

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan garis pantai adalah fenomena dinamis yang dapat terjadi secara bertahap maupun tiba-tiba sehingga dapat dianggap sebagai ancaman khususnya pada kota-kota pesisir yang berkembang pesat. Hal ini dapat menimbulkan kerugian karena berdampak pada kerusakan infrastruktur wilayah permukiman, gangguan kehidupan sosial dan stabilitas ekonomi di wilayah tersebut. Fenomena ini dapat dipicu oleh faktor alam maupun faktor buatan manusia. Faktor alam berasal dari proses abrasi dan akresi, sedangkan faktor buatan dapat berupa aktivitas reklamasi, pembangunan infrastruktur pesisir, perubahan tata guna lahan, dan konstruksi di wilayah pesisir (Nontji, 1987).

Kota Makassar merupakan kota terbesar kelima di Indonesia dan merupakan ibukota Provinsi Sulawesi Selatan yang berada di pesisir barat daya Pulau Sulawesi. Memiliki garis pantai sepanjang kurang lebih 32 kilometer dan populasi lebih dari 1,4 juta jiwa (2023), maka dari itu Kota Makassar mengalami tekanan pembangunan yang signifikan di kawasan pesisirnya. Kota ini mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang pesat sehingga semakin meningkatnya populasi, urbanisasi serta pembangunan infrastruktur pesisir. Semakin banyak aktivitas pembangunan dan permukiman akan mengakibatkan perubahan tutupan lahan dan tekanan terhadap ekosistem pesisir.

Kawasan pesisir Kota Makassar, khususnya di Kecamatan Biringkanaya, Tallo, dan Tamalanrea, mengalami dinamika perubahan garis pantai yang kompleks. Berdasarkan studi Umar dkk., (2019) di kawasan pesisir Kelurahan Untia, Kecamatan Biringkanaya menunjukkan perubahan garis pantai yang signifikan selama periode 2000-2018, dengan abrasi terbesar mencapai 44.729,03 m² dan akresi terbesar 90.616,53 m². Ketiga kecamatan pesisir ini memiliki karakteristik yang berbeda dalam menghadapi tekanan perubahan garis pantai, dimana Biringkanaya didominasi oleh proses abrasi dan akresi alamiah, Tallo mengalami tekanan pembangunan infrastruktur pelabuhan, dan Tamalanrea menghadapi kombinasi proses alamiah dan aktivitas pembangunan. Berdasarkan kondisi tersebut, kawasan pesisir Kota Makassar memiliki potensi terjadinya perubahan penggunaan lahan akibat dinamika perubahan garis pantai.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu metode untuk menganalisis dan memprediksi perubahan garis pantai serta dampaknya terhadap perubahan penggunaan lahan. Hal tersebut sebagai salah satu upaya dalam perencanaan tata ruang pesisir yang berkelanjutan, sekaligus dapat memberikan informasi dalam perencanaan pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir. Terdapat metode tradisional untuk pemantauan garis pantai, seperti survei lapangan dan interpretasi visual citra, akan tetapi dibatasi oleh cakupan yang terbatas, resolusi temporal yang rendah, dan biaya yang tinggi. Sebaliknya, teknologi *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) merupakan solusi sebagai metode analisis spasial dengan akurasi tinggi dan efisiensi yang baik. Keunggulan metode ini dapat menganalisis perubahan garis pantai dalam skala temporal yang panjang dan biaya yang relatif rendah, dengan memanfaatkan citra satelit multitemporal. Teknologi DSAS dapat mengukur laju perubahan garis pantai dengan akurasi tinggi dan visualisasi yang komprehensif (Marfai dan King, 2007).

Penelitian terdahulu oleh Anggereni (2018) menemukan bahwa kawasan pesisir Kota Makassar mengalami perubahan garis pantai yang signifikan akibat berbagai faktor, baik alamiah maupun antropogenik. Namun, penelitian tersebut belum mengintegrasikan analisis perubahan garis pantai dengan prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan pendekatan *machine learning*. Untuk prediksi perubahan penggunaan

lahan, teknik *machine learning Random Forest* dipilih karena keunggulannya dalam menangani data spasial yang kompleks dan multivariabel dengan akurasi prediksi yang baik (Georganos dkk., 2018). Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan DSAS dan *Random Forest* untuk memberikan analisis yang lebih komprehensif dan akurat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan studi analisis dan prediksi perubahan lahan akibat perubahan garis pantai di pesisir Kota Makassar dengan memanfaatkan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* dan *Random Forest*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap penyusunan kebijakan tata ruang pesisir yang lebih adaptif dan berkelanjutan, khususnya untuk kawasan pesisir Kecamatan Biringkanaya, Tallo, dan Tamalanrea di Kota Makassar.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

- a. Menganalisis perubahan luas penggunaan lahan yang dipengaruhi oleh perubahan garis pantai di wilayah pesisir Kota Makassar.
- b. Menganalisis dinamika perubahan penggunaan lahan akibat perubahan garis pantai selama periode 2004-2024 di wilayah pesisir Kota Makassar.
- c. Memprediksi perubahan garis pantai dan perubahan penggunaan lahan tahun 2034 menggunakan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* *Random Forest*.

1.2.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi yang komprehensif mengenai perubahan luas penggunaan lahan yang dipengaruhi oleh perubahan garis pantai di wilayah pesisir Kota Makassar. Penelitian ini juga memberikan gambaran mengenai dinamika perubahan penggunaan lahan selama periode 2004–2024, sehingga dapat menjadi dasar dalam memahami tren alih fungsi lahan di wilayah pesisir. Selain itu, penelitian ini menghasilkan prediksi perubahan garis pantai dan penggunaan lahan berdasarkan tren perubahan garis pantai tahun 2034 menggunakan *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* dan *Random Forest*, yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi pemerintah daerah dalam perencanaan tata ruang wilayah pesisir. Temuan penelitian ini tidak hanya bermanfaat bagi pengambilan keputusan dan perencanaan pembangunan daerah, tetapi juga memberikan kontribusi akademis dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang penataan lahan dan kajian perubahan garis pantai.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir merupakan bagian dari kawasan perairan yang kaya akan sumber daya alam dan memiliki nilai strategis bagi pembangunan nasional. Keistimewaan wilayah ini terletak pada keberadaan sumber daya yang berasal tidak hanya dari laut, tetapi juga dari daratan sekitarnya (Nontji, 1987). Kombinasi potensi dari dua ekosistem ini menjadikan wilayah pesisir sebagai aset strategis yang dapat menunjang pembangunan nasional, selain sumber daya dari wilayah darat (Clark, 1996).

Sumber daya di kawasan pesisir tergolong dinamis dan kompleks, karena terbentuk dari interaksi antara berbagai faktor lingkungan, seperti proses kelautan,

daratan, dan atmosfer. Dinamika ini menyebabkan wilayah pesisir rentan terhadap berbagai tekanan, baik dari aktivitas alamiah maupun campur tangan manusia. Interaksi yang berkelanjutan antara kedua faktor tersebut menciptakan ekosistem yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan (Departemen Kelautan dan Perikanan RI, 2002).

Pemanfaatan dan pengembangan sumber daya alam di kawasan pesisir memiliki peran penting dalam mendorong kemajuan suatu daerah. Sektor-sektor seperti perikanan, pariwisata, transportasi laut, dan industri pesisir memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian daerah. Aspek-aspek seperti pertumbuhan ekonomi, pembangunan wilayah, serta dinamika sosial dan budaya masyarakat lokal dapat terdorong secara positif melalui pengelolaan pesisir yang berkelanjutan (Teja, 2015).

