

SKRIPSI
PROYEKSI PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN DI
DAERAH ALIRAN SUNGAI BILA DAN DAERAH
ALIRAN SUNGAI WALANAE TAHUN 2034

Oleh :
A. FATWA BANI ILHAM
M011171336



PROGRAM STUDI KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022

LEMBAR PENGESAHAN

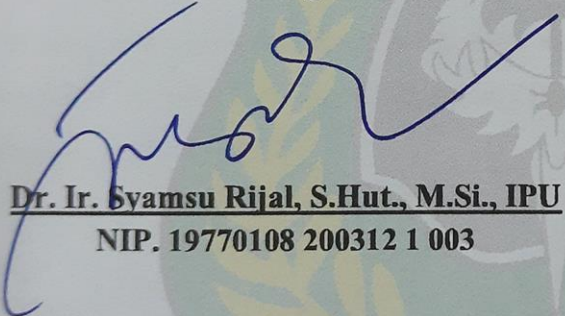
PROYEKSI PERUBAHAN PENUTUPAN LAHAN DI DAERAH ALIRAN SUNGAI BILA DAN DAERAH ALIRAN SUNGAI WALANAE TAHUN 2034

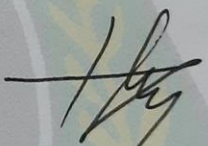
Disusun dan diajukan oleh

A. FATWA BANI ILHAM
M011171336

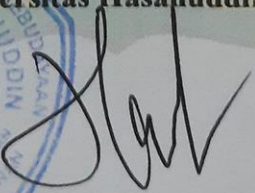
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan
Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin
pada tanggal 2 Februari 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,
Pembimbing Utama, Pembimbing Pendamping,


Dr. Ir. Syamsu Rijal, S.Hut., M.Si., IPU
NIP. 19770108 200312 1 003


Dr. Ir. Roland Alexander Barkey
NIP. 19540614 198103 1 007

Mengetahui,
Ketua Program Studi Kehutanan
Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin,


Dr. Forest Muhammad Alif K.S, S.Hut., M.Si
NIP. 19790831 200812 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : A. Fatwa Bani Ilham
NIM : M011171336
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bila dan Daerah Aliran Sungai Walanae Tahun 2034”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 2 Februari 2022

Yang menyatakan,



A. Fatwa Bani Ilham

ABSTRAK

A. Fatwa Bani Ilham (M011171336) Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bila dan Daerah Aliran Sungai Walanae Tahun 2034, dibawah bimbingan Syamsu Rijal dan Roland A. Barkey.

Perubahan penutupan lahan adalah bertambahnya suatu penutupan lahan dari satu sisi penutupan ke penutupan yang lainnya diikuti dengan berkurangnya tipe penutupan lahan yang lain dari suatu waktu ke waktu berikutnya. Perubahan penutupan lahan tidak bisa dihindari seiring bertambahnya kebutuhan akan lahan. Daerah aliran sungai (DAS) Bila dan DAS Walanae merupakan wilayah yang sangat terdampak perubahan lahan dan berakibat pada kondisi lahan yang semakin kritis. Penelitian ini bertujuan memproyeksikan perubahan penutupan lahan tahun 2034 berdasarkan penutupan lahan tahun 2006 dan 2020. Metode proyeksi menggunakan model *cellular automata* dengan *software Molusce* pada Quantum GIS. Dalam menjalankannya diperlukan data penutupan lahan yang diinterpretasi dari citra *Landsat 7* dan *8*, serta data pendukung lainnya seperti data DEM Nasional dan peta administrasi. Interpretasi citra menghasilkan 15 kelas penutupan lahan, yaitu hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, semak belukar, perkebunan, pemukiman, lahan terbuka, savana/padang rumput, tubuh air, hutan mangrove sekunder, semak belukar rawa, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur semak, sawah, dan tambak. Perubahan paling signifikan pada periode 2006 dan 2020 yaitu berkurangnya hutan lahan kering primer dan semak belukar, serta bertambahnya pemukiman dan pertanian lahan kering campur semak. Pada periode 2020 dan 2034 bertambahnya lahan masih didominasi oleh pertanian lahan kering campur semak dan pemukiman, serta berkurangnya tutupan lahan didominasi oleh penutupan lahan hutan. Hal tersebut menunjukkan bahwa masyarakat yang bermukim di DAS Bila dan DAS Walanae masih sangat bergantung pada lahan pertanian serta terus mengurangi hutan.

Kata kunci : penutupan lahan, proyeksi perubahan penutupan lahan, *cellular automata*, DAS Bila, DAS Walanae

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur atas segala karunia dan nikmat-Nya, serta shalawat dan salam tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis sebagaimana mestinya. Skripsi yang berjudul **“Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bila dan Daerah Aliran Sungai Walanae Tahun 2034”** merupakan tugas akhir dan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak **Dr. Ir. Syamsu Rijal, S.Hut., M.Si., IPU** dan Bapak **Dr. Ir. Roland Alexander Barkey** sebagai pembimbing yang telah dengan sabar menuntun dan mengarahkan penulis dalam proses dan penyelesaian skripsi ini. Tidak lupa pula ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada kedua orang tua yaitu Bapak **A. Baharuddin** dan Ibu **Sutra**, serta seluruh keluarga yang berkenan mendoakan, menyemangati, dan mendukung semua proses yang telah penulis jalani.

Selain itu, penulis juga hendak mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak **Dr. Ir. Beta Putranto, M.Sc.**, dan Bapak **Chairil A., S.Hut., M.Hut.** selaku penguji yang telah membantu dalam memberikan kritik dan saran guna perbaikan skripsi ini.
2. Ketua Program Studi Kehutanan Bapak **Dr. Forest. Muhammad Alif K.S. S.Hut., M.Si** dan Sekretaris Program Studi Kehutanan Ibu **Dr. Siti Halimah Larekeng, SP. MP.** serta Bapak/Ibu Dosen dan seluruh Staf Administrasi Fakultas Kehutanan atas bantuannya.
3. Sahabat seperjuangan **PSIK 2017** yaitu **Alma Aprillah Risnawati, S.Hut., Andi Idham Ainun Khalik, S.Hut., Abdul Rachman JB, S.Hut., Mita Adriani, S.Hut., Nursyamsi, S.Hut., Patta Nani Salata, S.Hut., Muhammad Faiq, Adit Rinaldi Mponoi, dan A. Muh. Daffa Suyuti Zulkifli** atas bantuan, motivasi, dan kerjasama serta kebersamaanya selama penulis melaksanakan penelitian.
4. Kakak-kakak, teman-teman, serta adik-adik di **Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan** yaitu **Ade Kristian Radeng, S.Hut., Try**

Ardiansah, S.Hut., M.Si., Andi Asryadi Pratama, S.Hut., Chaeria Anila, S.Hut., Dini Albertin Mandy, S.Hut., Muhammad Dahri Syahbani R., S.Hut., Armin Ridha, S.Hut atas bantuan dikala penulis mendapat kendala selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.

