidak ada kekurangan kelembaban, sedangkan nilai 800 menunjukkan kekeringan ekstrim. KBDI dapat menilai risiko kebakaran dengan merepresentasikan *net effect* dari evapotranspirasi dan presipitasi (National Integrated Drought Information System). KBDI telah digunakan secara luas untuk pencegahan kebakaran hutan maupun memantau perkiraan cuaca nasional. Data raster Keetch-Byram Drought Index (KBDI) skala global dengan resolusi spasial 4 km dapat diperoleh dan diunduh melalui Google Earth Engine.

Metodologi

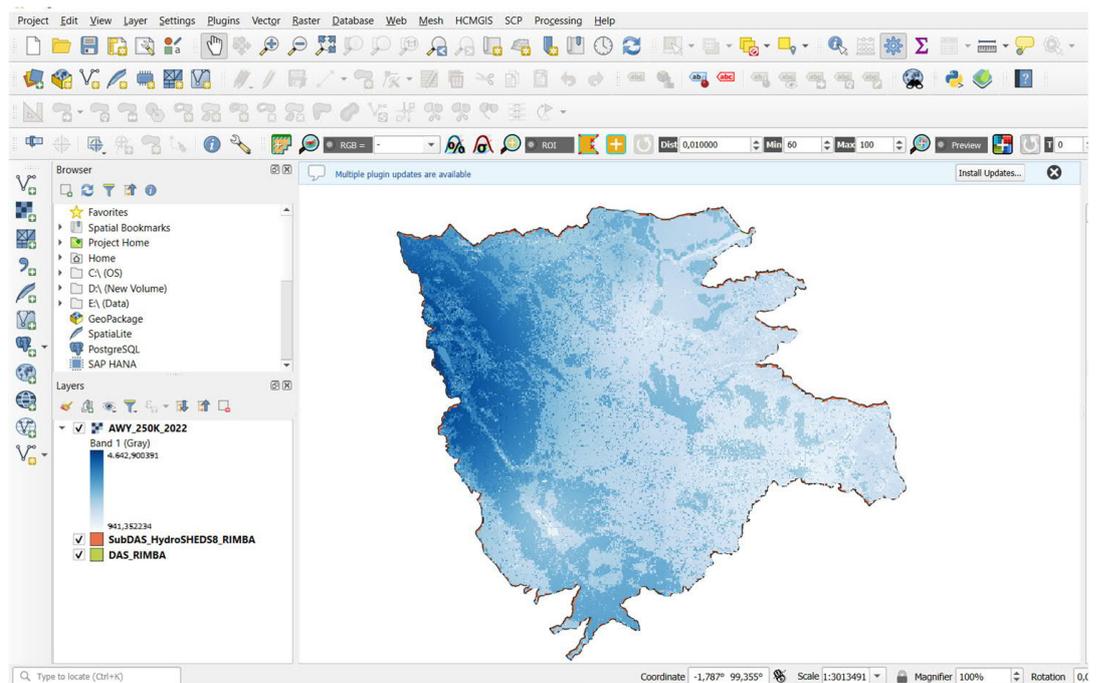
Bahan yang diperlukan:

1. Data Raster Simpanan Air Rerata Tahunan Kawasan RIMBA (dapat diperoleh dari hasil praktek sebelumnya)
2. Data Raster Keetch-Byram Drought Index (KBDI) Kawasan RIMBA
3. Data Vektor Batas DAS RIMBA dan Batas Sub-DAS HydroSHEDS Basins Level 8

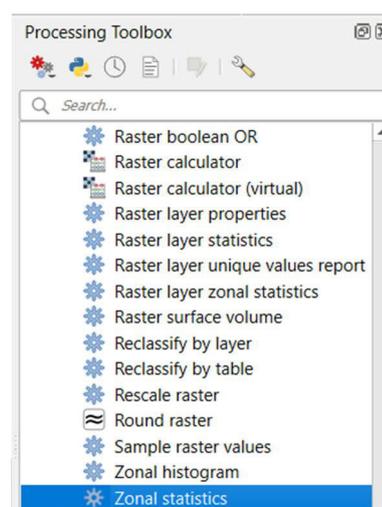
Zonal Statistik Raster Annual Water Yield berdasarkan Batas Sub-DAS HydroSHEDS Level8

Catatan: Batas Sub-DAS HydroSHEDS Basins Level 8 yang dapat diunduh melalui Google Earth Engine, bersumber dari data DEM SRTM dan dapat diaplikasikan pada skala regional maupun nasional.

1. Drag and drop data-data yang dibutuhkan ke dalam QGIS



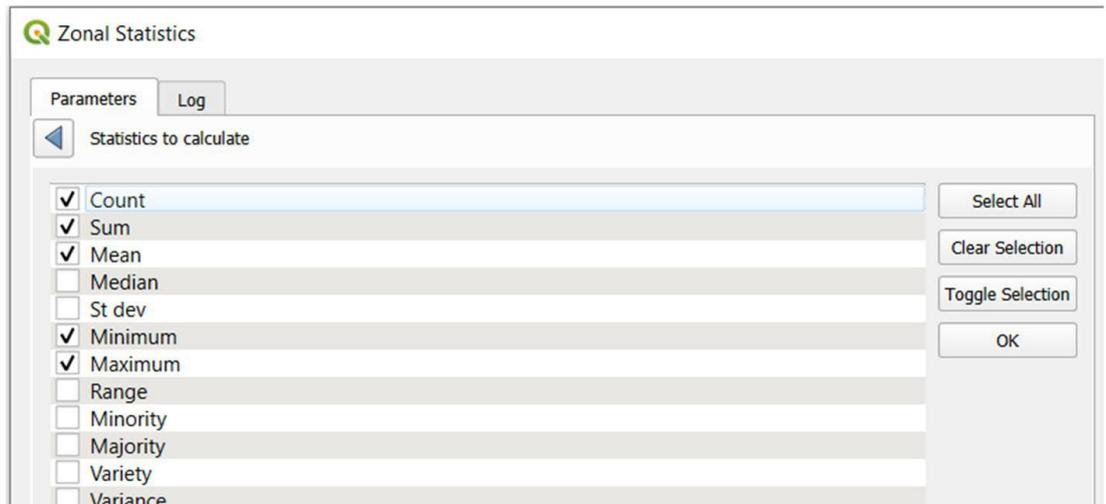
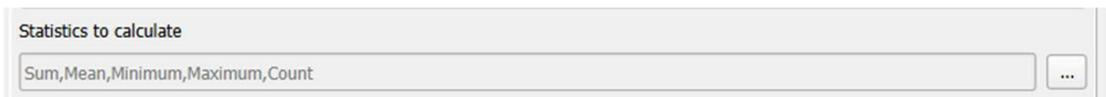
2. Cari tools Zonal Statistic atau drop down pada Raster Analyst > Zonal statistics



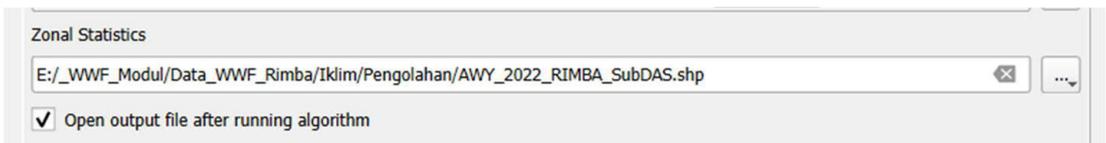
3. Masukkan shapefile batas subdas pada bagian Input layer dan data raster Annual Water Yield pada bagian Raster layer



4. Tentukan perhitungan statistik apa yang akan dilakukan



5. Atur penamaan file dan direktori penyimpanan

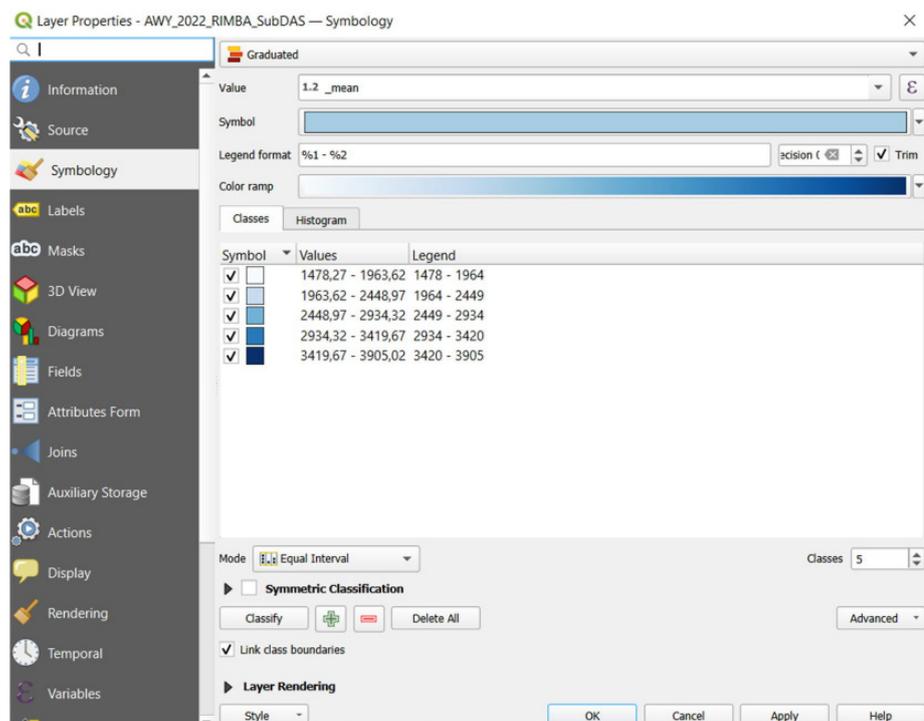


6. Berikut adalah atribut tabel hasil perhitungan statistik setiap sub-DAS

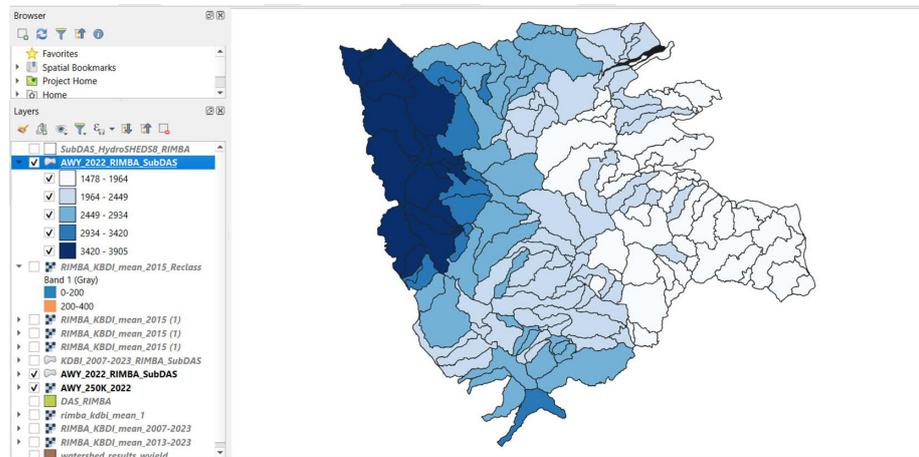
ID_SubDAS	_count	_sum	_mean	_min	_max
1	669130,000000...	2605139447,73...	3893,32334185...	2630,49633789...	4309,84570312...
2	96187,000000...	260058237,912...	2703,67344768...	1645,55139160...	3022,35620117...
3	372914,000000...	952924119,981...	2555,34552197...	1658,28894042...	3042,43017578...
4	2762538,000000...	6862885556,70...	2484,26829122...	1406,96374511...	3035,66821289...
5	2132472,000000...	4276415873,25...	2005,37961260...	1161,34045410...	2916,99951171...
6	258319,000000...	635261445,677...	2459,21301056...	1627,39746093...	3057,33105468...
7	1453407,000000...	3694961108,90...	2542,27556968...	1604,07214355...	3296,22778320...
8	467066,000000...	1154740335,89...	2472,32797055...	1641,87255859...	3218,89135742...
9	592793,000000...	1463103876,24...	2468,15309264...	1538,92651367...	3137,41406250...
10	1860442,000000...	4990920522,72...	2682,65311292...	1572,28710937...	3781,06201171...
11	243922,000000...	647224661,729...	2653,40830974...	1655,87426757...	3147,55078125...

7. Secara spasial hasilnya dapat ditampilkan berdasarkan nilai rata-rata atau mean, nilai maksimum, atau nilai minimum. Misalnya akan ditampilkan berdasarkan nilai rata-ratanya.

Klik kanan pada layer hasil raster calculator lalu pilih **Properties** > **Symbology**. Atur simbolisasi menggunakan **Graduated** simbol, pada bagian **value** pilih **_mean**, atur **color ramp**, tentukan metode pengkelasan (misalnya menggunakan Equal interval atau interval tetap) pada bagian **Mode**, tentukan jumlah kelas pada bagian **classes**, lalu klik **Clasify**.



8. Berikut merupakan tampilan Peta Annual Water Yield dengan unit analisis sub-DAS menggunakan nilai rata-rata. Anda juga dapat mencoba visualisasi dengan menggunakan nilai total.



Pengkelasan Data Indeks Kekeringan KBDI

Sebagai contoh, data raster indeks kekeringan KBDI yang telah diunduh dari Google Earth Engine merupakan data sepanjang tahun 2015 saat terjadi fenomena cuaca El Nino pada level kuat.

Berikut adalah rentang nilai indeks kekeringan KBDI:

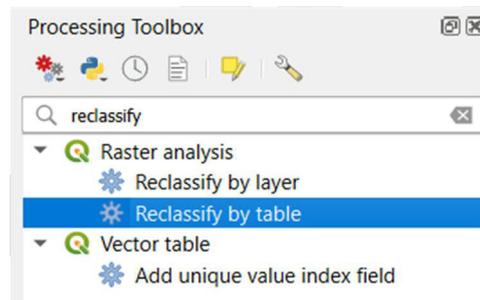
Rentang Nilai	Keterangan
0 – 200	Tanah yang lembab, kelas <i>fuel moisture</i> tinggi, dan tidak memberikan kontribusi besar terhadap intensitas kebakaran.
200 – 400	Vegetasi sebagai bahan bakar mulai mengering dan memberikan kontribusi terhadap intensitas kebakaran hutan.
400 – 600	Lapisan serasah dan lantai serasah bawah memberikan kontribusi terhadap intensitas kebakaran dan akan terbakar dengan aktif. Intensitas kebakaran hutan mulai meningkat secara signifikan.
600 – 800	Seringkali terkait dengan kekeringan yang lebih parah dengan peningkatan kejadian kebakaran hutan. Kebakaran dengan intensitas tinggi, hingga kemungkinan kebakaran dengan intensitas ekstrem

Catatan:

Fluel moisture ->ukuran dari jumlah air dalam bahan bakar (vegetasi) yang tersedia untuk kebakaran, dan dinyatakan sebagai persentase dari berat kering bahan bakar tersebut

Pengkelasan akan dilakukan menggunakan tools reclassify, berikut adalah tahapannya:

1. Cari tools Reclassify by table atau drop down menu Raster Analysis lalu pilih Reclassify by table.



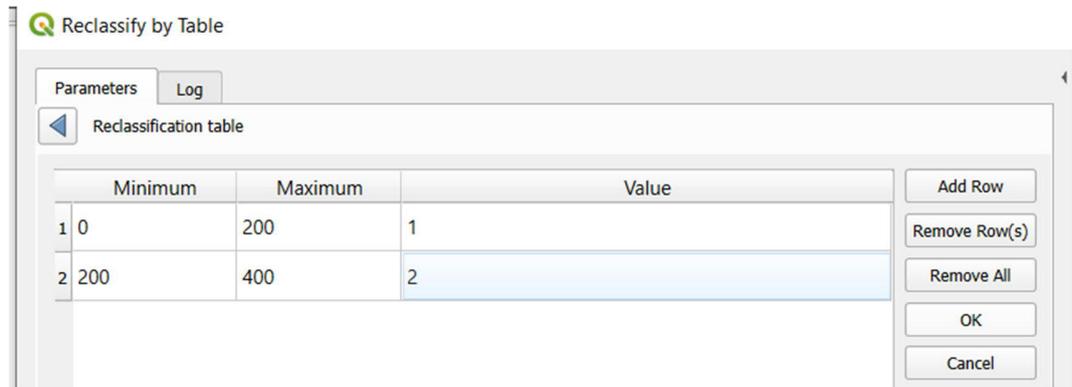
2. Masukkan data raster indeks kekeringan KBDI tahun 2015



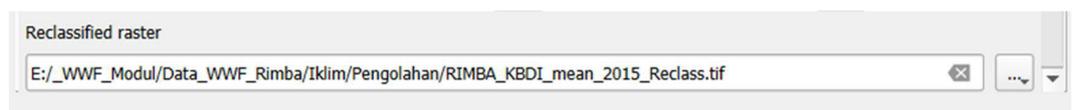
3. Untuk melakukan peng-kelasan berdasarkan rentang nilai tertentu, klik tanda titik tiga pada bagian **Reclassification table**.



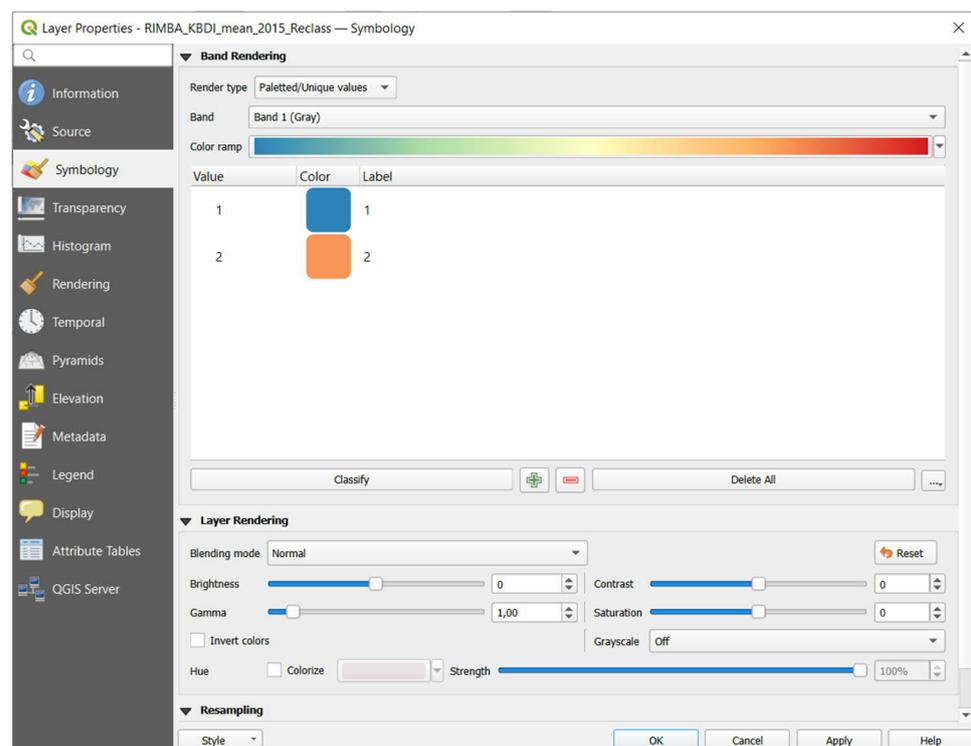
- Tambahkan baris dengan **Add row** sebanyak kelas yang dibutuhkan. Karena nilai indeks KBDI di Kawasan Koridor Ekosistem RIMBA pada tahun 2015 berkisar antara 282,919 hingga 26,42, maka hanya akan ada dua kelas. Masukkan nilai maksimum dan minimum untuk setiap kelas, lalu klik OK.