Wilayah pesisir merupakan area yang secara alami mengalami perubahan terus-menerus, baik secara perlahan maupun cepat. Perubahan ini terjadi karena wilayah pesisir berada pada zona pertemuan antara dua kekuatan besar, yaitu dari darat dan laut. Salah satu bentuk dinamika yang paling nyata adalah perubahan garis pantai, yang disebabkan oleh bertemunya antara laut dan daratan di kawasan ini. Seiring waktu, perubahan dapat berlangsung secara lambat maupun cepat, tergantung pada karakteristik geologis, bentuk lahan (fisiografi), serta intensitas aktivitas manusia di sekitarnya.

Ketika perubahan tersebut tidak dikelola secara tepat, maka dapat memicu ketidakseimbangan antara ketersediaan sumber daya dan kebutuhan manusia, terutama dalam konteks penggunaan lahan. Ketidakseimbangan antara ketersediaan sumber daya dan kebutuhan pemanfaatan (*supply-demand*) dapat menyebabkan degradasi lingkungan. Oleh karena itu, aktivitas pemanfaatan lahan di wilayah pesisir harus mempertimbangkan kesesuaian antara daya dukung lingkungan dan intensitas pembangunan yang berlangsung. Seluruh aktivitas di kawasan pesisir sebaiknya dilakukan dengan memperhatikan kesesuaian antara kemampuan lahan dan peruntukannya.

Pengaturan penggunaan lahan yang adaptif dan berbasis data menjadi sangat penting untuk mencegah kerusakan lingkungan yang lebih luas. Upaya menjaga keberlanjutan wilayah pesisir perlu diwujudkan melalui perencanaan tata ruang yang disusun secara partisipatif dan melibatkan berbagai pemangku kepentingan. Hal ini dapat diwujudkan melalui perencanaan tata ruang pesisir yang disusun secara kolaboratif antar instansi, agar penggunaan lahan tetap sesuai dengan potensi dan keterbatasan wilayah tersebut (Soeradji, 1993).

1.3.1.1 Karakteristik Wilayah Studi

Kota Makassar merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang terletak di wilayah pesisir bagian barat daya Pulau Sulawesi. Kota ini memiliki garis pantai sepanjang kurang lebih 35,52 km dan mencakup 11 pulau kecil dengan total luas wilayah mencapai sekitar 122.370 hektar atau sekitar 1,1% dari total daratannya. Kondisi ini menjadikan Kota Makassar sebagai kawasan pesisir yang memiliki potensi tinggi, khususnya di sektor kelautan dan pariwisata (Perda Kota Makassar No 4, 2015)

Wilayah pesisir Kota Makassar memiliki sumber daya alam, seperti perikanan, mineral, energi, serta berfungsi sebagai jalur transportasi laut dan destinasi wisata bahari (Perda Kota Makassar No 4, 2015). Namun, kawasan ini menghadapi tantangan besar akibat terjadinya abrasi dan kenaikan muka air laut yang menyebabkan wilayah pesisir

mengalami kemunduran garis pantai setiap tahunnya. Perubahan garis pantai dipicu oleh faktor alami seperti gelombang laut, angin lokal, pasang surut, dan arus susur pantai. Minimnya struktur pelindung seperti pemecah gelombang dan hutan mangrove memperparah proses erosi yang terjadi. Jika tidak segera diatasi, kondisi ini dapat mengancam kawasan wisata pantai dan menghambat pengembangan sektor kelautan di Kota Makassar (Nur dan Herman, 2024).

Selain itu, kawasan pesisir Kota Makassar juga menghadapi persoalan dalam pengelolaan dan pemanfaatan ruang. Beberapa pemanfaatan lahan dinilai tidak memperhatikan kondisi fisik dan dinamika wilayah pesisir, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian fungsi ruang. Padahal, wilayah pesisir Makassar merupakan titik awal perkembangan kota dan memiliki peran penting dalam sistem permukiman (Nur, S, dan Herman, 2024). Menurut Doxiadis (1974), permukiman mencakup lima unsur utama, yaitu alam, manusia, masyarakat, ruang kehidupan, dan jaringan. Sementara Kuswartojo dan Suparti (1997) menekankan bahwa permukiman merupakan bagian dari lingkungan hidup yang mendukung aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat, baik di kawasan perkotaan maupun perdesaan.

Dalam konteks pengendalian pemanfaatan ruang, Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang mengatur adanya instrumen insentif dan disinsentif sebagai alat pengendali pembangunan. Hal ini bertujuan agar pertumbuhan kota dapat diarahkan secara positif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, evaluasi terhadap kondisi pengendalian pemanfaatan ruang di kawasan pesisir Kota Makassar menjadi penting untuk memastikan bahwa rencana tata ruang yang telah ditetapkan dapat berjalan secara efektif dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

1.3.2 Perubahan Garis Pantai

Garis pantai merupakan batas antara daratan dan laut yang terbentuk saat pasang tertinggi (*High Water Mark*) dan memiliki sifat yang sangat dinamis (Tarigan, 2010). Sebagai batas alami antara dua ekosistem yang berbeda, garis pantai sering dijadikan acuan dalam penentuan batas administratif wilayah suatu negara atau daerah. Dinamika garis pantai menjadi penting untuk diperhatikan karena pergeserannya dapat berdampak signifikan terhadap kondisi fisik dan sosial-ekonomi wilayah pesisir (Lubis dkk., 2017).

Perubahan garis pantai dipengaruhi oleh berbagai faktor fisik dan antropogenik yang bekerja secara kompleks. Faktor-faktor utama yang memengaruhi laju dan arah perubahan garis pantai meliputi topografi pantai, jenis batuan dan tanah, karakteristik geologis, serta kekuatan dan arah gelombang, arus, dan angin (Opa, 2011). Selain faktor alami tersebut, adanya intervensi manusia seperti reklamasi, pembangunan pelabuhan, dan konversi lahan juga berperan signifikan dalam mengubah dinamika garis pantai. Kombinasi dari proses-proses seperti pergerakan sedimen, arus sejajar pantai (*longshore current*), dan aktivitas gelombang menjadikan setiap wilayah pesisir memiliki karakter perubahan yang unik (Arief, M dkk., 2011).

Perubahan garis pantai merupakan proses yang berlangsung secara terus-menerus dalam skala waktu yang beragam, baik musiman maupun tahunan, dan sangat tergantung pada kondisi lingkungan setempat. Mills dkk., (2005) menyebutkan bahwa dinamika ini sejajar dengan perubahan lain di lingkungan pesisir seperti evolusi delta dan perubahan batimetri laut dangkal. Proses ini berlangsung secara gradual dan tidak

bersifat instan, sehingga pemantauan jangka panjang menjadi sangat penting untuk memahami tren dan pola pergerakannya (Mills, J.P. dkk., 2005).

Dari sudut pandang klasifikasi, perubahan garis pantai dapat dibedakan menjadi dua kategori utama berdasarkan arah perubahannya. Menurut Sutikno (1993), garis pantai *prograding* (akresi) terjadi ketika wilayah pantai mengalami kemajuan akibat sedimentasi atau pengangkatan tanah, sementara garis pantai *retrograding* (abrasi) terjadi karena adanya pengikisan atau penurunan lahan. Dinamika ini dipengaruhi oleh siklus pasang surut, gelombang, arus laut, dan angin yang bekerja secara kontinyu dalam mempengaruhi perubahan garis pantai (Setyawan dkk., 2021).