5. Keluarga Besar **UKM Belantara Kreatif SI-Unhas** terkhusus teman-teman Talenta 16 yaitu **Andi Nurindah, S.Hut., Triana Sagita, S.Hut., Nurhikmah Amir, S.Hut., Nur Fadilah Sunardi, S.Hut., Andi Tenri Gatrindah Lestari, S.Hut., Zelfiana, S.Hut., Muh. Yusuf Fadhel M., Sakti Ayoga Pratama, Fahmi Fathur Rahman, Muh. Miraj Maulana, dan M. Arif Budiman** atas kebersamaan yang sangat luar biasa sedari mahasiswa baru.
6. Kawan Seperjuangan **FRAXINUS 2017**, terkhusus **Muh. Arya Jurabi, Muh. Fachri Irsad, dan Sigit Herlambang** yang telah membantu dalam pengecekan lapangan.
7. Keluarga **Himpunan Mahasiswa Islam Komisariat Kehutanan Unhas**, terkhusus teman-teman pengurus, **Andi Maulidin, Muh. Ilham Basmar, S.Hut., Jabal Nur Rahman.**
8. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam semua proses selama berada di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Dengan keterbatasan ilmu dan pengetahuan, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Bertolak dari itulah, penulis mengharapkan adanya koreksi, kritik, dan saran yang membangun, dari berbagai pihak sehingga menjadi masukan bagi penulis untuk peningkatan di masa yang akan datang. Akhir kata penulis mengharapkan penyusunan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Makassar, 2 Februari 2022

A. Fatwa Bani Ilham

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Kegunaan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Daerah Aliran Sungai	4
2.1.1. Daerah Aliran Sungai sebagai Unit Perencanaan.....	4
2.1.2. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai	4
2.2. Penutupan Lahan	6
2.2.1. Lahan dan Penutupan Lahan.....	6
2.2.2. Klasifikasi Penutupan Lahan	7
2.2.3. Perubahan Penutupan Lahan.....	10
2.3. Penginderaan Jauh.....	11
2.3.1. Penginderaan Jauh	11
2.3.2. Citra <i>Landsat</i>	12
2.3.3. Interpretasi Citra.....	15
a. Penyusunan Komposit Warna	16
b. Unsur Interpretasi Citra	17
2.4. Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan.....	20
2.4.1. <i>Cellular Automata</i>	21
2.4.2. <i>Artificial Neural Network</i>	22
III. METODE PENELITIAN.....	24
3.1. Waktu dan Tempat	24
3.2. Alat dan Bahan.....	24
3.3. Prosedur Penelitian.....	25

3.3.1.	Pengumpulan Data	25
3.3.2.	Penetapan Batas Lokasi Penelitian	26
3.3.3.	Interpretasi Citra.....	27
3.3.4.	Pengecekan Data Lapangan.....	28
3.3.5.	Uji Akurasi Hasil Interpretasi Citra	30
3.4.	Analisis Data	31
3.4.1.	Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan.....	31
3.4.2.	Validasi Model	33
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1.	Perubahan Penutupan Lahan	35
4.2.	Validasi Model Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan	40
4.3.	Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan.....	42
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1.	Kesimpulan	49
5.2.	Saran	49
	DAFTAR PUSTAKA	50
	LAMPIRAN.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Perbedaan <i>band Landsat 7</i> ETM+ dengan <i>Landsat 8</i> OLI dan TIRS	13
Tabel 2.	Penggunaan kombinasi <i>band</i> untuk aplikasi atau penelitian	16
Tabel 3.	Pengenalan visual kelas penutupan lahan citra <i>Landsat</i>	18
Tabel 4.	<i>Confusion matrix</i>	30
Tabel 5.	Penutupan lahan tahun 2006 dan 2020 hasil interpretasi citra.....	35
Tabel 6.	<i>Confusion matrix</i> titik pengecekan setiap kelas penutupan lahan tahun 2021	39
Tabel 7.	Luas penutupan lahan tahun 2006 dan 2013.....	41
Tabel 8.	Perbandingan luas penutupan lahan tahun 2020 aktual dan proyeksi	41
Tabel 9.	Matriks transisi perubahan penutupan lahan tahun 2006-2020	43
Tabel 10.	Luas perubahan penutupan lahan tahun 2006, 2020, dan proyeksi 2034	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Peta lokasi penelitian.....	25
Gambar 2.	Peta sebaran titik pengecekan lapangan	29
Gambar 3.	Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 4.	Peta perubahan penutupan lahan tahun 2006-2020.....	38
Gambar 5.	Peta perubahan penutupan lahan tahun 2020-2034.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Kondisi penutupan lahan di lapangan dan kenampakan pada Citra <i>Landsat 7</i> kombinasi <i>band 543</i> dan Citra <i>Landsat 8</i> kombinasi <i>band 654</i>	54
Lampiran 2.	Peta penutupan lahan tahun 2006	58
Lampiran 3.	Peta penutupan lahan tahun 2013	59
Lampiran 4.	Peta penutupan lahan tahun 2020	60
Lampiran 5.	Peta penutupan lahan tahun 2020 hasil proyeksi.....	61
Lampiran 6.	Peta penutupan lahan tahun 2034	62
Lampiran 7.	Titik pengecekan lapangan (<i>ground check</i>) kelas penutupan lahan tahun 2021.....	63
Lampiran 8.	Perubahan penutupan lahan tahun 2006 ke 2020	68
Lampiran 9.	Perubahan penutupan lahan tahun 2020 ke 2034	70

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan wilayah yang dikelilingi dan dibatasi oleh topografi alami berupa punggung bukit atau pegunungan, presipitasi yang jatuh di atasnya mengalir melalui titik keluar tertentu (*outlet*) yang akhirnya bermuara ke danau atau ke laut (Asdak, 2010). DAS dipahami sebagai suatu wilayah yang merupakan kesatuan ekosistem, dengan berbagai komponen di dalamnya yaitu morfometri, tanah, geologi, vegetasi, tata guna lahan, dan manusia.

DAS Bila dan DAS Walanae merupakan DAS terbesar di Sulawesi Selatan dengan luas wilayah keseluruhan 732.479,86 hektar (DAS Bila : 238.187,54 hektar dan DAS Walanae : 494.292,32 hektar) yang mencakup beberapa kabupaten di antaranya Kabupaten Bone, Wajo, Soppeng, Maros, Sidenreng Rappang (Sidrap), dan Enrekang. Posisi geografis DAS Bila dan DAS Walanae berada pada 3°24'20"-5°9'10" LS dan 119°43'40"-120°10'45" BT. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Musa, *et al.* (2018), antara tahun 1990 sampai 2016 telah terjadi perubahan luas penutupan lahan, di antaranya berkurangnya lahan hutan, serta bertambahnya pertanian lahan kering serta lahan basah, begitupun dengan pemukiman yang semakin padat seiring bertambahnya intensitas penduduk.

Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) menyatakan DAS Bila dan DAS Walanae sebagai DAS dengan keadaan sangat kritis. Keadaan lahannya memerlukan rehabilitasi melalui kegiatan penghijauan dan reboisasi. DAS Bila dan DAS Walanae juga termasuk dalam DAS prioritas satu, wilayahnya mencakup beberapa kabupaten yang cukup kompleks permasalahannya. Adapula bencana musiman berupa banjir yang terjadi di Kabupaten Wajo terkhusus di sekitar Danau Tempe. Pada tahun 2021, hasil penelusuran lapangan menghasilkan fakta bahwa banjir di sekitar Danau Tempe mengalami masa surut yang sangat lama dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya. Musa dalam penelitiannya pada 2018 menyatakan bahwa di Danau Tempe menerima sedimen yang sangat besar seiring berubahnya penutupan lahan dari waktu ke waktu (Musa, *et al.*, 2018). Lebih lanjut Razak (2020), menyatakan bahwa pada tahun 2018 Danau Tempe menerima sedimen yang cukup besar yaitu 116.338.022,72 ton/tahun.

Keadaan yang telah dijelaskan diatas menimbulkan kondisi kontraproduktif dengan kebutuhan masyarakat saat ini sebagai komponen yang sangat terdampak dengan permasalahan DAS. Kebutuhan akan lahan tidak sebanding dengan tingkat perubahan lahan yang terjadi, terlebih lagi perubahannya cenderung pada degradasi fungsi dari lahan. Perubahan penutupan lahan adalah bertambahnya suatu penutupan lahan dari satu sisi penutupan ke penutupan yang lainnya diikuti dengan berkurangnya tipe penutupan lahan yang lain dari suatu waktu ke waktu berikutnya, atau berubahnya fungsi suatu lahan pada kurun waktu yang berbeda (As-syakur, et al., 2010).

Sejalan dengan pertumbuhan populasi, penutupan lahan menjadi terganggu dan mulai dianggap bermasalah. Wahyuni, *et al.* (2014) memperkuat argumen tersebut bahwa penggunaan lahan di Indonesia semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi. Peningkatan kebutuhan lahan sudah tidak bisa dielakkan lagi seiring dengan penambahan penduduk. Hampir semua aktivitas manusia melibatkan lahan. Karena jumlah dan aktivitas manusia semakin bertambah dengan cepat maka lahan menjadi sumberdaya yang langka sehingga *land use and land cover change* (LULCC) atau dengan istilah *land change* sudah tidak bisa dihindari.