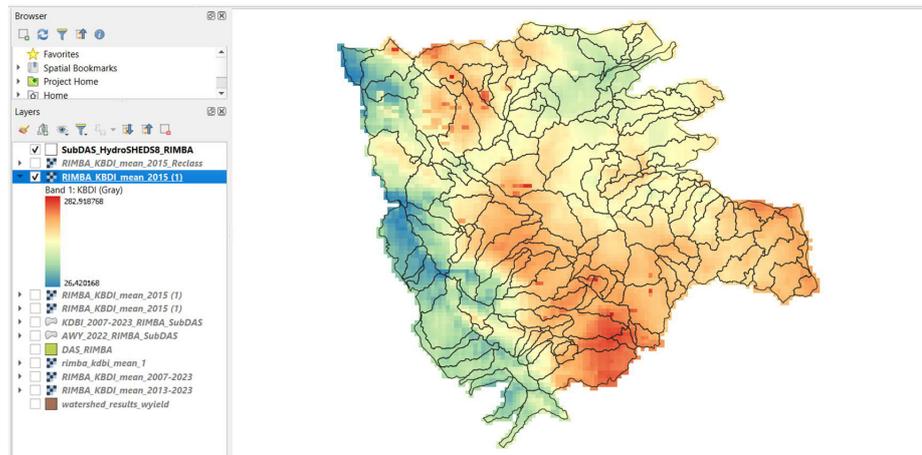
- Atur nama file dan direktori penyimpanan, kemudian klik Run.



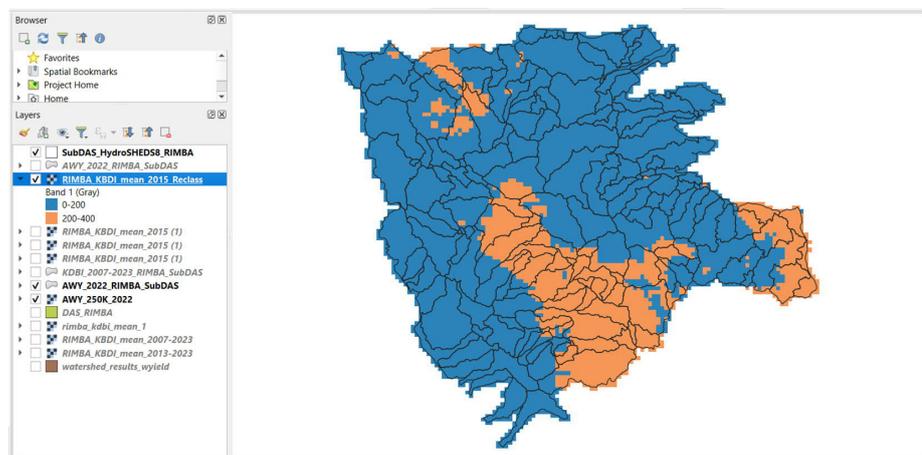
- Untuk memunculkan simbologi hasilnya, klik kanan pada raster > **Symbology** > **Paletted/Unique Value** > **Classify**. Atur pewarnaan simbolnya pada Color ramp seperti contoh berikut.



7. Berikut merupakan tampilan data indeks KBDI sebelum dan sesudah di-reclassify. Aktifkan layer batas sub-DAS untuk melihat nilai KBDI pada setiap unit sub-DAS.



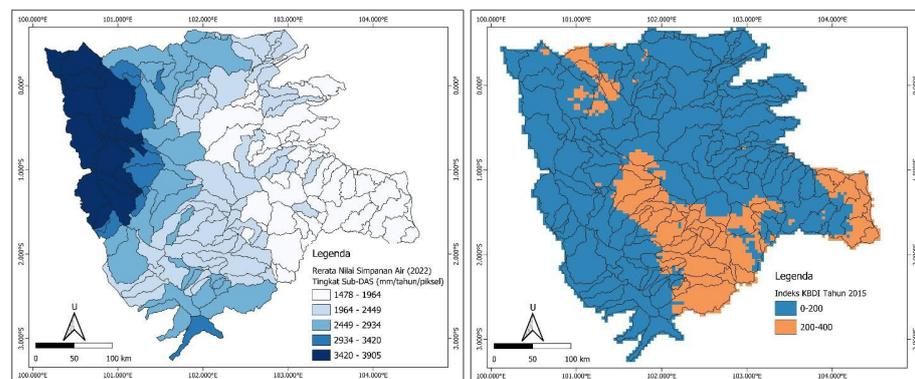
Sebelum Reclass



Sesudah Reclass

8. Proses analisis secara sederhana dapat dilakukan dengan mengaktifkan dan menonaktifkan layer Nilai Rerata Annual Water Yield Tingkat Sub-DAS dengan layer Nilai Indeks Kekeringan KBDI.

Analysis

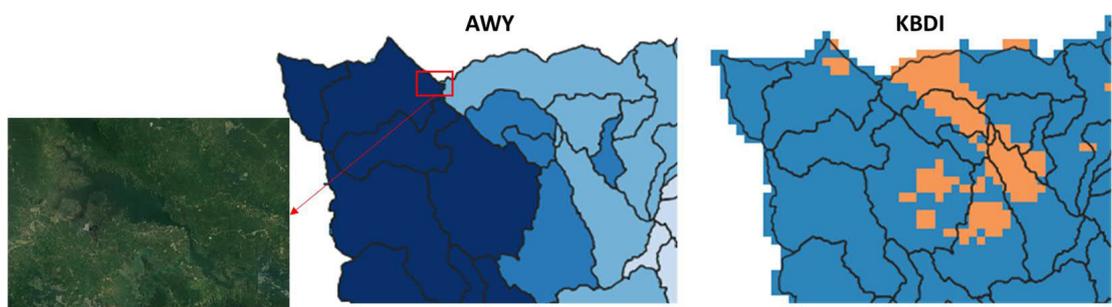


Gambar 31. Perbandingan Peta Annual Water Yield (kiri) dan Keetch-Byram Drought Index (Kanan) - Sumber: Pengolahan Data 2023

Nilai indeks kekeringan KBDI di Kawasan Koridor Ekosistem RIMBA, terbagi menjadi dua kelas, yaitu kelas indeks 0 – 200 (berwarna biru) serta 200 – 400 (berwarna orange). Kelas dengan nilai 200 – 400 memiliki arti bahwa pada area tersebut vegetasi sebagai bahan bakar mulai mengering dan memberikan kontribusi terhadap intensitas kebakaran hutan. Pada area-area sub-DAS dengan nilai indeks tersebut, saat terjadinya fenomena El-Nino di tahun 2015 cenderung mengalami kekeringan yang lebih tinggi dibandingkan area sub-DAS lainnya. Maka untuk mengantisipasi kekeringan ekstrem, sumber air dapat diperoleh dari sub-DAS yang memiliki rerata nilai simpanan air rata-rata tahunan paling tinggi.

Contohnya, pada sub-DAS bagian Utara memiliki nilai indeks kekeringan 200 – 400, maka sumber air dapat diidentifikasi dari Sub-DAS dengan nilai rerata simpanan air tinggi (3420 – 3905 mm/tahun/piksel) di bagian Barat. Perlu diingat bahwa pemodelan Simpanan Air Tahunan (Annual Water Yield/AWY) tidak membedakan kondisi aliran permukaan, baik aliran atas permukaan (*surface*), bawah permukaan (*subsurface*), dan aliran dasar (*baseflow*), tetapi mengasumsikan bahwa seluruh simpanan air dari suatu piksel melalui salah satu aliran tersebut.

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut terkait sumber simpanan air apa saja yang ada pada area sub-DAS dengan nilai rerata simpanan air tinggi, serta apakah sumber air tersebut mudah untuk diakses dan dapat dimanfaatkan atau tidak. Analisis pada *case study* ini membantu dalam pengidentifikasian awal area yang memiliki simpanan air tahunan tinggi untuk dimanfaatkan saat terjadi kekeringan.



Gambar 32. Contoh Perbandingan antara Keetch-Byram Drought Index (KBDI) dan Annual Water Yield (AWY) pada tingkat unit sub-DAS - Sumber: Pengolahan Data 2023

7. 3. Perubahan Penutup/Penggunaan Lahan dan Jasa Lingkungan

Skenario

Peserta diminta menunjukkan perubahan penutup dan penggunaan lahan yang dapat terjadi di masa depan serta kaitannya dengan perubahan jasa lingkungan, di salah satu Daerah Aliran Sungai (DAS) prioritas di Pulau Sumatera, yaitu DAS Indragiri. Perubahan apa saja yang diprediksi akan terjadi dalam kurung waktu 2022 hingga 2030 serta seberapa luas perubahan lahan yang terjadi. Peserta akan melakukan analisis perubahan penutup/penggunaan lahan untuk menjawab kedua pertanyaan tersebut.

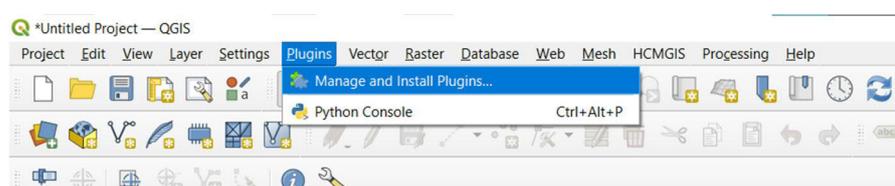
Peserta juga akan melakukan analisis perubahan jasa lingkungan pada dua waktu yang sama, tahun 2022 dan 2030. Hasil analisis perubahan penutup/penggunaan lahan serta perubahan jasa lingkungan, kemudian ditumpang susunkan. Peserta diharapkan dapat menyimpulkan, hubungan antara perubahan penutup/penggunaan lahan dan perubahan jasa lingkungan (bila diinterpretasi secara visual), dampak yang ditimbulkan bila perubahan tersebut dibiarkan terjadi di masa depan, serta solusi berbasis alam yang dapat diterapkan.

Metodologi

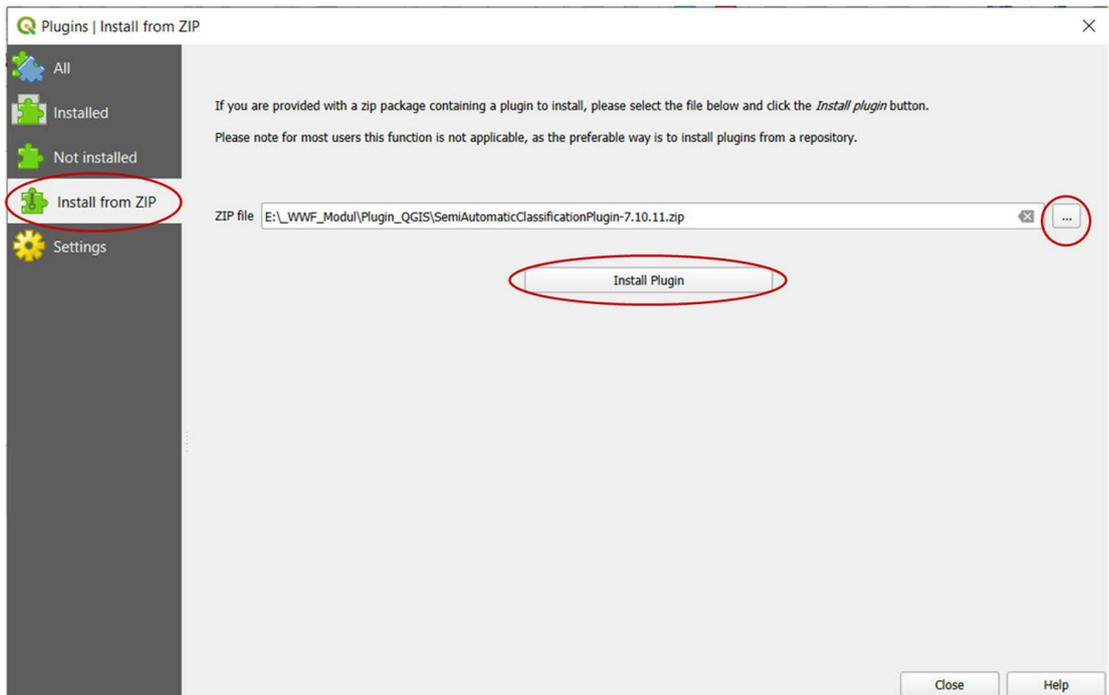
Untuk melakukan analisis perubahan penutup/penggunaan lahan berbasis raster dapat menggunakan tools land cover change yang terdapat pada plugin Semi-Automatic Classification versi 7.10.11. Plugin tersebut dapat diunduh melalui <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>

Menginstal Semi-Automatic Classification Plugin

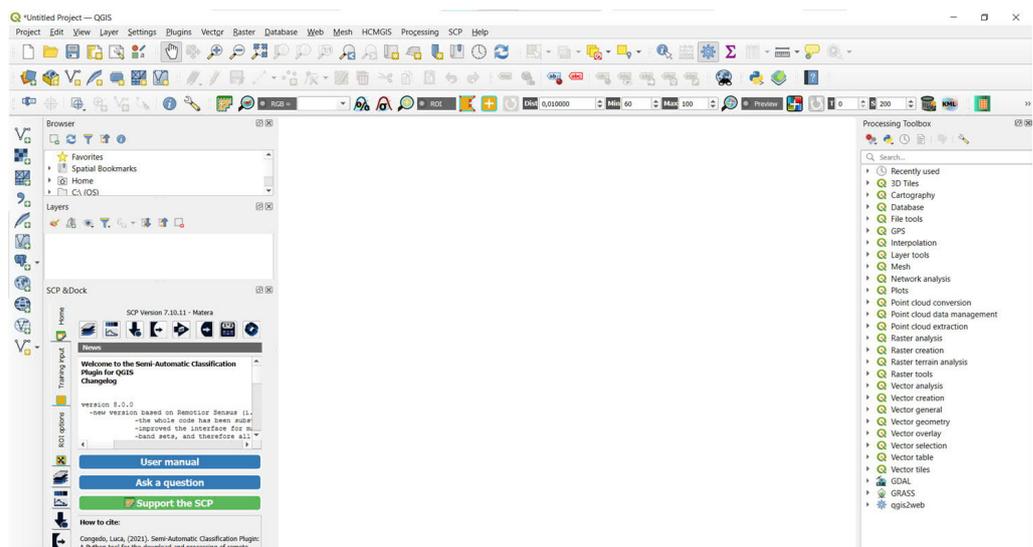
1. Pada menu bar select menu **Plugins > Manage and Install Plugins.**



- Setelah muncul tampilan seperti di bawah ini, pilih **Install from ZIP**. Masukkan file zip dari plugin yang sebelumnya telah diunduh, lalu klik **Install Plugin**.

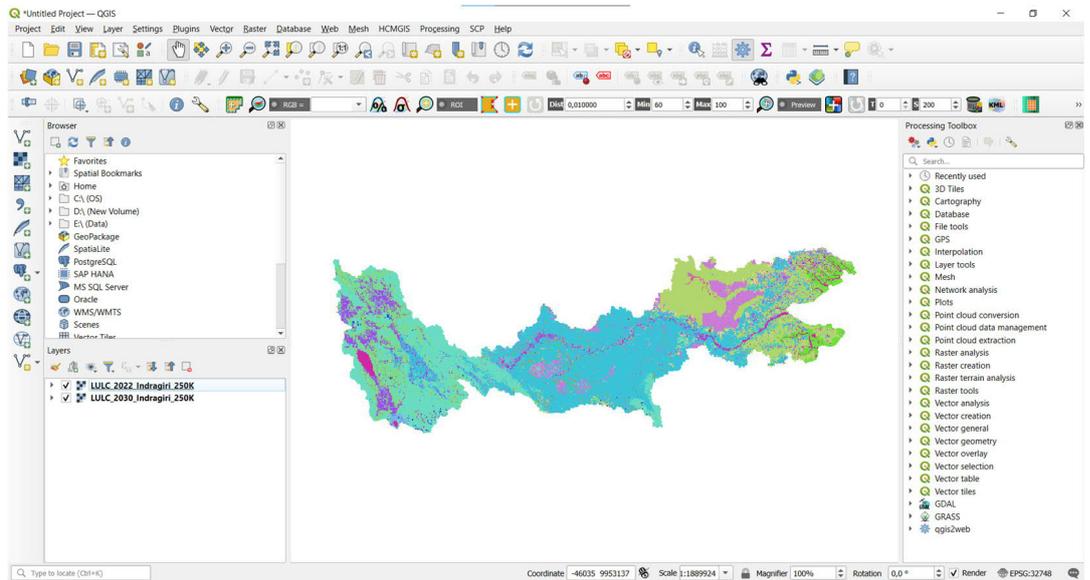


- Berikut merupakan tampilan *software* QGIS bila plugin Semi-Automatic Classification berhasil terinstall. Akan muncul tools tambahan pada bagian panel atas QGIS.

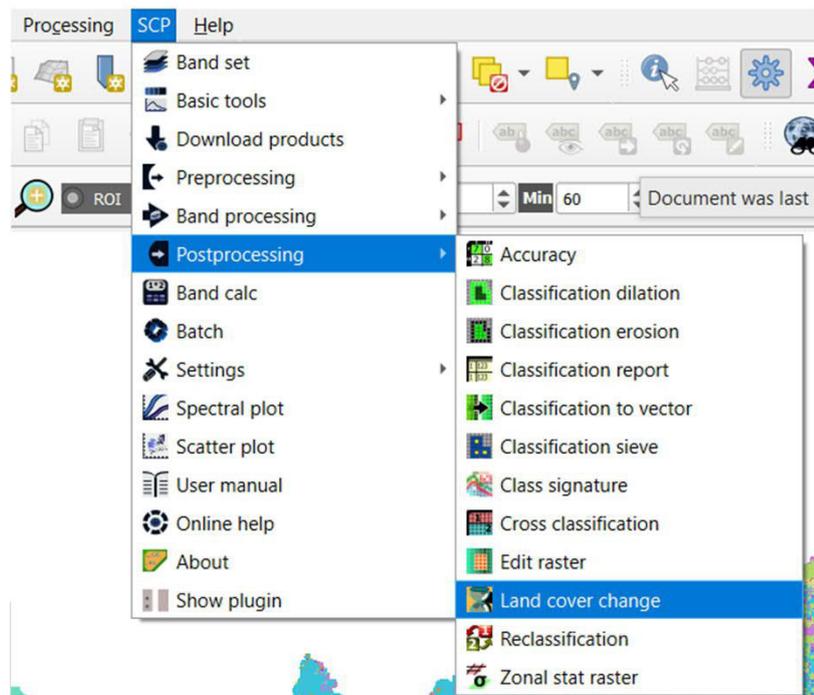


Analisis Perubahan Penutup/Penggunaan Lahan

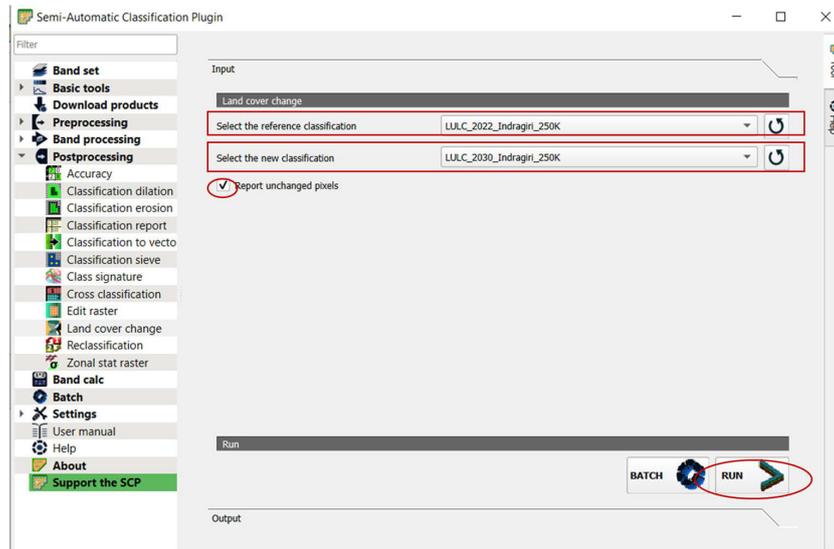
1. Masukkan data raster Penutup/Penggunaan Lahan DAS Indragiri Tahun 2022 'LULC_2022_Indragiri_250K.tif' dan Tahun 2030 'LULC_2030_Indragiri_250K.tif' ke dalam aplikasi QGIS dengan cara **drag and drop** dari folder penyimpanan.



