

***SPATIAL CLASSIFICATION PADA LAHAN GAMBUT DI INDONESIA
UNTUK PENGELOMPOKKAN JENIS TANAH MENGGUNAKAN
ALGORITMA RANDOM FOREST***

PROPOSAL SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian dari
Syarat Lulus Mata Kuliah Seminar



Oleh
ADE PRIANTO
NIM 1700502

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKAN DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

Oleh
Ade Prianto
NIM 1700502

***SPATIAL CLASSIFICATION PADA LAHAN GAMBUT DI INDONESIA
UNTUK PENGELOMPOKKAN JENIS TANAH MENGGUNAKAN
ALGORITMA RANDOM FOREST***

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH:

Koordinator Paket *Big Data*



Erna Piantari, S.Kom., M.T.

NIP. 920171219890224201

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah swt. yang telah memberikan rahmat, taufik, hidayah, serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal ini dengan baik. Shalawat serta salam tetap tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. yang telah menjadi suri tauladan bagi umatnya hingga akhir zaman.

Dalam menyusun proposal dengan judul “Spatial Clustering Pada Lahan Gambut Untuk Pengelompokkan Jenis Tanah” ini, berusaha sebaik mungkin untuk mendapatkan sumber-sumber dan informasi yang terpercaya, baik dalam bentuk buku, jurnal, artikel, maupun laman web. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemilik sumber maupun informasi yang digunakan pada proposal ini.

Proposal ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik pembaca terhadap proposal ini. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan pada laporan ini. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandung, 25 Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	6
2.1. Lahan Gambut	6
2.1.1. Pembentukan Gambut	7
2.1.2. Karakteristik Gambut	9
2.1.3. Karakteristik Gambut	10
2.2. <i>Remote Sensing</i>	11
2.2.1. Proses <i>Remote Sensing</i>	11
2.2.2. Energi Elektromagnetik	13
2.2.3. Energi Elektromagnetik	14
2.2.4. Metode <i>Remote Sensing</i>	15
2.3. Satelit Landsat-8.....	16
2.3.1. Sensor Satelit Landsat-8.....	17

2.4. Satelit Sentinel-1	18
2.5. Algoritma <i>Random Forest</i>	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1. Desain Penelitian	20
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	22
3.3. Metode Penelitian	23
BAB 4 JADWAL PENELITIAN.....	25
4.1. Jadwal Penelitian	25
DAFTAR PUSTAKA	26

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kanal spektral Landsat-8 (Sitanggang & Bangfatja, 2013)	17
Tabel 4.1 Rencana Jadwal Penelitian.....	25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses tahapan pembentukan tanah gambut (Subiksa, 1997)	8
Gambar 2.2 Penggunaan lahan gambut di Indonesia dari tahun 2000 sampai 2010 (Agus et al., 2014)	11
Gambar 2.3 Tahapan proses <i>remote sensing</i> (Cieslar et al., 2020)	12
Gambar 2.4 Vektor elektrik (E) dan magnetik (M) dari sebuah gelombang elektromagnetik (Hecker et al., 2004)	13
Gambar 2.5 Hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi (Hecker et al., 2004)	14
Gambar 2.6 Spektrum elektromagnetik (Hecker et al., 2004)	15
Gambar 2.7 <i>Remote sensing</i> pasif dan aktif (Cieslar et al., 2020)	16
Gambar 3.1 Desain Penelitian	20
Gambar 3.2 Model <i>Waterfall</i> (Sommerville, 2011)	23

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gambut memiliki peranan penting dalam berbagai aspek kehidupan, mulai dari menjaga perubahan iklim, mengurangi dampak bencana banjir dan kemarau, menunjang perekonomian masyarakat lokal, dan sebagai habitat untuk perlindungan keanegaramaan hayati dan fauna. Total luas lahan gambut mencakup 3% dari luas lahan yang ada didunia. Luas lahan gambut di Indonesia sendiri diperkirakan 206,950 km² atau sekitar 11.4 persen dari total luas daratan Indonesia (Yustiawati et al., 2015). Lahan gambut ini Sebagian besar tersebar di 3 pulau besar Indonesia, yaitu pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua (Anwar & Susanti, 2017).

Lahan gambut di Indonesia sendiri telah lama dimanfaatkan petani untuk menghasilkan bahan pangan dan komoditas perkebunan. Maraknya alih fungsi lahan pertanian subur di pulau Jawa yang selama ini memasok 60% kebutuhan pangan Indonesia, semakin menyadarkan betapa pentingnya lahan gambut bagi pembangunan pertanian, bahkan tidak berlebihan jika lahan gambut dikatakan sebagai lumbung pangan masa depan Indonesia. (Anwar & Susanti, 2017).

Akan tetapi, pemanfaatan lahan gambut di Indonesia sendiri masih terbilang belum bisa dimanfaatkan secara optimal, dikarenakan karakteristik pada lahan gambut itu sendiri dicirikan dengan kandungan bahan organik yang tinggi, pH yang rendah, Nilai KTK (Kapasitas Tukar Kation) yang tinggi dan nilai KB (Kejenuhan Basa) yang rendah, hal ini berakibat memberikan kondisi unsur hara yang rendah yang membuat tanaman susah untuk tumbuh dan berkembang (Daryono, 2009).

Selain itu, pengelolaan lahan gambut untuk pemanfaatannya saat ini dilakukan dengan cara yang salah seperti membuka lahan dengan membakar lahan gambut karena metode tersebut merupakan metode yang paling efektif dan murah (Lombok & Barat, 2014), pengelolaan *drainase* atau kanal air yang salah yang mengakibatkan tanah gambut di bagian atas menjadi kering dan mudah terbakar (Sulaeman & Ayunda,

2020). Faktor-faktor tersebut lah yang membuat lahan gambut di Indonesia terus mengalami degradasi setiap tahunnya.

Padahal gambut pada hakekatnya adalah hasil akumulasi bahan sisa-sisa vegetasi selama ribuan tahun yang lalu yang terdiri dari $\pm 50\%$ unsur karbon (C) dan lahan gambut di Indonesia sendiri merupakan cadangan terestial yang cukup diperhitungkan dalam hal simpanan karbon guna pengendalian iklim global. Jika lahan gambut mengalami gangguan (oksidasi langsung / kebakaran) oleh pemanfaatan tak terkendali oleh manusia, lahan gambut dapat menjadi sumber naiknya emisi gas rumah kaca seperti NO_x , CH_4 , C_2H_6 dan CO yang menyebabkan pemanasan global (Ign & A.Ng, 2013).

Oleh karena itu, dalam rangka upaya konservasi dan restorasi lahan gambut yang ada di Indonesia, dibutuhkan pemetaan lahan gambut agar dapat digunakan sebagai acuan bersama dalam menentukan sebuah kebijakan konservasi dan restorasi lahan gambut itu sendiri (Jumadil Akhir, 2017).

Akan tetapi dalam mengidentifikasi persebaran dan pemetaan lahan gambut ini pada praktiknya masih sukar untuk dilakukan dengan metode yang saat ini digunakan, yaitu dengan menggunakan metode *teristris* atau *ground base method*, metode ini dilakukan dengan cara melakukan pengamatan sifat-sifat tanah pada setiap jarak yang sama dalam suatu jalur/transek tertentu. Pemetaan lahan gambut dengan sistem *teristris* ini cukup memakan waktu yang lama, sulit, mahal dan aksesibilitas ke sebagian wilayah lahan gambut pun terbatas, terutama wilayah yang berada di pedalaman Papua dan Kalimantan (Wahyunto et al., 2014).