Perubahan penutupan lahan yang sangat masif ditengah disrupsi teknologi yang semakin berkembang kemudian melahirkan inovasi. Informasi penutupan lahan terbaru berupa peta dapat diperoleh melalui teknik penginderaan jauh. Penginderaan jauh telah lama menjadi sarana yang penting dan efektif dalam pemantauan penutupan lahan dengan kemampuannya menyediakan informasi mengenai keragaman spasial di permukaan bumi dengan cepat, luas, tepat, dan mudah. Identifikasi perubahan penutupan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan sistem informasi geografis (SIG). Pemanfaatan SIG dan data citra satelit merupakan suatu teknologi yang tepat dalam mengelola data spasial-temporal perubahan penutupan lahan (Rijal, et al., 2016). Analisis perubahan penutupan lahan tidak hanya berguna untuk pengelolaan sumberdaya alam berkelanjutan, tetapi juga dapat dijadikan suatu informasi dalam merencanakan tata ruang di masa yang akan datang.

Ketersediaan informasi penutupan lahan yang akurat merupakan komponen penting bagi pemerintah daerah dalam menyusun kegiatan perencanaan,

pengelolaan, dan pemantauan perubahan lingkungan. Pemerintah melalui analisis kebijakan telah mencanangkan perbaikan dalam aspek lahan di DAS Bila dan DAS Walanae, hal tersebut setidaknya tertuang dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Sulawesi Selatan 2009-2029 (Pemerintah Provinsi Sulawesi Selatan, 2009). Kemudian pemilihan waktu proyeksi ke tahun 2034 juga didasarkan atas pertimbangan RTRW setiap kabupaten yang masuk dalam kawasan DAS Bila dan DAS Walanae, di antaranya Kabupaten Bone (2013-2033), Kabupaten Wajo (2012-2032), Kabupaten Soppeng (2012-2032), Kabupaten Maros (2012-2032), Kabupaten Sidrap (2012-2032), dan Kabupaten Enrekang (2011-2031). Sehingga diharapkan pada saat pembuatan RTRW yang baru kedepannya data tahun 2034 pada penelitian ini bisa menjadi pertimbangan. Selain itu, pemilihan tahun 2034 juga didasarkan pada data citra *Landsat* yang digunakan, dimana data aktual yaitu tahun 2020 memerlukan data tahun sebelumnya dan diambil masing-masing tujuh tahun sebelumnya (2013 dan 2006) untuk memproyeksikan tahun 2034. Dengan demikian, untuk mengetahui perubahan penutupan lahan DAS Bila dan DAS Walanae tahun 2034 maka dilakukan penelitian tentang “Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan di Daerah Aliran Sungai Bila dan Daerah Aliran Sungai Walanae Tahun 2034”.

1.2. Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengidentifikasi perubahan penutupan lahan tahun 2006 dan 2020 di DAS Bila dan DAS Walanae.
2. Melakukan proyeksi perubahan penutupan lahan tahun 2034 di DAS Bila dan DAS Walanae.

Kegunaan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan informasi dan *database* tentang prediksi penutupan lahan tahun 2034 yang bermanfaat bagi kegiatan perencanaan pengelolaan DAS. Informasi ini dapat dijadikan sebagai referensi spasial, baik dalam penyusunan program rehabilitasi, reboisasi maupun program-program lainnya yang mendukung kualitas dan keberlangsungan DAS Bila dan DAS Walanae.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Aliran Sungai

2.1.1. Daerah Aliran Sungai sebagai Unit Perencanaan

Daerah Aliran Sungai merupakan wilayah yang dikelilingi dan dibatasi oleh topografi alami berupa punggung bukit atau pegunungan, di mana presipitasi yang jatuh di atasnya mengalir melalui titik keluar tertentu (*outlet*) yang akhirnya bermuara ke danau atau ke laut (Asdak, 2010). Seperti yang termaktub dalam Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2019, Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan Air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alamiah, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

DAS dipahami sebagai suatu wilayah yang merupakan kesatuan ekosistem, dengan berbagai komponen di dalamnya yaitu morfometri, tanah, geologi, vegetasi, tata guna lahan dan manusia (Haryanti, et al., 2005). Pentingnya posisi DAS sebagai unit perencanaan yang utuh merupakan konsekuensi logis untuk menjaga kesinambungan pemanfaatan sumberdaya hutan, tanah, dan air. Dalam upaya menciptakan pendekatan pengelolaan DAS secara terpadu, diperlukan perencanaan secara terpadu, menyeluruh, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan dengan mempertimbangkan DAS sebagai suatu unit pengelolaan. Dengan demikian bila ada bencana, apakah itu banjir maupun kekeringan, penanggulangannya dapat dilakukan secara menyeluruh yang meliputi DAS mulai dari daerah hulu sampai hilir. Pengelolaan DAS secara terpadu merupakan pendekatan holistik dalam mengelola sumberdaya alam yang bertujuan untuk meningkatkan kehidupan masyarakat dalam mengelola sumberdaya alam secara berkesinambungan.

2.1.2. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Pengelolaan DAS mengandung pengertian bahwa unsur-unsur atau aspek-aspek yang menyangkut kinerja DAS dapat dikelola dengan optimal sehingga terjadi sinergi positif yang akan meningkatkan kinerja DAS dalam menghasilkan

output, sementara itu karakteristik yang saling bertentangan yang dapat melemahkan kinerja DAS dapat ditekan sehingga tidak merugikan kinerja DAS secara keseluruhan (Anami, et al., 2020).

Kondisi ekosistem DAS merupakan salah satu isu nasional dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini dikarenakan salah satu variabel terjadinya banjir adalah kondisi DAS yang kritis. Pentingnya DAS sebagai satu unit perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam yang telah diterima oleh berbagai pihak baik di tingkat nasional maupun tingkat regional, merupakan kesatuan ekosistem yang mencakup hubungan timbal balik sumberdaya alam dan lingkungan DAS dengan kegiatan manusia guna kelestarian lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

Keberadaan sektor kehutanan di daerah hulu yang terkelola dengan baik dan terjaga keberlanjutannya dengan didukung oleh prasarana dan sarana di bagian tengah akan dapat mempengaruhi fungsi dan manfaat DAS tersebut di bagian hilir, baik untuk pertanian, kehutanan maupun untuk kebutuhan air bersih bagi masyarakat secara keseluruhan. Rentang panjang DAS yang begitu luas baik secara administrasi maupun tata ruang, dalam pengelolaan DAS diperlukan adanya koordinasi berbagai pihak terkait baik lintas sektoral maupun lintas daerah secara baik. Pentingnya menjaga kelestarian ekosistem DAS perlu dilakukan untuk menjaga sistem tata guna lahan, hidrologis pengairan di sekitar DAS, serta adanya rehabilitasi hutan dan lahan diharapkan mampu mengurangi lahan kritis sebagai dampak degradasi lahan dan alih fungsi lahan di daerah DAS (Anami, et al., 2020).

Batas DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Pemetaan batas DAS merupakan salah satu parameter utama yang digunakan sebagai batasan penentuan kondisi penutupan lahan dan geomorfologi pada DAS. Ketersediaan data *Digital Elevation Model* (DEM) dapat dimanfaatkan sebagai pengelolaan DAS dalam bentuk pemetaan batas DAS serta mendapatkan kondisi geomorfologi DAS (Putra & Taufik, 2014).

Batas DAS merupakan garis bayangan sepanjang punggung pegunungan atau tebing/bukit yang memisahkan sistem aliran yang satu dari yang lainnya. Dari pengertian ini suatu DAS terdiri atas dua bagian utama daerah tadah (*catchment area*) yang membentuk daerah hulu dan daerah penyaluran air yang berada di bawah daerah tadah (Fuady & Azizah, 2008).