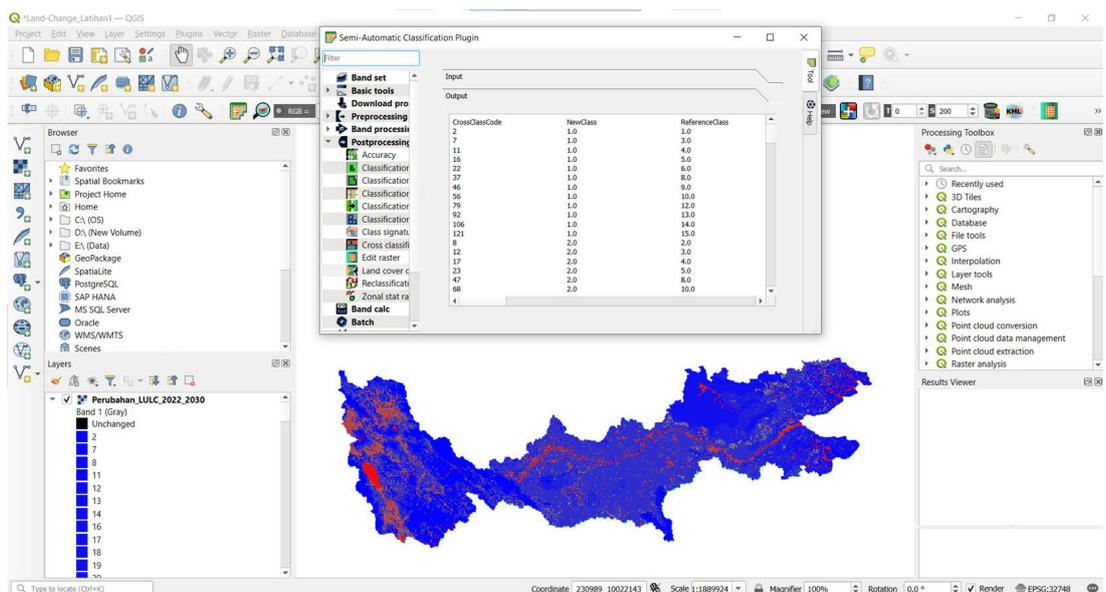
2. Pada menu bar select **SCP > Postprocessing > Land cover change**



3. Setelah muncul tampilan jendela Semi-Automatic Classification Plugin, **Select the reference classification** dengan raster LULC_2022_Indragiri_250K dan **Select the new classification** dengan raster LULC_2030_Indragiri_250K. Sebelum memilih data raster, klik **refresh list**  untuk memunculkan list layer data. Pastikan bagian **report unchanged pixels** ter-ceklis, agar piksel yang tidak berubah tetap terkelaskan.



4. Klik **Run**, lalu atur penamaan file (misalnya: Perubahan_LULC_2022_2030) dan atur direktori penyimpanannya. Hasil running berupa data raster dan data tabel (csv). Tabel tersebut berisikan kode perubahan penutup/penggunaan lahan, jumlah piksel, luasan area, serta matriks perubahan.



5. Kode perubahan penutup/penggunaan lahan juga dapat dilihat pada bagian **output** sebagai berikut,

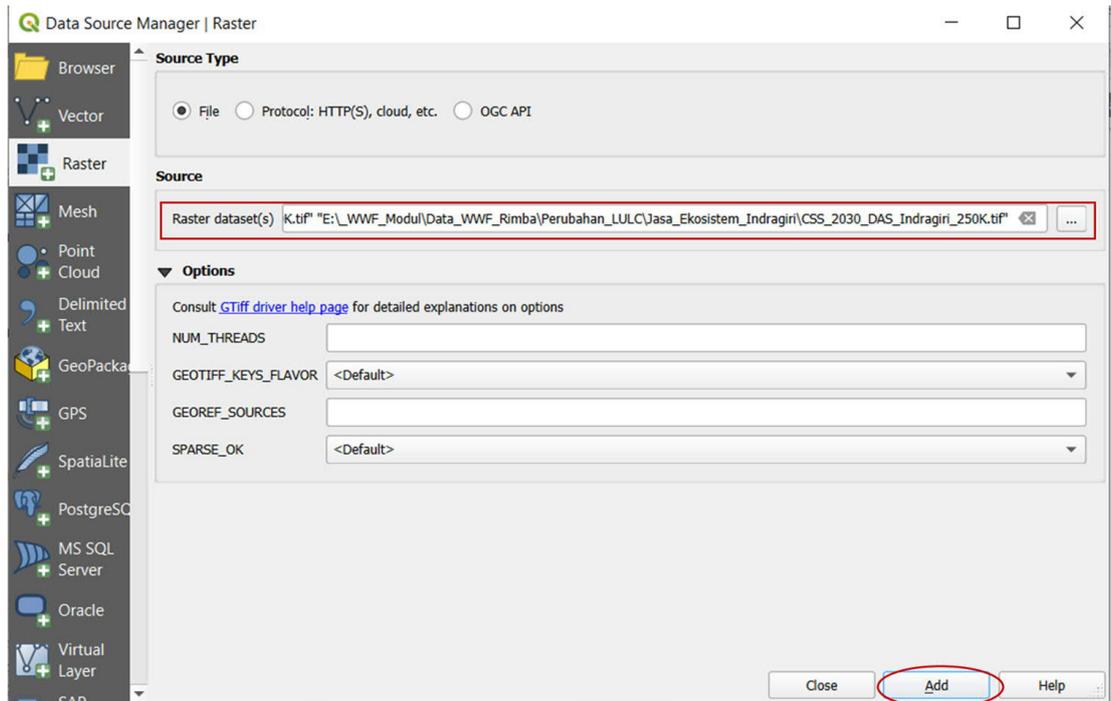
CrossClassCode	NewClass	ReferenceClass
2	1.0	1.0
7	1.0	3.0
11	1.0	4.0
16	1.0	5.0
22	1.0	6.0
37	1.0	8.0
46	1.0	9.0
56	1.0	10.0
79	1.0	12.0
92	1.0	13.0
106	1.0	14.0
121	1.0	15.0
8	2.0	2.0
12	2.0	3.0
17	2.0	4.0
23	2.0	5.0
47	2.0	8.0
68	2.0	10.0
93	2.0	12.0
122	2.0	14.0
138	2.0	15.0
13	3.0	2.0
18	3.0	3.0
24	3.0	4.0
31	3.0	5.0
48	3.0	7.0
58	3.0	8.0
81	3.0	10.0
108	3.0	12.0
139	3.0	14.0
154	3.0	15.0
14	4.0	1.0
19	4.0	2.0
25	4.0	3.0
32	4.0	4.0

CrossClassCode merupakan kode perubahan penutup/penggunaan lahan. **NewClass** menunjukkan kode kelas baru (prediksi tahun 2030), sedangkan **ReferenceClass** menunjukkan kode kelas sebelumnya (tahun 2022).

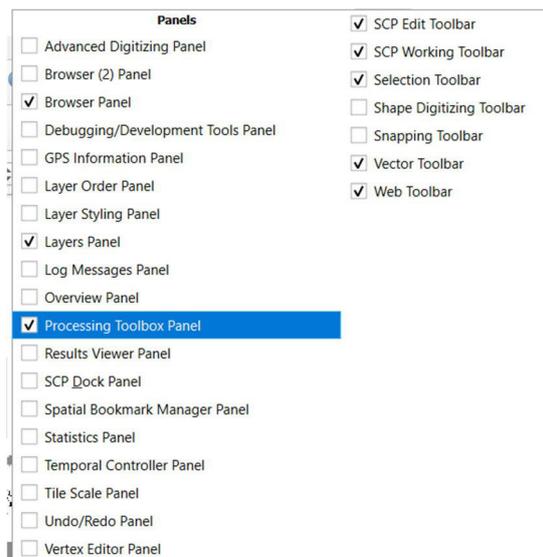
Contohnya, CrossClassCode 7 merupakan kode perubahan dari kelas penutup/penggunaan lahan 3.0 (hutan rawa) pada tahun 2022 menjadi kelas 1.0 (hutan lahan kering) pada tahun 2030.

Analisis Perubahan Jasa Lingkungan

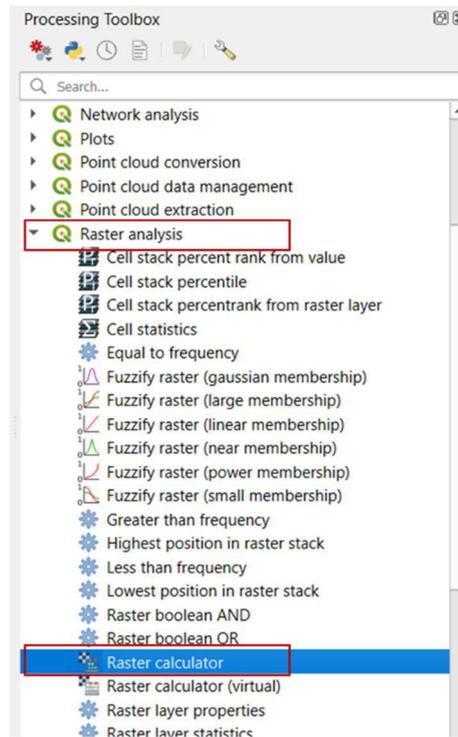
1. Masukkan data raster simpanan karbon tahun 2022 dan 2030 dengan cara select Layer > Add Layer > Add Raster Layer. Pilih file kemudian klik Add.



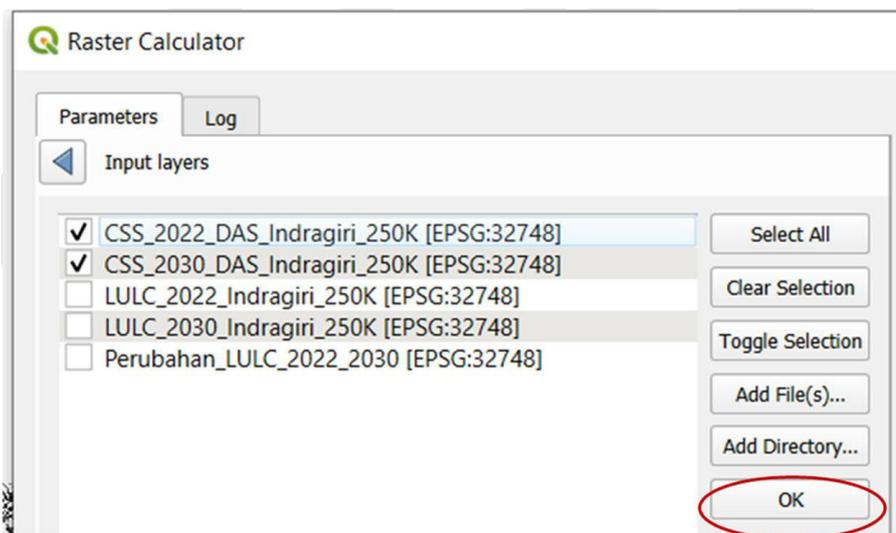
2. Aktifkan **Processing Toolbox Panel** dengan cara klik kanan toolbar menu kemudian ceklis Processing Toolbox Panel



3. Pada Processing Toolbox Panel Cari tools **Raster calculator** atau dapat pula dengan drop down pada tools **Raster analysis** dan pilih **Raster calculator**.



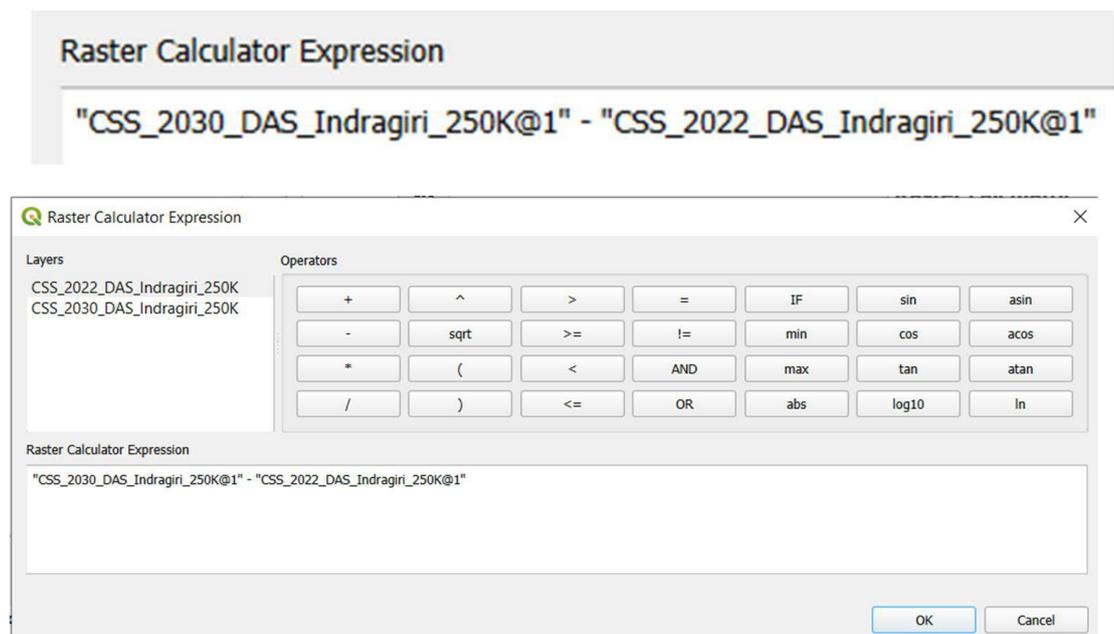
4. Setelah tampilan Raster calculator terbuka, pada bagian **Input layers** klik , kemudian ceklis layers data raster Carbon Storage and Sequestration Tahun 2022 dan 2030. Lalu klik OK.



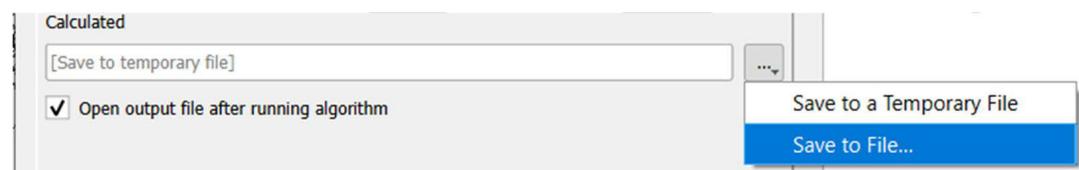
5. Klik  pada bagian **Expression**, lalu isikan **Raster Calculator Expression**. Untuk mengetahui perubahan simpanan karbon secara spasial berdasarkan simpanan karbon prediksi tahun 2030 dan masa kini tahun 2022, maka dilakukan perhitungan raster dengan formula sebagai berikut:

“CSS 2030 – CSS 2022”

Klik 2x pada layer CSS 2030 kemudian klik “-” lalu klik 2x pula pada layer CSS 2022. Setelah itu klik OK.



6. Pada bagian **Calculated**, pilih direktori penyimpanan untuk menyimpan hasil raster calculator, lalu klik Run dan tunggu sampai proses selesai.



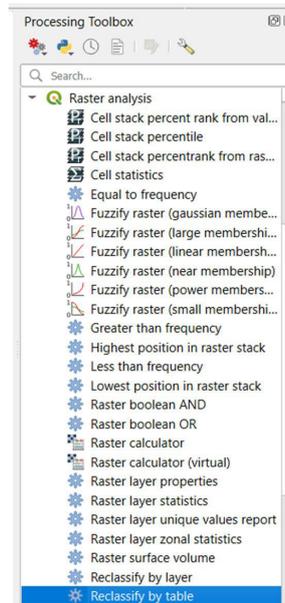
7. Lakukan langkah 1 – 6 untuk menganalisis perubahan jasa lingkungan lainnya, yakni habitat quality, annual water yield, dan sediment delivery ratio.

8. Setelah dilakukan perhitungan raster, lakukan simbologi untuk mempermudah interpretasi.

Pengkelasan Nilai Perubahan Jasa Lingkungan

Apabila hasil peng-kelasan ini ingin disimpan, dapat melakukan reclassify sebagai berikut:

1. Pada processing toolbox, cari tools Reclassify by table atau drop down menu Raster Analysis lalu pilih Reclassify by table.



2. Pilih layer raster yang akan di-reclassify pada bagian **Raster layer**. Kemudian untuk melakukan peng-kelasan berdasarkan rentang nilai tertentu, klik tanda titik tiga pada bagian **Reclassification table**.



3. Tambahkan baris dengan **Add row** sebanyak kelas yang dibutuhkan. Misalnya kelas perubahan simpanan karbon sebanyak 9 kelas, maka tambahkan sebanyak 9 baris. Lalu masukkan nilai maksimum dan minimum untuk setiap kelas tersebut. Lakukan hal yang sama terhadap perubahan jasa lingkungan lainnya.

Carbon Stock and Sequestration

Reclassify by Table

Parameters Log

Reclassification table

	Minimum	Maximum	Value
1	-17.0171	-15	1
2	-15	-10	2
3	-10	-5	3
4	-5	-0.01	4
5	-0.01	0.01	5
6	0.01	5	6
7	5	10	7
8	10	15	8
9	15	17.0171	9

1) $-17.0171 < x \leq -15 \rightarrow 1$
 2) $-15 < x \leq -10 \rightarrow 2$
 3) $-10 < x \leq -5 \rightarrow 3$
 4) $-5 < x \leq -0.01 \rightarrow 4$
 5) $-0.01 < x \leq 0.01 \rightarrow 5$
 6) $0.01 < x \leq 5 \rightarrow 6$
 7) $5 < x \leq 10 \rightarrow 7$
 8) $10 < x \leq 15 \rightarrow 8$
 9) $15 < x \leq 17.0171 \rightarrow 9$

Add Row
 Remove Row(s)
 Remove All
 OK
 Cancel

Habitat Quality

Reclassify by Table

Parameters Log

Reclassification table

	Minimum	Maximum	Value
1	-0.80	-0.40	1
2	-0.40	-0.0001	2
3	-0.0001	0.0001	3
4	0.0001	0.40	4
5	0.40	0.82	5

Add Row
 Remove Row(s)
 Remove All
 OK
 Cancel

Reclassify by table
 This algorithm reclassifies a raster band by assigning new class values based on the ranges specified in a fixed table.

Using classes:
 1) $-0.8 < x \leq -0.4 \rightarrow 1$
 2) $-0.4 < x \leq -0.0001 \rightarrow 2$
 3) $-0.0001 < x \leq 0.0001 \rightarrow 3$
 4) $0.0001 < x \leq 0.4 \rightarrow 4$
 5) $0.4 < x \leq 0.82 \rightarrow 5$

0%

Advanced Run as Batch Process... Run Close Help

Sediment Delivery Ratio

Reclassify by Table

This algorithm reclassifies a raster band by assigning new class values based on the ranges specified in a fixed table.

Minimum	Maximum	Value
1 -163.966	-150	1
2 -150	-100	2
3 -100	-50	3
4 -50	-0.1	4
5 -0.1	0.1	5
6 0.1	50	6
7 50	55.5047	7

1) $-163.966 < x < -150 \rightarrow 1$
 2) $-150 < x < -100 \rightarrow 2$
 3) $-100 < x < -50 \rightarrow 3$
 4) $-50 < x < -0.1 \rightarrow 4$
 5) $-0.1 < x < 0.1 \rightarrow 5$
 6) $0.1 < x < 50 \rightarrow 6$
 7) $50 < x < 55.5047 \rightarrow 7$

0%

Run as Batch Process... Run Close Help

Annual Water Yield

Reclassify by Table

This algorithm reclassifies a raster band by assigning new class values based on the ranges specified in a fixed table.