Terkait dengan hal diatas, implementasi teknologi dalam pengolahan, penyimpanan dan penyebaran informasi khususnya dalam pemetaan lahan gambut sangat penting untuk dipertimbangkan. Hal ini mengingat pesatnya perkembangan teknologi informasi pada saat ini yang telah dimanfaatkan diberbagai bidang dan aktivitas kehidupan antara lain; bidang perkebunan, pertanian dan pemerintahan. Untuk

itulah, penggunaan metode *remote sensing* akan sangat membantu dalam memetakan lokasi dan luas lahan gambut yang ada di Indonesia.

Dengan menggunakan *remote sensing*, maka kita bisa mengamati sebuah objek, kejadian, atau fenomena yang ada dari jarak jauh tanpa adanya kontak fisik langsung dengan objek, kejadian, atau fenomena yang kita teliti (Tempfli et al., 2013). Data *remote sensing* yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan data dari citra satelit. Citra satelit ini nantinya akan dilakukan analisis dan pemrosesan, yang nantinya akan dilanjutkan dengan menerapkan klasifikasi menggunakan algoritma *Random Forest*, karena menurut penelitian yang dilakukan oleh (Stephens & Diesing, 2014) algoritma *Random Forest* memiliki performa lebih baik dibandingkan dengan metode klasifikasi-klasifikasi lainnya seperti *Support Vector Machine*, *K-Nearest Neighbor* (k-NN), *Classification Tree* (CT), dan *Artificial Neural Network* (ANN).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi fokus pada pembahasan dalam proposal ini adalah:

1. Bagaimana analisis klasifikasi lahan gambut yang ada di Indonesia dari data satelit radar menggunakan algoritma *Random Forest*?
2. Bagaimana performa algoritma *Random Forest* dalam mengklasifikasikan lahan gambut yang ada di Indonesia menggunakan data satelit radar?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah dituliskan sebelumnya, terdapat beberapa tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis klasifikasi lahan gambut yang ada di Indonesia menggunakan algoritma *Random Forest*.
2. Merancang model komputasi untuk mengklasifikasikan lahan gambut dengan menggunakan data satelit.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dalam penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan model komputasi untuk mengklasifikasikan lahan gambut dengan menggunakan data satelit.
2. Mengefektifkan dan mengefisienkan waktu dan sumber daya yang dibutuhkan untuk mengklasifikasikan lahan gambut.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah sangat diperlukan agar pembahasan tidak terlalu luas. Karena studi kasus yang diteliti begitu luas maka penelitian ini menggunakan batasan sebagai berikut:

1. Data yang diteliti adalah data citra satelit Sentinel-1 dan Landsat-8.
2. Penelitian ini hanya melibatkan 5 pulau besar di Indonesia, yaitu Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua.
3. Penelitian ini hanya untuk mengklasifikasikan dan memetakan lahan gambut yang ada di Indonesia.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disesuaikan dengan sistematika penulisan yang telah ditetapkan agar dapat dengan mudah dipahami secara keseluruhan. Sistematika penulisan skripsi ini tersusun sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat tentang latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang diangkat, tujuan diadakannya penelitian, batasan masalah yang diangkat, manfaat diadakannya penelitian beserta sistematika penulisan penelitian yang diadakan.

2. BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab ini memuat tentang dasar teori yang digunakan sebagai landasan selama melaksanakan penelitian. Dasar teori yang terdapat pada bab ini

ialah mengenai Lahan Gambut, *Remote Sensing*, Landsat-8 NASA, Sentinel-1, *Random Forest*.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini memuat tentang penjelasan tahapan-tahapan dalam rancangan penelitian beserta analisis kebutuhan selama pelaksanaan penelitian.

4. BAB IV JADWAL PENELITIAN

Bab ini memuat rencana jadwal penelitian yang akan dilakukan nantinya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Lahan Gambut

Lahan gambut merupakan lahan dengan tanah yang terbentuk dari sisa-sisa (residu) tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum dan telah tertimbun dalam waktu yang sangat lama. Timbunan ini terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan/atau kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai. Pembentukan tanah gambut merupakan proses geogenik, yaitu pembentukan tanah yang disebabkan oleh proses deposisi dan transportasi, berbeda dengan proses pembentukan tanah mineral yang umumnya merupakan proses pedogenik (Dariah et al., 2013; Sukarman, 2015).

Dari aspek sifat fisik, tanah gambut mempunyai berat isi dan daya dukung beban (bearing capacity) yang sangat rendah. Namun tanah gambut alami mengandung air yang sangat tinggi sampai ke puncak kubahnya. Keadaan jenuh (anaerobik) tersebut menyebabkan proses dekomposisi bahan organik tanah gambut berjalan sangat lambat, sedangkan penumpukan bahan organik di permukaan berjalan lebih cepat. Hal ini menyebabkan tanah gambut alami yang tidak dipengaruhi drainase semakin lama semakin tebal.

Semakin dalam tanah gambut dan semakin jauh lahan gambut dari sungai, maka semakin sedikit pula pengaruh tanah mineral pada lahan tersebut dan juga semakin tinggi pula kandungan organiknya. Kandungan bahan organik di lapisan permukaan suatu kubah gambut bisa mendekati 100% dan dengan demikian kandungan karbon (C) organiknya bisa mencapai 60% dari berat keringnya. Untuk dapat digolongkan sebagai tanah gambut, kandungan C organiknya minimal 12% dan ketebalan gambutnya minimal 50 cm (Agus et al., 2014).

Setiap satu meter ketebalan tanah gambut dapat menyimpan antara 400-700 ton Corg /ha. Selain mengandung C yang sangat tinggi, tanah gambut, terutama yang sangat dalam, mengandung unsur hara makro P, K, Ca, Mg, dan unsur hara mikro Cu,

Zn, Mn, dan Fe yang sangat rendah sehingga tingkat kesuburannya pun rendah. Tinggi rendahnya kesuburan tanah gambut diindikasikan oleh tinggi dan rendahnya kadar abu (kadar bahan non organik). Semakin tinggi kadar abu, maka semakin baik kesuburan tanah gambut tersebut (Agus et al., 2014).

2.1.1. Pembentukan Gambut

Proses pembentukan gambut terdiri dari 2 proses utama yaitu proses transformasi dan translokasi. Proses transformasi yaitu proses pembentukan biomassa dengan dukungan nutrisi terlarut, air, udara, dan radiasi matahari. Proses translokasi yaitu pemindahan bahan oleh gerakan air dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah dan gerakan angin (udara) yang disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan. Akibat proses pembentukan biomassa dari sisa tumbuhan setempat lebih cepat dibandingkan dengan proses penguraiannya, maka terbentuklah lapisan bahan organik yang semakin tebal yang disebut dengan tanah gambut (Agus et al., 2014).

Pembentukan gambut ditentukan oleh faktor lingkungan yang utamanya meliputi 1) sumber dan neraca air, 2) kandungan mineral yang ada dalam air, 3) iklim (curah hujan, suhu kelembaban), 4) tutupan vegetasi, dan 5) pengelolaan setelah drainase. Gambut terbentuk secara bertahap dengan memakan waktu yang sangat lama. Menurut (Agus et al., 2014) ada lima tahap dalam pembentukan gambut, yaitu sebagai berikut:

Tahap 1. Pengisian rawa (cekungan) oleh sedimen dari luar yang terbawa oleh aliran air (banjir). Laju pembentukan gambut pada tahap ini sangat lambat. Melalui aliran air ditambahkan bahan-bahan sedimen dari luar.