Penelitian Sakka dan Baharuddin (2021) di Pantai Ujung Pandaran, Kalimantan Tengah, menunjukkan bahwa abrasi pantai dapat diantisipasi melalui kombinasi metode struktur keras seperti sabuk pantai dan revetment. Hasil pemodelan numerik gelombang dan pengaruh konstruksi pantai pada studi tersebut menegaskan pentingnya analisis dinamika gelombang dan transport sedimen dalam memahami perubahan garis pantai (Sakka dan Baharuddin, 2021). Temuan ini memperkuat pandangan bahwa baik faktor alamiah maupun aktivitas manusia memiliki peran besar dalam proses abrasi dan akresi di berbagai wilayah pesisir Indonesia, termasuk Makassar.

Di Makassar sendiri, Sakka dkk. (2011) menganalisis perubahan garis pantai di Delta Sungai Jeneberang menggunakan citra satelit Landsat tahun 1990, 1999, 2003, dan 2008. Hasilnya menunjukkan abrasi signifikan di Pantai Tanjung Bunga dengan kemunduran garis pantai sekitar 66,9–190,3 m, sedangkan akresi dominan terjadi di Pantai Tanjung Merdeka bagian selatan dan Pantai Barombong bagian utara. Perubahan ini dipicu berkurangnya suplai sedimen akibat penutupan muara utara Sungai Jeneberang serta orientasi pantai yang menerima energi gelombang tinggi dari arah barat dan barat daya (Sakka dkk., 2011). Meskipun lokasi tersebut berbeda dengan fokus penelitian ini (Kecamatan Biringkanaya, Tallo, dan Tamalanrea), studi Sakka dkk. tetap memberikan gambaran empiris perubahan garis pantai di Makassar dan menunjukkan pemanfaatan citra satelit sebagai sarana pemantauan spasial dan temporal yang juga digunakan dalam penelitian ini.

Dampak perubahan garis pantai tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga memengaruhi penggunaan lahan dan aspek sosial-ekonomi di sekitarnya. Proses abrasi dapat menyebabkan hilangnya kawasan terbangun seperti permukiman dan fasilitas infrastruktur, sementara proses akresi menciptakan daratan baru yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan (Palisu dkk., 2022). Di sisi lain, aktivitas reklamasi yang tidak terencana dapat menimbulkan tekanan ekologis dan perubahan tutupan lahan yang drastis. Berdasarkan berbagai kajian, pemahaman terhadap pola perubahan garis pantai menjadi kunci dalam menyusun kebijakan penataan ruang yang adaptif dan berkelanjutan di wilayah pesisir (Hastuti, 2012).

1.3.3 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan (*land use*) merupakan segala bentuk aktivitas manusia yang berhubungan langsung dengan lahan dan berdampak pada fungsinya. Aktivitas ini mencakup pemanfaatan lahan untuk berbagai kebutuhan seperti permukiman, pertanian, kehutanan, industri, dan infrastruktur. Penggunaan lahan telah dikaji dari berbagai sudut pandang, namun secara umum merujuk pada hubungan manusia dengan lahan untuk menunjang kehidupannya (Baja, 2012).

Menurut Baja (2012), penggunaan lahan adalah segala aktivitas manusia yang secara langsung berkaitan dengan lahan, yang menyebabkan dampak terhadap lahan, seperti pada budidaya tanaman pangan, hutan, atau pembangunan perumahan. Definisi ini membedakan penggunaan lahan dari penutupan lahan (*land cover*), yang lebih menekankan pada objek fisik yang menutupi permukaan tanah, tanpa memperhatikan aktivitas manusia terhadap objek tersebut.

Penutupan lahan merupakan perwujudan secara fisik dari objek-objek di permukaan bumi seperti vegetasi alami atau buatan. Penutupan lahan dapat dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu wilayah yang bervegetasi dan tidak bervegetasi. Penentuan kelas penutupan lahan dilakukan berdasarkan struktur fisiognomi tumbuhan (bentuk, tinggi, kepadatan), atau aspek permukaan lainnya seperti air, bangunan, dan permukaan keras lainnya (BSN, 2014).

Penggunaan lahan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik lingkungan seperti iklim, topografi, dan sumber daya yang tersedia (Lestari and Arsyad, 2018). Dalam konteks penginderaan jauh, perubahan penggunaan lahan sering tidak langsung tampak pada citra satelit, sehingga diperlukan analisis lanjutan untuk menginterpretasikannya (Yollanda, 2011). Penggunaan lahan dan penutupan lahan merupakan konsep penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya lahan karena keduanya saling memengaruhi satu sama lain (Lillesand, T.M. dan Kiefer, 1993).

Perubahan penggunaan lahan (*land use change*) terjadi sebagai respons terhadap tekanan lingkungan, pertumbuhan penduduk, serta kebijakan pembangunan, dan biasanya dapat diamati melalui data spasial seperti peta tematik atau citra satelit multitemporal. Perubahan ini bisa berupa konversi fungsi (misalnya dari hutan ke permukiman) atau diversifikasi fungsi dalam lahan yang sama. Dampak perubahan penggunaan lahan sangat luas, termasuk pada pola aliran sungai, aliran permukaan, dan sifat hidrologis suatu wilayah (Mayer, A.L. dan Turner, 1994). Adapun klasifikasi penggunaan lahan Kota Makassar (Umar dkk., 2023).

Tabel 1. Klasifikasi Penggunaan Lahan (Umar dkk., 2023)

No	Penggunaan Lahan
1	Badan Air
2	Hutan Tanaman
3	Rumput
4	Belukar Rawa
5	Lahan Pertanian
6	Semak Belukar
7	Kawasan Terbangun
8	Tanah Kosong

1.3.4 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan data yang memiliki referensi geografis (Muryani, C. dan Estoque, 2010). SIG tidak hanya berfungsi sebagai alat teknis untuk pemetaan, tetapi juga sebagai sistem yang mendukung pengambilan keputusan berbasis spasial, khususnya untuk keperluan pembangunan dan pengelolaan wilayah (Muzani, 2021). Sistem Informasi Geografis

(SIG) juga tidak lepas dari data spasial yang merupakan sebuah data yang mengacu pada posisi, obyek dan hubungan di antaranya dalam ruang bumi (Irwansyah, 2013).

Data dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) terdiri atas dua jenis utama, yaitu data spasial dan data atribut (Sumantri dkk., 2019):

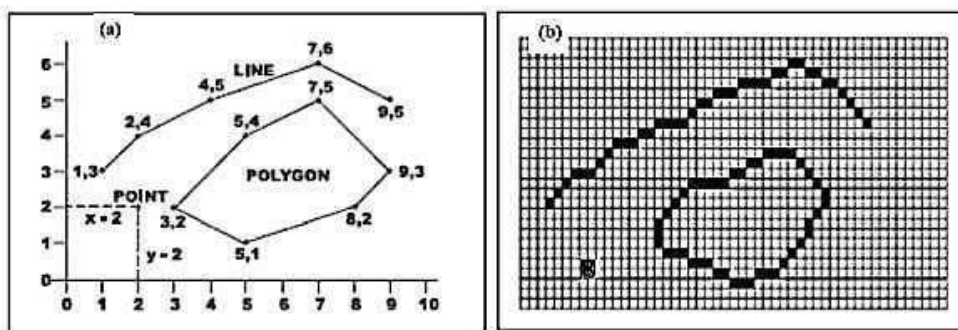
1. Data spasial adalah data yang bereferensi geografis atas representasi objek di permukaan bumi. Data ini umumnya diperoleh dari berbagai sumber seperti peta analog, foto udara, citra satelit, survei lapangan, pengukuran theodolite, hingga penggunaan teknologi GPS. Dalam perkembangannya, peta tidak hanya menggambarkan objek yang ada di permukaan bumi, tetapi juga mencakup representasi objek yang berada di atas (seperti awan, pesawat) maupun di bawah permukaan bumi (seperti akuifer dan struktur geologi). Penyajian data spasial terbagi menjadi dua model utama, yaitu:

a) Model Vektor

Model ini menampilkan, menempatkan, dan menyimpan data spasial menggunakan titik, garis, kurva, dan poligon beserta atribut-atributnya. Representasi ini berbasis sistem koordinat Kartesius dua dimensi (x, y). Titik digunakan untuk objek kecil seperti sumur atau tiang listrik, garis untuk jalan atau sungai, dan poligon untuk area seperti danau, hutan, atau wilayah administrasi. Model vektor sangat cocok untuk analisis yang membutuhkan ketelitian batas-batas wilayah atau bentuk spasial objek yang presisi.

b) Model Raster

Model raster menampilkan dan menyimpan data spasial dalam bentuk struktur grid atau piksel (*picture elements*), yang masing-masing menyimpan nilai atribut tertentu. Piksel-piksel ini membentuk bidang referensi horizontal dan vertikal yang terbagi menjadi kotak-kotak kecil. Resolusi spasial data raster sangat tergantung pada ukuran pikselnya; semakin kecil ukuran piksel, semakin tinggi resolusi dan detail informasi yang ditampilkan. Model ini umum digunakan untuk data hasil penginderaan jauh seperti citra satelit dan foto udara.