Minimum	Maximum	Value
1 -14945.0166016	-9860	1
2 -9860	-4790	2
3 -4790	-0.1	3
4 -0.1	0.1	4
5 0.1	5350	5
6 5350	10430	6
7 10430	15510.6640625	7

Using classes:
 1) $-14945 < x \leq -9860 \rightarrow 1$
 2) $-9860 < x \leq -4790 \rightarrow 2$
 3) $-4790 < x \leq -0.1 \rightarrow 3$
 4) $-0.1 < x \leq 0.1 \rightarrow 4$
 5) $0.1 < x \leq 5350 \rightarrow 5$
 6) $5350 < x \leq 10430 \rightarrow 6$
 7) $10430 < x \leq 15510.7 \rightarrow 7$

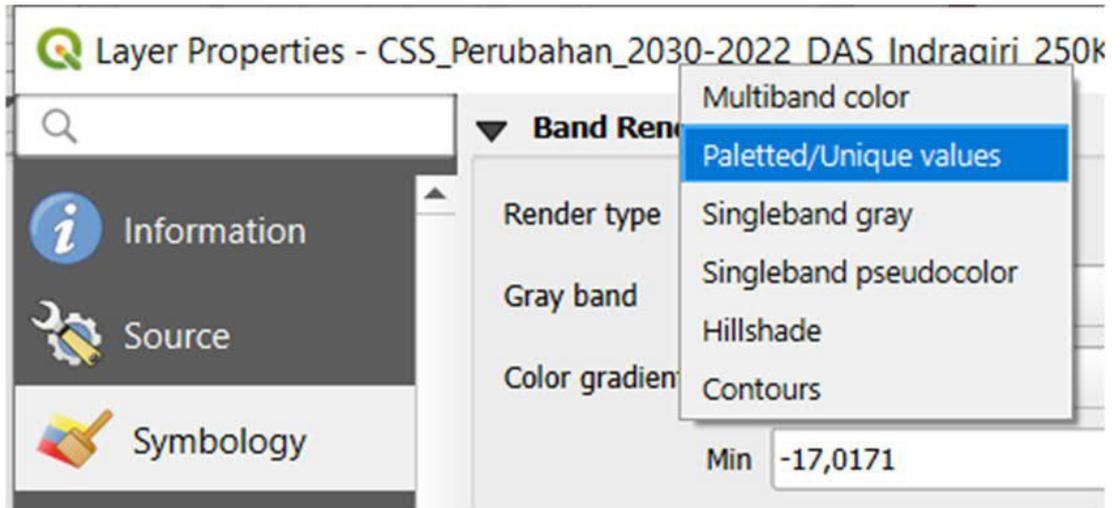
0%

Run as Batch Process... Run Close Help

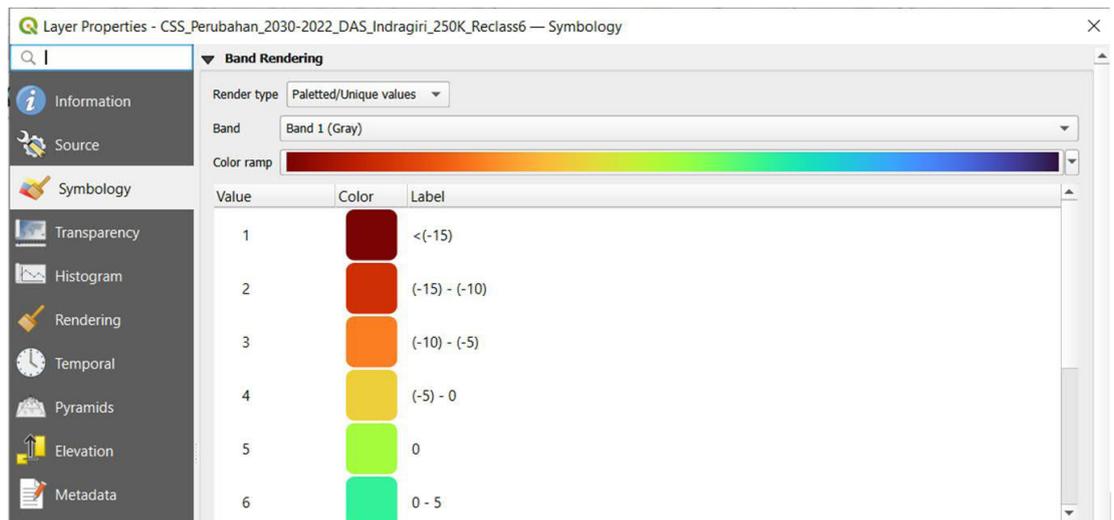
4. Atur nama file dan direktori penyimpanan, lalu klik Run.



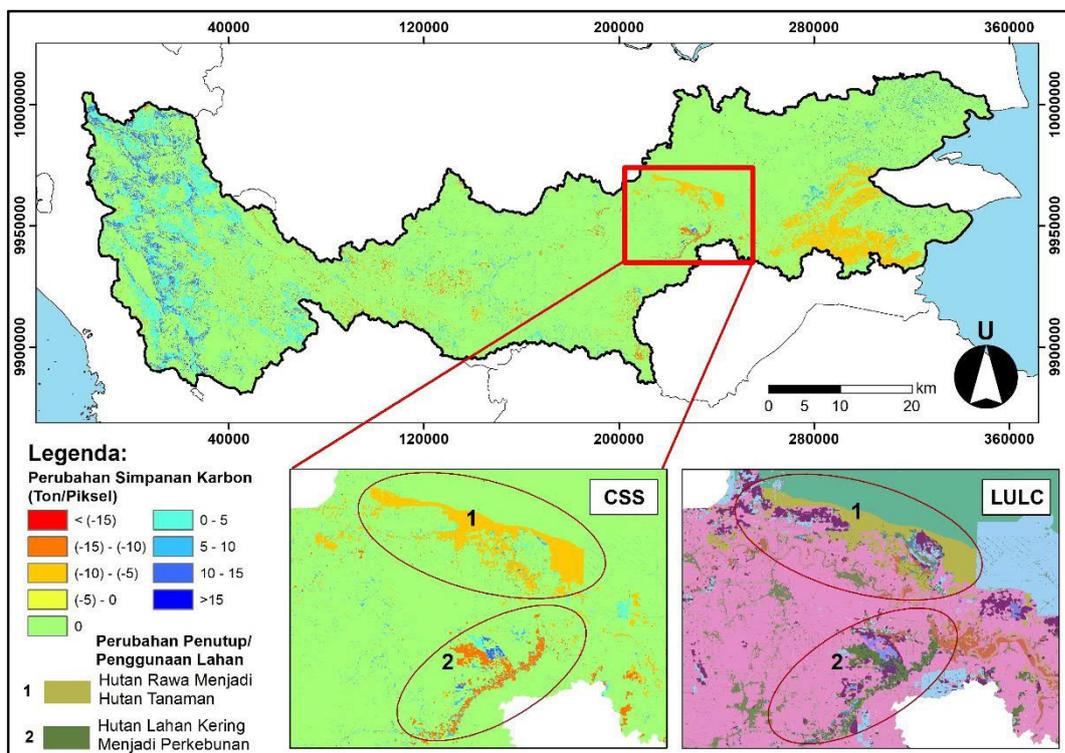
5. Untuk memunculkan simbologi hasilnya, klik kanan pada raster > **Symbology** > **Paletted/Unique Value**. Lalu klik **Classify**.



6. Atur pewarnaan dan label setiap kelas, seperti contoh berikut.



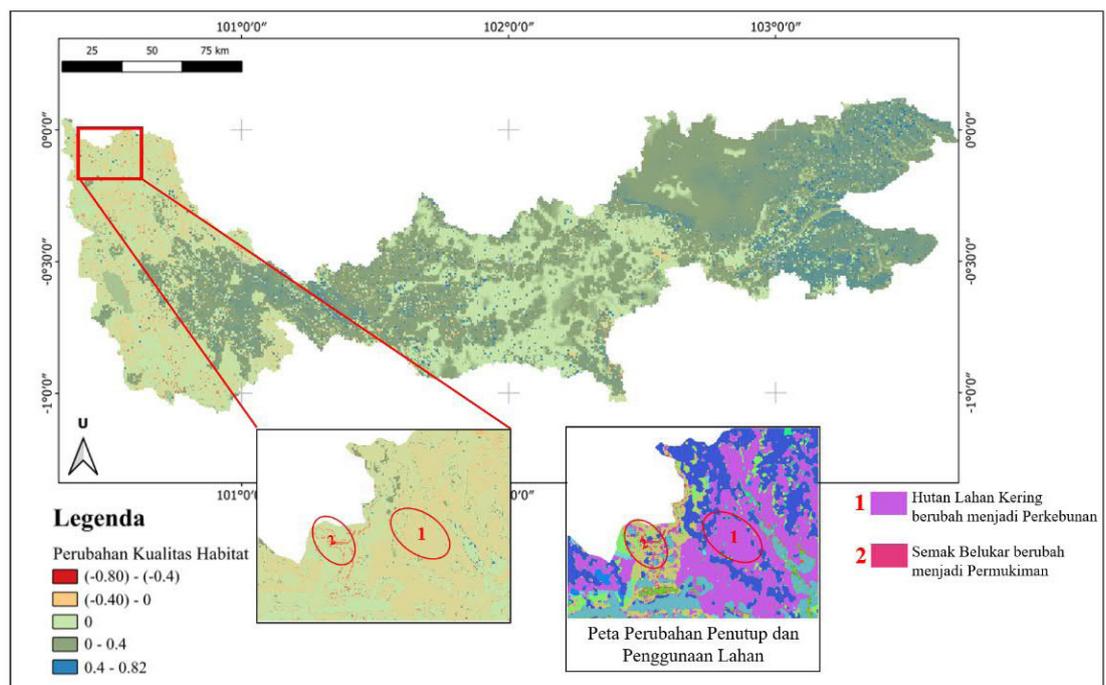
Carbon Stock and Sequestration



Perubahan luasan penutup dan penggunaan lahan saat ini (Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Tahun 2023) terhadap luasan prediksi penutup dan penggunaan lahan 8 tahun mendatang (Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Tahun 2030), berhubungan linier terhadap perubahan nilai simpanan karbon. Semakin bertambah luas penutup dan penggunaan lahan bervegetasi, maka stok karbon yang tersimpan akan semakin besar. Begitupun sebaliknya, semakin berkurang luasan penutup/penggunaan lahan bervegetasi, maka simpanan karbon juga akan semakin menurun. Potensi peningkatan atau penurunan nilai karbon pada tahun 2030 dapat dilihat pada gambar di atas. Dimana nilai positif menunjukkan terjadinya peningkatan, sedangkan nilai negatif menunjukkan penurunan nilai simpanan karbon.

Penurunan nilai simpanan karbon mengindikasikan terjadinya pelepasan karbon, yang diantaranya disebabkan oleh deforestasi serta alih fungsi lahan menjadi lahan dengan simpanan karbon yang lebih rendah. Sebagai contoh, dapat dilihat pada gambar (Nomor 1), prediksi perubahan penutup/penggunaan lahan dari kelas Hutan Rawa menjadi Hutan Tanaman dapat menyebabkan penurunan nilai simpanan karbon sebesar 6 hingga 10 ton. Perubahan dari Hutan Lahan Kering menjadi Perkebunan (Nomor 2) juga dapat menyebabkan pelepasan karbon sebesar 10 hingga 15 ton karbon. Potensi kehilangan karbon pada kedua area tersebut harus menjadi perhatian dalam penjagaan hutan (apalagi bila Hutan Rawa dan Hutan Lahan Kering pada area tersebut termasuk area lindung). Simpanan karbon harus dijaga dan dipertahankan sebagai salah satu upaya mitigasi perubahan iklim melalui reduksi emisi gas rumah kaca (GRK).

Habitat Quality



Penilaian perubahan kualitas habitat dilakukan menggunakan 2 tahun yaitu tahun 2022 dan prediksi pada tahun 2030. Perubahan kualitas habitat menghasilkan 2 arah perubahan, yaitu perubahan positif dan perubahan negatif. Perubahan positif menunjukkan bahwa diprediksikan kualitas habitat akan meningkat pada tahun 2030 dan perubahan negatif menunjukkan bahwa diprediksikan kualitas habitat akan menurun pada tahun 2030.

Berdasarkan gambar diatas, perubahan kualitas habitat didominasi oleh perubahan kearah positif dengan nilai indeks 0 – 0.4, yang menunjukkan adanya peningkatan kualitas habitat meskipun tidak ada perubahan yang signifikan karena tidak adanya alih fungsi lahan. Hal ini menunjukkan bahwa pada kelas penutup dan penggunaan lahan yang baik untuk habitat pada tahun 2022 dan tetap dipertahankan pada masa yang akan mendatang, juga memberikan dampak yang baik bagi habitat Harimau Sumatra.

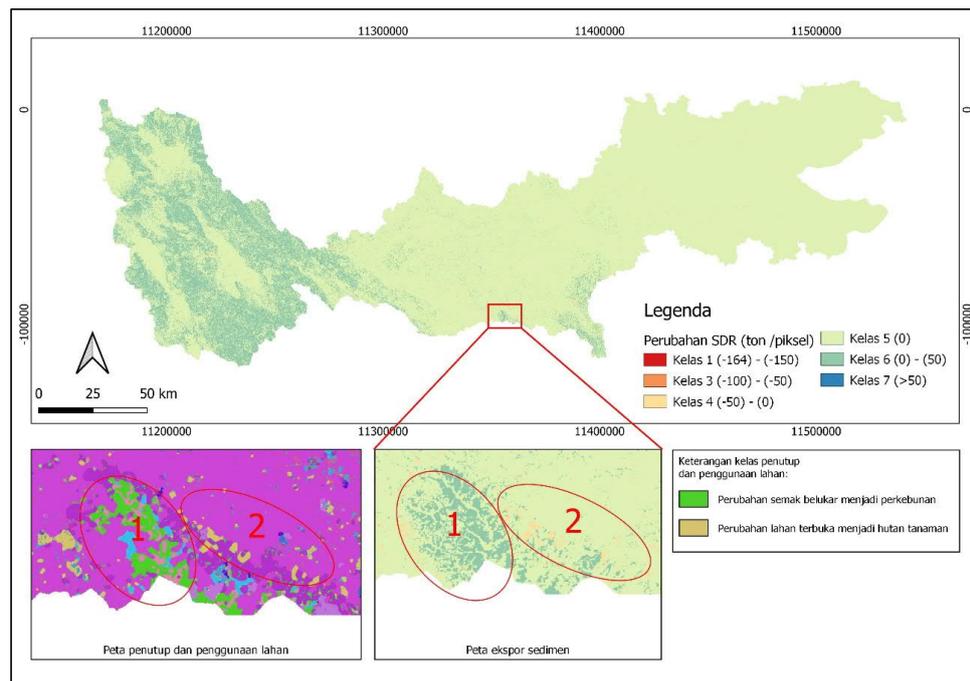
Kualitas habitat yang diprediksikan akan menurun pada tahun 2030, berada di wilayah timur DAS Indragiri. Kualitas habitat yang menurun dikarenakan adanya alih fungsi lahan menjadi lahan yang mengancam habitat Harimau Sumatra. Sebagai contoh, perubahan Hutan Lahan Kering menjadi perkebunan.

Alih fungsi lahan dari hutan lahan kering menjadi perkebunan akan memengaruhi daya jelajah harimau dimana harimau tidak menggunakan perkebunan sebagai daerah jelajah, hal ini dikarenakan perkebunan tidak memiliki berbagai aspek untuk memenuhi kebutuhan harimau sumatra, salah satunya yaitu satwa mangsa.

Apabila pada daerah lindung, membuat daya jelajah harimau semakin meluas, maka akan meningkatkan ancaman perburuan bagi harimau dan mengakibatkan kematian akibat kebutuhan makanan yang kurang. Alih fungsi lainnya yang mengakibatkan menurunnya kualitas habitat harimau adalah perubahan semak belukar menjadi permukiman.

Alih fungsi lahan menjadi permukiman mengancam habitat Harimau Sumatra karena permukiman merupakan wujud adanya intervensi manusia dalam pengendalian alam. Harimau merupakan hewan yang memiliki sifat menghindari dari keberadaan manusia, maka dari itu harimau akan menghindari area tersebut yang berakibat pada meluasnya wilayah jelajah harimau yang dimana akan meningkatkan ancaman perburuan bagi harimau. Selain itu, adanya interaksi antara manusia dan harimau kerap kali menimbulkan konflik yang membahayakan satu sama lain.

Sediment Delivery Ratio



Peta diatas menampilkan dinamika perubahan nilai sedimen ekspor dari tahun 2020 hingga tahun 2030. Perubahan nilai dikelaskan dalam 7 kelas dengan interval masing-masing 50 ton/piksel, hanya saja tidak terdapat perubahan dengan nilai (-150) hingga (-100), sehingga kelas tersebut tidak ditampilkan pada peta. Secara umum, perubahan nilai sedimen ekspor bersifat meningkat, menurun, dan tetap. Nilai yang meningkat ditandai dengan nilai positif, nilai menurun negatif, dan nilai tetap 0.

Studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan penutup dan penggunaan lahan (LULC) terhadap perubahan nilai sedimen ekspor. Untuk itu, disajikan kondisi perubahan penutup dan penggunaan lahan yang memberikan pengaruh berbeda terhadap nilai sedimen ekspor.

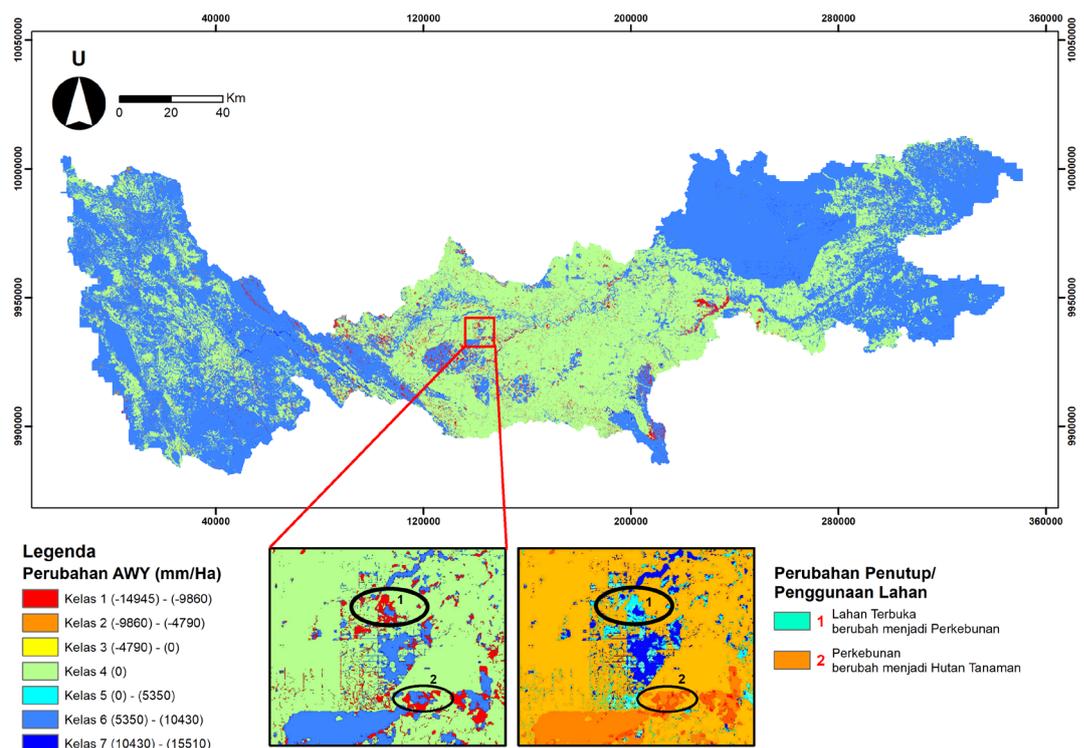
Wilayah 1 dengan simbolisasi warna hijau pada peta penutup dan penggunaan lahan merupakan perubahan dari semak belukar menjadi perkebunan. Hal ini memberikan dampak peningkatan nilai sedimen ekspor.

Peningkatan ini dikarenakan adanya kegiatan pengolahan lahan saat membangun lahan perkebunan yang memungkinkan terjadinya ekspor sedimen yang masif.