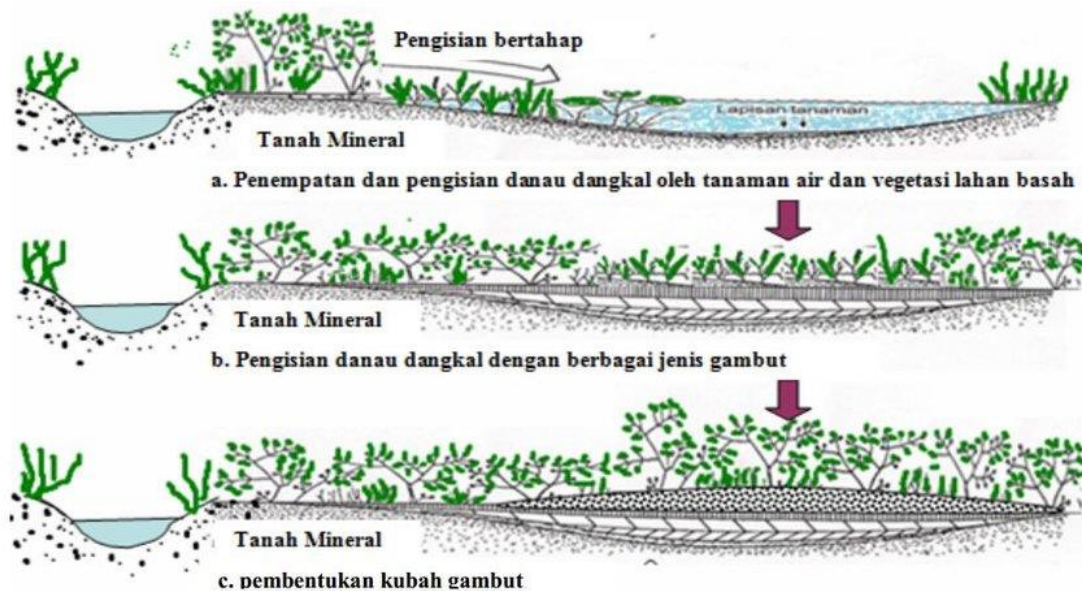
Tahap 2. Pengisian rawa dimulai pada saluran-saluran utama yang semula terbentuk kemudian tertutup. Pada tahap ini terjadi perubahan muka air tanah menjadi lebih dalam, sehingga sebagian massa gambut menjadi kering atau lembab.

Tahap 3. Pertumbuhan lanjut gambut lebih cepat secara horisontal dan vertikal. Pasokan air menjadi tergantung pada hujan yang jatuh langsung pada permukaan atau rembesan dari sekitarnya.

Tahap 4. Pertumbuhan lanjut gambut lebih cepat mulai menebal yang terdiri atas sisa tumbuhan, berupa sisa ranting, batang dan akar tumbuhan hutan alami. Kondisi gambut tidak lagi dipengaruhi oleh perpindahan air, tetapi muka air tanah menaik apabila terjadi hujan lebih banyak.

Tahap 5. Permukaan gambut naik, muka air tanah tidak lagi dipengaruhi oleh musim. Permukaan gambut dapat naik turun dipengaruhi oleh air tanah. Terbentuk kubah gambut (peat dome).

Pada tahap ketiga, akar tumbuhan yang hidup di atas timbunan gambut (tipis) masih dapat mengambil hara mineral dari lapisan di bawahnya (*substratum*) yang sebagian besar unsur haranya berasal dari air sungai, sehingga gambut yang terbentuk termasuk subur (*topogenous*). Namun, pada tahap keempat dan kelima, dengan semakin tebalnya lapisan gambut yang terbentuk, maka tumbuhan yang hidup di atas timbunan gambut (tebal) sudah tidak dapat lagi menyerap unsur hara dari lapisan di bawahnya, sehingga unsur hara dalam gambut ini sebagian besar berasal dari air hujan atau hasil perombakan bahan organik setempat sehingga gambut yang terbentuk tergolong tidak subur (*ombrogenous*).



Gambar 2.1 Proses tahapan pembentukan tanah gambut (Subiksa, 1997)

2.1.2. Karakteristik Gambut

Tanah gambut memiliki karakteristik yang khas dan spesifik, terutama terkait dengan kandungan bahan penyusun, ketebalan, kematangan, dan lingkungan sekitarnya yang berbeda. Ciri khas tanah gambut yang membedakan dengan tanah mineral pada umumnya, yaitu: (1) mudah mengalami kering tak balik (*irreversible drying*), (2) mudah ambles (*subsidence*), (3) rendahnya daya dukung (*bearing capacity*) lahan terhadap tekanan, (4) rendahnya kandungan hara kimia dan kesuburannya (*nutrient*), dan (5) terbatasnya jumlah mikroorganisme (Agus et al., 2014).

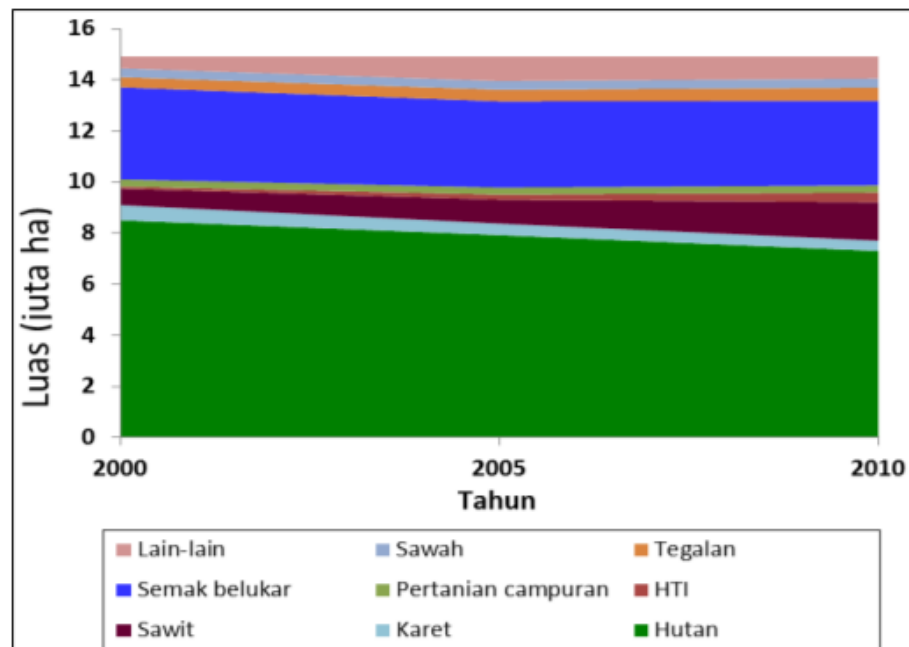
Gambut yang mengalami kering tak balik atau gambut yang telah mengalami kekeringan, mengakibatkan gambut tersebut tidak lagi mempunyai kemampuan dalam menyerap air seperti semula dan sifat gambut yang awal mulanya dapat menampung atau menyimpan air (*hidrofilik*) menjadi gambut yang tidak dapat menampung atau menyimpan air (*hidrofobik*). Misalnya, gambut yang terbakar hanya dapat menyerap air sekitar 50% dari semula sebelum terbakar karena sebagian berubah menjadi hidrofobik. Sifat hidrofobik pada gambut muncul akibat (1) kandungan asam humat berupa selaput lilin, dan (2) adanya gugus non-polar seperti etil, metil dan senyawa aromatik (Agus et al., 2014).

Ambles (*subsidence*) dapat diartikan sebagai penurunan permukaan tanah gambut akibat perubahan kematangan atau kemampuan gambut dalam menyerap air akibat pembukaan lahan, penggunaan gambut yang intensif, kebakaran, atau musim kemarau yang berkepanjangan. Namun akhir-akhir ini amblesan gambut dihubungkan dengan besaran emisi karbon sehingga taksiran emisi menjadi berlebihan. Semakin tebal gambut semakin tinggi resiko amblesan, tergantung pada pengaturan muka air. Gambut sangat dalam (tebal 5,5-6,0 m) mengalami amblesan antara 8-15 cm/tahun dan gambut dalam (tebal 2-3 m) mengalami amblesan 0,05-1,50 cm/tahun (Agus et al., 2014).