Delineasi batas DAS adalah proses penentuan sebuah area yang berkontribusi mengalirkan curah hujan (*input*) menjadi aliran permukaan pada satu titik luaran (*outlet*). *Digital Elevation Model* (DEM) digunakan sebagai sumber data pada proses delineasi batas DAS secara otomatis. Teknik delineasi otomatis dibuat dengan prinsip ekstraksi data topografis untuk memperoleh nilai masukan pada penentuan parameter hidrologi DAS (*flow direction - flow accumulation - stream order - basin/watershed*) (Purwono, *et al.*, 2018).

Proses delineasi batas DAS sering dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat SIG melalui beberapa langkah prosedur teknis yang tersusun pada suatu algoritma. Alasan penggunaan proses delineasi secara otomatis dianggap lebih praktis dibanding proses delineasi secara manual (interpretasi visual peta topografi). Di lain sisi, delineasi secara manual cenderung masih bersifat subjektif khususnya terkait penentuan hilir suatu DAS. Sementara delineasi secara otomatis dinilai relatif lebih akurat, cepat, dan mampu mengakomodir kebutuhan penyusunan parameter DAS serta komponen-komponen hidrologis secara lebih luas. Proses delineasi secara otomatis sangat bergantung pada algoritma serta input data topografis sebagai sumber data utama. Pada proses ini, data topografis direpresentasikan oleh data DEM. Namun demikian faktor perbedaan input data DEM yang digunakan akan memengaruhi luaran (*output*) batas DAS yang dihasilkan (Purwono, *et al.*, 2018).

2.2. Penutupan Lahan

2.2.1. Lahan dan Penutupan Lahan

Lahan merupakan representasi nyata dari kekayaan alam Indonesia. Dengan luas wilayah 1,905 juta km² dan jumlah penduduk yang terus meningkat tiap tahunnya, tata kelola lahan yang baik harus menjadi prioritas untuk terselenggaranya kehidupan yang sejahtera. Hal tersebut sejalan dengan amanat Undang-Undang Dasar 1945 Pasal 33 Ayat (3) yang berbunyi “Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat”. Kemudian ditegaskan dalam Undang-Undang Pokok Agraria tahun 1960 bahwa wewenang yang bersumber pada hak menguasai dari negara tersebut digunakan untuk mencapai

sebesar-besar kemakmuran rakyat dalam arti kebangsaan, kesejahteraan dan kemerdekaan dalam masyarakat dan negara hukum Indonesia yang merdeka, berdaulat, adil dan makmur.

Penutupan lahan (*land cover*) mengacu pada penutupan lahan yang mencirikan suatu areal tertentu, yang merupakan pencerminan dari bentuk lahan dan iklim lokal. Diana (2008) menyatakan bahwa penutupan lahan berkaitan dengan vegetasi berupa pohon, rumput, air, dan bangunan. Informasi penutupan dapat diperoleh dari citra penginderaan jauh, foto udara, foto satelit, dan teknologi lainnya yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi penutupan lahan. Sejalan dengan itu, Fauzi, *et al.* (2016) menyatakan bahwa penutupan lahan merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung sistem kehidupan pada suatu kawasan, semakin baik jenis penutupan lahan atau vegetasi hutannya maka dapat diasumsikan bahwa kawasan tersebut memiliki nilai keanekaragaman hayati yang tinggi.

Pemetaan penutupan lahan sangat berhubungan dengan studi vegetasi, tanaman pertanian dan tanah dari biosfer. Data tentang penutupan lahan biasanya dipresentasikan dalam bentuk peta disertai data statistik areal setiap kategori penutupan lahan (As-syakur, *et al.*, 2010).

2.2.2. Klasifikasi Penutupan Lahan

Klasifikasi penutupan lahan merupakan upaya pengelompokan berbagai jenis penutupan lahan kedalam suatu kesamaan sesuai dengan sistem tertentu. Klasifikasi penutupan lahan digunakan sebagai pedoman atau acuan dalam proses interpretasi citra penginderaan jauh untuk tujuan pembuatan peta penutupan lahan (Lillesand & Kiefer, 1994 dalam Ardiansah, 2017).

Informasi penutupan lahan skala nasional dihasilkan dari hasil interpretasi citra resolusi sedang. Hampir seluruh informasi diperoleh dari penafsiran data *Landsat*. Citra satelit *Landsat* dipilih karena merupakan citra satelit yang memiliki resolusi temporal yang cukup pendek/rapat sehingga dapat memberikan informasi yang konsisten dan berkesinambungan dan juga memiliki cakupan data meliputi seluruh Indonesia (*217 scene*).

Penutupan lahan skala nasional memiliki 22 kelas penutupan lahan dengan 7 kelas penutupan hutan dan 15 kelas penutupan bukan hutan. Penetapan standar

kelas ini didasarkan pada pemenuhan kepentingan di lingkup Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan secara khusus dan institusi-institusi terkait tingkat nasional secara umum. Berikut adalah 12 kelas penutupan lahan dalam penelitian ini berdasarkan Badan Standarisasi Nasional Kelas Penutupan Lahan 1:250.000.

1. Hutan lahan kering primer (Hp/2001)

Seluruh kenampakan hutan dataran rendah, hutan perbukitan, hutan pegunungan (dataran tinggi dan subalpin), hutan kerdil, hutan kerangas, hutan di atas batuan kapur, hutan di atas batuan ultra basa, hutan daun jarum, hutan luruh daun dan hutan lumut (ekosistem alami) yang tidak menampakkan gangguan manusia (bekas penebangan, bekas kebakaran, jaringan jalan, dan lain-lain), tidak termasuk gangguan alam (banjir, tanah longsor, gempa bumi, dan lain-lain).

2. Hutan lahan kering sekunder (Hs/2002)

Hutan lahan kering primer yang mengalami gangguan manusia (bekas penebangan, bekas kebakaran, jaringan jalan, dan lain-lain), termasuk yang tumbuh kembali dari bekas tanah terdegradasi.

3. Hutan mangrove sekunder (Hms/20041)

Hutan mangrove primer yang mengalami gangguan manusia (bekas penebangan, bekas kebakaran, jaringan jalan dan lain-lain), termasuk yang tumbuh/ditanam pada tanah sedimentasi.

4. Hutan tanaman (Ht/2006)

Seluruh kenampakan hutan yang seragam (monokultur) yang dapat berasal dari kegiatan reboisasi/reklamasi/penghijauan/industri.

5. Perkebunan (Pk/2010)

Seluruh kenampakan hasil budidaya tanaman keras yang termasuk kelompok perkebunan, antara lain sawit, karet, kelapa, coklat, kopi, teh.

6. Semak belukar (B/2007)

Seluruh kenampakan areal/kawasan yang di dominasi oleh vegetasi rendah yang berada pada lahan kering.

7. Semak belukar rawa (Br/20071)

Seluruh kenampakan areal/kawasan yang didominasi oleh vegetasi rendah dan berada pada daerah tergenang air tawar serta di belakang hutan payau.
8. Savana/padang rumput (S/3000)

Seluruh kenampakan vegetasi rendah alami dan permanen yang berupa padang rumput.
9. Pertanian lahan kering (Pt/20091)

Seluruh kenampakan hasil budidaya tanaman semusim di lahan kering seperti tegalan dan ladang.
10. Pertanian lahan kering campur semak (Pc/20092)

Seluruh kenampakan yang merupakan campuran areal pertanian, perkebunan, semak, dan belukar.
11. Sawah (Sw/20093)

Seluruh kenampakan hasil budidaya tanaman semusim di lahan basah yang dicirikan oleh pola pematang.
12. Tambak (Tm/20094)

Seluruh kenampakan perikanan darat (ikan/udang) atau penggaraman yang tampak dengan pola pematang, biasanya berada di sekitar pantai.
13. Pemukiman (Pm/2012)

Kawasan pemukiman, baik perkotaan, perdesaan, industri dan lain-lain.
14. Lahan Terbuka (T/2014)

Seluruh kenampakan lahan terbuka tanpa vegetasi, baik yang terjadi secara alami maupun akibat aktivitas manusia (singkapan batuan puncak gunung, puncak bersalju, kawah vulkan, gosong pasir, pasir pantai, endapan sungai, pembukaan lahan serta areal bekas kebakaran).
15. Tubuh Air (A/5001)

Semua kenampakan perairan, termasuk laut, sungai, danau, waduk, terumbu karang, padang lamun dan lain-lain.

2.2.3. Perubahan Penutupan Lahan

Perubahan penutupan lahan adalah bertambahnya suatu penutupan lahan dari satu sisi penutupan ke penutupan yang lainnya diikuti dengan berkurangnya tipe penutupan lahan yang lain dari suatu waktu ke waktu berikutnya, atau berubahnya fungsi suatu lahan pada kurun waktu yang berbeda (As-syakur, et al., 2010). Perubahan penutupan lahan pada umumnya dapat diamati dengan menggunakan data spasial dari peta penutupan lahan dari beberapa titik tahun yang berbeda. Data penginderaan jauh seperti citra satelit, radar, dan foto udara sangat berguna dalam pengamatan perubahan penutupan lahan.

Faktor utama yang mendorong perubahan penutupan lahan adalah jumlah penduduk yang semakin meningkat sehingga mendorong mereka untuk merubah lahan. Tingginya angka kelahiran dan perpindahan penduduk memberikan pengaruh yang besar pada perubahan penutupan lahan. Perubahan penutupan lahan juga bisa disebabkan adanya kebijakan pemerintah dalam melaksanakan pembangunan di suatu wilayah. Selain itu, pembangunan fasilitas sosial dan ekonomi seperti pembangunan pabrik juga membutuhkan lahan yang besar walaupun tidak diiringi dengan adanya pertumbuhan penduduk di suatu wilayah (Diana, 2008).

Perubahan penutupan lahan tidak lepas dari faktor alam dan manusia. Seiring berjalannya waktu kedua faktor utama tersebut turut andil dalam penurunan kualitas lahan, baik karena bencana alam ataupun eksploitasi alam yang tidak bertanggung jawab. Lahan yang buruk tidak dapat memenuhi kapasitas untuk menyediakan fungsi-fungsi yang dibutuhkan manusia atau ekosistem alami dalam waktu yang lama. Padahal fungsi tersebut merupakan kemampuannya untuk mempertahankan pertumbuhan dan produktivitas tumbuhan serta hewan, mempertahankan kualitas udara dan air atau mempertahankan kualitas lingkungan. Lahan berkualitas membantu hutan untuk tetap sehat dan menumbuhkan tanaman yang baik (Plaster, 2003). Dampak negatif dari ketidakmampuan lahan untuk memenuhi fungsinya adalah terganggunya kualitas lahan sehingga menimbulkan bertambah luasnya lahan kritis, menurunnya produktivitas dan pencemaran lingkungan. Adanya dampak tersebut dapat digunakan untuk memonitor perubahan kualitas lahan agar tetap memenuhi fungsinya. Penurunan kualitas lahan

memberikan kontribusi yang besar akan bertambah buruknya kualitas lingkungan secara umum (Suriadi & Nazam, 2005).

2.3. Penginderaan Jauh

2.3.1. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) sering disingkat inderaja, adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1994 dalam Purwadhi & Sanjoto, 2008).

Data penginderaan jauh digital (citra digital) direkam dengan menggunakan sensor non-kamera, antara lain *scanner*, radiometer, *spectrometer*. Detektor yang digunakan dalam sensor penginderaan jauh adalah detektor elektronik dengan menggunakan tenaga elektromagnetik yang luas, yaitu spektrum tampak, ultraviolet, inframerah thermal, dan gelombang mikro. Citra digital dibentuk dari elemen-elemen gambar atau *pixel* (*picture element*) yang menyatakan tingkat keabuan pada gambar. Informasi yang terkandung dalam *pixel* tersebut bersifat diskrit yaitu mempunyai ukuran presisi tertentu (Purwadhi, 2001).

Penginderaan jauh merupakan suatu sistem, artinya penginderaan jauh terbangun oleh beberapa komponen yang saling mendukung. Komponen tersebut meliputi sumber tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan benda di permukaan bumi, sensor, sistem pengolahan data, dan berbagai pengguna data. Menurut Tindal (2006) dalam Has & Sulistiawaty (2018), komponen sistem penginderaan jauh terdiri atas sumber energi, radiasi (melalui atmosfer), interaksi (tenaga dan objek), sensor perekam, transmisi, resepsi, dan pemrosesan, interpretasi dan analisis (operator), dan aplikasi. Suatu sistem dapat bekerja secara optimal jika masing-masing komponen penyusunnya bekerja sama secara serasi dan seimbang. Komponen sistem penginderaan jauh secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga komponen, yakni alami, teknologi, dan manusia.

Penginderaan jauh bahkan kini mulai banyak digunakan oleh kalangan ilmu sosial dan pendidikan. Proyek penelitian yang mencoba menggunakan penginderaan jauh untuk kajian sosial antara lain dilakukan oleh *Research Project*

on Land-Use/Cover Change (LUCC) of the IGBP and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP) (Turner, et.al., 1995). Proyek ini dirancang untuk memperbaiki pemahaman tentang kekuatan manusia dan biofisik yang membentuk perubahan penggunaan lahan/penutup lahan melalui tiga cara penilaian: (1) studi berbasis dinamika penggunaan penutup tanah, fokus pada pengelola lahan; (2) pengamatan berbasis spasial atas konsekuensi penutupan lahan; dan (3) model integratif dinamika ini pada berbagai skala analisis.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh yang sangat pesat didorong oleh meningkatnya tuntutan kebutuhan aplikasi guna menjawab berbagai tantangan dan permasalahan pembangunan. Hal tersebut dikarenakan citra penginderaan jauh dapat menyajikan gambaran objek, daerah dan gejala di permukaan bumi secara lengkap dengan wujud dan letak objek yang mirip dengan keadaan sebenarnya. Banyaknya keunggulan yang dimiliki oleh citra satelit antara lain cakupan wilayah yang lebih luas, data yang selalu *up to date*, maka pemanfaatan citra akan lebih efisien (Has & Sulistiawaty, 2018).

2.3.2. Citra Landsat

Citra *Landsat* yang terbaru adalah *Landsat 8* OLI dan TIRS yang diluncurkan pada 11 Februari 2013 dari Vandenberg Air Force Base, California pada roket Atlas-V 401 dengan *Extended Payload Fairing* (EPF) dari United Launch Alliance, LLC. Menurut NASA (2013), citra *Landsat 8* OLI dan TIRS dilengkapi oleh 2 sensor yaitu *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yang menyediakan cakupan musiman dari daratan global pada resolusi spasial 30 meter (*Visible*, NIR, SWIR), 100 meter (*Thermal*) dan 15 meter (*Panchromatic*) (Kurniadi, 2015).

Terdapat beberapa perbedaan pada *band* citra *Landsat 8* OLI dan TIRS dengan sebelumnya yaitu *Landsat 7* ETM+. Perbedaan *band* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan *band Landsat 7 ETM+* dengan *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* (USGS, 2013 dalam Kurniadi, 2015).

<i>Band-band Landsat 7 ETM+</i>				<i>Band-band Landsat 8 OLI dan TIRS</i>				
No Band	Resolusi Spasial	Nama Band	Gelombang (μm)	No Band	Resolusi Spasial	Nama Band	Gelombang (μm)	Kegunaan
				<i>Band 1</i>	30 m	Coastal/Aerosol	0.433-0.453	Pesisir, partikel halus
<i>Band 1</i>	30 m	Blue	0.441-0.514	<i>Band 2</i>	30 m	Blue	0.450-0.515	Tutupan vegetasi
<i>Band 2</i>	30 m	Green	0.519-0.601	<i>Band 3</i>	30 m	Green	0.525-0.600	Vegetasi perbukitan
<i>Band 3</i>	30 m	Red	0.631-0.692	<i>Band 4</i>	30 m	Red	0.630-0.680	Tutupan vegetasi
<i>Band 4</i>	30 m	NIR	0.772-0.898	<i>Band 5</i>	30 m	NIR	0.845-0.885	Biomassa, garis pantai
<i>Band 5</i>	30 m	SWIR-1	1.547-1.749	<i>Band 6</i>	30 m	SWIR-1	1.560-1.660	Kandungan air
<i>Band 6</i>	60 m	TIR	10.31-12.36	<i>Band 10</i>	100 m	TIR-1	10.60-11.20	Pemetaan panas
				<i>Band 11</i>	100 m	TIR-2	11.50-12.50	Pemetaan panas
<i>Band 7</i>	30 m	SWIR-2	2.064-2.345	<i>Band 7</i>	30 m	SWIR-2	2.100-2.300	Kandungan air
<i>Band 8</i>	15 m	Pan	0.515-0.896	<i>Band 8</i>	15 m	Pan	0.500-0.680	Mempertajam citra
				<i>Band 9</i>	10 m	Cirrus	1.360-1.390	Awan cirrus

Perbedaan pada *Landsat 7 ETM+* dengan *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* terletak pada *band Thermal Infrared*. Terdapat satu *band Thermal Infrared* pada citra *Landsat 7 ETM+* sedangkan pada citra *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* memiliki dua *band Thermal Infrared*. Selain itu, resolusi spasial dari kedua citra tersebut berbeda, yaitu 60 meter pada citra *Landsat 7 ETM+* dan 100 meter pada citra *Landsat 8 OLI* dan *TIRS*. Citra *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* terdapat dua *band* baru yaitu *band Coastal/Aerosol* dan *band Cirrus* yang tidak ada pada citra *Landsat 7 ETM+*. Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing *band* pada citra *Landsat 8* (Kurniadi, 2015).

1. *Band 1 Coastal/Aerosol*

Band 1 pada *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 0.433-0.453 μm . Resolusi spasial dari *band* ini adalah 30 x 30 meter. *Band* ini memiliki dua fungsi

utama yaitu untuk menggambarkan daerah perairan dangkal dan untuk mendeteksi partikel halus dan asap.

2. *Band 2 Visible Blue*

Band 2 pada *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 0.450-0.515 μm . Resolusi spasial dari *band* ini adalah 30 x 30 meter. Menurut U.S. Geological Survey (2013), fungsi dari *band* ini adalah untuk membedakan tanah dengan tutupan vegetasi dan dedaunan yang gugur di vegetasi hutan konifer.

3. *Band 3 Visible Green*

Band 3 pada *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 0.525-0.600 μm . Salah satu fungsi dari *band* ini adalah untuk menekankan vegetasi di perbukitan yang sangat berguna untuk menilai kekuatan tumbuhan. *Band* ini memiliki resolusi spasial 30 x 30 meter.

4. *Band 4 Visible Red*

Band 4 pada *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 0.630-0.680 μm . *Band* ini dapat digunakan untuk mendeteksi tutupan vegetasi di permukaan bumi. Resolusi spasial dari *band* ini adalah 30 x 30 meter.

5. *Band 5 Near Infrared (NIR)*

Band 5 pada *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 0.845-0.885 μm . Menurut U.S. Geological Survey (2013), *band* ini digunakan untuk menekankan isi dari biomasa dan untuk mendeteksi garis pantai. Resolusi spasial dari *band* ini adalah 30 x 30 meter.

6. *Band 6 Short-wave Infrared (SWIR)-1* dan *Band 7 Short-wave Infrared (SWIR)-2*

Band 6 pada *Landsat 8 OLI* dan *TIRS* dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 1.560-1.660 μm dan 2.100-2.300 μm untuk *band 7*. Resolusi spasial dari *band* ini adalah 30 x 30 meter. Menurut U.S. Geological Survey (2013), kedua *band* ini digunakan untuk mengukur kandungan air dalam tanah dan vegetasi.

7. *Band 8 Panchromatic*

Band 8 pada *Landsat 8* OLI dan TIRS dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 0.500-0.680 μ m. Menurut U.S Geological Survey (2013), *band* ini dapat digunakan untuk menghasilkan citra yang lebih tajam jika dipadukan dengan *band* lain. Resolusi spasial *band* ini adalah 15 x 15 meter.

8. *Band 9 Cirrus*

Band 9 pada *Landsat 8* OLI dan TIRS dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 1.360-1.390 μ m. Menurut NASA (2013), fungsi dari *band* ini adalah untuk mendeteksi awan *cirrus* pada lapisan atmosfer. Resolusi spasial dari *band* ini adalah 10 x 10 meter.

9. *Band 10 Thermal Infrared (TIR)-1 dan Band 11 Thermal Infrared (TIR)-2*

Band 10 pada *Landsat 8* OLI dan TIRS dapat mendeteksi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang 10.60-11.20 μ m dan 11.50-12.50 μ m untuk *band 11*. Kedua *band* ini digunakan untuk memetakan panas yang dipancarkan pada permukaan bumi dan memperkirakan kelembaban tanah. Resolusi spasial kedua *band* ini adalah 100 x 100 meter.

2.3.3. Interpretasi Citra

Proses interpretasi citra penting sebagai proses mengekstrak informasi-informasi yang bisa didapatkan dari hasil interpretasi tersebut, salah satunya yaitu penutupan lahan. Danoedoro (2010) menjelaskan bahwa proses interpretasi citra dengan bantuan komputer dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tingkat otomatisnya. Keduanya adalah klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*). Klasifikasi terbimbing meliputi sekumpulan algoritma yang didasari pemasukan contoh objek oleh operator. Berbeda halnya dengan klasifikasi tidak terbimbing, secara otomatis diputuskan oleh komputer, tanpa campur tangan operator (kalaupun ada, proses interaksi ini sangat terbatas).

Metode klasifikasi lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing maupun tidak terbimbing memiliki kekurangan dan kelebihan. Metode klasifikasi terbimbing baik digunakan untuk kawasan yang sudah diketahui dan akses mudah

dijangkau untuk keperluan pengenalan tutupan lahan secara terestris. Metode klasifikasi tidak terbimbing baik digunakan untuk pembuatan klasifikasi lahan di kawasan yang belum terlalu dikenali dan akses yang susah untuk dimasuki secara terestris (Radityo, 2010).

Salah satu citra yang sering digunakan dalam menyediakan berbagai data adalah citra *Landsat*. *Landsat* (*land satellite*) adalah satelit sumberdaya bumi Amerika Serikat yang telah digunakan dalam bidang kehutanan sejak tahun 1972. Peluncuran satelit *Landsat* pertama dengan nama ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite-1*) pada tanggal 23 Juli 1972 merupakan proyek eksperimental yang sukses dan dilanjutkan dengan peluncuran selanjutnya, seri kedua, tetapi berganti nama menjadi *Landsat*. ERTS-1 pun berganti nama menjadi *Landsat-1* (Danoedoro, 2010). Proses ekstraksi citra menjadi penutupan lahan dilakukan dengan proses penyusunan komposit warna dan interpretasi pada citra.

a. Penyusunan Komposit Warna

Citra satelit *Landsat* memiliki panjang gelombang dan fungsi di setiap *band* yang berbeda-beda, sehingga citra satelit *Landsat* dapat digunakan dengan cara kombinasi *band* (komposit warna) sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dilakukan. Pada dasarnya, warna dasar terdiri dari tiga warna yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) (Somantri, 2009). Susunan komposit warna dari *band* citra penginderaan jauh minimal terdapat *band* inframerah dekat untuk mempertajam penampakan unsur vegetasi (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, 2015).

Tabel 2. Penggunaan kombinasi *band* untuk aplikasi atau penelitian (www.esri.com)

Aplikasi	Kombinasi Band	
	<i>Landsat 7</i>	<i>Landsat 8</i>
<i>Natural color (True color)</i>	3, 2, 1	4, 3, 2
<i>False color (Urban)</i>	7, 5, 3	7, 6, 4
<i>Color infrared (Vegetation)</i>	4, 3, 2	5, 4, 3
Pertanian	5, 4, 1	6, 5, 2
Penetrasi atmosfer	7, 5, 4	7, 6, 5
Vegetasi sehat	4, 5, 1	5, 6, 2

Aplikasi	Kombinasi Band	
	<i>Landsat 7</i>	<i>Landsat 8</i>
Tanah/Air	4, 5, 3	5, 6, 4
<i>Natural with atmospheric removal</i>	7, 4, 2	7, 5, 3
<i>Shortwave infrared</i>	7, 4, 3	7, 5, 4
Analisis vegetasi	5, 4, 3	6, 5, 4

b. Unsur Interpretasi Citra

Sutanto (1986) seperti yang dikutip Pratama (2018), menyatakan bahwa analisis citra dapat diwujudkan dengan cara interpretasi, maka untuk interpretasi diperlukan unsur-unsur interpretasi, sehingga gambar citra dapat menjadi suatu data dan informasi. Berikut ini adalah unsur-unsur interpretasi citra, yaitu:

1. Rona/warna

Rona/warna merupakan karakteristik spektral, karena rona/warna termasuk akibat besar kecilnya tenaga pantulan maupun pancaran. Unsur ini nampak pada citra dengan tingkat cerah dan gelapnya suatu objek. Umumnya rona/warna diklasifikasikan menjadi cerah, agak cerah, sedang, agak kelabu, dan kelabu. Tingkatan rona/warna ini diukur secara kualitatif.

2. Bentuk

Bentuk merupakan variabel kualitatif yang memberikan konfigurasi atau kerangka suatu objek sebagaimana terekam pada citra penginderaan jauh.

3. Ukuran

Ukuran merupakan ciri objek yang antara lain berupa jarak, luas, tinggi lereng, dan volume. Ukuran objek citra berupa skala.

4. Tekstur

Tekstur adalah frekuensi perubahan rona pada citra. Tekstur dinyatakan dengan kasar, halus, atau sedang. Contoh: hutan bertekstur kasar, belukar bertekstur sedang, semak bertekstur halus.

5. Pola

Pola atau susunan keruangan merupakan ciri yang menandai bagi banyak objek bentukan manusia dan beberapa objek alamiah. Contoh:

perkebunan karet atau kelapa sawit akan mudah dibedakan dengan hutan dengan pola dan jarak tanam yang seragam.

6. Bayangan

Bayangan sering menjadi kunci pengenalan yang penting bagi beberapa objek dengan karakteristik tertentu. Sebagai contoh, jika objek menara diambil tepat dari atas, objek tersebut tidak dapat diidentifikasi secara langsung. Maka untuk mengenali objek tersebut adalah menara yaitu dengan melihat bayangannya.

7. Situs

Situs adalah letak suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya. Situs bukan ciri objek secara langsung, tetapi kaitannya dengan faktor lingkungan.

8. Asosiasi

Asosiasi merupakan keterkaitan antara objek satu dengan objek yang lain. Karena adanya keterkaitan ini maka terlihatnya suatu objek pada citra sering merupakan petunjuk adanya objek lain. Sekolah biasanya ditandai dengan adanya lapangan olahraga.

Setiap kelas penutupan lahan memiliki penciri visual masing-masing yang membedakan penutupan lahan satu dengan lainnya. Pengenalan visual tiap jenis penutupan lahan disajikan dalam Tabel 3 dan tampilannya bisa dilihat pada [Lampiran 1](#).

Tabel 3. Pengenalan visual kelas penutupan lahan citra *Landsat* (Dit. IPSDH, 2020)

No.	Penutupan Lahan	Karakteristik pada Citra			
		Warna/rona	Tekstur	Pola	Asosiasi
1.	Hutan lahan kering primer	Hijau muda-tua	Halus-kasar (bergantung topografi)	Tidak teratur	Pegunungan
2.	Hutan lahan kering sekunder	Hijau terang kekuningan	Halus-kasar (bergantung topografi)	Tidak teratur	Jaringan jalan, bekas tebang dan kebakaran
3.	Hutan tanaman	Hijau tua campur muda atau coklat kekuningan untuk jenis tanaman tertentu	Halus-agak kasar	Teratur	Berbentuk persegi panjang, jaringan jalan dan lahan terbangun, kenampakan seragam

No.	Penutupan Lahan	Karakteristik pada Citra			
		Warna/rona	Tekstur	Pola	Asosiasi
4.	Semak belukar	Hijau muda kekuningan	Agak kasar	Tidak teratur	Hutan alam, topografi landai-curam
5.	Perkebunan	Hijau muda-tua atau coklat kekuningan	Halus-agak kasar	Teratur	Pemukiman, jaringan jalan
6.	Pemukiman	Merah muda	Agak kasar	Tidak teratur	Jaringan jalan
7.	Lahan terbuka	Kemerahan, keunguan	Halus	Tidak teratur	
8.	Savana/padang rumput	Merah muda-kekuningan	Halus	Tidak teratur	
9.	Tubuh air	Biru muda-tua	Halus	Tidak teratur	
10.	Hutan mangrove sekunder	Hijau kecoklatan	Halus	Tidak teratur	Sungai, pantai, bukaan berupa tambak
11.	Semak belukar rawa	Hijau muda	Halus	Tidak teratur	Sungai, lahan basah, perairan
12.	Pertanian lahan kering	Merah muda-bercak hijau	Agak kasar-kasar	Tidak teratur	Pemukiman, jaringan jalan
13.	Pertanian lahan kering campur semak	Merah muda-bercak hijau	Agak kasar-kasar	Tidak teratur	Semak, pemukiman, jaringan jalan
14.	Sawah	Biru-bercak hijau muda	Halus	Teratur	Pemukiman, dekat sumber air
15.	Tambak	Biru kehitaman	Halus	Teratur	Pemukiman, pematang

c. Uji Akurasi Interpretasi Citra

Penilaian hasil interpretasi dapat dilakukan dengan melakukan uji akurasi pada hasil interpretasi. Uji akurasi klasifikasi penginderaan jauh adalah usaha untuk menilai akurasi hasil klasifikasi menggunakan metode pengukuran tertentu seperti matriks kesalahan (*confusion matrix*). Lillesand dan Kiefer menekankan pentingnya uji akurasi dengan menyebutkan bahwa analisis citra belum selesai sebelum uji akurasi dilakukan. Akurasi hasil interpretasi citra merupakan kesesuaian antara hasil interpretasi citra dengan nilai yang dianggap benar. Semakin sesuai atau semakin kecil beda antara dua nilai tersebut, berarti semakin akurat interpretasinya. Akurasi dapat didefinisikan sebagai derajat (sering sebagai persentase) dari korespondensi antara pengamatan dan kenyataan. Akurasi biasanya dinilai terhadap ada peta, foto udara skala besar, atau cek dan perhitungan lapangan.

Confusion matrix merupakan susunan angka yang diatur dalam baris dan kolom yang merupakan representasi jumlah unit sampel (seperti piksel, kelompok

piksel, atau poligon), diisikan sesuai dengan kategori, relatif terhadap kategori aktual (Congalton, 2008). Matriks ini secara teknis berisi kelas-kelas penutup lahan hasil klasifikasi citra pada barisnya, dan kelas-kelas penutup lahan hasil pengecekan lapangan pada kolom, sedangkan isi matriks menunjukkan jumlah objek. Semakin banyak objek yang menunjukkan kesamaan kelas pada baris dan kolom, maka akurasi hasil klasifikasi semakin tinggi. Ketelitian hasil klasifikasi diukur dengan nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), akurasi pembuat (*producer accuracy*), akurasi pengguna (*user accuracy*) dan akurasi Kappa.

Akurasi keseluruhan menunjukkan persentase jumlah piksel hasil klasifikasi yang benar berdasarkan data lapangan. Piksel yang dilibatkan dalam perhitungan merupakan piksel yang menjadi sampel. Jika ketelitian lebih dari atau sama dengan 85%, maka hasil klasifikasi dapat diterima. Akurasi Kappa adalah teknik multivariat diskrit yang digunakan dalam penilaian akurasi untuk statistik menentukan apakah satu matriks kesalahan secara signifikan berbeda dari yang lain. Analisis ini telah digunakan dalam berbagai bidang seperti psikologi dan sosiologi, hingga Congalton menggunakannya pada tahun 1983 dalam bidang penginderaan jauh, sehingga teknik ini mulai banyak digunakan dalam bidang tersebut. Analisis ini berdasarkan perbedaan antara tingkat kesesuaian (*agreement*) aktual pada matriks kesalahan yang ditunjukkan oleh diagonal utama dan kemungkinan kesesuaian yang ditunjukkan oleh total baris dan kolom.

Nilai koefisien Kappa mempunyai rentang 0 hingga 1, dalam proses pemetaan klasifikasi penutupan lahan nilai akurasi yang dapat diterima yaitu 85% atau 0,85 (Anderson, 1976). Koefisien Kappa didasarkan atas konsistensi penilaian dengan mempertimbangkan semua aspek yaitu *omission error* dan *commission error* yang diperoleh dari *confusion matrix*.

2.4. Proyeksi Perubahan Penutupan Lahan

Identifikasi perubahan penutupan lahan pada suatu wilayah merupakan suatu proses mengidentifikasi perbedaan keberadaan suatu objek atau fenomena yang diamati pada waktu yang berbeda (As-syakur, et al., 2010). Model adalah penyederhanaan suatu sistem tertentu di dunia nyata. Pemodelan penutupan lahan, dibangun dengan mengkombinasikan model dinamika perubahan lahan dengan SIG (Purnomo, 2019). Pada penelitian ini, peneliti menggunakan aplikasi Quantum GIS

yang terintegrasi dengan *Plugin Molusce* untuk melakukan analisis proyeksi penutupan lahan kedepan. Molusce sendiri menggunakan *cellular automata* untuk memprediksi perubahan lahan dan metode *artificial neural network* untuk membuat model perubahan penutupan lahan.

Dalam melakukan prediksi perubahan lahan, Molusce memerlukan data raster penutupan lahan minimal tiga tahun, yaitu dua untuk t_0 (awal) dan t_1 (akhir), serta satunya untuk t_2 (validasi). Selain itu, jumlah kelas atau klasifikasi penutupan lahan harus sama, jika tidak maka Molusce tidak bisa berjalan dengan baik.

Dalam Molusce, panjang waktu prediksi adalah $t_1+(t_1-t_0)$, jadi misalnya t_0 yang ditentukan adalah 2006 dan t_1 yang ditentukan adalah 2020, maka Molusce akan memprediksi penutupan lahan tahun 2034. Selanjutnya Molusce memerlukan minimal satu *driving factor* (faktor pendorong) terjadinya perubahan penutupan lahan seperti jarak dari jalan atau kepadatan penduduk. Semua data raster juga harus memiliki resolusi spasial yang sama.

2.4.1. Cellular Automata

Cellular automata (otomata seluler) adalah model sederhana dari proses terdistribusi spasial (*spatial distributed process*) dalam SIG. Data terdiri dari susunan sel-sel (*grid*), dan masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya diperbolehkan berada di salah satu dari beberapa keadaan. Sel-sel tetangga (*neighborhoods*) merupakan bagian penting yang merepresentasikan kesatuan *cell* yang berinteraksi langsung dengan pusat *cell*. Jumlah dari sel tetangga sangat dipengaruhi oleh *lattice* dari sel tersebut. *Lattice* yang akan digunakan dalam sistem ini adalah berbentuk *square* dengan *cell* pusatnya yang berbentuk segi empat, maka sel-sel tetangganya akan semakin banyak. Sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem yang dinamis (Paramita, 2010 dalam Pratama, 2018).

Cellular automata merupakan suatu metode untuk memprediksi perubahan sistem dinamika yang bergantung pada aturan sederhana dan berkembang hanya menurut aturan tersebut dari waktu ke waktu. *Cellular automata* melakukan proses komputasi berdasar prinsip ketetanggaan sel (*neighbourhood*). *Cellular automata* sudah banyak dikembangkan untuk berbagai macam aplikasi antara lain untuk prediksi sedimentasi, pemodelan aliran granular, pemodelan arus lalu lintas, prediksi pertumbuhan pemukiman dan perubahan penggunaan lahan. *Cellular*

automata merupakan pendekatan komputasi berbasis keruangan yang memiliki keunggulan dalam mengakomodasi dimensi ruang, waktu dan atributnya. *Cellular automata* lebih realistis untuk menemukan rumus transisi yang merepresentasikan tenaga dorongan dan tarikan pada perubahan (Uktoro, 2013).

Kelemahan *cellular automata* adalah lebih menunjukkan proses pertumbuhan dan prediksi tumbuhnya suatu piksel namun tidak memberikan informasi penyebab tumbuhnya yaitu hubungan kekerabatan antar variabel terikat (*dependent variable*) dan variabel bebasnya (*independent variable*). Sedangkan suatu perubahan penggunaan lahan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang bersifat independen yang harus diakomodasi. Oleh karena itu metode ini sering dikombinasikan dengan metode lain guna mengatasi kelemahan untuk meningkatkan ketelitiannya (Peruge, et al., 2012).

2.4.2. Artificial Neural Network

Seiring dengan dengan berkembangnya ilmu komputasi, *Artificial Neural Network* (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan (JST) semakin banyak digunakan untuk berbagai aplikasi. Puspitaningrum (2006), menjelaskan bahwa ANN/JST merupakan representasi buatan dari otak manusia yang selalu mencoba mensimulasikan proses pembelajaran pada otak manusia tersebut. Istilah buatan digunakan karena jaringan syaraf ini diimplementasikan dengan menggunakan program komputer yang mampu menyelesaikan sejumlah proses perhitungan selama proses pembelajaran. Prinsip dasar pembelajaran JST hampir sama dengan sistem kerja otak manusia. Misal: kita ingin mengenalkan buah jeruk pada seorang bayi dengan cara mendekatkan buah jeruk tersebut pada bayi dan mengucapkan kata “jeruk” secara terus menerus maka secara perlahan bayi tersebut akan tahu (kenal) bahwa itu adalah buah jeruk. Jadi saat kita mengucapkan kata “jeruk” maka kekuatan koneksi sinaptik dalam sel syaraf bayi juga akan meningkat dan teraktivasi. Gambaran tersebut menunjukkan bahwa sel syaraf manusia memiliki kemampuan untuk belajar jaringan syaraf tiruan juga memiliki kemampuan untuk belajar hampir sama dengan syaraf pada manusia.

Setiap pola-pola informasi input dan output yang diberikan kedalam JST diproses dalam neuron. Neuron-neuron tersebut terkumpul di dalam lapisan-lapisan yang disebut *neuron layers*. Lapisan-lapisan penyusun JST tersebut dapat dibagi

menjadi 3 (Puspitaningrum, 2006), yaitu: (1) lapisan input, unit-unit di dalam lapisan input disebut unit-unit input. Unit-unit input tersebut menerima pola inputan data dari luar yang menggambarkan suatu permasalahan. (2) lapisan tersembunyi, unit-unit didalam lapisan tersembunyi disebut unit-unit tersembunyi. Dimana outputnya tidak dapat secara langsung diamati. (3) lapisan output, unit-unit di dalam lapisan output disebut unit-unit output. Output dari lapisan ini merupakan solusi JST terhadap suatu permasalahan.

Aplikasi yang sering menggunakan jaringan syaraf tiruan diantaranya (Kusumadewi, 2003):

1. Pengenalan pola, jaringan syaraf tiruan sering digunakan untuk pengenalan pola yang sudah sedikit berubah. Misalnya: pengenalan huruf, angka, suara atau tanda tangan. Mirip dengan otak manusia yang masih mampu mengenali orang yang sudah beberapa waktu tidak dijumpai.
2. *Signal processing*, jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk menekan *noise* dalam saluran telepon.
3. Peramalan, jaringan syaraf tiruan dapat meramalkan apa yang akan terjadi di masa yang akan datang berdasarkan pembelajaran pola kejadian yang ada di masa lalu.