Wilayah 2 dengan simbolisasi warna coklat cerah pada peta penutup dan penggunaan lahan merupakan perubahan dari lahan terbuka menjadi hutan tanaman. Perubahan ini memberikan dampak penurunan ekspor sedimen. Hal ini dikarenakan keberadaan hutan membuat transport sedimen terperangkap, sehingga menghalangi terjadinya sedimen ekspor.

Berdasarkan kedua contoh tersebut dapat diketahui bahwa perubahan penutup dan penggunaan lahan memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai ekspor sedimen. Perubahan tersebut dapat menyebabkan peningkatan maupun penurunan nilai, tergantung jenis penutup dan penggunaan lahan. Jika perubahan penutup dan penggunaan lahan mengarah pada kondisi yang menyebabkan berkurangnya sedimen yang terperangkap, maka nilai sedimen ekspor akan meningkat, begitu juga sebaliknya.

Annual Water Yield



Perubahan luasan penutup dan penggunaan lahan saat ini (Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Tahun 2023) terhadap luasan prediksi penutup dan penggunaan lahan 8 tahun mendatang (Peta Penutup dan Penggunaan Lahan Tahun 2030), berhubungan linier terhadap perubahan nilai simpanan rerata air tahunan.

Peta diatas menampilkan dinamika perubahan nilai simpana rerata air tahunan dari tahun 2023 hingga tahun 2030. Perubahan nilai dikelaskan dalam 7 kelas dengan satuan mm/Ha dengan nilai perubahan terendah -14945 dan nilai perubahan tertinggi (15510). Nilai perubahan simpanan rerata air tahunan yang meningkat ditandai dengan nilai positif, sedangkan perubahan yang menurun ditandai dengan nilai negative, perubahan yang tetap ditandai dengan nilai 0 (nol).

Studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perubahan penutup dan penggunaan lahan (LULC) terhadap perubahan nilai simpanan rerata iar tahunan. Penyajikan kondisi perubahan LULC memberikan pengaruh terhadap nilai simpanan rerata air tahunan. Pada wilayah kajian 1 dengan simbolisasi warna cyan pada peta perubahan penutup dan penggunaan lahan merupakan perubahan dari lahan terbuka menjadi perkebunan. Hal ini memberikan dampak pengurangan simpanan rerata air tahunan.

Pengurangan ini dikarenakan kegiatan perkebunan yang didominasi oleh perkebunan yang membutuhkan simpanan air yang banyak sehingga mengurangi simpanan rerata air tahunan. Pada wilayah kajian 2 dengan simbolisasi warna orange pada peta perubahan penutup dan penggunaan lahan merupakan perubahan perkebunan menjadi hutan tanaman. Hal ini memberikan keuntungan terhadap penambahan simpanan rerata air tahunan. Peningkatan ini dikarenakan pengurangan aktivitas kebutuhan air dari perkebunan yang berubah menjadi hutan tanaman menjadi wilayah simpanan rerata air tahunan sehingga terjadi peningkatan.

Berdasarkan kedua contoh tersebut dapat diketahui bahwa perubahan penutup dan penggunaan lahan memberikan dampak peningkatan dan/ atau pengurangan terhadap perubahan nilai simpanan rerata air tahunan, tergantung pada jenis penutup dan penggunaan lahan.



Modul

Post Assessment Test

Post Assesment Test

<https://bit.ly/PostTestNBS>

Post Assesment Test

Soal Post Assesment Test terdiri dari 30 soal. Masing-masing soal memiliki bobot yang sama, yakni 1 poin. Mohon cermati petunjuk soal yang ada. Selamat mengerjakan.

...mail.com [Switch account](#)



Not shared

Pilih pernyataan yang tepat mengenai peta penutup lahan dan peta penggunaan lahan

1 point

- Peta penutup lahan adalah istilah lain dari peta penggunaan lahan
- Peta penutup lahan hanya menampilkan kenampakan yang dapat diidentifikasi secara langsung melalui citra
- Peta penggunaan lahan menampilkan aspek fungsional dari penutup lahan
- Peta penggunaan lahan dapat diekstraksi melalui peta penutup lahan dan data pendukung lain

Diantara penggunaan lahan hutan dan permukiman, manakah yang memiliki simpanan karbon lebih besar?

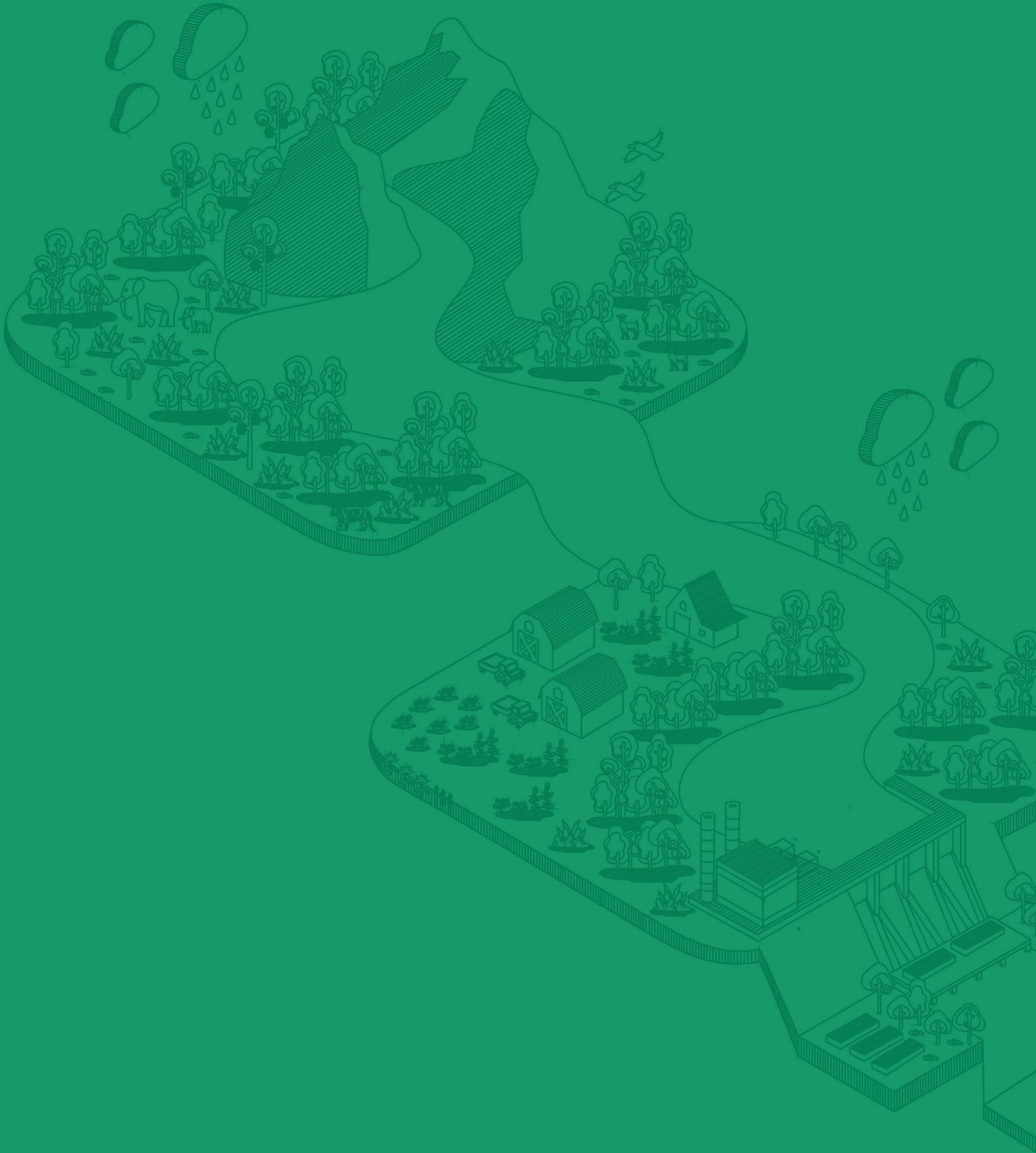
1 point

- Hutan
- Permukiman
- Keduanya memiliki simpanan karbon yang sama
- Keduanya tidak memiliki simpanan karbon



Chapter 8.

Overview Pelatihan dan Potensi Pemodelan Jasa Lingkungan Ke Depan



MODUL

Nature-based Solution (NbS)



Chapter ini merupakan chapter penutup yang membahas secara general apa yang telah dilakukan selama pelatihan dan potensi penggunaan pemodelan jasa lingkungan yang telah dipelajari selama pelatihan Pemodelan Jasa Lingkungan pada level Teknis dan Decision Maker.

1. Overview Pelatihan Jasa Lingkungan

Pelatihan ini telah membahas terkait teori dan praktek dalam nature based solution dan pemodelan jasa lingkungan, disertai dengan pemahaman terkait pemodelan spasial, pemodelan jasa lingkungan menggunakan InVEST dan case study. Tujuan utama dari materi yang diberikan adalah peserta mampu melakukan, menganalisa dan mengevaluasi hasil pemodelan jasa lingkungan yang dihasilkan. Penelitian oleh Posner et al. (2016), disampaikan bahwa kemampuan optimalisasi penggunaan pemodelan jasa lingkungan secara spasial untuk perancangan policy akan bergantung pada peningkatan kapasitas sumber daya manusia dalam melakukan analisa.

Pada teori nature based solution, telah dibahas scope dan ruang lingkup terkait dengan jasa lingkungan serta macam skenario untuk menggunakan nature based solution, pada modul pemodelan spasial, telah dibahas proses pemodelan spasial, pengambilan data, kualitas data, pemetaan penutup dan penggunaan lahan, serta analisa medan menggunakan digital elevation model (DEM). Peta penutup dan penggunaan lahan merupakan salah satu parameter yang krusial dalam pemodelan jasa lingkungan, seperti disampaikan oleh Grafius et al (2016), bahwa pemodelan spasial jasa lingkungan menggunakan InVEST akan bergantung pada skala data dan kedetilan peta yang digunakan.

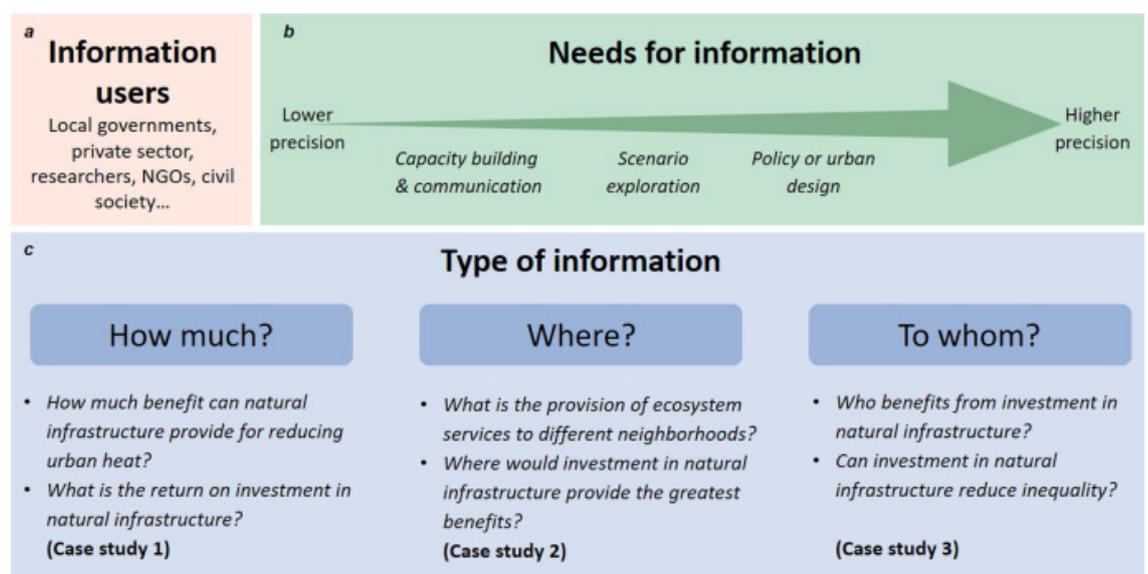
Pada pemodelan spasial InVEST, beberapa modul jasa lingkungan seperti Annual Water Yield, Sediment Delivery Ratio, Carbon Sequestration and Stock, serta Habitat Quality dengan mengambil area kajian pada Provinsi Jambi telah dilakukan. Pada pemodelan spasial, peserta juga diminta untuk dapat memahami proses dan hasil yang didapatkan melalui exercise yang dilakukan, dengan menjabarkan input data yang digunakan, pemodelan yang dilakukan, serta menganalisa dan mengevaluasi hasil peta yang didapatkan.

Pada chapter akhir, peserta melakukan case studi dengan memanfaatkan hasil pemodelan jasa lingkungan hasil InVEST dengan menggunakan data tambahan seperti jalan, peta proyeksi land use dan land cover,

serta raster pemodelan kekeringan. Studi kasus yang dilakukan menunjukkan potensi penggunaan hasil pemodelan jasa lingkungan dengan data spasial lainnya untuk studi tematik terkait dengan perencanaan ataupun decision making, dengan memanfaatkan pemodelan spasial berbasis system informasi geografi. Sedangkan pada decision maker, penekanan dilakukan pada interpretasi hasil pemodelan spasial yang dilakukan yang dapat dirangkum menjadi narasi kebijakan.

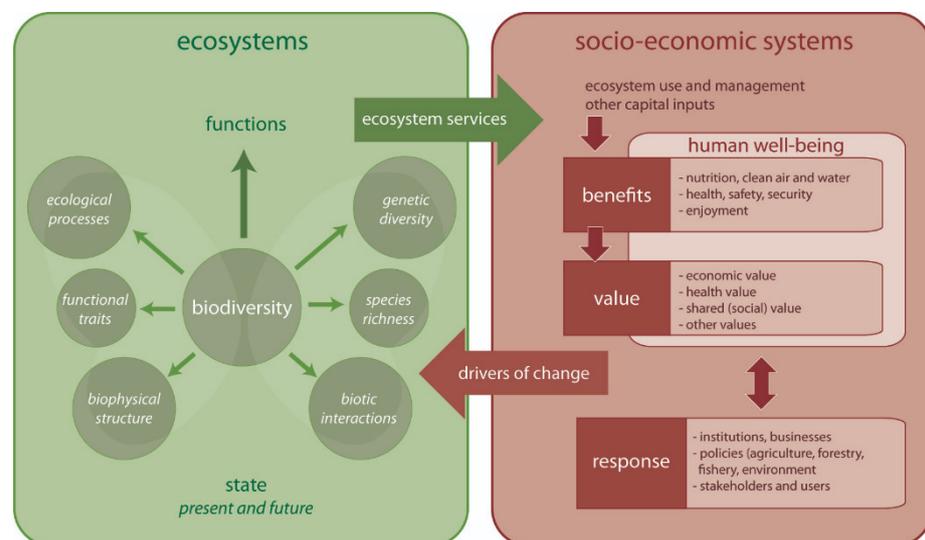
2. Potensi Pemodelan Jasa Lingkungan ke depan

Pemodelan jasa lingkungan eksplisit spasial yang dihasilkan oleh InVEST dapat memberikan potensi dalam proses perencanaan, dan pengambilan keputusan yang tepat. Pemodelan spasial berbasis InVEST untuk jasa lingkungan merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk melakukan valuasi ekosistem secara spasial, dan dapat dikombinasikan dengan data spasial ataupun data sosial-ekonomi lainnya. Menurut Hamel et al. (2021), valuasi jasa lingkungan secara spasial dapat menunjukkan informasi besaran, lokasi, dan penerima dari benefit (*beneficiaries*) dari ekosistem, sekaligus menilai atau mensimulasikan perubahan jasa lingkungan yang terjadi ketika jasa lingkungan tersebut mengalami perubahan. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk manajemen lahan serta penentuan policy ke depan (Gambar 33). Selain itu, pemodelan jasa lingkungan memberikan prospek dalam melakukan valuasi nilai penting ekosistem, baik secara ekologis maupun secara ekonomis.



Gambar 33. Pemodelan spasial jasa lingkungan dapat memberikan pengguna data (a), informasi terkait kebutuhan (b) dan tipe keuntungan yang dihasilkan © (Hamel et al., 2021)

Secara lebih detail, Maes et al. (2016) menggambarkan jasa ekosistem dan produknya dalam dimensi sosial ekonomi yang dapat digunakan untuk menilai benefit dan value dari ekosistem. Value dari ekosistem akan dapat berubah bergantung dari respon (policy, institusi, interaksi) terhadap value yang diberikan sehingga bentuk dari respon yang diberikan akan dapat memberikan perubahan pada jasa ekosistem. Contoh dari bentuk perubahan adalah perubahan penggunaan lahan, perubahan iklim serta rekomendasi ruang akan dapat mengubah besaran jasa ekosistem. Sehingga integrasi pemodelan spasial jasa lingkungan pada penataan ruang akan memberikan rekomendasi tata ruang yang memperhatikan keberlangsungan jasa ekosistem.



■ Gambar 34. Interaksi jasa lingkungan terhadap sistem sosial ekonomi yang memberikan benefit dan value terhadap manusia yang juga menjadi agen perubahan (Maes et al., (2016)

Pemodelan spasial berbasis lingkungan ini dapat dilakukan pada skala yang berbeda baik dari skala nasional, maupun skala regional dengan menyesuaikan pada ketersediaan data untuk menunjang analisa pada skala yang lebih besar, atau ketika akan digunakan pada level perencanaan detail. Agudelo et al. (2020) menyampaikan bahwa salah satu tantangan untuk pemodelan ekosistem berada pada ketersediaan data pada skala yang diinginkan. Hal ini yang menyebabkan pemodelan jasa lingkungan masih banyak berada pada negara maju (Pulighe et al. 2016). Oleh karena itu, hal ini menekankan perlunya ketersediaan dana tematik yang dapat menunjang

pemodelan pada skala yang diinginkan. Selain itu, Agudelo et al. (2020) juga menyampaikan perlunya memodelkan interaksi antar satu jasa ekosistem dengan jasa ekosistem lainnya yang saling terkait baik secara langsung maupun tidak langsung.

3. Penutup

Modul pelatihan mengenai nature based solution dan pemodelan jasa lingkungan ini dirancang dengan tujuan utama untuk meningkatkan kapasitas para peserta dalam mengimplementasikan jasa lingkungan. Fokus pada pemahaman ini diharapkan dapat memberikan dampak positif pada proses perencanaan dan perancangan kebijakan di masa mendatang, dengan kemampuan untuk secara holistik menilai nilai ekosistem yang menjadi fondasi dari jasa lingkungan tersebut.

Meskipun modul ini tidak mencakup seluruh pemodelan jasa lingkungan yang dihasilkan oleh ekosistem, namun tujuannya lebih kepada memberikan gambaran yang jelas tentang proses pemodelan jasa lingkungan dan informasi yang dapat dihasilkan melalui pendekatan ini. Pemahaman peserta terhadap teknik dan konsep pemodelan ini diharapkan mampu memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan pemahaman mereka terhadap dinamika ekosistem dan keterkaitannya dengan pemanfaatan sumber daya alam.

Selain itu, modul ini juga berfungsi sebagai dasar untuk memperkuat kesadaran akan urgensi perlindungan dan keberlanjutan ekosistem. Dengan demikian, peserta diharapkan dapat membawa pengetahuan yang diperoleh dari modul pelatihan ini ke dalam lingkungan kerja mereka, mengintegrasikan konsep-konsep tersebut dalam setiap aspek perencanaan, implementasi kebijakan, dan evaluasi dampak lingkungan. Secara keseluruhan, modul pelatihan ini tidak hanya memberikan peningkatan kapasitas teknis, tetapi juga menciptakan kesadaran yang mendalam tentang pentingnya menjaga ekosistem untuk kesejahteraan jangka panjang masyarakat dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Agudelo, C. A. R., Bustos, S. L. H., & Moreno, C. A. P. (2020). Modeling interactions among multiple ecosystem services. A critical review. *Ecological Modelling*, 429, 109103.