2.1.3. Karakteristik Gambut

Saat ini lahan gambut tidak hanya dimanfaatkan sebagai media tanaman tumbuh, tetapi dimanfaatkan juga sebagai tempat tinggal dan sumber mata pencaharian para petani. Sebagai media tumbuh tanaman, lahan gambut ini telah digunakan oleh para petani sejak ratusan tahun yang lalu untuk mendukung kehidupan mereka. Lahan gambut mempunyai berbagai kendala untuk dimanfaatkan sebagai media tumbuh, sehingga diperlukan strategi dalam pemanfaatan lahan gambut. Salah satu strategi yang diperlukan adalah pemilihan komoditas. Tidak semua komoditas dapat berkembang baik di lahan gambut dangkal. Secara umum komoditas yang berkembang di lahan gambut dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yakni (1) tanaman pangan/palawija, (2) tanaman hortikultura, dan (3) tanaman tahunan (Anwar & Susanti, 2017).

Pemilihan komoditas berkaitan erat dengan tipologi luapan, musim, nilai ekonomis komoditas, dan ketersediaan teknologi. Penataan lahan pada daerah produksi membuka peluang untuk membudidayakan komoditas-komoditas seperti padi, jagung, kedelai, jeruk, sayuran, kelapa, karet dan kelapa sawit. Komoditas hortikultura (sayuran dan buah-buahan) memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi daripada tanaman pangan, tetapi memerlukan teknik budidaya yang lebih intensif (Anwar & Susanti, 2017).



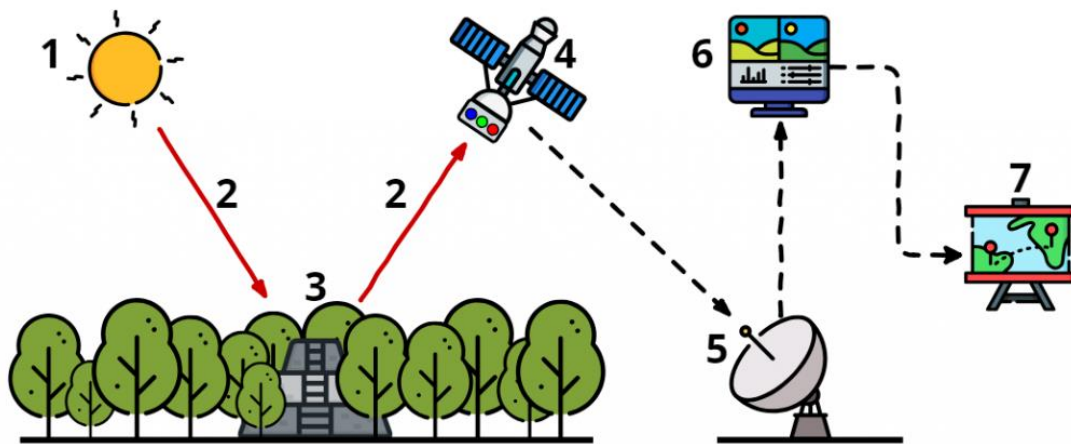
Gambar 2.2 Penggunaan lahan gambut di Indonesia dari tahun 2000 sampai 2010
(Agus et al., 2014)

2.2. *Remote Sensing*

Remote sensing merupakan proses mengumpulkan informasi mengenai suatu objek, area, atau kejadian tanpa adanya kontak fisik secara langsung dengan objek, area, atau kejadian yang sedang diteliti atau dipelajari (Al Ajmi & Saif ud din, 2009; Madry, 1982). Proses yang dilakukan dalam *remote sensing* yaitu dengan cara mencatat dan menyimpan gelombang yang dipantulkan dari objek, area, atau kejadian yang diteliti dari jarak jauh.

2.2.1. *Proses Remote Sensing*

Pada proses *remote sensing* itu sendiri, terjadi beberapa tahapan proses. Gelombang elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari objek yang diamati akan diukur dan kemudian disimpan yang nantinya data tersebut akan diproses lebih lanjut untuk dianalisis.



Gambar 2.3 Tahapan proses *remote sensing* (Cieslar et al., 2020)

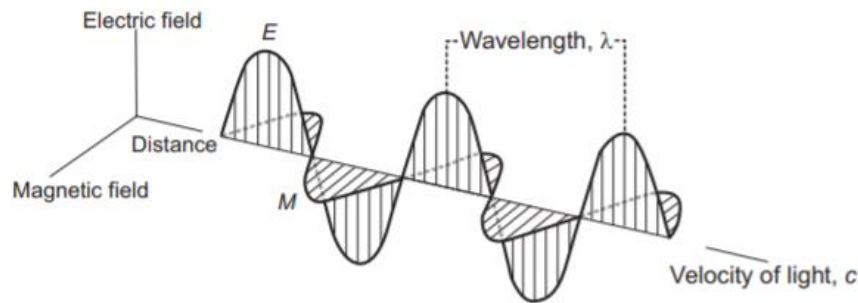
Pada Gambar 2.3 tahapan proses *remote sensing* dalam mengolah informasi mengenai objek yang sedang diamatinya, menurut (Cieslar et al., 2020) ada tujuh tahapan dalam pemrosesan *remote sensing*, yaitu:

1. (matahari) merupakan sumber pemancar energi elektromagnetik. Sumber energi elektromagnetik merupakan komponen penting dalam penginderaan jauh yang berfungsi menyinarakan dan menyediakan energi elektromagnetik pada permukaan bumi.
2. merupakan radiasi dan atmosfer. Pada interaksi ini, energi bergerak dari sumber ke permukaan bumi dan berinteraksi dengan atmosfer ketika melewatinya. Proses ini terjadi dua kali ketika energi bergerak dari sumber ke permukaan bumi dan dari permukaan bumi ke sensor.
3. merupakan interaksi energi dengan permukaan bumi. Interaksi ini tergantung pada properti dari permukaan bumi dan radiasi.
4. merupakan pencatatan energi dari sensor. Setelah energi terpancarkan dari permukaan bumi, dibutuhkan sensor untuk mengumpulkan dan mencatat radiasi elektromagnetiknya.
5. merupakan transmisi, resepsi, dan proses, yaitu ketika energi yang tercatat oleh sensor ditransmisikan ke pusat untuk diproses menjadi sebuah gambar.

6. merupakan interpretasi dan analisis. Pada interaksi ini, gambar yang sudah diproses diinterpretasikan untuk menggali informasi tentang permukaan bumi.
7. merupakan elemen akhir dari proses penginderaan jauh yaitu aplikasi. Informasi yang sudah didapatkan akan diaplikasikan untuk membantu dalam menyelesaikan suatu masalah.

2.2.2. Energi Elektromagnetik

Energi elektromagnetik dapat dimodelkan dalam dua bentuk, dari gelombangnya atau dari partikel energi bantalannya atau biasa disebut dengan *photon*. Jika dilihat dalam bentuk gelombangnya, energi elektromagnetik dapat dianggap merambat melalui ruang dalam bentuk gelombang sinus. Gelombang ini dicirikan dengan medan listrik (E) dan medan magnet (M), dimana kedua medan ini saling tegak lurus satu sama lain. Getaran dari kedua medan ini tegak lurus dengan arah rambat gelombang. Kedua medan ini merambat melalui ruang dalam kecepatan cahaya atau sekitar 299,790,000 m/s dan 3.10^8 m/s jika dibulatkan.