Gambar 1. (a) Data vektor (b) Data raster
(Sumber: Sumantri dkk., 2019)

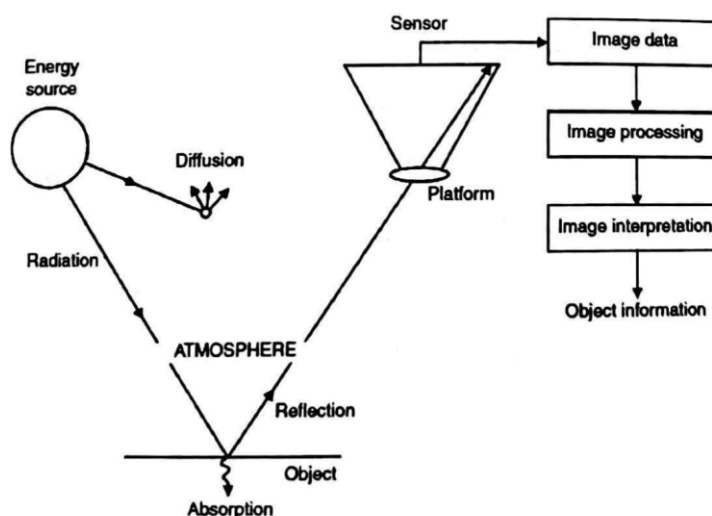
2. Data atribut adalah data yang mendeskripsikan karakteristik suatu objek tanpa menunjukkan lokasinya secara langsung. Data ini meliputi informasi kualitatif seperti jenis fasilitas atau klasifikasi lahan, serta informasi kuantitatif seperti ukuran, volume, atau kepadatan.

1.3.5 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan salah satu metode untuk memperoleh informasi mengenai objek dan fenomena yang ada di permukaan bumi. Informasi tersebut berupa citra permanen gambaran objek yang divisualisasikan sebagai sebaran nilai spektral hasil mengindra permukaan bumi. Informasi yang terkandung dalam citra penginderaan jauh tersebut sangat membantu dalam melakukan analisis spasial mengenai bumi. Selanjutnya, data penginderaan jauh merupakan alat yang paling tepat dipergunakan untuk membantu memahami sistem bumi.

Data penginderaan jauh adalah data yang diperoleh dari hasil mengindra di atas permukaan bumi dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan objek dan fenomena yang sedang dikaji. Perolehan data dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh menghasilkan data-data geospasial yang *real time* dan memenuhi kebutuhan akan informasi keruangan yang bersifat multi. Kebutuhan akan informasi geospasial yang cepat, akurat, dan *real time* telah menjadi kebutuhan yang sangat penting saat ini (Surjati, 2022).

Penginderaan jauh 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, T.M. dan Kiefer, 1993). Tanpa kontak langsung dengan objek yang dikaji berarti ada energi yang mendukung proses perolehan data tanpa kontak langsung tersebut. Energi tersebut adalah sinar matahari yang merupakan sumber energi utama yang dipergunakan dalam penginderaan jauh. Energi dari matahari yang sampai ke permukaan bumi akan mengalami interaksi dalam bentuk penyerapan, penerusan, pembiasan, dan pantulan (Surjati, 2022).



Gambar 2. Prinsip Penginderaan Jauh
(Sumber: Konechy, 2003)

Karakteristik dari interaksi objek di permukaan bumi dengan energi matahari tersebut dicerminkan dalam bentuk perbedaan rona dalam citra. Objek yang banyak

memantulkan energi akan mempunyai rona yang cerah dan objek yang banyak menyerap energi akan mempunyai rona yang gelap. Tujuan utama penginderaan jauh adalah untuk mengumpulkan data sumber daya alam dan lingkungan. Biasanya teknik ini menghasilkan beberapa bentuk citra yang selanjutnya diproses dan interpretasi guna membuahkan data yang bermanfaat untuk aplikasi di bidang pertanian, arkeologi, kehutanan, geografi, geologi, perencanaan, dan bidang-bidang lainnya. Keberhasilan terapan penginderaan jauh meningkat cukup berarti dengan menggunakan pendekatan konsep multi yang mencakup resolusi spasial, spektral, dan temporal. Konsep multi tersebut memungkinkan data penginderaan jauh dikumpulkan dari berbagai ketinggian terbang. Sedangkan untuk multispektral dimana data diperoleh pada beberapa saluran spektral secara bersama-sama ataupun dapat juga diperoleh dengan penginderaan multiwaktu (multitemporal) di mana data suatu daerah dikumpulkan dengan lebih dari satu tanggal perekaman (Surjati, 2022).

Kemajuan teknologi dalam bidang penginderaan jauh terus mengalami peningkatan yang signifikan, terutama dalam hal resolusi spasial dan spektral sensor satelit pengamatan sumber daya alam (Surjati, 2022). *United States Geological Survey* (USGS) Amerika Serikat mencatat bahwasannya peluncuran satelit Landsat dimulai pada tahun 1972 dengan generasi pertama yaitu Landsat 1, disusul oleh Landsat 2 pada 22 Januari 1975, Landsat 3 pada 5 Maret 1978, kemudian Landsat 4 pada 16 Juli 1982, dan Landsat 5 yang diluncurkan pada 1 Maret 1984. Seiring perkembangan teknologi dan kebutuhan data yang lebih akurat, generasi berikutnya, yaitu Landsat 7 pada 15 April 1999 dan Landsat 8 pada 11 Februari 2013, dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan pengamatan dan akurasi data.

1.3.5.1 Citra Satelit Landsat 8 OLI (*Operational Land Manager*)

Landsat 8 merupakan satelit yang dilengkapi sensor OLI, yang memiliki keunggulan dalam hal spektrum yang lebih sempit serta penambahan dua kanal baru, sehingga total terdapat 11 band. Sensor ini dikenal memiliki akurasi geodetik dan geometrik yang lebih baik dibandingkan satelit Landsat sebelumnya (Niagara dkk., 2020). Selain itu, Landsat 8 juga memiliki kelebihan lain, seperti resolusi spasial 30 meter untuk kanal multispektral, 15 meter untuk kanal pankromatik, dan 100 meter untuk kanal termal. Pengambilan data dilakukan secara berkala setiap 16 hari, sehingga sangat mendukung pemantauan wilayah dalam jangka panjang. Data dari Landsat 8 juga sangat kaya secara spektral dan tersedia dalam arsip jangka panjang, menjadikannya sangat bermanfaat untuk berbagai keperluan seperti pemetaan hutan, pertanian, geologi, hingga perencanaan tata guna lahan (Maksum dkk., 2016). Informasi mengenai panjang gelombang dan resolusi spasial diuraikan dalam Tabel 2 (Butler, K. dan Kevin, 2013).