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN.

Danoedoro, P. (2009). *Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing.

Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi

Grafius, D. R., Corstanje, R., Warren, P. H., Evans, K. L., Hancock, S., & Harris, J. A. (2016). The impact of land use/land cover scale on modelling urban ecosystem services. *Landscape Ecology*, 31, 1509-1522.

Guptill, S. C., & Morrison, J. L. (1995). *Elements of Spatial Data Quality*. New York: Elsevier Science Inc.

Hamel, P., Guerry, A. D., Polasky, S., Han, B., Douglass, J. A., Hamann, M., ... & Daily, G. C. (2021). Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software. *npj Urban Sustainability*, 1(1), 25.

Huggett, R. and Cheesman, J. (2002) *Topography and the Environment*. Harlow: Prentice Hall.

InVEST User Guide. 2023. <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/index.html>

Kumar, L., Skidmore, A.K. and Knowles, E. (1997) Modeling Topographic Variation in Solar Radiation in a GIS Environment. *International Journal for Geographical Information Science*, 11, 475-497.

Malingreau, dan Rosalia. (1979). Land Use/Land Cover Classification in Indonesia. Yogyakarta : Fakultas Geografi UGM.

Natural Capital Project, 2023. InVEST 3.14.0. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences.

Nelson E, Sander H, Hawthorne P, Conte M, Ennaanay D, Wolny S, et al. (2008) Projecting Global Land-Use Change and Its Effect on Ecosystem Service Provision and Biodiversity with Simple Models.

Ochoa, V., & Urbina-Cardona, N. (2017). Tools for spatially modeling ecosystem services: Publication trends, conceptual reflections and future challenges. *Ecosystem Services*, 26, 155-169.

Posner, S., Verutes, G., Koh, I., Denu, D., & Ricketts, T. (2016). Global use of ecosystem service models. *Ecosystem Services*, 17, 131-141.

Pulighe, G., Fava, F., & Lupia, F. (2016). Insights and opportunities from mapping ecosystem services of urban green spaces and potentials in planning. *Ecosystem services*, 22, 1-10.

Tempfli, K. (1991). DTM and differential modeling. Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

Townshend, J., & Justice, C. (1981). Information extraction from remotely sensed data: a user view. *International Journal of Remote Sensing*, 2, 313–329.

Kurikulum Pelatihan NbS Level Teknis

Target Peserta: Peserta merupakan tenaga teknis yang memiliki familiaritas dengan analisa spasial

Komponen	Topic	Format	Learning Hours	Content	Learning Outcomes
Pre Assessment		Quiz	1		
Chapter 1	Understanding Nature Based Solutions	Lecture	1	Definisi, konteks jasa lingkungan	Memahami definisi nature based solutions dan nature capital
Chapter 2	Overview Lingkup dan Skenario Jasa Lingkungan	Lecture	1	Lingkup jasa lingkungan dan skenario (konservasi, dan restorasi)	Memahami lingkup dari jasa lingkungan
Chapter 3	<i>Pemodelan Spasial</i>				
3.1.	Konsep dan Teori Pemodelan Spasial, Sumber dan Akuisisi Data, Skala Peta dan Skala Analisa	Lecture	2	SIG, proses dan jenis spasial modelling	Memahami konsep dan teori dalam pemodelan spasial
				perolehan data geospasial dan tabular yang digunakan dalam proses pemodelan spasial, evaluasi kualitas data yang didapatkan	Memahami sumber akuisisi dan kualitas data spasial untuk pemodelan
				Pemahaman hubungan antara kebutuhan analisa, dan kualitas data terhadap skala peta dan skala analisis	Menganalisa hubungan antara skala peta dan skala analisa, serta resolusi data yang digunakan
3.2.	Penutup dan Penggunaan Lahan	Lecture + Practical	4	Skema dan metode klasifikasi LULC serta evaluasinya	Memahami dan menerapkan proses pemetaan penutup dan penggunaan lahan dengan akurat
3.3.	Digital Elevation Model dan Analisa Medan	Lecture + Practical	4	Proses menurunkan data DEM, tipe data DEM, evaluasi kualitas data dan penggunaan data DEM untuk analisa medan	Memahami konsep digital elevation model dan penerapannya untuk analisa medan
Chapter 4	<i>Analisis dan Permodelan Jasa Ekosistem</i>				
4.1.	Module Preface dan Pengantar InVEST	Lecture	1	Instalasi, serta pemahaman interface InVEST	Mampu mengaplikasikan proses pemodelan spasial jasa lingkungan berbasis InVEST
4.2.	Annual dan Seasonal Water Yield	Practical	2	Pengenalan dan praktik pengolahan 4 modul jasa ekosistem	
4.3.	Carbon Stock dan Sequestration	Practical	2		
4.4.	Habitat Quality dan Risk	Practical	2		
4.5.	Sediment Delivery Ratio	Practical	2		
Chapter 5	Evaluasi dan Interpretasi Hasil Permodelan Jasa Lingkungan	Focus Group Discussion	4	Evaluasi dan cara interpretasi hasil pemodelan jasa lingkungan	Mengevaluasi hasil pemodelan spasial berbasis InVEST
Chapter 6.	Perencanaan Jalan Berbasis Konservasi Alam	Lecture	2	Pengantar Case Study	Mampu memahami mengenai perencanaan jalan berbasis konservasi alam

Chapter 7		Case Study			
7.1.	Jasa Lingkungan dan Jalan (case HQ dan SDR)	Practical	2	Studi kasus jasa ekosistem untuk berbagai pemanfaatan	Mampu memahami dan menguasai permasalahan dan penyelesaian studi kasus jasa ekosistem untuk berbagai pemanfaatan
7.2.	Overlay Iklim dan AWY	Practical	2		
7.3.	Perubahan PL dan Jasa Lingkungan	Practical	2		
Post Assessment		Quiz	1		
Overview Pelatihan dan Potensi NbS ke depan		Lecture	1	Lingkup Nature-based Solutions	Memahami potensi dan trend penerapan jasa lingkungan di masa depan
Total Learning Hours			36		

RANGKUMAN MODUL InVEST







DAFTAR ISI

1.	ANNUAL WATER YIELD	210
2.	CARBON STORAGE AND SEQUESTRATION	211
3.	COASTAL BLUE CARBON	213
4.	COASTAL VULNERABILITY MODEL	215
5.	CROP POLLINATION (POLLINATOR ABUNDANCE)	216
6.	CROP PRODUCTION: PERCENTILE	217
7.	CROP PRODUCTION: REGRESSION	218
8.	DELINEATELT	219
9.	FOREST CARBON EDGE EFFECT	220
10.	GLOBIO	221
11.	HABITAT QUALITY	222
12.	HABITAT RISK ASSESSMENT	224
13.	NDR: NUTRIENT DELIVERY RATIO	225
14.	ROUTEDEM	226
15.	SCENARIO GENERATOR: PROXIMITY BASED	227
16.	SCENIC QUALITY	228
17.	SEASONAL WATER YIELD	229
18.	SDR: SEDIMENT DELIVERY RATIO	230
19.	URBAN COOLING MODEL	231
20.	URBAN FLOOD RISK MITIGATION MODEL	233
21.	URBAN NATURE ACCESS	234
22.	URBAN STORMWATER RETENTION MODEL	235
23.	VISITATION: RECREATION AND TOURISM	237
24.	WAVE ENERGY PRODUCTION	238
25.	OFFSHORE WIND ENERGY PRODUCTION	239

1. ANNUAL WATER YIELD

Nama Modul			
Annual Water Yield			
Deskripsi Modul			
Modul ini mampu memperkirakan kuantitas dan nilai rata-rata tahunan dari besaran hasil air atau nilai interaksi air pada lanskap setiap tahunnya.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/annual_water_yield.html#summary			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Persyaratan Teknis
Peta Penutup dan Penggunaan Lahan (Raster)	Peta rata-rata nilai air tahunan pada lanskap kajian	Mampu memaksimalkan pemanfaatan hasil air pada suatu lanskap untuk perencanaan	Pengetahuan dasar mengenai hidrologi
Data Curah Hujan/ Presipitasi (Raster)	Peta nilai ketersediaan air pada lanskap kajian	Mampu memprediksi wilayah dengan kualitas nilai air terbaik pada lanskap kajian untuk perencanaan	Pengetahuan dasar mengenai penutup dan penggunaan lahan
Data Evapotranspirasi (Raster)			Penyimpanan ruang (<i>directory room</i>) pada satu ruang yang sama
Data Kedalaman Perakaran (Raster)			
Data Kadar Air pada Tanaman (Raster)			
Tabel Biofisik (biophysical table) (CSV)			
Z Parameter (1-30)			
Batas DAS (Shapefile)			
Batas Sub-DAS (Shapefile) (opsional)			

2. CARBON STORAGE AND SEQUESTRATION

Nama Modul			
Carbon Storage and Sequestration			
Deskripsi Modul			
<p>Model penyimpanan dan penyerapan karbon (<i>Carbon Storage and Sequestration</i>) memperkirakan nilai karbon yang tersimpan pada biomassa atas permukaan (<i>Above Ground Biomass/AGB</i>), biomassa bawah permukaan (<i>Below Ground Biomass/BGB</i>), biomassa serasah (<i>Leaf Litter</i>), dan biomassa tanah (<i>Soil Biomass</i>) berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/carbonstorage.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Data raster peta penutup dan penggunaan lahan saat ini	Model Simpanan Karbon Saat Ini pada Sumber Karbon yang disertakan	Hasil pemodelan dapat digunakan untuk membandingkan antara nilai simpanan karbon saat ini dan di masa mendatang beserta penyerapannya sehingga dapat teridentifikasi lokasi-lokasi prioritas perlindungan hutan dari deforestasi dan degradasi hutan, sebagai salah satu upaya mitigasi perubahan iklim.	Pengetahuan dasar terkait karbon serta pemetaan penutup dan penggunaan lahan.
Tabel data sumber karbon (<i>carbon pool</i>) untuk setiap jenis penutup dan penggunaan lahan	Model Simpanan Karbon Prediksi pada Sumber Karbon yang disertakan	Mengetahui simpanan dan penyerapan karbon sebagai data inventarisasi karbon yang dapat digunakan untuk memonitoring kondisi ekosistem di wilayah kajian, khususnya ekosistem hutan.	
Data raster peta prediksi penutup dan penggunaan lahan masa mendatang	Model Simpanan Karbon dengan skenario sesuai dengan kerangka kerja REDD (<i>Reducing Emissions from Forest Degradation and Deforestation</i>) (<i>optional</i>)		

Nama Modul			
Carbon Storage and Sequestration			
Deskripsi Modul			
<p>Model penyimpanan dan penyerapan karbon (<i>Carbon Storage and Sequestration</i>) memperkirakan nilai karbon yang tersimpan pada biomassa atas permukaan (<i>Above Ground Biomass/AGB</i>), biomassa bawah permukaan (<i>Below Ground Biomass/BGB</i>), biomassa serasah (<i>Leaf Litter</i>), dan biomassa tanah (<i>Soil Biomass</i>) berdasarkan penutup dan penggunaan lahannya.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/carbonstorage.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Data raster peta penutup dan penggunaan lahan skenario masa mendatang di bawah kebijakan REDD (optional)	Model Penilaian Penyerapan Karbon (optional)		
<p>Nilai harga karbon, nilai <i>annual market discount rate</i> (preferensi masyarakat terhadap nilai manfaat di masa ini dibandingkan dengan manfaat di masa mendatang), serta nilai <i>price change</i> (kenaikan tahunan relatif dari harga karbon di masa mendatang) (optional)</p>			

3. COASTAL BLUE CARBON

Nama Modul			
Coastal Blue Carbon			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Coastal Blue Carbon dapat memprediksi nilai simpanan serta serapan karbon di zona pesisir pada waktu tertentu akibat perubahan tutupan lahan. Sumber karbon yang dipertimbangkan antara lain biomassa (biomassa atas dan bawah permukaan), karbon sedimen (tanah), dan karbon seresah. Model utama Coastal Blue Carbon dapat mengestimasi stok karbon dan penyerapannya berdasarkan informasi sumber karbon tersebut serta informasi transisi dari habitat Coastal Blue Carbon ke habitat bukan Coastal Blue Carbon. Model ini juga dapat menghitung nilai sosial atau harga pasar karbon dari penyerapan jika data ekonomi disediakan.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-user-guide/latest/en/coastal_blue_carbon.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
<p>Step1. Preprocessing – Coastal Blue Carbon Preprocessor Module Membandingkan kelas penutup dan penggunaan lahan (Land Use Land Cover/LULC) di tahun-tahun tertentu secara kronologis untuk mengidentifikasi seluruh transisi atau perubahan LULC yang terjadi dari habitat Coastal Blue Carbon ke habitat bukan Coastal Blue Carbon.</p>		<p>Hasil pemodelan dapat digunakan untuk membandingkan antara nilai stok karbon saat ini dan di masa mendatang beserta penyerapannya sehingga dapat teridentifikasi lokasi-lokasi prioritas untuk perlindungan dari degradasi serta lokasi-lokasi prioritas restorasi ekosistem pesisir. Hal tersebut bertujuan untuk mempertahankan dan meningkatkan jasa ekosistem penyimpanan dan penyerapan karbon biru sebagai salah satu upaya mitigasi perubahan iklim.</p>	<p>Pengetahuan dasar terkait karbon biru serta pemetaan penutup dan penggunaan lahan.</p>
<p>Tabel snapshot LULC, yakni tabel keterangan tahun untuk masing-masing data raster peta LULC (csv)</p>	<p>Tabel matriks transisi LULC antara habitat Coastal Blue Carbon dan bukan Habitat Coastal Blue Carbon</p>		
<p>Tabel lookup LULC, yakni tabel keterangan kode kelas LULC beserta keterangan apakah kelas tersebut termasuk habitat coastal blue carbon atau tidak (csv)</p>	<p>Tabel biofisik yang akan menjadi input dalam pemodelan karbon utama</p>		<p>Terkait dengan teknis pemrosesan, semua raster peta penutup/penggunaan lahan harus dalam sistem koordinat terproyeksi dengan unit meter.</p>
<p>Peta LULC pada beberapa tahun sesuai dengan tabel snapshot LULC (raster)</p>	<p>Raster hasil penyelarasan semua raster input peta LULC</p>		
<p>Step 2. Main Model – Coastal Blue Carbon Module Model utama akan menghitung simpanan/stok karbon dan penyerapan karbon dari waktu ke waktu, berdasarkan informasi transisi serta Kumpulan karbon yang dihasilkan oleh Preprocessor Module, yang telah diedit oleh pengguna.</p>			

Nama Modul			
Coastal Blue Carbon			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Coastal Blue Carbon dapat memprediksi nilai simpanan serta serapan karbon di zona pesisir pada waktu tertentu akibat perubahan tutupan lahan. Sumber karbon yang dipertimbangkan antara lain biomassa (biomassa atas dan bawah permukaan), karbon sedimen (tanah), dan karbon seresah. Model utama Coastal Blue Carbon dapat mengestimasi stok karbon dan penyerapannya berdasarkan informasi sumber karbon tersebut serta informasi transisi dari habitat Coastal Blue Carbon ke habitat bukan Coastal Blue Carbon. Model ini juga dapat menghitung nilai sosial atau harga pasar karbon dari penyerapan jika data ekonomi disediakan.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-user-guide/latest/en/coastal_blue_carbon.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Tabel biofisik untuk setiap kelas LULC (hasil pemrosesan model Coastal Blue Carbon Preprocessor, csv)	Raster akumulasi karbon antara tahun Tawal dan Takhir		
Tabel matriks transisi LULC antara habitat Coastal Blue Carbon dan bukan Habitat Coastal Blue Carbon (hasil pemrosesan model Coastal Blue Carbon Preprocessor, csv)	Raster emisi karbon antara tahun Tawal dan Takhir		
Tabel snapshot LULC, yakni tabel yang memberikan keterangan tahun untuk masing-masing data raster peta LULC (csv)	Raster stok karbon di tahun tertentu dari tiga sumber karbon untuk setiap LULC		
Peta LULC pada beberapa tahun sesuai dengan tabel snapshot LULC (raster)	Raster total penyerapan karbon bersih antara tahun Tawal dan Takhir		
Nilai penyerapan karbon dalam jangka waktu tertentu diperoleh dengan memasukkan: a. Jika tidak menggunakan tabel harga karbon: - Nilai satu ton karbon yang diserap - Discount rate - Interest rate (suku bunga) b. Jika menggunakan tabel harga karbon: - Tabel harga karbon tahunan - Discount rate Catatan: Data ini optional	Raster total penyerapan karbon bersih sepanjang periode waktu antara baseline dan tahun akhir atau tahun analisis		
	Raster nilai moneter dari penyerapan karbon dengan satuan mata uang tertentu per hektar		

4. COASTAL VULNERABILITY MODEL

Nama Modul			
Coastal Vulnerability Model			
Deskripsi Modul			
<p>Modul ini menunjukkan kerentanan pesisir terhadap erosi dan genangan yang relatif tinggi atau rendah selama badai. Dengan menggabungkan hasil ini dengan informasi populasi global, model ini dapat menunjukkan wilayah di sepanjang garis pantai di mana manusia paling rentan terhadap gelombang badai dan gelombang besar. Model ini tidak memperhitungkan proses-proses pesisir yang unik di suatu wilayah, juga tidak memprediksi perubahan posisi atau konfigurasi garis pantai dalam jangka panjang atau pendek.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut : https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-user-guide/latest/en/coastal_vulnerability.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Shapefile wilayah kajian	Shapefile dalam bentuk titik yang memuat informasi : - Keterpaparan habitat - populasi yang terdampak	Menentukan strategi pembagunan dan perizinan pada wilayah yang memiliki risiko tinggi terhadap bahaya pesisir	Dapat melakukan digitasi pada pembuatan <i>area of interest</i> (AOI) yaitu pada daerah yang hanya digunakan untuk analisis.
Peta daratan pada keseluruhan area (bukan dipotong berdasarkan AOI; vector)	Tabel keterpaparan pesisir		Mengetahui pengetahuan terkait kondisi perlindungan habitat dari garis pantai untuk mengisi kelas perlindungan habitat dari garis pantai dalam tabel habitat
Peta data angin dan gelombang dalam grid yang mewakili kondisi badai (vector; point)			
Peta batimetri (raster)			
Peta DEM/ peta elevasi diatas permukaan laut (raster)			
Peta kontur atau yang relevan dengan batimetri kontur (harus berada dalam jarak 1500 km dari garis pantai pada wilayah kajian; vector)			
Tabel habitat (yang memuat data wilayah habitat)			
Peta geomorfologi (vector, opsional)			
Peta jumlah penduduk (raster)			
Peta kenaikan muka air laut (vector, point, opsional)			
<p>Notes : untuk melakukan pemodelan yang lebih cepat, dapat menggunakan data daratan yang sederhana (kedetilan data mempengaruhi running model) dan pada area yang tidak terlalu besar / resolusinya tidak detail. Kemudian setelah itu, dapat mengatur parameter yang dibutuhkan</p>			

5. CROP POLLINATION (POLLINATOR ABUNDANCE)

Nama Modul			
Crop Pollination (Pollinator Abundance)			
Deskripsi Modul			
Modul ini ini berfokus pada pemodelan serangga lebah liar sebagai penyerbuk atau polinator untuk berbagai tanaman sebagai bentuk simbiosis mutualisme. Model ini mempertimbangkan keberadaan lokasi sarang dan sumber daya bunga dalam jangkauan terbang lebah.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/croppollination.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Persyaratan Teknis
Peta Penutup dan Penggunaan Lahan (Raster)*	Peta kelimpahan serangga polinator pada musim kemarau	Membudidayakan keberadaan serangga polinator dengan keuntungan pada penyerbukan yang membuat tanaman tumbuh lebih baik	Pengetahuan dasar mengenai serangga (insecta)
Tabel nilai fisik penutup lahan (biophysical) (CSV)*: Mencakup indeks keberadaan sarang di tanah, indeks keberadaan sarang di struktur selain tanah, indeks sumber daya bunga pada musim kemarau, dan indeks sumber daya bunga pada musim penghujan	Peta kelimpahan serangga polinator pada musim penghujan		Pengetahuan dasar mengenai penutup dan penggunaan lahan
Tabel Penyerbuk (guild table) (CSV)*: Mencakup indeks keberadaan sarang di tanah, indeks keberadaan sarang di struktur selain tanah			Penyimpanan ruang (<i>directory room</i>) pada satu ruang yang sama
Peta Pertanian (Vector) (opsional)			

6. CROP PRODUCTION: PERCENTILE

Nama Modul			
Crop Production: Percentile			
Deskripsi Modul			
<p>Model Persentil Produksi Tanaman memperkirakan hasil panen dan nilai unsur hara untuk sekumpulan tanaman tertentu. Analisis ini membutuhkan data penutup & penggunaan lahan (LULC). Asumsi model ini adalah nilai produksi tanaman dipengaruhi oleh iklim.</p>			
<p>Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/crop_production.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup & penggunaan lahan (LULC)	Peta produksi pertanian berdasarkan tingkat intensifikasi pertanian, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 95%	Memberikan informasi terkait sebaran tingkat produksi pertanian. Hal ini dapat menjadi pertimbangan pemilihan lokasi dalam perencanaan wilayah.	Memahami limitasi dari analisis crop production, yaitu aspek yang menjadi pengontrol tingkat produksi tanaman adalah kondisi iklim, serta model ini tidak mempertimbangkan aspek fisik lahan dalam pemrosesannya.
Tabel iklim suatu tanaman	Tabel produksi pertanian		
Tabel nutrisi yang dihasilkan oleh suatu tanaman			
Peta hasil panen suatu tanaman dalam lingkup global			
Peta iklim suatu tanaman dalam lingkup global			
Area of Interest (AOI) atau batas wilayah kajian			
Tabel kelas tanaman pada LULC. Tabel ini berisi kode nomor kelas suatu tanaman pada peta LULC			

7. CROP PRODUCTION: REGRESSION

Nama Modul			
Crop Production: Regression			
Deskripsi Modul			
<p>Model Regresi Produksi Tanaman memperkirakan hasil panen dan nilai unsur hara untuk sekumpulan tanaman tertentu. Analisis ini membutuhkan data penutup & penggunaan lahan (LULC). Asumsi model ini adalah nilai produksi tanaman dipengaruhi oleh iklim. Hal yang membedakan permodelan regresi dengan persentil adalah permodelan regresi membutuhkan data pemupukan, sehingga permodelan regresi menghasilkan tabel tingkat nutrisi tanaman.</p>			
<p>Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/crop_production.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup & penggunaan lahan (LULC)	Peta tingkat produksi pertanian	Memberikan informasi terkait sebaran tingkat produksi pertanian. Hal ini dapat menjadi pertimbangan pemilihan lokasi dalam perencanaan wilayah.	Memahami limitasi dari analisis crop production, yaitu aspek yang menjadi pengontrol tingkat produksi tanaman adalah kondisi iklim, serta model ini tidak mempertimbangkan aspek fisik lahan dalam pemrosesannya.
Tabel iklim suatu tanaman	Tabel produksi pertanian		
Tabel nutrisi yang dihasilkan oleh suatu tanaman	Tabel hasil nutrisi tanaman pertanian		
Peta hasil panen suatu tanaman dalam lingkup global			
Peta iklim suatu tanaman dalam lingkup global			
Area of Interest (AOI) atau batas wilayah kajian			
Tabel kelas tanaman pada LULC. tabel ini berisi kode nomor kelas suatu tanaman pada peta LULC			
Tabel tingkat pemupukan tanaman, yang meliputi nitrogen, fosfor, dan kalium			

8. DELINEATEIT

Nama Modul			
DelineateIt			
Deskripsi Modul			
Modul ini berguna untuk membuat deliniasi batas DAS secara otomatis menggunakan data DEM. Pengguna dapat memilih tools tambahan dalam analisis ini, seperti deteksi titik outlet DAS secara otomatis, menghindari deliniasi jika terdapat geometri yang tidak valid, dan sebagainya.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/delineateit.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
DEM	Peta batas DAS	Memudahkan pengguna data dalam mengolah data DEM menjadi data batas DAS	Memahami konsep dasar pengolahan data DEM untuk keperluan analisis DAS
Titik outlet DAS	Hasil deliniasi Batas DAS		
	Peta titik outlet DAS		
	Peta DEM yang memuat data cekungan air		
	Peta arah aliran sungai		
	Peta akumulasi aliran sungai		

9. FOREST CARBON EDGE EFFECT

Nama Modul			
Forest Carbon Edge Effect			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Forest Carbon Edge Effect (model efek tepi karbon hutan) memperluas pendekatan karbon InVEST untuk memperhitungkan degradasi stok karbon hutan akibat adanya efek tepi di hutan tropis. Modul ini menerapkan hubungan yang diketahui antara penyimpanan karbon dan jarak tepi hutan untuk menghitung efek tepi dalam penyimpanan karbon dan kemudian menggabungkan perkiraan ini dengan data inventarisasi karbon untuk estimasi penyimpanan karbon secara keseluruhan.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/carbon_edge.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup dan penggunaan lahan (Land Use Land Cover/LULC) (raster)	Peta stok karbon per piksel dengan jumlah karbon hutan diperoleh dari regresi berdasarkan jarak ke tepi hutan dan jumlah karbon di kelas non hutan berdasarkan tabel biofisik	Mengetahui degradasi penyimpanan karbon yang terjadi akibat pengaruh efek tepi di hutan tropis sehingga modul ini dapat memaksimalkan model estimasi stok karbon secara keseluruhan.	Pengetahuan dasar terkait karbon serta pemetaan penutup dan penggunaan lahan.
Tabel biofisik yang berisikan informasi model, nilai kepadatan karbon, sesuai dengan masing-masing kelas penggunaan lahan pada peta LULC	Data vektor agregat dari nilai karbon stok yang merangkum total karbon dan rata-rata karbon per hektar di area poligon yang ditentukan.		
Peta model regresi global yang diperlukan untuk menghitung efek tepi hutan (vektor, optional)			
Nilai jumlah model regresi terdekat yang digunakan untuk menghitung total biomassa (optional)			
Nilai faktor konversi biomassa tepi hutan terhadap karbon (optional)			
Batas wilayah kajian (vektor, optional)			

10. GLOBIO

Nama Modul			
GLOBIO			
Deskripsi Modul			
<p>Model GLOBIO memberikan indeks keanekaragaman hayati berdasarkan kelimpahan spesies rata-rata (MSA), rata-rata respons tingkat populasi di berbagai spesies, terhadap berbagai pemicu stres, termasuk perubahan penggunaan lahan, fragmentasi, dan infrastruktur.</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Tabel parameter MSA (csv)	Shapefile hasil ringkasan rata-rata kelimpahan spesies pada setiap zona didalam wilayah kajian	Hasil dari modul ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam membangun infrastruktur pada suatu wilayah terhadap keberadaan spesies pada wilayah tertentu. Modul ini akan memberikan informasi kepadatan spesies dan apabila pembangunan tidak mempertimbangkan keberlangsungan ekosistem, akan berdampak pada fragmentasi	Semua proyeksi data spasial dalam meter bukan dalam sistem koordinat geografis untuk memberikan jarak yang akurat pada perhitungan. Model tidak akan jalan apabila tidak memiliki sistem proyeksi.
Shapefile wilayah kajian	Raster MSA keseluruhan		Memiliki kemampuan dalam klasifikasi LULC karena akan berpengaruh pada penentuan LULC sebagai input (spesifik pada vegetasi atau spesifik pada manajemen penutup lahan) atau klasifikasi penutup penggunaan lahan GLOBIO
Peta penutup dan penggunaan lahan (LULC) (Raster)	Raster kalkulasi dampak MSA hanya pada penggunaan lahan		Memiliki pengetahuan terkait infrastruktur yang berdampak pada keberadaan spesies
Tabel LULC yang dikonversi menjadi Globio LULC (csv)	Raster kalkulasi dampak MSA hanya pada fragmentasi		
Peta Kawasan Padang Rumput (wajib apabila tidak menggunakan LULC Globio; raster)	Raster kalkulasi dampak MSA hanya pada infrastruktur		
Peta potensi vegetasi berdasarkan kelas dari Ramankutty dan Foler (1999) (wajib apabila tidak menggunakan LULC Globio; raster)			
Infrastruktur yang menjadi ancaman bagi spesies (raster)			

11. HABITAT QUALITY

Nama Modul			
Habitat Quality			
Deskripsi Modul			
Model ini bertujuan untuk memodelkan kualitas dan kelangkaan habitat sebagai ukuran keanekaragaman hayati dengan memperkirakan luas habitat dan tipe vegetasi di suatu lanskap, serta kondisi degradasinya.			
Penjelasan Lebih Lanjut : https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/habitat_quality.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup dan penggunaan lahan pada masa kini (raster)	Raster degradasi habitat pada lanskap (penutup dan penggunaan lahan) masa kini	Pengelola memahami pola distribusi dan kekayaan di suatu lanskap sehingga pada daerah dengan kualitas habitat yang baik, dijaga dan diperketat perlindungan hukumnya agar keselarasan manusia dan alam dapat terjaga	Semua peta ancaman harus berada pada skala dan unit yang sama
Peta penutup dan penggunaan lahan pada masa depan (raster)	Raster degradasi habitat pada lanskap (penutup dan penggunaan lahan) masa depan	Dapat digunakan untuk membandingkan pola spasial keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem serta mengidentifikasi wilayah yang saling menguntungkan (dimana kawasan konservasi dapat memberikan manfaat bagi sistem alam dan manusia)	Memahami karakteristik habitat spesies yang akan dilakukan pemodelan. Sebagai contoh : gajah dapat hidup di tempat yang memiliki air yang cukup. maka dibutuhkan peta akses sumber air sebagai data pendukung.
Tabel ancaman (csv) : terdiri dari beberapa layer peta ancaman di dalamnya. Ancaman disesuaikan dengan karakteristik hewan dan habitatnya	Raster kualitas habitat pada lanskap (penutup dan penggunaan lahan) masa kini	Dapat digunakan untuk menganalisis <i>trade-off</i> antara keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem di berbagai skenario perubahan penggunaan lahan di masa depan	
Peta Elevasi	Raster kualitas habitat pada lanskap (penutup dan penggunaan lahan) masa depan		
Peta Kemiringan Lereng	Kelangkaan habitat pada lanskap masa kini dan masa depan (hasil ini akan diperoleh apabila memasukan baseline land cover)		
Peta pendukung kualitas habitat suatu spesies			

Nama Modul			
Habitat Quality			
Deskripsi Modul			
<p>Model ini bertujuan untuk memodelkan kualitas dan kelangkaan habitat sebagai ukuran keanekaragaman hayati dengan memperkirakan luas habitat dan tipe vegetasi di suatu lanskap, serta kondisi degradasinya.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut : https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/habitat_quality.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Tabel Sensitivitas			
Peta aksesibilitas dengan ancaman (peta kawasan perlindungan yang sah secara hukum; opsional)			
Peta kelangkaan spesies / peta persebaran spesies (baseline land cover; opsional)			
Batas Kantong Habitat (shapefile)			
Notes : Modul ini hanya dapat memodelkan 1 jenis spesies pada setiap runningnya			

12. HABITAT RISK ASSESSMENT

Nama Modul			
Habitat Risk Assessment			
Deskripsi Modul			
<p>Penilaian Habitat Risk Assessment (HRA) didasarkan pada seberapa besar dampak aktivitas manusia (antropogenik) terhadap kondisi habitat dan spesies. Modul ini memungkinkan penilaian yang bersifat kumulatif dan mengeksplorasi dampaknya terhadap kondisi modal alam dan kemampuan memberikan jasa lingkungan.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut : https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/habitat_risk_assessment.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup dan penggunaan lahan (raster)	Raster risiko habitat pada masing - masing habitat/spesies (apabila melakukan pemodelan pada beberapa spesies/habitat)	Modul ini dapat mengetahui aktivitas manusia dan ancaman terbesar yang berisiko pada habitat/spesies serta ekosistem. Sehingga dapat diberlakukan kebijakan yang lebih ketat terhadap akitivitas tersebut agar tidak semakin meningkatkan risiko terhadap keberlangsungan hidup suatu spesies	Semua data input spasial harus memiliki sistem koordinat proyeksi yang sama bukan sistem koordinat geografis
Tabel habitat stressor (csv) : terdiri dari beberapa layer peta ancaman di dalamnya. Ancaman disesuaikan dengan karakteristik hewan dan habitatnya	Raster risiko ekosistem	Modul ini dapat mengidentifikasi area ekosistem yang memiliki risiko tinggi sehingga dapat digunakan sebagai penentu daerah prioritas untuk kegiatan restorasi yang lebih besar	Memiliki pengetahuan terkait karakteristik habitat spesies (apa saja yang mengancam habitat spesies) sehingga dapat menentukan parameter ancaman
Tabel skoring ancaman terhadap risiko habitat (csv)	Raster risiko pada masing - masing habitat/spesies yang dibagi kedalam beberapa kelas klasifikasi tingkat risiko	Ketika digunakan bersama dengan model yang memperkirakan perubahan jasa ekosistem yang disebabkan oleh habitat, seperti perlindungan terhadap badai atau pendapatan pariwisata, HRA dapat membantu mengevaluasi <i>trade-off</i> antara aktivitas manusia dan manfaat yang diberikan ekosistem kepada manusia.	Memiliki pengetahui terkait karakteristik seberapa ancaman berpengaruh pada spesies untuk menentukan skor pada tabel skoring ancaman terhadap risiko habitat
Shapefile wilayah kajian	Raster risiko ekosistem yang dibagi kedalam beberapa kelas klasifikasi tingkat risiko	Penerapan HRA yang berulang dapat digunakan bersama untuk menilai dan membandingkan skenario alternatif	
Shapefile kantong habitat	Tabel statistik ringkasan : menunjukkan rata-rata, minimum dan maksimum keterpaparan dan risiko pada masing - masing habitat dan ancamannya		
<p>Notes : Modul ini dapat memodelkan beberapa jenis spesies dalam runningnya sehingga dapat menghitung total risiko spesies dalam suatu ekosistem</p>			

13. NDR: NUTRIENT DELIVERY RATIO

Nama Modul			
NDR: Nutrient Delivery Ratio			
Deskripsi Modul			
Analisis Nutrient Delivery Ratio (transpor nutrisi) mengkaji sumber nutrisi dari DAS/Sub-DAS dan transpor nutrisi pada aliran sungai. Hasil analisis dapat digunakan untuk menilai jasa penyimpanan unsur hara oleh vegetasi.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/ndr.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat teknis
Peta penutup & penggunaan lahan (LULC)	Peta ekspor nitrogen permukaan	Layanan retensi ini sangat bermanfaat untuk permasalahan kualitas air permukaan dan dapat dinilai dari segi ekonomi atau sosial, seperti penghematan biaya pengolahan atau peningkatan ketahanan air melalui akses terhadap air minum bersih.	Memahami terkait pemetaan hidrologi dan tanah
DEM	Peta ekspor nitrogen bawah permukaan	Mengetahui tingkat unsur hara yang terkandung dalam tanah, apakah sudah melebihi ambang batas dan menjadi polutan yang dapat berbahaya bagi lingkungan sekitar	
Batas DAS/SubDAS	Peta ekspor nitrogen total	Mengontrol kegiatan pemupukan berdasarkan kondisi unsur hara tanah	
Data curah hujan (untuk membuat peta nutrient runoff proxy)	Peta ekspor fosfor	Kontribusi ekosistem dalam mitigasi polutan air perlu dipertimbangkan dalam perencanaan pengembangan wilayah	
Tabel biofisik			

14. ROUTEDEM

Nama Modul			
RouteDEM			
Deskripsi Modul			
Modul ini memudahkan pengguna dalam analisis DEM yang berhubungan dengan hidrologi. Melalui ini, anda akan mendapatkan hasil beberapa peta terkait hidrologi dalam sekali pemrosesan. Anda juga dapat memilih algoritma dalam pemrosesan ini.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/routedem.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
DEM	Peta arah aliran sungai	Memudahkan dan mempercepat pemrosesan data DEM dalam analisis hidrologi	Memahami konsep dasar pengolahan data DEM untuk keperluan analisis hidrologi
Band Index (opsional), merupakan nomor indeks raster, jika input data yang digunakan adalah raster multi-band	Peta akumulasi aliran sungai		
	Peta cekungan air (fill sinks)		
	Peta aliran sungai		

15. SCENARIO GENERATOR: PROXIMITY BASED

Nama Modul			
Scenario Generator: Proximity Based			
Deskripsi Modul			
<p>Modul ini digunakan untuk membuat skenario perubahan penggunaan lahan yang kontras yang mengubah habitat dalam pola spasial yang berbeda. Pengguna dapat menentukan habitat mana yang dapat dikonversi dan di mana habitat tersebut dikonversi. Dengan cara ini, berbagai pola perubahan penggunaan lahan dapat dihasilkan. Seperti padang rumput yang merambah hutan dari tepi hutan, fragmentasi hutan dan lain - lain. Peta Penggunaan Lahan yang dihasilkan dari modul ini, dapat digunakan sebagai data input pada modul InVest lainnya.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut : https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-user-guide/latest/en/scenario_gen_proximity.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta LULC (Raster)	Raster LULC untuk skenario konversi yang paling dekat dengan tepi habitat	Hasil dari modul ini berguna untuk memperkirakan apa yang terjadi dimasa depan. Apabila adanya alih fungsi lahan atau perubahan fungsi pada wilayah tertentu, bagaimana perubahannya dan akan seperti apa perubahannya. Sehingga dapat menentukan strategi yang matang dalam perencanaan	
Shapefile wilayah kajian (opsional)	Raster LULC untuk skenario konversi yang paling jauh dengan tepi habitat		
	Tabel yang mencantumkan luas (dalam hektar) dan jumlah piksel untuk tipe tutupan lahan berbeda yang dikonversi untuk skenario konversi yang paling dekat dengan tepi habitat fokus		
	Tabel yang mencantumkan luas (dalam hektar) dan jumlah piksel untuk tipe tutupan lahan berbeda yang dikonversi untuk skenario konversi yang paling jauh dengan tepi habitat fokus		

16. SCENIC QUALITY

Nama Modul			
Scenic Quality			
Deskripsi Modul			
<p>Modul ini memberikan informasi tentang potensi pemandangan yang dan kualitas keindahan yang akan diperoleh dari dekat pantai dan lepas pantai. Peta jarak pandang yang dihasilkan oleh model dapat digunakan untuk mengidentifikasi wilayah pesisir yang paling mungkin terkena dampak langsung dari penambahan bentang laut. Mereka dapat menjadi masukan berharga untuk analisis yang lebih luas mempertimbangkan berbagai layanan yang disediakan oleh lingkungan laut.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut : https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-user-guide/latest/en/scenic_quality.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Area kajian (vector)	Raster yang berisi berapa banyak titik yang dapat terlihat pada setiap piksel	Hasil analisis jarak pandang akan berguna bagi pengambil keputusan yang ingin mengidentifikasi area dimana dampak visual dapat menjadi faktor penting untuk dimasukkan ke dalam perencanaan. Seperti pembangunan <i>safety guard tower</i> di pantai	Data yang memengaruhi kualitas visual harus memiliki proyeksi yang sama dengan DEM
Peta DEM	Raster kualitas visual yang diberikan setiap piksel dan kualitas visual yang terbagi kedalam beberapa kelas		
Peta lokasi objek yang berdampak negatif pada kualitas visual (vector, point)			