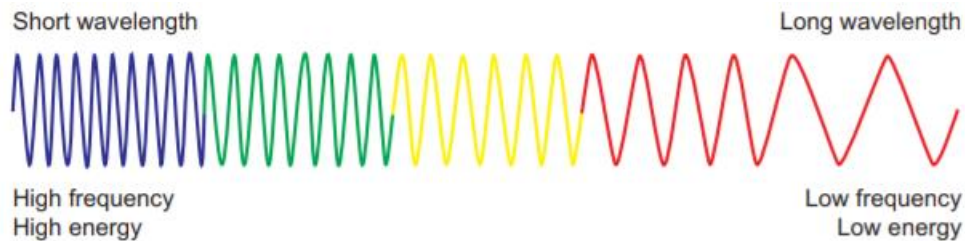
Gambar 2.4 Vektor elektrik (E) dan magnetik (M) dari sebuah gelombang elektromagnetik (Hecker et al., 2004)

Terdapat satu karakteristik dari sebuah gelombang elektromagnetik yang sangat penting untuk dipahami terutama dalam *remote sensing*. Yaitu panjang gelombang (λ), panjang gelombang merupakan jarak antar bukit dari gelombang, panjang gelombang biasanya diukur dalam bentuk meter (m), nanometer (nm), atau mikrometer (μm).

Frekuensi merupakan jumlah siklus gelombang yang dikirimkan dalam nilai yang tetap dalam suatu periode waktu tertentu. Frekuensi pada umumnya diukur dalam bentuk hertz (Hz), dimana setara dengan satu siklus per detik. Karena kecepatan cahaya konstan, panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik satu sama lain. Hubungan antara panjang gelombang dengan frekuensi dijabarkan pada rumus berikut (Hecker et al., 2004).

$$c = \lambda \cdot \nu$$

Dapat disimpulkan kedua karakteristik ini saling berhubungan. Semakin pendek panjang gelombang, semakin tinggi frekuensi, begitu pun sebaliknya.



Gambar 2.5 Hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi (Hecker et al., 2004)

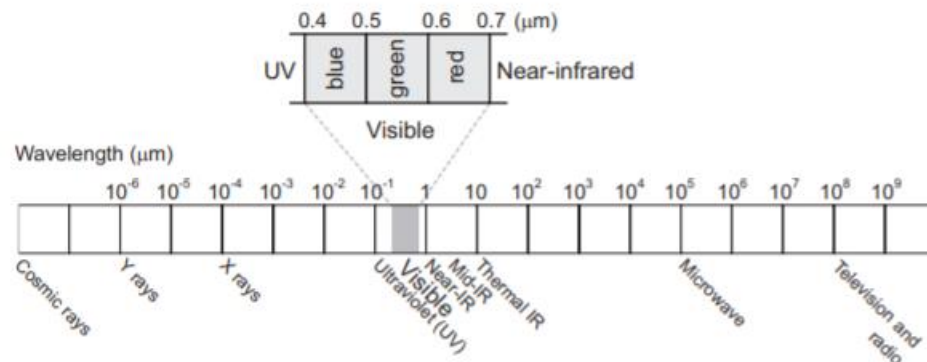
2.2.3. Energi Elektromagnetik

Semua zat yang memiliki suhu temperatur diatas nol mutlak (-273°C) dapat memancarkan gelombang elektromagnetik dalam panjang gelombang yang bervariasi. Total panjang gelombang pada umumnya merujuk pada spektrum elektromagnetik, dimana panjang gelombang ini bisa dalam bentuk *gamma rays* sampai gelombang radio (Hecker et al., 2004).

Remote sensing bekerja pada beberapa wilayah spektrum elektromagnetik. Bagian optikal dari spektrum elektromagnetik berarti merujuk pada spektrum elektromagnetik dimana fenomena optikal dari sebuah pantulan atau pembiasan dapat digunakan untuk memfokuskan radiasi. Rentang optikal ini beragam dari mulai *X-rays* ($0.02 \mu\text{m}$) sampai dengan bagian spektrum elektromagnetik yang dapat terlihat termasuk *far-infrared* ($1000 \mu\text{m}$). Sinar ultraviolet (UV) merupakan bagian dari

spektrum elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang terpendek yang dapat digunakan dalam *remote sensing*. Sebagian dari material permukaan bumi, khususnya bebatuan dan mineral, dapat memancarkan cahaya ketika diberi sinar ultraviolet. Sedangkan rentang *microwave* dimulai dari 1mm sampai 1 m (Hecker et al., 2004).

Wilayah yang dapat terlihat dari spektrum biasanya disebut sebaga ‘cahaya’. Gelombang ini menempati sebagian kecil dari spektrum elektromagnetik. Perlu digaris bawahi bahwa gelombang inilah yang hanya bisa kita gunakan dalam konsep warna, karena warna biru, hijau, dan merah merupakan bagian dari spektrum yang terlihat ini (Hecker et al., 2004).



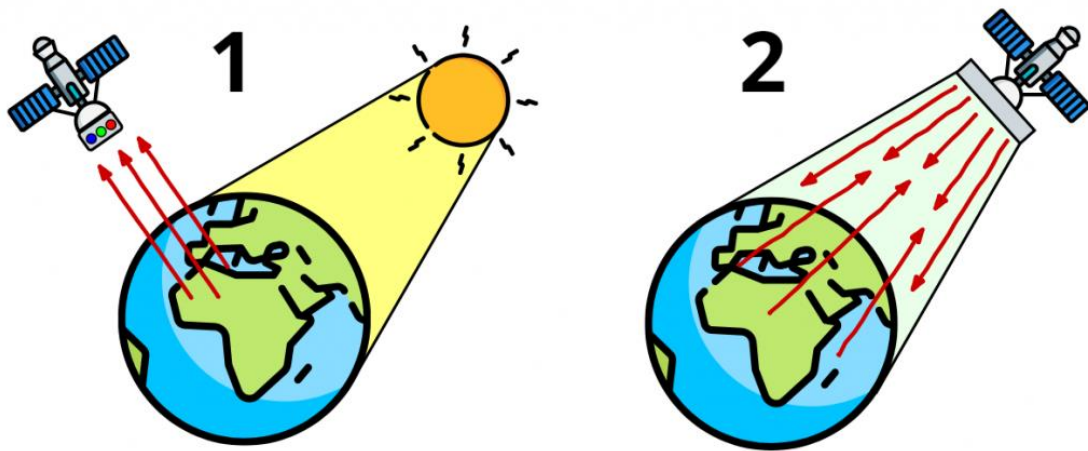
Gambar 2.6 Spektrum elektromagnetik (Hecker et al., 2004)

Gelombang yang cukup panjang yang biasanya digunakan dalam *remote sensing* merupakan bagian dari *thermal infrared* dan *microwave* dari spektrum elektromagnetik. *Thermal infrared* dapat memberikan informasi mengenai suhu permukaan suatu benda seperti, komposisi mineral atau bebatuan atau vegetasi. Sedangkan *microwave* dapat memberikan informasi mengenai kondisi permukaan suatu benda, seperti konten air (Hecker et al., 2004).

2.2.4. Metode Remote Sensing

Remote sensing terdiri dari dua jenis instrumen yang berbeda, yaitu instrumen pasif dan instrumen aktif. Instrumen pasif mendeteksi energi alami yang dipantulkan

atau dipancarkan dari objek yang diamati. Instrumen ini hanya merasakan radiasi yang dipancarkan oleh objek dari sumber selain instrumen tersebut, contohnya adalah sinar matahari. Sinar matahari merupakan sumber eksternal atau radiasi yang paling umum dirasakan oleh instrumen pasif. Instrumen aktif menghasilkan energi mereka sendiri (berupa radiasi elektromagnetik) yang kemudian objek atau tempat yang diamati. Instrumen ini mengirimkan energi dari sensor ke objek, kemudian ia menerima radiasi yang dipantulkan dari objek tersebut (Graham, 1999).