Tabel 2. Resolusi Spasial Landsat 8 (Butler, K. dan Kevin, 2013)

Band Landsat 8	Nama Band	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi Spasial (m)
B1	Coastal	0.43-0.45	30
B2	Blue	0.45-0.51	30
B3	Green	0.53-0.59	30
B4	Red	0.64-0.67	30
B5	NIR	0.85-0.88	30
B6	SWIR 1	1.57-1.65	30
B7	SWIR 2	2.11-2.29	30

B8	Pan	0.50-0.68	15
B9	Cirrus	1.36-1.38	30
B10	TIRS 1	10.6-11.19	100
B11	TIRS 2	11.5-12.51	100

Kombinasi kanal (band) pada citra Landsat dapat menghasilkan variasi warna dan tingkat kecerahan yang merepresentasikan karakteristik objek di permukaan bumi. Melalui kombinasi ini, berbagai jenis penutup lahan seperti vegetasi, badan air, hingga kawasan terbangun dapat diidentifikasi secara visual. Selain itu, data citra satelit Landsat 8 OLI juga banyak dimanfaatkan dalam pemetaan penggunaan lahan, interpretasi geologi, serta ekstraksi garis pantai menggunakan metode NDWI, yang efektif dalam membedakan batas antara daratan dan perairan (Susilowati dkk., 2021).

Pengolahan citra Landsat 8 OLI, dapat dilakukan dengan pendekatan klasifikasi terarah (*supervised classification*) untuk menghasilkan peta tutupan lahan. Interpretasi visual citra dalam proses klasifikasi mempertimbangkan tujuh unsur dasar interpretasi citra, yaitu bentuk, ukuran, warna, tekstur, pola, bayangan, dan asosiasi, guna mengenali objek permukaan bumi secara lebih akurat (Siregar dan Asbi, 2020). Dalam proses analisis dan klasifikasi citra, penggunaan kombinasi kanal (RGB) disesuaikan dengan tujuan aplikasi. Kombinasi ini berperan penting dalam menampilkan fitur-fitur tertentu, seperti vegetasi, perairan, dan wilayah terbangun (Butler, K. dan Kevin, 2013).

Tabel 3. Kombinasi Band Landsat pada beberapa aplikasi (Butler, K. dan Kevin, 2013)

Aplikasi	Band
Natural Color	4,3,2
False Color (Urban)	7,6,4
Color Infrared (Vegetation)	5,4,3
Agriculture	6,5,2
Healthy Vegetation	5,6,2
Land/Water	5,6,4
Natural with Atmospheric Removal	7,5,3
Shortwave Infrared	7,5,4
Vegetation Analysis	6,5,4

1.3.5.2 Citra Satelit Landsat 5 TM

Landsat 5 merupakan bagian dari program satelit Landsat yang diluncurkan oleh NASA pada 1 Maret 1984. Satelit ini membawa sensor *Thematic Mapper* (TM), yang merupakan pengembangan dari sensor sebelumnya dengan peningkatan jumlah kanal spektral dan resolusi spasial. Sensor TM memiliki tujuh kanal spektral, dengan resolusi spasial 30 meter untuk kanal multispektral dan 120 meter untuk kanal termal, serta siklus perekaman ulang (*revisit time*) setiap 16 hari (USGS, 2025).

Sensor ini dirancang untuk menangkap karakteristik permukaan bumi melalui kombinasi kanal tertentu. Misalnya, kombinasi kanal 4-3-2 umum digunakan untuk memetakan tutupan vegetasi, sedangkan kombinasi 5-4-3 sering dimanfaatkan untuk mendeteksi perubahan penggunaan lahan. Sensor TM juga digunakan dalam pemantauan kualitas air dan ekstraksi garis pantai menggunakan indeks seperti NDWI (*Normalized Difference Water Index*) (Danoedoro P., 2012).

Meskipun awalnya hanya dirancang untuk masa operasi tiga tahun, Landsat 5 TM beroperasi lebih dari 29 tahun, tentunya ini menjadikannya sebagai salah satu sistem

penginderaan jauh paling andal dalam sejarah pengamatan bumi. Masa operasionalnya secara resmi dihentikan pada tanggal 5 Juni 2013 oleh USGS karena adanya gangguan sistem transmisi data (USGS, 2025). Tabel 3 berikut menunjukkan panjang gelombang dan resolusi spasial masing-masing kanal pada sensor TM.

Tabel 4. Resolusi Spasial Landsat 5 TM (Chander dkk., 2009)

Band Landsat 8	Nama Band	Panjang Gelombang (μm)	Resolusi Spasial (m)
B1	Green	0.45-0.52	30
B2	Blue	0.52-0.60	30
B3	Red	0.63-0.69	30
B4	NIR	0.76-0.90	30
B5	SWIR 1	1.55-1.75	30
B6	TIR	10.40-12.50	120
B7	SWIR 2	2.08-2.35	30

Sensor *Thematic Mapper* (TM) pada Landsat 5 memiliki tujuh kanal spektral yang dirancang untuk merekam informasi dari permukaan bumi pada berbagai rentang panjang gelombang. Beberapa kombinasi kanal yang umum digunakan, seperti kombinasi band 4-3-2, sering diaplikasikan untuk memetakan tutupan vegetasi karena mampu membedakan kondisi vegetasi sehat dan tidak sehat secara visual. Sementara itu, kombinasi band 5-4-3 banyak dimanfaatkan dalam analisis perubahan penggunaan lahan serta studi spasial lainnya. Kombinasi-kombinasi band ini sangat berguna dalam proses klasifikasi tutupan lahan secara klasifikasi termimbimbing (*supervised*), dengan memperhatikan unsur interpretasi visual seperti warna, bentuk, pola, ukuran, serta asosiasi antar objek (Danoedoro P., 2012).

1.3.5.3 NDWI

Dalam konteks penginderaan jauh, analisis perubahan garis pantai dapat dilakukan melalui pemanfaatan citra satelit dengan berbagai pendekatan metodologi. Perubahan dan deteksi garis pantai dapat dilakukan menggunakan teknologi citra satelit penginderaan jauh. Implementasi deteksi garis pantai sendiri dapat diterapkan melalui dua pendekatan utama, yaitu metode manual dengan teknik digitasi dan metode otomatis menggunakan algoritma deteksi tepi (Heriati, A. dan Husrin, 2017).

Karakteristik spektral yang berbeda dari setiap tipe pantai memberikan tantangan tersendiri dalam proses deteksi garis pantai. Penelitian yang dilakukan oleh Ginting dkk. (2020) di wilayah pesisir Pulau Flores Timur dan Pulau Adonara Barat mengkaji tiga tipe pantai yang berbeda, meliputi pantai tebing berbatu, pantai berpasir, dan pantai berbakau. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat kombinasi band inframerah dekat (*Near-Infrared*) dan band hijau (*Green*) pada citra Landsat yang memberikan hasil deteksi batas tepi yang juga paling optimal untuk ketiga variasi tipe pantai yang diteliti tersebut (Ginting dkk., 2020).

Normalized Difference Water Index (NDWI) merupakan salah satu indeks yang efektif untuk membedakan objek air dan non-air dalam citra satelit. Anggraini et al. (2017) dan Danoedoro (2012) menegaskan bahwa band *Near-Infrared* (NIR) pada citra satelit memiliki kemampuan yang bagus dibandingkan band spektral lainnya dalam mengidentifikasi garis pantai, sehingga analisis spasial dapat dioptimalkan melalui teknologi penginderaan jauh.