17. SEASONAL WATER YIELD

Nama Modul			
Seasonal Water Yield			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/seasonal_water_yield.html			
Deskripsi Modul			
Modul ini mampu memperkirakan mengenai layanan pasokan aliran air secara musiman, terutama pada musim kemarau			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Persyaratan Teknis
Peta Penutup dan Penggunaan Lahan (LULC) (Raster)	Peta layanan pasokan aliran air pada musim kemarau	Mampu menghitung indeks spasial pada kontribusi lanskap dari aliran air musiman	Pengetahuan dasar mengenai hidrologi
Tabel Biofisik (biophysical table) (CSV)	Peta layanan pasokan aliran air pada musim penghujan	Mampu memberikan perencanaan pembangunan berdasarkan pertimbangan terhadap aliran air musiman	Pengetahuan dasar mengenai penutup dan penggunaan lahan
DEM (Raster)			Penyimpanan ruang (<i>directory room</i>) pada satu ruang yang sama
Point Area of Interest (Vector)			
Jumlah piksel aliran (jumlah pixel)			
Beta_i Parameter (ratio 0-1)			
Gamma Parameter (Ratio 0-1)			
Data lain yang tersedia (Yes/No)			
Jika (Yes); mencakup: 1. Peta acuan evatransporasi setiap bulan (raster/.tif pada penyimpanan) 2. Peta curah hujan bulanan (raster/.tif pada penyimpanan) 3. Peta kelompok hidrologi tanah (raster)			
Tabel Alfa Bulanan (Yes/No)			
Jika (Yes): Tabel Alfa Bulanan (CSV) Jika (No): Alfa_m parameter (text)			
Zona Iklim (Yes/No)			
Jika (Yes): mencakup 1. Tabel Zona Iklim (CSV) 2. Peta Zona Iklim (raster) Jika (No): Tabel Waktu Hujan (CSV)			

18. SDR: SEDIMENT DELIVERY RATIO

Nama Modul			
SDR: Sediment Delivery Ratio			
Deskripsi Modul			
<p>Analisis SDR bertujuan untuk mengukur dan memetakan pembentukan sedimen darat dan pengiriman ke sungai. Jasa penyimpanan/retensi sedimen oleh vegetasi sangat dibutuhkan guna menghindari peningkatan transportasi sedimen ke sungai.</p>			
<p>Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/sdr.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat teknis
Peta penutup dan penggunaan lahan (LULC)	Peta ekspor sedimen	Pemahaman terkait produksi dan transportasi sedimen memungkinkan para pemangku kebijakan untuk mengurangi beban sedimen melalui perubahan penggunaan lahan dan pengembangan wilayah.	Memahami terkait pemetaan hidrologi dan tanah
DEM	Peta USLE	Perubahan beban sedimen dapat berdampak pada irigasi hilir, pengolahan air, rekreasi dan kinerja waduk, sedangkan hilangnya tanah dapat menurunkan produktivitas pertanian. hal ini tentu berdampak besar pada kondisi perekonomian masyarakat	
Batas DAS atau SubDAS	Peta aliran sungai		
Data curah hujan (untuk membuat peta erosivitas)	Peta pengendapan sedimen		
Data tekstur tanah, permeabilitas tanah, bahan organik tanah, dan struktur tanah (untuk membuat peta erodibilitas tanah)			
Tabel biofisik			

19. URBAN COOLING MODEL

Nama Modul			
Urban Cooling Model			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Urban Cooling (pendinginan perkotaan) menghitung indeks mitigasi panas (<i>index of heat mitigation</i>) perkotaan berdasarkan bayangan, evapotranspirasi, dan albedo, serta jarak dari pulau-pulau pendingin atau cooling island seperti tutupan bervegetasi. Indeks ini digunakan untuk memperkirakan efek pendinginan vegetasi berdasarkan data umum yang tersedia mengenai iklim dan penutup/penggunaan lahan. Model Urban Cooling juga dapat memperkirakan nilai layanan mitigasi panas menggunakan dua metode penilaian, yakni konsumsi energi dan produktivitas kerja terhadap penggunaan AC (optional).</p>			
<p>Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/urban_cooling_model.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup dan penggunaan lahan (Land Use Land Cover/LULC) (raster)	Raster Peta Heat Mitigation Index (HMI)	Mengetahui efek pendinginan atau penurunan suhu akibat adanya vegetasi berdasarkan data umum yang tersedia mengenai iklim, penutup/penggunaan lahan, serta penggunaan AC (optional).	Pengetahuan dasar terkait kajian perkotaan atau urban planning serta sistem informasi geografis (SIG)
Tabel biofisik (berisi informasi model yang sesuai dengan masing-masing kelas penutup dan penggunaan lahan pada peta LULC) (csv)	Data vektor Urban Heat Island (UHI), yang berisikan informasi: <ul style="list-style-type: none"> o Nilai rata-rata cooling capacity (CC) o Nilai suhu rata-rata o Anomali suhu rata-rata o Konsumsi energi yang dihindari (optional) o Nilai rata-rata Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) (optional) o Light work productivity loss (optional) o Heavy work productivity loss (optional) 	Mengetahui lokasi-lokasi prioritas dalam upaya pengurangan efek pulau panas perkotaan (<i>Urban Heat Island/UHI</i>) berdasarkan hasil pemodelan InVEST Urban Cooling. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memaksimalkan atau menambahkan ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan.	
Peta nilai evapotranspirasi (raster)	Data vektor infrastruktur bangunan dengan tambahan informasi: <ul style="list-style-type: none"> o Nilai penghematan energi (optional) o Nilai suhu rata-rata di dalam bangunan (optional) 		

Nama Modul			
Urban Cooling Model			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Urban Cooling (pendinginan perkotaan) menghitung indeks mitigasi panas (<i>index of heat mitigation</i>) perkotaan berdasarkan bayangan, evapotranspirasi, dan albedo, serta jarak dari pulau-pulau pendingin atau cooling island seperti tutupan bervegetasi. Indeks ini digunakan untuk memperkirakan efek pendinginan vegetasi berdasarkan data umum yang tersedia mengenai iklim dan penutup/penggunaan lahan. Model Urban Cooling juga dapat memperkirakan nilai layanan mitigasi panas menggunakan dua metode penilaian, yakni konsumsi energi dan produktivitas kerja terhadap penggunaan AC (optional).</p>			
<p>Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/urban_cooling_model.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Batas wilayah kajian, dapat berupa batas batas kota atau lingkungan (shapefile)			
Nilai jarak pendinginan maksimum (Maximum Cooling Distance), yakni jarak dimana area hijau yang memiliki luasan lebih dari 2 hektar memiliki efek pendinginan			
Nilai suhu udara referensi (Reference Cooling Distance) pada kawasan pedesaan atau kawasan dimana efek UHI tidak teramati			
Nilai efek UHI, yakni perbedaan antara suhu referensi dengan suhu maksimum yang teramati di kawasan perkotaan			
Nilai jarak perpaduan udara (<i>Air Blending Distance</i>), yakni radius dimana suhu udara rata-rata akan dihitung untuk memperhitungkan pencampuran udara			
Peta infrastruktur bangunan (vektor, optional)			
Tabel konsumsi energi, yakni berisikan tabel data konsumsi energi untuk setiap jenis bangunan (csv, optional)			
Nilai persentase kelembaban relatif rata-rata (Average Relative Humidity) (optional)			
Nilai bobot bayangan, bobot albedo, dan bobot evapotranspirasi, untuk menghitung indeks kapasitas pendinginan			

20. URBAN FLOOD RISK MITIGATION MODEL

Nama Modul			
Urban Flood Risk Mitigation Model			
Deskripsi Modul			
Bahaya banjir salah satunya bersumber dari banjir air hujan (<i>stormwater flooding</i>) atau disebut dengan banjir perkotaan (<i>urban flooding</i>). Adanya infrastruktur alami dapat berperan untuk mengurangi produksi aliran air, memperlambat aliran permukaan, dan menciptakan ruang untuk air (di dataran banjir atau cekungan). Model InVEST Urban Flood Risk Mitigation menghitung pengurangan limpasan (<i>runoff</i>), yaitu jumlah aliran air yang ditahan per piksel dibandingkan dengan volume hujan. Model juga menghitung potensi kerusakan ekonomi dengan menyatukan informasi tentang potensi luas banjir dan informasi infrastruktur yang dibangun untuk setiap Daerah Aliran Sungai (DAS).			
Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/urban_flood_mitigation.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Data vektor atau shapefile wilayah kajian, dapat berupa batas Daerah Aliran Sungai (DAS)	Raster nilai retensi limpasan (<i>runoff retention</i>), yakni kemampuan suatu area untuk menahan limpasan air relatif terhadap volume curah hujan	Sebagai upaya mitigasi atau pengurangan risiko banjir dengan mengetahui risiko banjir di kawasan perkotaan berdasarkan produksi limpasan (volume banjir perkotaan) serta retensi limpasan, yang ditentukan oleh jenis penutup dan penggunaan lahan serta karakteristik tanah.	Pengetahuan dasar terkait bencana hidrometeorologi, hidrologi dan tanah, serta sistem informasi geografis (SIG).
Nilai kedalaman hujan, dapat berupa rata-rata presipitasi per peristiwa hujan	Raster nilai retensi limpasan dalam meter kubik	Mengetahui potensi kerusakan dalam satuan mata uang pada infrastruktur yang dibangun serta indikator pelayanan retensi limpasan atau indikator terhindarnya kerusakan pada infrastruktur yang dibangun.	Berkaitan dengan teknis pengolahan, sistem koordinat dari data spasial yang digunakan haruslah telah diproyeksikan (<i>projected coordinate system</i>), bukan koordinat geografis.
Data raster peta penutup dan penggunaan lahan (Land Use Land Cover/LULC)	Raster nilai produksi limpasan atau volume banjir		
Data raster peta kelompok hidrologi tanah, yang dapat mendeskripsikan potensi limpasan air pada jenis tanah yang berbeda.	Vektor risiko banjir yang berisikan nilai rata-rata retensi limpasan, jumlah volume retensi limpasan, volume banjir, potensi kerusakan infrastruktur yang dibangun dalam satuan mata uang, serta indikator pelayanan retensi limpasan, untuk setiap DAS.		
Tabel biofisik (berisi informasi model, nilai Curve Number, yang sesuai dengan masing-masing kelas penggunaan lahan pada peta LULC)			
Data vektor atau shapefile infrastruktur yang dibangun, misalnya bangunan (building footprints) –optional			
Tabel kerugian kerusakan (berisi data potensi kerugian kerusakan untuk setiap jenis bangunan) –optional			

21. URBAN NATURE ACCESS

Nama Modul			
Urban Nature Access			
Deskripsi Modul			
<p>Urban nature atau alam perkotaan memberikan peluang untuk kebutuhan rekreasi. Model ini mengukur ketersediaan urban nature serta kebutuhan penduduk perkotaan akan adanya urban nature. Model ini juga mengukur keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan urban nature di suatu wilayah. Keseimbangan tersebut mengukur sejauh mana ketersediaan urban nature dapat memenuhi kebutuhan, pada tingkat individu, administratif, dan kota. Asumsi yang dibangun adalah model ini berfokus pada akses terhadap alam di wilayah perkotaan.</p>			
<p>Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/urban_nature_access.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Peta penutup & penggunaan lahan (LULC)	Peta ketersediaan urban nature per kapita	Membantu menganalisis kebutuhan rekreasi masyarakat	Memahami pemetaan penutup dan penggunaan lahan (LULC)
Tabel atribut kelas LULC. berisi kode kelas LULC, kode biner yang menyatakan kelas tersebut termasuk urban area atau bukan, dan radius pencarian.	Peta tingkat kebutuhan urban nature	Mengevaluasi ketersediaan urban nature suatu wilayah	Memahami konsep terkait kependudukan
Peta raster yang berisi data jumlah penduduk per piksel.	Peta tingkat keseimbangan urban nature per kapita. Keseimbangan dalam hal ini merujuk pada ketersediaan dan kebutuhan urban nature	Mengevaluasi kebutuhan urban nature suatu wilayah	
Batas administratif	Peta tingkat keseimbangan urban nature untuk populasi total	Mengevaluasi keseimbangan antara ketersediaan urban nature dengan kebutuhan masyarakat	
Tabel proporsi penduduk dalam setiap unit administratif	Salinan batas administrasi yang memuat: <ol style="list-style-type: none"> 1. data rata-rata keseimbangan urban nature, 2. total populasi dalam unit administratif yang kekurangan pasokan/ketersediaan urban nature, 3. total populasi dalam unit administratif yang kelebihan pasokan/ ketersediaan urban nature 		
Kebutuhan urban nature per-kapita (dalam satuan angka)	Peta kawasan urban nature yang dapat diakses		
	Peta kawasan urban nature yang dapat diakses tiap kelas LULC		
	Peta kawasan urban nature yang dapat diakses tiap kelompok populasi		

22. URBAN STORMWATER RETENTION MODEL

Nama Modul			
Urban Stormwater Retention Model			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Urban Storm Water Retention atau model retensi limpasan air hujan dapat memberikan informasi mengenai jasa ekosistem pengelolaan air hujan, yakni retensi limpasan (kemampuan menahan aliran air hujan) serta pengisian ulang air tanah. Pengisian ulang air tanah berhubungan dengan perkolasi air hujan yang berpotensi mengisi ulang air tanah untuk keperluan makhluk hidup. Retensi, pengisian ulang air tanah, serta limpasan permukaan diperkirakan dalam skala waktu tahunan.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/stormwater.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Data raster peta penutup dan penggunaan lahan (Land Use Land Cover/LULC)	Raster peta rasio retensi air hujan	Memaksimalkan potensi jasa ekosistem pengelolaan air hujan berupa retensi limpasan (kemampuan menahan aliran air hujan) serta pengisian ulang air tanah, sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan makhluk hidup.	Pengetahuan dasar terkait hidrologi dan tanah serta sistem informasi geografis (SIG).
Data raster peta kelompok hidrologi tanah	Raster peta rasio retensi yang disesuaikan		
Data raster peta curah hujan tahunan rata-rata	Raster peta volume retensi dalam satuan meter kubik per tahun		
Tabel biofisik (berisi informasi model, nilai koefisien limpasan, yang sesuai dengan masing-masing kelas penutup dan penggunaan lahan pada peta LULC)	Raster peta rasio perkolasi yang diperoleh dengan mencocokkan peta LULC dan peta hidrologi tanah dengan tabel biofisik		
Nilai radius retensi, yakni radius di sekitar piksel untuk mengatur rasio retensi – optional	Raster peta volume perkolasi (potensial pengisian kembali akuifer/air tanah) dalam satuan meter kubik per tahun		
Data vektor garis tengah jalan –optional	Raster peta rasio runoff atau limpasan air, yakni diturunkan dari raster rasio retensi (invers dari rasio retensi), dimana nilai untuk setiap piksel mencerminkan rasio aliran air hujan di area tersebut		
Nilai biaya penggantian perangkat retensi air hujan – optional	Raster peta volume runoff dalam satuan meter kubik per tahun		

Nama Modul			
Urban Stormwater Retention Model			
Deskripsi Modul			
<p>Model InVEST Urban Storm Water Retention atau model retensi limpasan air hujan dapat memberikan informasi mengenai jasa ekosistem pengelolaan air hujan, yakni retensi limpasan (kemampuan menahan aliran air hujan) serta pengisian ulang air tanah. Pengisian ulang air tanah berhubungan dengan perkolasi air hujan yang berpotensi mengisi ulang air tanah untuk keperluan makhluk hidup. Retensi, pengisian ulang air tanah, serta limpasan permukaan diperkirakan dalam skala waktu tahunan.</p>			
<p>Penjelasan Lebih Lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/stormwater.html</p>			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Prasyarat Teknis
Data vektor atau shapefile wilayah kajian (Area of Interest), seperti batas Daerah Aliran Sungai (DAS) –optional untuk agregasi pada skala DAS	Raster peta nilai retensi, yakni nilai air yang dipertahankan pada setiap piksel		
	Vektor peta agregat untuk semua nilai pada tingkat batas DAS		

23. VISITATION: RECREATION AND TOURISM

Nama Modul			
Visitation: Recreation and Tourism			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/recreation.html			
Deskripsi Modul			
Modul ini mampu memodelkan prediksi sebaran jumlah harian kunjungan rekreasi dan pariwisata, berdasarkan lokasi habitat alami, aksesibilitas, dan faktor-faktor yang mempengaruhi keputusan untuk rekreasi. Modul ini mampu menghasilkan peta pola rekreasi dan prediksi rekreasi di masa depan dalam skenario alternatif			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Persyaratan Teknis
Point Area of Interest (Vector)	Peta sebaran kunjungan rekreasi	Mampu mengestimasi kehadiran pengunjung rekreasi	Pengetahuan dasar mengenai pariwisata
Tahun dimulai (Number)	Peta sebaran kunjungan rekreasi secara jumlah	Mampu menjadi pertimbangan dalam perencanaan rekreasi secara aksesibilitas dan faktor-faktor yang mempengaruhi	Pengetahuan dasar mengenai penutup dan penggunaan lahan
Tahun selesai (Number)	Peta pola sebaran rekreasi prediksi		Pengetahuan dasar mengenai pola distribusi spasial dan perilaku wisatawan
Model Regresi (Yes/No)			Penyimpanan ruang (directory room) pada satu ruang yang sama
Jika (Yes): mencakup 1. Tabel Prediksi (CSV) 2. Tabel Prediksi Skenario (CSV) (optional)			
Grid dari Area of Interest (AOI) (Yes/No)			
Jika (Yes); mencakup 1. Tipe Grid (Kotak) 2. Ukuran Grid (Number)			

24. WAVE ENERGY PRODUCTION

Nama Modul			
Wave Energy Production			
Deskripsi Modul			
Modul ini mampu memberikan pemodelan dalam perencanaan pembangunan fasilitas laut dalam konteks proyeksi energi gelombang dengan meminimalisir potensi biaya dan mengembangkan manfaat dari lokasi fasilitas energi gelombang.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/wave_energy.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Persyaratan Teknis
Basis Data Gelombang (Ruang Penyimpanan)	Peta pemodelan kekuatan energi gelombang	Mampu menjadi dasar dalam perencanaan pembangunan suatu fasilitas di daerah pesisir atau laut dengan mempertimbangkan proyeksi energi gelombang	Pengetahuan dasar mengenai pesisir kelautan
Area Analisis (Pilihan)			Penyimpanan ruang (directory room) pada satu ruang yang sama
Point Area of Interest (Vector) (opsional)			
Data Kedalaman/Batimetri (Raster)			
Tabel performa mesin penangkap energi gelombang (CSV)			
Tabel parameter mesin penangkap energi gelombang (CSV)			
Penilaian Model (Yes/No) (opsional)			
Jika (Yes): mencakup 1. Tabel Koneksi Grid dan Poin (CSV) 2. Tabel Ekonomi mesin penangkap energi gelombang (CSV) 3. Jumlah mesin (number)			

25. OFFSHORE WIND ENERGY PRODUCTION

Nama Modul			
Offshore Wind Energy Production			
Deskripsi Modul			
Modul ini mampu memberikan gambaran pemodelan spasial dari ketersediaan sumber daya energi, potensi generasi energi, dan evaluasi keputusan generasi energi oleh pengguna.			
Penjelasan lebih lanjut: https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/en/wind_energy.html			
Data yang dibutuhkan	Output yang dihasilkan	Manfaat untuk perencanaan	Persyaratan Teknis
Tabel parameter titik data angin (CSV)	Peta pemodelan sumber daya energi berbasis angin	Mampu menjadi dasar dalam melakukan perencanaan pembangunan berdasar sumber daya energi angin	Pengetahuan dasar mengenai pesisir kelautan
Point Area of Interest (Vector)			Penyimpanan ruang (directory room) pada satu ruang yang sama
Data Kedalaman/Batimetri (Raster)			
Batas Garis Pantai (Vector)			
Parameter energi gelombang angin secara global (CSV)			
Parameter kekuatan turbin (CSV)			
Jumlah Turbin (Number)			
Minimum kedalaman instalasi angin pada lepas pantai (m) (number)			
Maksimum kedalaman instalasi angin pada lepas pantai (m) (number)			
Penilaian Model (Yes/No) (opsional)			



MODUL

Nature-based Solution (NbS)





MODUL

Nature-based Solution (NbS)

CAPACITY BUILDING

Kerjasama antara

WWF Indonesia

dengan

Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