Gambar 2.7 *Remote sensing* pasif dan aktif (Cieslar et al., 2020)

2.3. Satelit Landsat-8

Satelit *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) atau biasa disebut sebagai Landsat-8 merupakan salah satu proyek yang dikembangkan oleh NASA yang bekerja sama dengan United States Geological Survey (USGS). Satelit LDCM (Landsat-8) dirancang membawa sensor pencitra OLI (Operational Land Imager) yang mempunyai 1 kanal inframerah dekat dan 7 kanal tampak reflektif, akan meliputi panjang gelombang yang direfleksikan oleh objek-objek pada permukaan Bumi, dengan resolusi spasial yang sama dengan Landsat pendahulunya yaitu 30 meter. Sensor pencitra OLI mempunyai kanal-kanal spektral yang menyerupai sensor ETM+ (Enhanced Thermal Mapper plus) dari Landsat-7, akan tetapi sensor pencitra OLI ini mempunyai kanal-kanal yang baru yaitu : kanal-1: 443 nm untuk aerosol garis pantai dan kanal 9 : 1375 nm untuk deteksi cirrus, namun tidak mempunyai kanal inframerah

termal. Untuk menghasilkan kontinuitas kanal inframerah termal, pada tahun 2008, program LDCM (Landsat-8) mengalami pengembangan, yaitu Sensor pencitra TIRS (Thermal Infrared Sensor) ditetapkan sebagai pilihan (optional) pada misi LDCM (Landsat-8) yang dapat menghasilkan kontinuitas data untuk kanal-kanal inframerah termal yang tidak dicitrakan oleh OLI (Sitanggang & Bangfatja, 2013).

2.3.1. Sensor Satelit Landsat-8

Dalam bulan Juli 2007, NASA telah menyerahkan kontrak kepada BATC (Ball Aerospace Technology Corporation), Boulder, CO. untuk mengembangkan instrument kunci OLI (Operational Land Imager) pada LDCM (Landsat-8). BATC melakukan kontrak untuk perancangan, pengembangan, pembuatan dan integrasi dari sensor pencitra OLI. Perusahaan tersebut juga diperlukan untuk pengujian, pengiriman dan memberikan dukungan pengiriman lanjut dan 5 tahun dukungan di orbit untuk instrumen tersebut. Sensor pencitra OLI mempunyai kanal-kanal spektral yang menyerupai sensor ETM+ (Enhanced Thermal Mapper plus) dari Landsat-7. Sensor OLI ini mempunyai kanal-kanal yang baru yaitu : kanal untuk deteksi aerosol garis pantai (kanal-1: 443 nm) dan kanal untuk deteksi cirrus (kanal 9: 1375 nm), akan tetapi tidak mempunyai kanal inframerah termal. Penjelasan mengenai setiap kanal spektral Landsat-8 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kanal spektral Landsat-8 (Sitanggang & Bangfatja, 2013)

No	Band	Resolusi Spasial (meter)	Saluran/Gelombang	Panjang Gelombang (μm)
1	<i>Band 1</i>	30	<i>Coastal/Aerosol</i>	0,435 – 0,451
2	<i>Band 2</i>	30	Biru	0,452 – 0,512
3	<i>Band 3</i>	30	Hijau	0,533 – 0,590
4	<i>Band 4</i>	30	Merah	0,636 – 0,673
5	<i>Band 5</i>	30	Inframerah Dekat/ <i>Near Infrared</i> (NIR)	0,851 – 0,879

No	Band	Resolusi Spasial (meter)	Saluran/Gelombang	Panjang Gelombang (μm)
6	<i>Band 6</i>	30	Inframerah Gelombang Pendek 1/ <i>Shortwave Infrared 1 (SWIR-1)</i>	1,566 – 1,651
7	<i>Band 7</i>	30	Inframerah Gelombang Pendek 2/ <i>Shortwave Infrared 2 (SWIR-2)</i>	2,107 – 2,294
8	<i>Band 8</i>	15	<i>Pan</i>	0,503 – 0,676
9	<i>Band 9</i>	30	<i>Cirrus</i>	1,363 – 1,384
10	<i>Band 10</i>	100	<i>Thermal Infrared 1 (TIR-1)</i>	10,60 – 11,19
11	<i>Band 11</i>	100	<i>Thermal Infrared 2 (TIR-2)</i>	11,50 – 12,51

2.4. Satelit Sentinel-1

Satelit Sentinel-1 merupakan satelit *synthetic Aperture Radar* dengan menggunakan panjang gelombang *C-band*. Sentinel-1 ini juga merupakan proyek kerja sama antara EU/ESA dengan *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)*. Tujuan dari pembuatan satelit Sentinel-1 ini yaitu untuk menyediakan data observasi bumi secara berkala demi kebutuhan implementasi operasional GMES. Sebagai bagian dari GMES *Space Component*, Sentinel-1 menjalankan misinya dengan dua unit satelit yaitu, Sentinel-1 A dan Sentinel-1 B (Ramón Torres , Paul Snoeij , Malcolm Davidson & Lokas, 2013).

Kedua satelit dari Sentinel-1 ini memberikan data gambar bumi dengan rentang waktu 6 hari dengan berbagai macam mode dengan berbagai macam resolusi, yaitu mode *wide swath* (250 km), *medium geometric resolution* (5 m x 20 m) dan *high*

radiometric resolution (Ramón Torres , Paul Snoeij , Malcolm Davidson & Lokas, 2013).

2.5. Algoritma *Random Forest*

Dalam machine learning sering kita mendengar tentang metode Random Forest yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan. Metode Random Forest merupakan salah satu metode dalam Decision Tree. Decision Tree atau pohon pengambil keputusan adalah sebuah diagram alir yang berbentuk seperti pohon yang memiliki sebuah root node yang digunakan untuk mengumpulkan data, Sebuah inner node yang berada pada root node yang berisi tentang pertanyaan tentang data dan sebuah leaf node yang digunakan untuk memecahkan masalah serta membuat keputusan. Decision tree mengklasifikasikan suatu sampel data yang belum diketahui kelasnya kedalam kelas – kelas yang ada. Penggunaan decision tree agar dapat menghindari overfitting pada sebuah set data saat mencapai akurasi yang maksimum (Yanuar, 2018).