Implementasi algoritma NDWI dalam penelitian ini menggunakan band 3 (hijau) dan band 5 (*Near-Infrared*) dari citra Landsat 8 sebagai input data. Interpretasi hasil perhitungan NDWI mengacu pada kriteria yang ditetapkan oleh Anggraini et al. (2017) dan McFeeters (2013), dimana nilai NDWI yang kurang dari atau sama dengan nol mengindikasikan objek non-air, sedangkan nilai yang lebih besar dari nol menunjukkan keberadaan objek air. Pendekatan ini memungkinkan klasifikasi yang lebih akurat dalam membedakan batas antara daratan dan perairan pada area pesisir (Prayogo, 2021).

NDWI diformulasikan sebagai berikut :

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

1.3.6 Digital Shoreline Analysis System (DSAS)

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *United States Geological Survey* (USGS) untuk menganalisis perubahan garis pantai secara kuantitatif menggunakan data vektor dalam lingkungan Sistem Informasi Geografis. DSAS beroperasi sebagai *add-in* untuk *software* ArcGIS dan menyediakan berbagai metode statistik untuk menghitung laju perubahan garis pantai berdasarkan data historis multi-temporal.

Prinsip kerja DSAS didasarkan pada pembuatan transek tegak lurus terhadap garis pantai yang berfungsi sebagai *baseline* untuk mengukur jarak perubahan posisi garis pantai dari waktu ke waktu. Sistem ini secara otomatis menghasilkan transek-transek dengan interval yang dapat disesuaikan oleh pengguna, kemudian menghitung titik perpotongan antara setiap transek dengan garis pantai dari berbagai periode waktu. Dari data perpotongan ini, DSAS menghitung berbagai parameter statistik yang menggambarkan karakteristik perubahan garis pantai. DSAS menyediakan empat metode perhitungan untuk menganalisis laju perubahan garis pantai (Thieler dkk., 2009).

1. *Net Shoreline Movement* (NSM), mengukur jarak total perubahan posisi garis pantai antara garis pantai tertua dan terbaru.

$$NSM = S_{akhir} - S_{awal} \quad (2)$$

Di mana S_{akhir} adalah posisi garis pantai terbaru dan S_{awal} adalah posisi garis pantai paling awal.

2. *Shoreline Change Envelope* (SCE) yang mengukur jarak maksimum antara semua garis pantai yang dianalisis.
3. *End Point Rate* (EPR) yang menghitung laju perubahan linier berdasarkan jarak NSM dibagi dengan rentang waktu pengamatan.

$$EPR = \frac{S_{akhir} - S_{awal}}{T_{akhir} - T_{awal}} \quad (3)$$

4. *Linear Regression Rate* (LRR) yang menggunakan metode regresi linier untuk menghitung laju perubahan dengan mempertimbangkan semua posisi garis pantai yang tersedia.

$$Y = a + bX \quad (4)$$

Di mana, Y adalah posisi garis pantai, X adalah waktu (tahun), b adalah koefisien regresi linier yang mewakili laju perubahan garis pantai (m/tahun), dan a adalah konstanta.

Adapun klasifikasi garis pantai berdasarkan EPR, LRR, NSM.

Tabel 5. Klasifikasi garis pantai berdasarkan EPR, LRR, dan LMS (Nassar dkk., 2018)

Category	Rate of Shoreline Change (m/year)	Shoreline Classification
1	> -2	<i>Very high erosion</i>
2	>-1 and <-2	<i>High erosion</i>
3	>0 and <-1	<i>Moderate erosion</i>
4	0	<i>Stable</i>
5	>0 and <+1	<i>Moderate accretion</i>
6	>+1 and <+2	<i>High accretion</i>
7	>+2	<i>Very high accretion</i>

Keunggulan DSAS terletak pada kemampuannya menghasilkan analisis yang komprehensif dan terstandarisasi untuk berbagai skala penelitian. Sistem ini dapat menangani data garis pantai dalam format yang beragam, mulai dari hasil digitasi manual hingga ekstraksi otomatis dari citra satelit atau *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Selain itu, DSAS juga menyediakan parameter statistik seperti *coefficient of determination* (R^2), *standard error*, dan *confidence interval* yang memungkinkan evaluasi kualitas dan reliabilitas hasil analisis (Thieler dkk., 2009).

Dalam konteks penelitian perubahan garis pantai di Indonesia, DSAS telah diaplikasikan secara luas untuk berbagai studi kasus, mulai dari analisis abrasi pantai hingga evaluasi dampak pembangunan pesisir. Kemampuan DSAS dalam mengintegrasikan data multi-temporal dan menghasilkan visualisasi spasial yang informatif menjadikannya alat yang sangat berguna untuk mendukung perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir yang berkelanjutan, khususnya dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan tekanan antropogenik yang semakin meningkat.

1.3.7 Random Forest

Metode *Random Forest* (RF) merupakan salah satu algoritma klasifikasi dan prediksi yang efektif digunakan dalam kajian spasial, termasuk untuk memodelkan perubahan penggunaan lahan yang dipicu oleh dinamika garis pantai. RF pertama kali diperkenalkan oleh Breiman (2001), sebagai pengembangan dari metode *Classification and Regression Tree* (CART) dengan menggabungkan teknik *bootstrap aggregating* (bagging) dan *random feature selection*. RF membentuk sejumlah pohon keputusan (*decision tree*) dari data acak (*bootstrap sample*), dan hasil klasifikasi diperoleh melalui suara terbanyak (*majority vote*) dari semua pohon (Rahmawati, 2015).

Dalam konteks prediksi spasial, RF digunakan untuk mengklasifikasi kategori penutup lahan pada waktu tertentu berdasarkan kombinasi variabel-variabel lingkungan

seperti topografi, jarak dari pantai, jenis tanah, perubahan garis pantai historis, dan data spasial lainnya yang terekam dalam citra satelit. Metode ini sangat sesuai untuk menangani data kompleks dan tidak linier, serta dapat bekerja dengan baik pada dataset besar dan dengan banyak fitur (*predictor*).

Berdasarkan konsep *Random Forest* oleh Breiman (2001) dan penerapannya dalam klasifikasi spasial multitemporal, model ini dapat digunakan untuk memprediksi perubahan lahan akibat dinamika garis pantai. Misalnya, kawasan permukiman di pesisir yang terdampak abrasi dapat berubah menjadi area kosong atau lahan terbuka, sementara akresi dapat menciptakan daratan baru yang berpotensi digunakan untuk pemukiman atau aktivitas ekonomi lainnya. Model RF dapat mendeteksi pola-pola ini secara temporal menggunakan data multitemporal, dan mengklasifikasikannya ke dalam kategori penggunaan lahan aktual (Amaliah dan Nusrang, 2022).

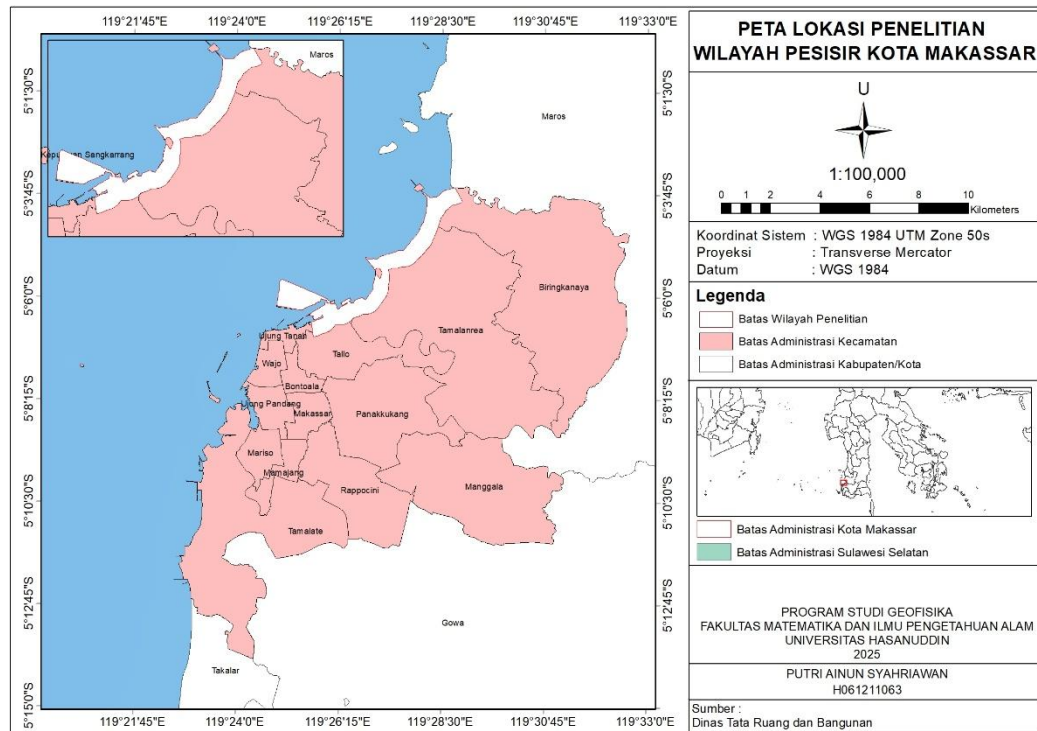
Dalam studi-studi sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh Amaliah dan Nusrang (2022), diketahui bahwa *Random Forest* mampu mencapai akurasi klasifikasi hingga 94,12% pada data klasifikasi spasial dengan nilai optimal pada parameter *ntree* (jumlah pohon) sebanyak 500 dan *mtry* (jumlah variabel acak) sebanyak 2. Penerapan ini relevan untuk prediksi perubahan penggunaan lahan karena *Random Forest* mampu mengidentifikasi dan memberi bobot pada variabel-variabel yang paling berkontribusi terhadap perubahan lahan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan pesisir pantai Kota Makassar yang mencakup enam kelurahan, yaitu Kelurahan Bira, Buloa, Kaluku Bodoa, Parang Loe, Tallo, Untia. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada koordinat $5^{\circ}04'04''$ – $5^{\circ}05'14''$ Lintang Selatan dan $119^{\circ}24'00''$ – $119^{\circ}32'00''$ Bujur Timur.

2.2 Alat dan Bahan



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. *Personal Computer (PC)*
Perangkat computer yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah Laptop HP 14s amd radeon graphics.
2. ArcGIS Map 10.8
ArcGIS merupakan *software* berbasis *Geographic Information System (GIS)* yang dikembangkan oleh *Environment Science & Research Institute (ESRI)*, yang mana salah satu fiturnya adalah ArcMap. ArcMap adalah aplikasi utama yang digunakan dalam pengolahan data *Geographic Information System (GIS)*. ArcMap yang digunakan dalam penelitian ini berlisensi Unhas untuk membuat dan analisis model Geospasial.

3. QGIS

QGIS (*Quantum GIS*) adalah perangkat lunak GIS *open-source* yang mendukung berbagai format data spasial dan dilengkapi beragam plugin untuk analisis geospasial. Dalam penelitian ini, QGIS digunakan untuk klasifikasi citra satelit dengan algoritma *Random Forest* melalui plugin Detsatka, yang memungkinkan proses *supervised classification* dilakukan secara efisien dan akurat.

4. Anaconda – Spyder

Anaconda merupakan sebuah paket distribusi dari bahasa pemrograman *Python* dan R serta berisi paket tambahan guna pemrograman *data science*, komputasi ilmiah (*scientific computing*) seperti *data science*, *machine learning*, *data processing* skala-luas, analisis prediksi, matematika hingga teknik dalam satu distribusi *platform user friendly*. Spyder merupakan IDE yang memang dibuat khusus untuk *Data Science* serta bersifat *open source*.

5. Google Colab

Google *Colaboratory* (Google Colab) adalah *platform* komputasi yang dikembangkan oleh Google untuk mendukung pembelajaran mesin dan analisis data. *Platform* ini menyediakan lingkungan *Jupyter Notebook* yang dapat diakses melalui browser web tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan. Google Colab mendukung bahasa pemrograman Python dan R, serta telah terintegrasi dengan berbagai pustaka (*library*) untuk *data science* dan *machine learning* seperti *TensorFlow*, *PyTorch*, *scikit-learn*, dan *pandas*.

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer, yaitu titik koordinat dan dokumentasi yang diperoleh dari lokasi penelitian, dan data sekunder yang diperoleh dari berbagai lembaga penelitian yang dicantumkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Bahan dan sumber bahan yang digunakan dalam penelitian

No	Data	Sumber Data
1	Koordinat dan Dokumentasi Abrasi dan Akresi	Pesisir Pantai Kota Makassar pada area penelitian.
2	Citra Landsat 8 OLI dan Landsat 5 TM <i>Collection 2</i> Level 2	U.S. <i>Department of the Interior</i> U.S. <i>Geological Survey</i> . (https://earthexplorer.usgs.gov/)
3	Peta Rupa Bumi Indonesia	Dinas Tata Ruang dan Bangunan; Badan Informasi Geospasial. (https://tanahair.indonesia.go.id/)
4	Pasang Surut	BMKG, Stasiun Meteorologi Maritim Paotere Makassar
5	RTRW Kota Makassar	Puslitbang Wilayah, Tata Ruang dan Informasi Spasial (WITARIS) Universitas Hasanuddin.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Kajian Pustaka

Tahapan ini meliputi pengumpulan berbagai literatur yang berhubungan dengan dinamika wilayah pesisir, konsep perubahan garis pantai, pengaruh abrasi dan akresi terhadap perubahan penggunaan lahan, serta pendekatan teknologi yang digunakan dalam penelitian. Literatur yang dikaji mencakup teori mengenai penggunaan lahan dan penutupan lahan, karakteristik pesisir Kota Makassar, prinsip kerja *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), dan algoritma *machine learning Random Forest*. Kajian ini bertujuan untuk memberikan dasar konseptual dalam menganalisis perubahan garis pantai secara temporal dan memprediksi dampaknya terhadap penggunaan lahan berbasis data spasial multitemporal.

2.3.2 Tahap Pengolahan Data

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra satelit multitemporal Landsat 5 TM (tahun 2004 dan 2009) serta Landsat 8 OLI (tahun 2014, 2019, dan 2024) yang diunduh dari USGS. Selain itu, dikumpulkan pula data pendukung berupa Peta Rupa Bumi Indonesia, data pasang surut, dan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar. Untuk keperluan validasi, diperoleh pula koordinat lokasi abrasi dan akresi hasil survei lapangan.

2. Ekstraksi Garis Pantai

Ekstraksi garis pantai pada penelitian ini diawali dengan perhitungan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) dari citra satelit menggunakan band 2 (*Blue*) dan band 4,5 (*Near Infrared/NIR*). Perhitungan NDWI dilakukan dengan raster calculator menggunakan rumus (1). Selanjutnya, untuk membedakan wilayah darat dan laut digunakan fungsi Con dengan kriteria $NDWI \leq 0,1,0$. Hasil klasifikasi ini kemudian digunakan untuk mengekstrak garis pantai. Proses ini dilakukan pada seluruh citra multitemporal penelitian. Setelah seluruh garis pantai berhasil diekstraksi, dilakukan koreksi pasang surut untuk menyesuaikan posisi garis pantai terhadap kondisi muka air laut saat perekaman citra. Garis pantai yang telah dikoreksi ini selanjutnya dianalisis menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) pada ArcGIS.