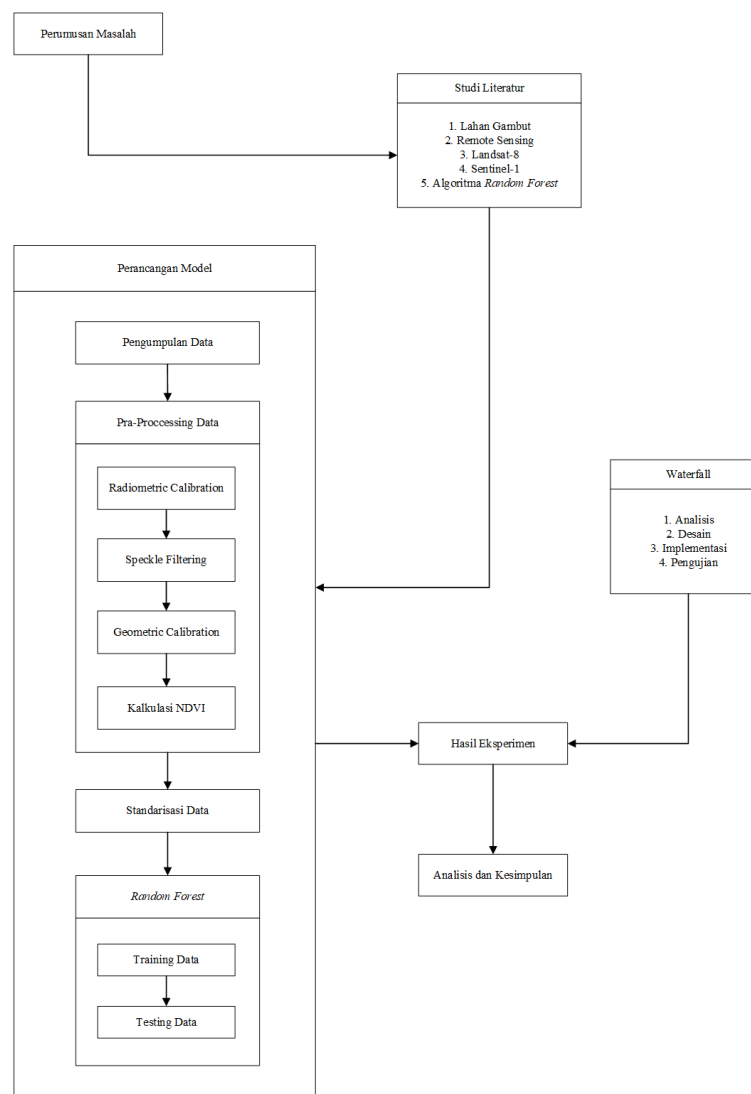
Random forest adalah kombinasi dari masing – masing tree yang baik kemudian dikombinasikan ke dalam satu model. Random Forest bergantung pada sebuah nilai vector random dengan distribusi yang sama pada semua pohon yang masing masing decision tree memiliki kedalaman yang maksimal. Random forest adalah classifier yang terdiri dari classifier yang berbentuk pohon $\{h(x, \theta_k), k = 1, \dots\}$ dimana θ_k adalah random vector yang didistribusikan secara independen dan masing masing tree pada sebuah unit kan memilih class yang paling populer pada input x . (Yanuar, 2018).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Desain penelitian adalah kerangka kerja yang digunakan untuk melakukan penelitian agar penelitian tetap berjalan sesuai dengan alur yang telah ditetapkan. Bagian ini menjelaskan kerangka kerja penelitian penulis dari awal penelitian hingga akhir. Desain penelitian digambarkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Desain Penelitian

Berikut penjelasan mengenai setiap tahapan yang ada pada desain penelitian yang telah dibuat :

1. Perumusan Masalah

Tahap ini merupakan tahap awal dari penelitian. Proses yang terjadi pada tahap ini yaitu pengidentifikasian masalah yang akan dibahas, menentukan rumusan masalah, menentukan metode yang akan diaplikasikan atau digunakan dalam menyelesaikan masalah, dan menentukan model penelitian apa yang akan digunakan dalam menyelesaikan masalah.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan studi literatur terkait topik yang telah disetujui pada tahap pertama diantaranya yaitu studi literatur mengenai topik pembahasan *remote sensing* secara umum beserta penggunaannya dalam melakukan klasifikasi *land cover mapping*. Ada pula studi literatur mengenai lahan gambut, satelit optikal Landsat-8, satelit radar Sentinel-1, dan algoritma *Random Forest*. Dalam mempelajari topik-topik di atas, penulis memperoleh informasi dari berbagai sumber seperti buku, artikel, jurnal, internet, dan bacaan sejenis lainnya.

3. Perancangan Model

Tahap ini merupakan tahap persiapan dalam membangun sistem perangkat lunak dengan model yang telah didesain sebelumnya. Langkah yang pertama yaitu menyiapkan data masukan yang sebelumnya telah dikumpulkan terlebih dahulu pada proses pengumpulan data. Data diperoleh dari berbagai sumber, mulai dari data citra satelit Landsat-8 dan data citra satelit radar Sentinel-1. Langkah kedua melakukan praproses terhadap data agar data tersebut seragam dan siap untuk dilakukan proses yang lebih jauh lagi. Langkah ketiga adalah melakukan pembagian data untuk melakukan pelatihan (*training*) dan pengujian (*testing*) terhadap model. Langkah keempat adalah melakukan standarisasi terhadap data agar setiap fitur pada data memiliki kisaran nilai yang

seragam. Langkah kelima adalah menggunakan algoritma *Random Forest* untuk membuat model, terdiri dari *training* dan *testing* terhadap data yang telah dibagi sebelumnya. Langkah keenam adalah melakukan postproses data agar data dapat ditampilkan dengan baik.

4. Hasil dan Analisis Eksperimen

Pada tahap ini, hasil yang telah diproses akan dianalisis dan dilakukan validasi mengenai akurasi prediksi dari perangkat lunak yang telah dibuat.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Bagian ini menjelaskan secara detail alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan penelitian.

3.2.1. Alat Penelitian

Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu komputer dengan spesifikasi:

- *Intel® Core™ i7-8750H Processor with 6 Cores CPU*
- *16 GB RAM*
- *Hard Drive 1 TB*
- *VGA NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti*

Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- *Sistem operasi Microsoft Windows 10 Home 64-bit*
- *Jupyter Notebook*
- *ENVI*
- *Python 3.8.2*
- *Microsoft Office*

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang diperlukan untuk melakukan penelitian adalah data *remote sensing* dari citra satelit bernama Landsat-8 NASA dan satelit Sentinel-1. Data yang diambil merupakan data dari tahun 2015 – Terbaru.

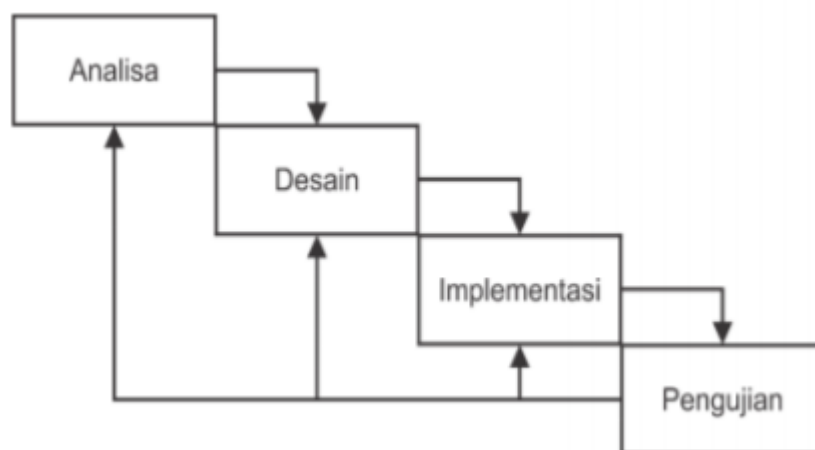
3.3. Metode Penelitian

Terdapat beberapa metode yang dilakukan dalam penelitian ini yang dibagi menjadi dua bagian, yaitu metode pengumpulan data dan metode pengembangan perangkat lunak.

3.3.1. Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini metode pengumpulan data yang digunakan adalah studi literatur. Studi literatur merupakan proses mempelajari teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang diangkat. Kepustakaan yang akan dipelajari adalah *Remote Sensing*, satelit citra bernama Landsat-8 dan Sentinel-1, Lahan Gambut, dan Algoritma *Random Forest*. Literatur yang dipakai berupa buku, jurnal, dan artikel. Selain studi literatur, data yang akan dikumpulkan untuk penelitian ini adalah data citra yang berasal dari satelit Landsat-8 NASA dan Sentinel-1 yang tersedia di situs U.S. Geological Survey dan Copernicus Open Access Hub.

3.3.2. Metode Pengembangan Perangkat Lunak



Gambar 3.2 Model *Waterfall* (Sommerville, 2011)

Metode *waterfall* digunakan dalam mengembangkan perangkat lunak dalam penelitian ini. Konsep dari metode ini yaitu alur hidup perangkat lunak yang sekuensial (berurutan), dimulai dari analisis, desain, implementasi, dan pengujian. Model ini dipilih agar bisa kembali ke tahap sebelumnya apabila terjadi kesalahan pada salah satu tahapan dari *waterfall* tersebut. Berikut penjelasan mengenai tahapan-tahapan metode *waterfall* menurut (Sommerville, 2011):

1. Analisis, dalam tahap ini dilakukan penentuan aplikasi atau *software* yang akan dikembangkan. Pada tahap ini pula, dilakukan penetapan fitur, kendala, dan tujuan sistem melalui konsultasi dengan pengguna. Semua kegiatan dalam tahapan ini nantinya berfungsi sebagai spesifikasi sistem yang akan dibuat nantinya. Tahap ini terdiri dari analisis kebutuhan dan analisis pembuatan sistem.
2. Desain, dalam tahap ini dibentuk suatu arsitektur sistem berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan pada tahapan sebelumnya. Pada tahapan ini dilakukan penjabaran desain sistem yang akan dibangun nantinya, mulai dari desain *database*, arsitektur sistem, dan antarmuka (*user interface*).
3. Implementasi, tahap ini merupakan tahapan *development* perangkat lunak dalam bentuk *coding*. Dalam tahapan ini dilakukan realisasi dari desain yang telah dibuat sebelumnya menjadi satu set program unit. Setiap unit nantinya akan diuji untuk diperiksa apakah sudah memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya atau belum.
4. Pengujian, dalam tahap ini dilakukan proses pengujian atau *testing* pada program perangkat lunak yang telah kita buat. Setiap unit program akan diintegrasikan satu sama lainnya dan diuji sebagai satu sistem yang utuh untuk memastikan kelayakan sistem. Jika tahap ini berhasil dilalui tanpa adanya kendala, maka sistem akan dikirimkan ke pengguna.

BAB 4

JADWAL PENELITIAN

4.1. Jadwal Penelitian

Berikut rencana jadwal penelitian yang akan dilakukan, semua tahapan ini dimulai dari tahapan studi literatur, pengumpulan data, analisis & pembuatan model, hingga penyusunan laporan akhir dari analisis penelitian direncanakan dimulai dari bulan November 2020 dan berakhir pada bulan Maret 2021.

Tabel 4.1 Rencana Jadwal Penelitian

Kegiatan	November	Desember	Januari	Februari	Maret
Studi Literatur					
Pengumpulan Data					
Analisis & Pembuatan Model					
Penyusunan Laporan Analisis					

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Anda, M., Jamil, A., & Masganti. (2014). *LAHAN GAMBUT INDONESIA Pembentukan, Karakteristik, dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan (Edisi Revisi)*.
- Al Ajmi, D., & Saif ud din. (2009). Remote sensing: Fundamentals, types and monitoring applications of environmental consequences of war. In *Handbook of Environmental Chemistry, Volume 3: Anthropogenic Compounds: Vol. 3 U* (Issue October 2020). https://doi.org/10.1007/978-3-540-87963-3_3
- Anwar, K., & Susanti, M. A. (2017). Potensi dan Pemanfaatan Lahan Gambut Dangkal untuk Pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1), 43–52. <https://doi.org/10.2018/jsdl.v11i1.8191>
- Cieslar, C., Vasyunin, Y., Kunkel, C. J. N., Ceron, S., & Powelson, S. (2020). *REMOTE SENSING FROM SPACE*. <https://paititi.info/research-technology/remote-sensing-from-space/>
- Dariah, A., Maftuah, E., & Maswar. (2013). Karakteristik Lahan Gambut. *Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*, 16–29.
- Daryono, H. (2009). Potensi, Permasalahan Dan Kebijakan Yang Diperlukan Dalam Pengelolaan Hutan Dan Lahan Rawa Gambut Secara Lestari. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 1981, 29258.
- Graham, S. (1999). *Remote Sensing: Introduction and History*.
- Hecker, W. H. B. A. S. M. G. B. G. H. G. K. A. G. C. A., Horn, J. A., Janssen, G. C. H. L. L. F., Kerle, N., Parodi, F. D. van der M. G. N., Pohl, C., Prakash, A., Ruitenbeek, C. V. R. F. J. van, Tempfli, K., Weir, M. J. C., & Woldai, T. (2004). Principles of Remote Sensing. *ITC Educational Textbook Series*, 4, 522–525.
- Ign, P., & A.Ng, G. (2013). *POTENSI LAHAN GAMBUT INDONESIA UNTUK MENYIMPAN KARBON*. 2, 1–10.

- Jumadil Akhir, D. (2017). *Pentingnya Peta Akurat sebagai Acuan Mengelola Lahan Gambut*. <https://Economy.Okezone.Com/https://economy.okezone.com/read/2017/10/31/320/1805992/simak-pentingnya-peta-akurat-sebagai-acuan-mengelola-lahan-gambut>
- Lombok, K. D. I., & Barat, N. T. (2014). Analisis Pendapatan Usaha Pertanian Dan Peternakan. *JURNAL EKONOMI PERTANIAN , SUMBERDAYA DAN LINGKUNGAN (Journal of Agriculture , Resource , and Environmental Economics)*, 3, 1–11.
- Madry, S. (1982). Introduction to Remote Sensing - Satellites. *New Mexico State, August 2004*, 1–70. http://www.irfanakar.com/turkish/pdf2/UA/Kitaplar/remote_sensing.pdf
- Ramón Torres , Paul Snoeij , Malcolm Davidson, D. B., & Lokas, S. (2013). *THE SENTINEL-1 MISSION AND ITS APPLICATION CAPABILITIES*. 1703–1706.
- Sitanggang, G., & Bangfatja, P. B. (2013). KAJIAN PEMANFAATAN SATELIT MASA DEPAN: SISTEM PENGINDERAAN JAUH SATELIT LDCM (LANDSAT-8). *Berita Dirgantara*.
- Sommerville, I. (2011). *Software Engineering* (9th ed.). Addison-Wesley.
- Stephens, D., & Diesing, M. (2014). A comparison of supervised classification methods for the prediction of substrate type using multibeam acoustic and legacy grain-size data. *PLoS ONE*, 9(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093950>
- Subiksa, I. G. M. (1997). *Genesis Lahan Gambut Di Indonesia*. 1992, 3–13.
- Sukarman. (2015). Pembentukan, Sebaran dan Kesesuaian Lahan Pembentukan Tanah Gambut. *Panduan Pengelolaan Berkelanjutan Lahan Gambut Terdegradasi*, 12, 2–15. http://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/juknis/panduan-gambut-terdegradasi/02sukarman_pembentukan.pdf
- Sulaeman, D., & Ayunda, D. (2020). *4 Dampak Penyiapan Lahan dengan Pembakaran*

terhadap Kondisi Biofisik Lahan Gambut. <https://wri-indonesia.org/>
<https://wri-indonesia.org/id/blog/4-dampak-penyiapan-lahan-dengan-pembakaran-terhadap-kondisi-biofisik-lahan-gambut>

Tempfli, K., Kerle, N., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Bakker, W. H., Feringa, W., Gieske, A. S. M., Gorte, B. G. H., Grabmaier, K. A., Hecker, C. A., Horn, J. A., Huurneman, G. C., Janssen, L. L. F., Kerle, N., Meer, F. D. Van Der, Parodi, G. N., Pohl, C., Reeves, C. V., Ruitenbeek, F. J. Van, ... Woldai, T. (2013). *Principles of Remote Sensing. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.*

Wahyunto, Nugroho, K., & Fahmuddin, A. (2014). Perkembangan Pemetaan dan Distribusi Lahan Gambut di Indonesia. *LAHAN GAMBUT INDONESIA (Pembentukan, Karakteristik, Dan Potensi Mendukung Ketahanan Pangan), 2011*, 33–60.

Yanuar, A. (2018). *Random Forest.*
<https://machinelearning.mipa.ugm.ac.id/2018/07/28/random-forest/>

Yustiawati, Sazawa, K., Syawal, M. S., Kuramitz, H., Saito, T., Hosokawa, T., Kurasaki, M., & Tanaka, S. (2015). Tropical Peatland Ecosystems. In *Tropical Peatland Ecosystems*. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7_18