3. Analisis Dinamika Garis Pantai

Untuk menghitung perubahan garis pantai, penelitian ini menggunakan metode statistik yang tersedia pada *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), yaitu *Net Shoreline Movement* (NSM), *End Point Rate* (EPR), dan *Linear Regression Rate* (LRR). Ketiga metode ini digunakan secara bersamaan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dinamika garis pantai. Hasil perhitungan ketiga metode tersebut digunakan untuk menentukan lokasi-lokasi yang mengalami perubahan signifikan, baik berupa akresi (penambahan daratan) maupun erosi atau abrasi (pengurangan daratan).

4. Klasifikasi Tutupan Lahan

Klasifikasi tutupan lahan dalam penelitian ini dilakukan secara *supervised classification* (klasifikasi terbimbing) menggunakan algoritma *Random Forest* yang diimplementasikan pada perangkat lunak QGIS melalui *plugin Detsatka* berbasis Python. Proses klasifikasi diawali dengan pembuatan *composite band* menggunakan band 1 hingga band 7 dari citra Landsat untuk menghasilkan citra multispektral yang

siap dianalisis. Selanjutnya dilakukan proses *supervised classification* dengan algoritma *Random Forest*, di mana sampel pelatihan diambil untuk merepresentasikan masing-masing kelas penutup lahan. Hasil klasifikasi kemudian direklasifikasi (*reclassify*) menjadi beberapa kelas sesuai dengan kebutuhan analisis perubahan tutupan lahan.

5. Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Setelah diperoleh hasil klasifikasi tutupan lahan, dilakukan penggabungan antara data garis pantai dengan batas wilayah studi. Pada setiap tahun pengamatan, garis pantai yang telah dihasilkan di-*clip* sesuai dengan tutupan lahan wilayah studi. Selanjutnya, dihitung luas masing-masing kelas tutupan lahan pada hasil *clip* tersebut. Setelah luas awal diperoleh, dibuat *buffer* sejauh 600 meter dari garis pantai. Pemilihan jarak 600 meter ini disesuaikan dengan panjang transek pantai yang digunakan dalam analisis garis pantai, sehingga area analisis pada kedua kajian tersebut konsisten. Setelah proses *buffer*, kembali dihitung luas tutupan lahan yang berada dalam zona tersebut. Data ini kemudian dianalisis secara multitemporal untuk mengidentifikasi jenis dan luasan perubahan tutupan lahan yang terjadi di wilayah pesisir dalam rentang waktu pengamatan.

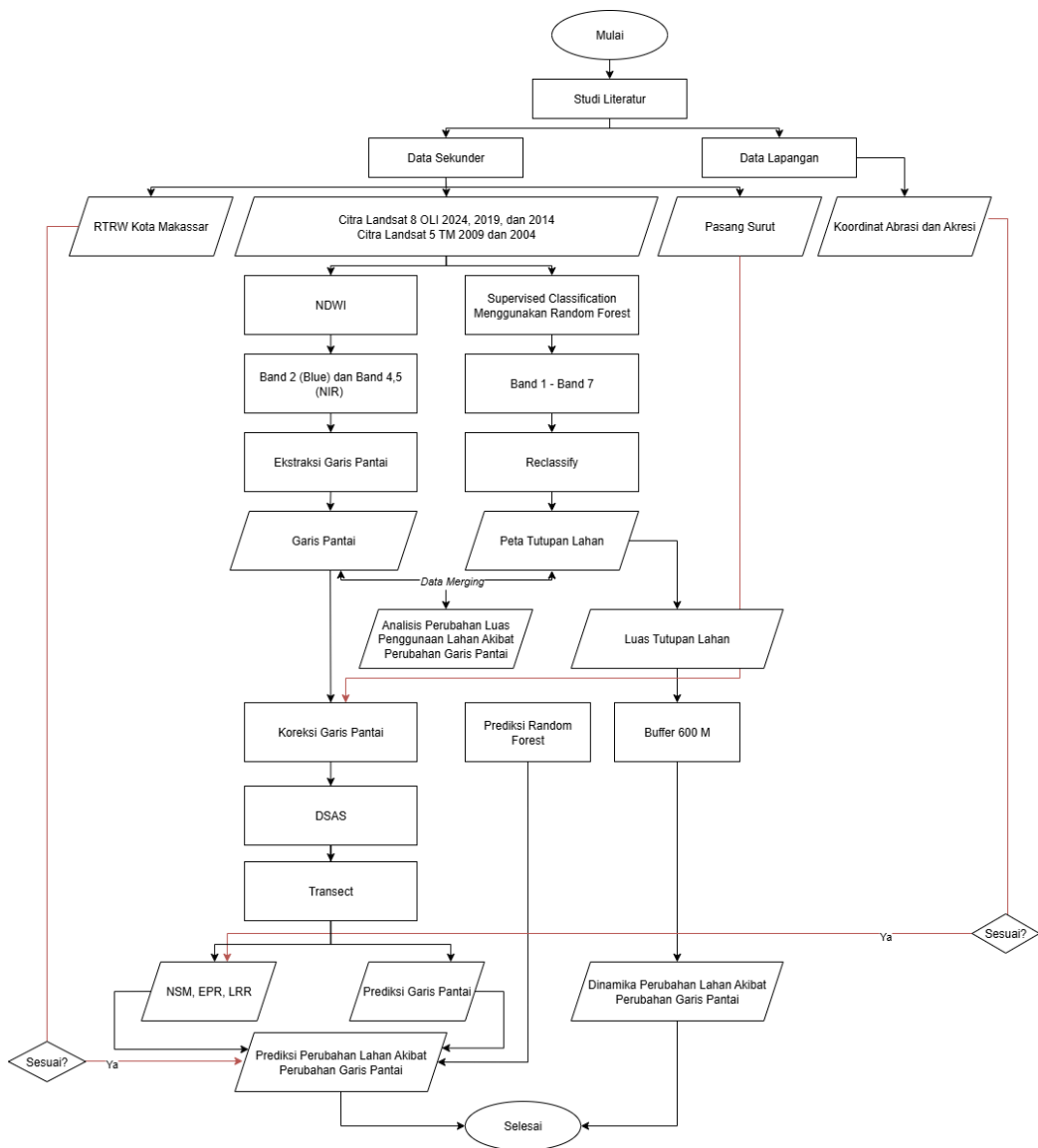
6. Prediksi Perubahan

Melakukan prediksi posisi garis pantai tahun 2034 menggunakan algoritma *Random Forest*. Pemodelan ini memanfaatkan data historis perubahan garis pantai, perubahan tutupan lahan sebagai data latih. Hasil prediksi menghasilkan garis pantai proyeksi tahun 2034 yang kemudian digunakan untuk menganalisis dampak pergeseran garis pantai terhadap tutupan lahan. Garis pantai hasil prediksi digabungkan dengan hasil prediksi tutupan lahan untuk mengidentifikasi lahan yang mengalami perubahan akibat pergeseran garis pantai tersebut, sehingga dapat diketahui wilayah-wilayah yang berpotensi mengalami abrasi, akresi, atau konversi fungsi lahan pada masa mendatang.

7. Validasi dan Evaluasi Hasil

Melakukan evaluasi model dengan cara membandingkan hasil prediksi terhadap data historis untuk menilai tingkat kesesuaiannya. Apabila hasil prediksi menunjukkan akurasi yang memadai, data tersebut digunakan sebagai dasar analisis akhir. Namun, jika hasilnya belum sesuai, dilakukan penyesuaian parameter pada model *Random Forest* hingga diperoleh prediksi yang lebih akurat.

2.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian