

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Urbanisasi, perubahan iklim, dan kota saling terkait erat karena perubahan yang satu akan mempengaruhi lainnya (Chan, 2017). Urbanisasi yang tidak terkendali di Indonesia, khususnya di Jawa, mengakibatkan degradasi lingkungan terjadi dengan sangat cepat (Pravitasari, 2015). Aktivitas pembangunan yang cukup tinggi telah menempatkan Indonesia sebagai salah satu emitter ketiga di dunia, terutama emisi yang berasal dari deforestasi dan degradasi hutan serta lahan gambut (Tosiani, 2015). Beberapa faktor pemicu deforestasi dan degradasi yaitu penebangan liar, kebakaran hutan, dan konversi lahan hutan untuk kegiatan-kegiatan lain yang menghasilkan penutupan lahan dengan cadangan karbon yang lebih rendah seperti untuk perkebunan dan pertanian, pemekaran wilayah, pertambangan, dan pemukiman. Sebagaimana negara berkembang lainnya, hutan masih diposisikan sebagai sumberdaya pembangunan ekonomi yang dikhawatirkan akan mempercepat laju deforestasi dan degradasi hutan sehingga memperbesar emisi gas rumah kaca dari sektor kehutanan (Wibowo, 2010).

Kota adalah kontributor utama emisi gas rumah kaca. Setengah dari populasi dunia tinggal di kota yang kemungkinan akan mencapai 70 persen pada tahun 2050. Begitu banyak kegiatan ekonomi terkonsentrasi di daerah perkotaan yang memicu urbanisasi dan pertumbuhan kota. Urbanisasi menyebabkan *urban sprawl* dan meningkatkan permintaan akan lahan yang memiliki konsekuensi langsung pada perubahan emisi gas rumah kaca (Bulkeley, 2013). Maka dari itu, kota bertanggung jawab untuk menurunkan jumlah emisi GRK baik emisi yang telah dihasilkan maupun emisi yang akan datang.

Desain pengembangan dan pembangunan hijau telah menjadi bagian dari respons global terhadap perubahan iklim dan menipisnya sumber daya alam (Wiryomartono, 2015). Salah satu strategi untuk mengurangi peningkatan karbon dioksida di atmosfer adalah memperluas ukuran penyerap karbon terestrial, khususnya hutan, yang pada dasarnya menggunakan pohon sebagai pembersih biologis (Vijayavenkataraman, Iniyana, & Goic, 2012). Perlu adanya penerapan pembangunan hijau di kota-kota Indonesia yang semakin padat penduduk akibat proses urbanisasi. Mengenali tantangan dan peluang yang terkait dengan urbanisasi dan perubahan iklim, kota dapat lebih memosisikan diri untuk meningkatkan kapasitas dalam menghadapi bahaya iklim dan dampaknya (Mulyana et al., 2013).

Seluruh kota/ kabupaten di Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK nasional melalui RAD GRK termasuk Kota Salatiga. Namun, fungsi khusus serta pembangunan

dan pengembangan Kota Salatiga dapat menjadi faktor penghambat program penurunan emisi GRK. Berdasarkan RTRW Jawa Tengah, Kota Salatiga berstatus sebagai Pusat Kegiatan Wilayah yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala provinsi atau beberapa kabupaten/ kota. Kota Salatiga juga termasuk ke dalam sistem kewilayahan Kedungsepur, di mana masing-masing kabupaten/ kota saling berkolaborasi untuk meningkatkan perekonomian wilayah/ kota yang berdampak pada percepatan pembangunan. Kota Salatiga merupakan kota pendidikan dengan tingkat aksesibilitas dan mobilitas tinggi karena lokasinya yang strategis serta infrastruktur pendukung yang memadai. Tahun 2011, Jalan Lingkar Selatan Kota Salatiga telah selesai dibangun, di mana ruas jalan tersebut melewati kawasan lindung Kelurahan Kumpulrejo dan Kelurahan Dukuh. Selain itu, *exit* Tol Semarang-Solo juga telah dibuka di Kelurahan Tingkir Tengah pada tahun 2018.

Adanya peluang bahwa lahan permukiman maupun lahan perdagangan jasa semakin berkembang dan mengurangi luasan lahan terbuka hijau Kota Salatiga pada tahun 2019-2029. Hal tersebut akan menyebabkan pelepasan cadangan karbon sehingga terjadi peningkatan emisi GRK pada masa depan. Diperlukan prediksi perubahan cadangan karbon Kota Salatiga sebagai acuan pemerintah daerah dalam perumusan upaya mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim global. Prediksi dapat dilakukan dengan melihat kecenderungan perubahan tutupan lahan berdasarkan periode tahun dasar menggunakan pendekatan penginderaan jauh dalam Sistem Informasi Geografis. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mengkaji prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga.

1.2 Rumusan Masalah

Peningkatan aktivitas dan jumlah penduduk serta proses pembangunan lainnya berdampak pada perubahan tutupan lahan, seperti yang terjadi di Kota Salatiga. Akibat pembangunan Jalan Lingkar Selatan Kota Salatiga dan dibukanya *exit* Tol Semarang-Solo, terjadi peningkatan permintaan lahan oleh masyarakat maupun swasta. Menurut (Nurfiani, 2019), implementasi Rencana Tata Ruang Wilayah pada penggunaan lahan permukiman di Kota Salatiga tahun 2017 belum sepenuhnya sesuai dengan RTRW Kota Salatiga. Terjadinya penyimpangan/ ketidaksesuaian RTRW berdasar hasil lapangan disebabkan karena tanah yang dimiliki masyarakat merupakan tanah milik pribadi dan kurangnya pengetahuan masyarakat adanya rencana tata ruang wilayah.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Mustika & Pigawati (2014) mengenai kajian arah dan perkembangan Kota Salatiga menunjukkan adanya peningkatan lahan terbangun akibat pertumbuhan populasi yang terjadi dari tahun 2000 hingga tahun 2012. Sebesar 117,43 Ha lahan

non terbangun berkurang dan beralih fungsi menjadi lahan terbangun. Hal ini salah satunya dipengaruhi oleh penambahan penduduk sebesar 29.078 jiwa yang memicu peningkatan permintaan lahan.

Perubahan tutupan lahan tentu berpengaruh pada jumlah cadangan karbon yang tersimpan pada vegetasi terestrial. Semakin luas lahan deforestasi dan degradasi hutan, semakin berkurang jumlah cadangan karbon. Penurunan jumlah cadangan karbon juga terjadi apabila tutupan lahan berubah menjadi lahan dengan nilai cadangan karbon yang lebih rendah. Perubahan cadangan karbon seharusnya tidak hanya dihitung berdasarkan kondisi perubahan tutupan lahan yang terjadi saat ini tetapi juga yang terjadi pada masa depan.

Terdapat beberapa penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya. Sambodo & Indriasari (2014) melakukan klasifikasi tutupan lahan sedangkan Mishra, Rai, & Rai (2019) meneliti perubahan tutupan lahan. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan, Syaufina, & Puspaningsih (2015) menghasilkan estimasi hilangnya cadangan karbon. Riset oleh Azizi, Malakmohamadi, & Jafari (2016) telah memprediksi perubahan tutupan lahan. Penelitian terdahulu belum dapat menunjukkan perhitungan prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan. Maka dari itu, rumusan masalah dari penelitian ini adalah ***“Seberapa banyak perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga tahun 2019-2029?”***

1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, penelitian ini diharapkan menghasilkan luaran yang sesuai dengan tujuan penelitian. Maka dari itu, poin-poin dalam sasaran penelitian harus tepat dan saling terkait agar tujuan penelitian dapat tercapai. Berikut tujuan dan sasaran dalam penelitian ini.

1.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga tahun 2019-2029.

1.3.2 Sasaran Penelitian

Berikut sasaran penelitian untuk mencapai tujuan yang telah diungkapkan sebelumnya:

- a. Mengidentifikasi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2009 dan 2019;
- b. Mengidentifikasi perubahan tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2009 dan 2019;
- c. Memprediksi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2029;
- d. Menghitung perubahan tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2019-2029; dan
- e. Menganalisis prediksi perubahan cadangan karbon Kota Salatiga tahun 2019-2029.

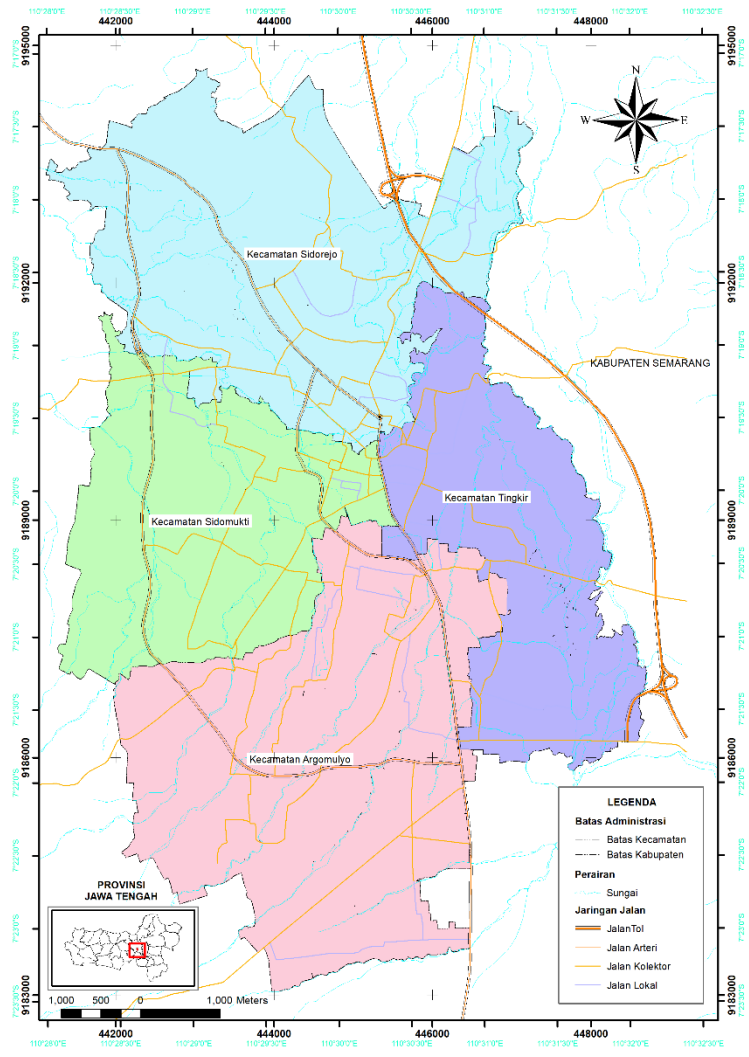
1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup terdiri atas ruang lingkup wilayah dan ruang lingkup materi. Ruang lingkup wilayah disusun sebagai batasan wilayah yang menjadi objek penelitian. Ruang lingkup materi merupakan batasan-batasan materi pada penelitian yang akan dilakukan. Berikut ruang lingkup wilayah dan ruang lingkup materi pada penelitian ini.

1.4.1 Ruang Lingkup Wilayah

Pemilihan lokasi penelitian berada di Kota Salatiga (lihat **Gambar 1. 1**) yang terdiri atas 4 kecamatan dan 23 desa/ kelurahan dengan luas 5.678 Ha. Berdasarkan Badan Pusat Statistik, jumlah penduduk Kota Salatiga pada tahun 2018 sebesar 194.611 jiwa atau 64.712 KK dengan kepadatan penduduk 34 jiwa/ Ha. Kota Salatiga berbatasan dengan desa-desa yang termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Semarang, seperti:

- a. Sebelah Utara:
 - Kecamatan Pabelan: Desa Pabelan, Desa Pejaten.
 - Kecamatan Tuntang: Desa Kesongo, Desa Watu Agung.
- b. Sebelah Timur:
 - Kecamatan Pabelan: Desa Ujung-ujung, Desa Sukoharjo, dan Desa Glawan.
 - Kecamatan Tenggaran: Desa Bener, Desa Tegal Waton, dan Desa Nyamat.
- c. Sebelah Selatan:
 - Kecamatan Getasan: Desa Sumogawe, Desa Samirono, dan Desa Jetak.
 - Kecamatan Tenggaran: Desa Patemon, Desa Karang Duren
- d. Sebelah Barat:
 - Kecamatan Tuntang: Desa Candirejo, Desa Jombor, Desa Sraten, dan Desa Gedangan.
 - Kecamatan Getasan: Desa Polobogo.



Gambar 1. 1 Peta Administrasi Kota Salatiga

Sumber: Pemerintah Kota Salatiga, 2010

1.4.2 Ruang Lingkup Materi

Penelitian ini membahas tentang prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan dengan memanfaatkan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geospasial. Perhitungan perubahan cadangan karbon yang dilakukan hanyalah cadangan karbon yang berada di atas permukaan tanah saja (*above ground biomass* atau disingkat AGB). Prediksi perubahan cadangan karbon dapat dilakukan dengan melihat konversi tutupan lahan yang terjadi secara *time series*. Menurut Triyatno, Wilis, & Angraina (2017), perubahan tutupan lahan berarti perubahan cadangan karbon. Semakin tinggi tingkat perubahan lahan hutan menjadi non hutan maka semakin tinggi pula tingkat perubahan curah hujan sedangkan cadangan karbon semakin berkurang sehingga peluang terjadinya perubahan iklim akibat meningkatnya kandungan CO₂ di atmosfer semakin besar.

Input data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data Landsat 5 TM tahun 2009 dan Landsat 8 OLI Tahun 2019 untuk melihat pola perubahan tutupan lahan yang terjadi di Kota Salatiga. Klasifikasi citra dilakukan secara terbimbing dengan metode *Support Vector Machine*. Hasil klasifikasi dua citra tersebut diolah menggunakan metode *Cellular Automata* untuk memperoleh prediksi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2029. Luaran dari penelitian ini adalah prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga tahun 2019-2029. Terdapat keterbatasan studi di mana hasil prediksi bersifat *status quo*, artinya berdasarkan kondisi saat ini tanpa adanya intervensi/ perubahan tata ruang. Selain itu, penelitian ini hanya dapat menjadi acuan perumusan RAD GRK berdasarkan perubahan tutupan lahan saja, tidak termasuk sektor energi, limbah, maupun transportasi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat bagi para akademisi maupun pemerintah daerah, seperti:

- a. Akademisi bersama pemerintah daerah dapat menerapkan model prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan.
- b. Hasil prediksi perubahan cadangan karbon dapat dijadikan sebagai acuan perumusan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim global dalam RAD GRK tahun selanjutnya.
- c. Pemerintah daerah dapat menerapkan rekomendasi penelitian untuk meningkatkan jumlah cadangan karbon pada masa yang akan datang.

1.6 Keaslian Penelitian

Keaslian penelitian disusun untuk melihat perbandingan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Selain itu, keaslian penelitian juga ditujukan untuk menghindari plagiarisme dalam penelitian selanjutnya. Keaslian penelitian yang disusun mencakup penelitian sebelumnya terkait tutupan lahan dan cadangan karbon dengan metode penelitian yang berbeda-beda sesuai tujuan penelitian, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Keaslian penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel I. 1** berikut.

Tabel I. 1 Keaslian Penelitian

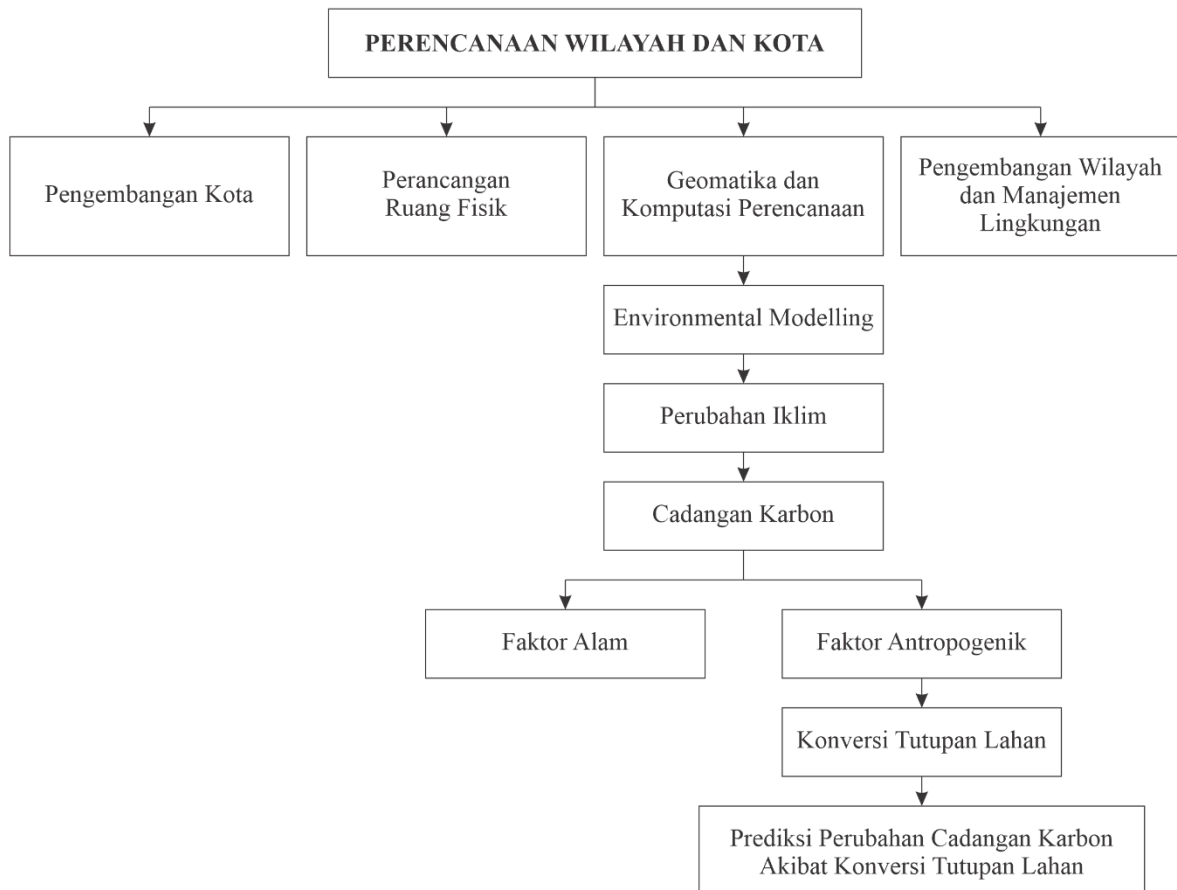
No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian dan Tahun	Lokasi Penelitian	Pertanyaan Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian
1.	Katmoko Ari Sambodo & Novie Indriasari	Land Cover Classification of Alos Palsar Data Using Support Vector Machine	Sebagian Provinsi Jambi dan Sumatera Selatan, Indonesia	Bagaimana pendekatan SVM menggunakan data ALOS-PALSAR untuk pemetaan tutupan lahan di sebagian dari Provinsi Jambi dan Sumatera Selatan, Indonesia pada tahun 2010?	Mengetahui pendekatan SVM untuk pemetaan tutupan lahan di wilayah tropis menggunakan data mosaik ALOS-PALSAR 25 m yang mencakup sebagian dari Provinsi Jambi dan Sumatera Selatan, Indonesia pada tahun 2010	Metode kuantitatif dengan analisis <i>Support Vector Machine</i>
2.	Prabuddh Kumar Mishra, Aman Rai, & Suresh Chand Rai	Land Use and Land Cover Change Detection Using Geospatial Techniques in the Sikkim Himalaya, India	DAS Rani Khola, Sikkim Himalaya, India	Bagaimana memanfaatkan teknik geospasial untuk mendeteksi perubahan penggunaan lahan dan penutup lahan di DAS Rani Khola dari tahun 1988 hingga 2017?	Memfaatkan teknik geospasial untuk mendeteksi perubahan penggunaan lahan dan penutup lahan di DAS Rani Khola dari tahun 1988 hingga 2017	Metode kuantitatif dengan analisis klasifikasi terbimbing

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian dan Tahun	Lokasi Penelitian	Pertanyaan Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian
3.	Gatot Setiawan, Lalian Syaufina, & Nining Puspaningsih	Estimasi Hilangnya Cadangan Karbon dari Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Bogor	Kabupaten Bogor, Indonesia	Bagaimana dinamika perubahan penggunaan lahan dan emisi CO ₂ -eq yang disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan tahun 2000-2014 di Kabupaten Bogor?	Menganalisis dinamika perubahan penggunaan lahan dan memperkirakan emisi CO ₂ -eq yang disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan tahun 2000-2014 di Kabupaten Bogor	Metode kuantitatif dengan analisis klasifikasi terbimbing
4.	A. Azizi, B. Malakmohamadi, & H.R. Jafari	Land Use and Land Cover Spatiotemporal Dynamic Pattern and Predicting Changes Using Integrated CA-Markov Model	Dataran Ardabil, Iran	Bagaimana perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan tahun sebelumnya dan beberapa tahun mendatang di Dataran Ardabil menggunakan model CA-Markov yang terintegrasi?	Menganalisis perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan tahun sebelumnya di Dataran Ardabil serta mensimulasikan perubahannya dalam beberapa tahun mendatang menggunakan model CA-Markov yang terintegrasi	Metode kuantitatif dengan analisis klasifikasi terbimbing dan tak terbimbing, serta <i>Cellular Automata-Markov</i>
5.	Nattaya Mlatti Lakshita (Peneliti)	Prediksi Perubahan Cadangan Karbon Akibat Konversi Tutupan Lahan di Kota Salatiga Tahun 2019-2029	Kota Salatiga, Indonesia	Seberapa banyak prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga tahun 2019-2029?	Menghitung prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga tahun 2019-2029	Metode kuantitatif dengan analisis <i>Support Vector Machine</i> dan <i>Cellular Automata</i>

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

1.7 Posisi Penelitian

Penelitian ini dalam ilmu perencanaan wilayah dan kota termasuk ke dalam lingkup geomatika dan komputasi perencanaan, khususnya *environmental modelling*. Perubahan iklim yang sudah merupakan isu global terjadi salah satunya karena penurunan cadangan karbon. Penurunan cadangan karbon dipengaruhi oleh faktor alam dan faktor manusia (antropogenik) seperti konversi tutupan lahan. Posisi penelitian dalam diagram dapat dilihat pada **Gambar 1. 2** berikut.

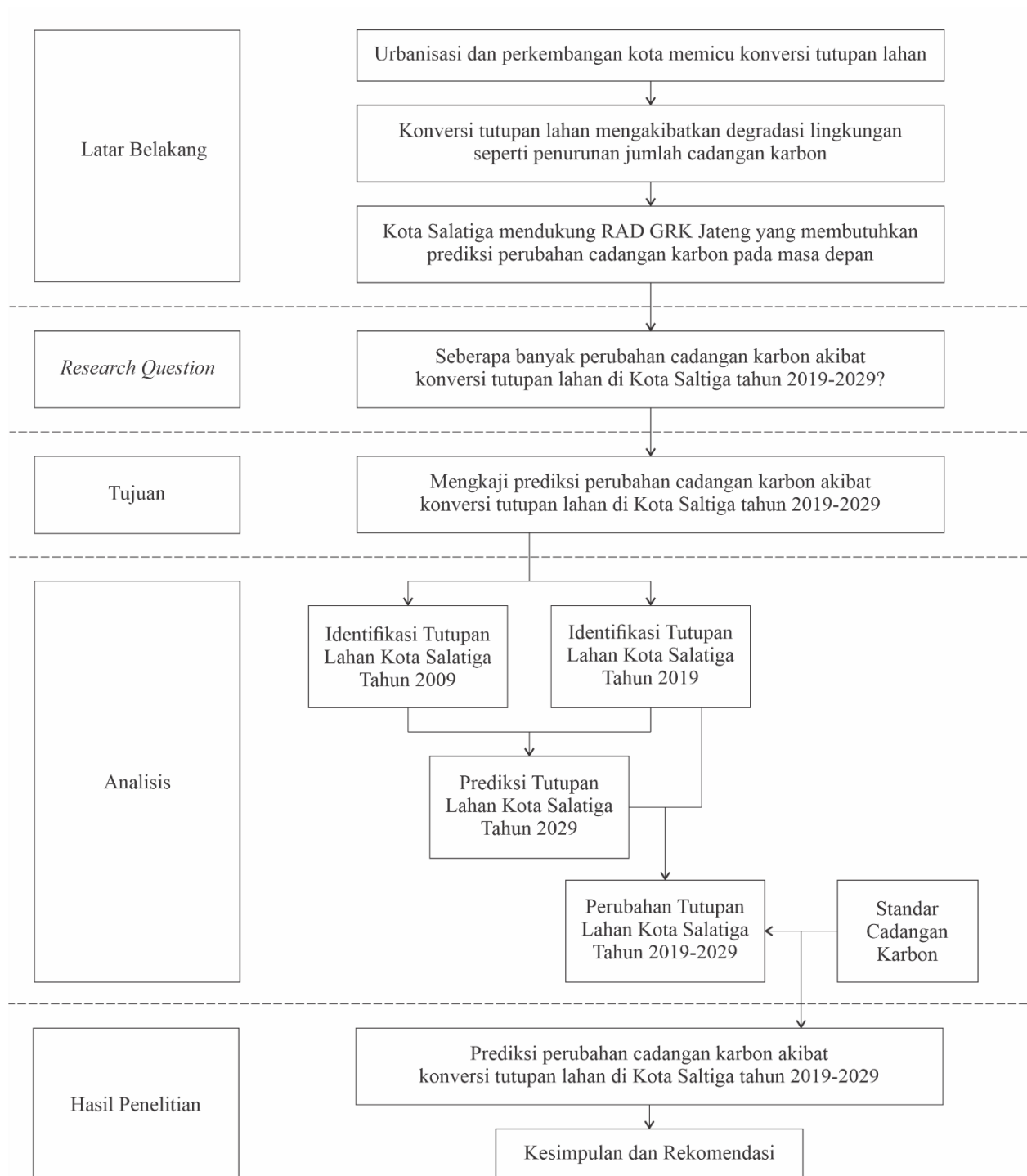


Gambar 1. 2 Posisi Penelitian

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

1.8 Kerangka Pikir

Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1.3** berikut:



Gambar 1.3 Kerangka Pikir

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

1.9 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan sebuah metode yang digunakan untuk memperoleh data secara ilmiah guna mencapai tujuan tertentu (Sugiyono, 2014). Penulisan bab metode penelitian bertujuan agar peneliti dapat melaksanakan penelitian secara sistematis dengan merumuskan pendekatan penelitian yang akan digunakan dan langkah yang tepat dalam melakukan pengumpulan data serta analisis data. Bab metode penelitian ini membahas tentang pendekatan penelitian, metode pengumpulan data dan analisis data yang memuat teknik pengumpulan data, teknik sampling, kebutuhan data, dan teknik analisis, serta kerangka analisis.

1.9.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian didasarkan pada tujuan penelitian itu sendiri. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan di Kota Salatiga tahun 2019-2029. Maka dari itu, pendekatan penelitian yang sesuai adalah pendekatan kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan sebuah metode yang didasari oleh filsafat positivisme yang bertujuan untuk mengkaji suatu populasi atau sampel tertentu dengan menggunakan serangkaian instrumen penelitian dalam pengumpulan data, serta data yang dihasilkan dari analisis berupa data kuantitatif atau data statistik (Sugiyono, 2014). Metode kuantitatif dipilih karena pendekatan ini menggunakan data kuantitatif dan data statistik untuk menghitung serta memodelkan prediksi perubahan cadangan karbon akibat konversi tutupan lahan.

1.9.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data meliputi teknik pengumpulan data primer dan data sekunder. Lebih lanjut, berikut teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

a. Teknik Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer yang dibutuhkan dalam penelitian ini dilakukan dengan observasi lapangan. Observasi adalah metode pengamatan terhadap objek tertentu (Zahro, 2018). Penelitian ini menggunakan observasi terstruktur, di mana peneliti telah menyusun lokasi dan objek amatan secara sistematis sebelum melakukan observasi. Objek amatan berupa tutupan lahan yang berada di setiap kecamatan Kota Salatiga. Observasi ini bertujuan untuk memverifikasi hasil klasifikasi tutupan lahan yang diolah menggunakan data sekunder.

b. Teknik Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan melalui telaah dokumen. Dokumen tersebut berupa buku, jurnal, citra, dan data-data instansi terkait, baik dalam bentuk tulisan, gambar, maupun elektronik. Dokumen ini dalam penelitian digunakan sebagai landasan teori, menjadi pedoman perhitungan perubahan cadangan karbon di Indonesia, serta melihat hasil penelitian dari metode yang telah diterapkan sebelumnya.

1.9.3 Kebutuhan Data

Penyusunan kebutuhan dan jenis data dilakukan untuk mempermudah peneliti dalam melakukan observasi lapangan. Kebutuhan dan jenis data akan disajikan dalam bentuk tabel yang terdiri dari sasaran penelitian, nama data, tahun, bentuk data, jenis data, teknik pengumpulan, dan sumber. Kebutuhan data dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel I. 2**.

Tabel I. 2 Kebutuhan Data

Nama Data	Tahun	Bentuk Data	Jenis Data	Teknik Pengumpulan	Sumber
Sasaran 1: Mengidentifikasi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2009 dan 2019					
Citra Landsat 5 Path 120 Row 65	2009	Raster	Sekunder	Telaah dokumen	USGS
Citra Landsat 8 Path 120 Row 65	2019	Raster	Sekunder	Telaah dokumen	USGS
Peta administrasi Kota Salatiga	2019	Vektor	Sekunder	Telaah dokumen	PUPR Kota Salatiga
Tutupan lahan eksisting Kota Salatiga	2019	Gambar	Sekunder	Observasi	Kondisi lapangan
Sasaran 2: Mengidentifikasi perubahan tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2009 dan 2019					
Hasil klasifikasi tutupan lahan Kota Salatiga	2009; 2019	Vektor	Primer	Interpretasi	Analisis Peneliti
Sasaran 3: Memprediksi tutupan lahan Kota Salatiga pada tahun 2029					
Hasil klasifikasi tutupan lahan Kota Salatiga	2009; 2019	Vektor	Primer	Interpretasi	Analisis Peneliti
Faktor pendorong: jarak dari jalan non tol, jarak dari jalan tol, jarak dari sungai, jarak dari pusat kota, kelerengan, dan kepadatan penduduk.	2019	Raster	Primer	Interpretasi	Analisis Peneliti
Sasaran 4: Menghitung perubahan tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2019-2029					
Tutupan lahan Kota Salatiga	2019; 2029	Angka	Primer	Interpretasi	Analisis Peneliti
Sasaran 5: Menganalisis prediksi perubahan cadangan karbon Kota Salatiga tahun 2019-2029					
Luas perubahan tutupan lahan Kota Salatiga	2019; 2029	Angka	Primer	Interpretasi	Analisis Peneliti
Cadangan karbon per tutupan lahan	Terbaru	Angka	Sekunder	Telaah dokumen	Santosa et al., 2014

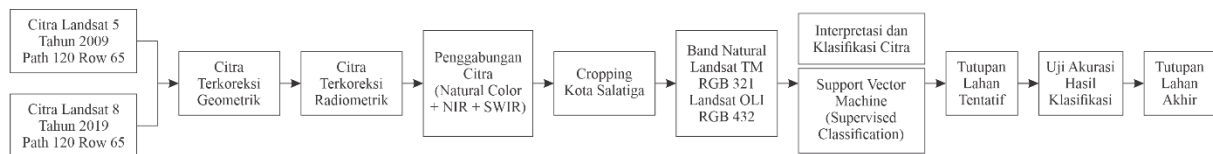
Sumber: Analisis Peneliti, 2020

1.9.4 Teknik Analisis

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Support Vector Machine* dan *Cellular Automata*. SVM dan *Cellular Automata* hanya terdapat pada perangkat lunak QGIS antara lain QGIS 3.8.0 dan QGIS 2.18.24 dengan *Pip-Python 3*. *Support Vector Machine* digunakan untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan sedangkan *Cellular Automata* digunakan untuk memprediksi tutupan lahan Kota Salatiga pada tahun 2029. Setelah dilakukan klasifikasi dan prediksi tutupan lahan, dilakukan perhitungan menggunakan matriks untuk mengetahui luas perubahan tutupan lahan dan jumlah perubahan cadangan karbon.

1.9.4.1 Identifikasi Tutupan Lahan

Identifikasi tutupan lahan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jenis tutupan lahan yang ada di Kota Salatiga pada tahun tertentu. Analisis ini secara garis besar meliputi koreksi geometrik dan radiometrik, pemotongan citra, serta interpretasi dan klasifikasi citra. **Gambar 1. 4** berikut menunjukkan langkah-langkah identifikasi tutupan lahan dalam penelitian ini.



Gambar 1. 4 Diagram Kerja Identifikasi Tutupan Lahan

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

a. Koreksi Geometrik dan Radiometrik

Setiap data penginderaan jauh membutuhkan koreksi geometrik (Dave, Joshi, & Srivastava, 2015). Akibat gerak sapuan penjelajah dari satelit, gerak putaran bumi, dan bentuk permukaan bumi yang bulat, maka data yang direkam mengalami distorsi geometris sehingga harus dikoreksi. Distorsi geometris tersebut dapat terjadi dalam bentuk pergeseran daerah yang diamati, perubahan luas daerah yang diamati, perubahan arah daerah yang diamati (Candra & Santi, 2011). Koreksi geometrik diperlukan untuk memproses ulang data penginderaan jauh dan menghilangkan distorsi geometris sehingga masing-masing piksel berada di koordinat (x, y) yang tepat (Baboo & Thirunavukkarasu, 2014). Koreksi geometrik dilakukan dengan memposisikan koordinat yang ada pada citra agar sesuai dengan koordinat bumi sesungguhnya.

Koreksi radiometrik merupakan tahap awal pengolahan data sebelum analisis dilakukan untuk suatu tujuan, misalnya untuk identifikasi liputan lahan pertanian. Proses koreksi radiometrik mencakup koreksi efek-efek yang berhubungan dengan sensor untuk meningkatkan kontras

(*enhancement*) setiap piksel (*picture element*) dari citra, sehingga objek yang terekam mudah dianalisis untuk menghasilkan data/informasi yang benar sesuai dengan keadaan lapangan. Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki beberapa kesalahan yang terjadi pada citra satelit. Kesalahan radiometrik berupa pergeseran nilai atau derajat keabuan elemen gambar (*pixel*) pada citra agar mendekati harga/ nilai yang seharusnya dan juga memperbaiki kualitas visual citra (Sinaga, Andri, & Haniah, 2018).

b. Pemotongan Citra (*Image Cropping*)

Pemotongan citra bertujuan untuk memfokuskan liputan citra pada daerah penelitian saja, sehingga proses pengolahan data, interpretasi visual, dan analisis data menjadi lebih sederhana atau fokus pada daerah penelitian saja (Murti & Mada, 2016). Pemotongan citra dilakukan menggunakan *Clip Raster by Mask Layer* yang ada pada *software QGIS. Tool* tersebut dikhususkan untuk memotong data raster saja. Data raster yang dimaksud dalam penelitian ini adalah Citra Landsat 5 TM dan 8 OLI. Data raster akan dipotong sesuai dengan batas administrasi Kota Salatiga yang berbentuk data vektor.

c. Interpretasi dan Klasifikasi Citra

Data yang digunakan untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan Kota Salatiga adalah Citra Landsat 5 TM dan 8 OLI Path 120 Row 65 dan peta administrasi Kota Salatiga. Klasifikasi citra dilakukan secara terbimbing (*supervised classification*) dengan metode *Support Vector Machine*. Citra yang sudah dipotong dengan batas administrasi kemudian diambil 70-110 sampel citra yang menunjukkan seluruh kelas tutupan lahan untuk menjadi *training set*. *Training set* diperoleh melalui interpretasi peneliti terhadap objek-objek yang ada pada citra. *Training set* tersebut menjadi dasar klasifikasi tutupan lahan Kota Salatiga pada tahun 2009 dan 2019. Sebelum melakukan klasifikasi citra dengan QGIS, diperlukan instalasi *Pip-Python 3* pada QGIS 3.8.0 untuk mengaktifkan SVM yang ada di dalam *plugin dzetzaka*.

Verifikasi hasil klasifikasi tutupan lahan dapat dilakukan menggunakan data tutupan lahan eksisting Kota Salatiga yang diperoleh melalui kegiatan observasi. Menurut Wulansari (2017), uji akurasi hasil klasifikasi dilakukan untuk menguji tingkat akurasi peta penggunaan yang dihasilkan dari proses klasifikasi digital dengan sampel uji dari hasil kegiatan lapangan. Uji akurasi dalam penelitian ini dilakukan di empat kecamatan yang berbeda dan disesuaikan dengan kelas tutupan lahan yang ada di masing-masing kecamatan. Penyusunan tabel contoh uji akurasi dapat dilihat pada **Tabel I. 3**.

Tabel I. 3 Contoh Uji Akurasi Hasil Klasifikasi

Variabel	Kelas	n Sampel	Koordinat	Bukti	Kesesuaian
Tutupan Lahan	Permukiman	51	(x,y)	(gambar lapangan)	Sesuai/Tidak Sesuai
	Sawah	6	(x,y)	(gambar lapangan)	Sesuai/Tidak Sesuai
	Hutan Tanaman	11	(x,y)	(gambar lapangan)	Sesuai/Tidak Sesuai
	Padang Rumput	8	(x,y)	(gambar lapangan)	Sesuai/Tidak Sesuai
	Semak Belukar	5	(x,y)	(gambar lapangan)	Sesuai/Tidak Sesuai

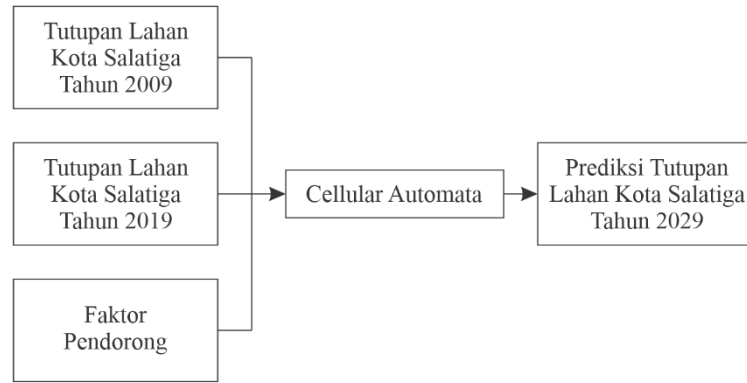
Sumber: Rizqi, 2017

Tidak hanya uji akurasi yang dapat menentukan tingkat akurasi dan keberhasilan hasil klasifikasi, tetapi juga nilai kappa. Nilai kappa tersebut berasal dari r.kappa pada QGIS dengan bantuan *testing set*. *Testing set* menjadi acuan untuk menentukan sejauh mana peneliti berhasil melakukan klasifikasi. Menurut Altman (1991) dalam Subiyanto & Suprayogi (2019), nilai Kappa 0,81-1,00 menunjukkan hasil yang sangat baik, 0,61-0,80 baik, 0,41-0,60 sedang, 0,21-0,40 kurang dari sedang, dan nilai <0,21 dikatakan buruk.

1.9.4.2 Analisis Prediksi Tutupan Lahan

Hasil klasifikasi tutupan lahan tahun 2009 dan 2019 menjadi dasar klasifikasi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2029. Metode yang digunakan adalah *Cellular Automata* dari *plugin Molusce* pada perangkat lunak QGIS 2.18.24. *Cellular Automata* (CA) adalah alat berbasis raster yang dapat digunakan secara efektif untuk memodelkan kota dan perubahan penggunaan lahan. Iterasi *Cellular Automata* diatur menjadi 1.000 dengan jumlah sampel 5.000 untuk menghasilkan prediksi tutupan lahan yang maksimal.

Faktor pendorong yang digunakan dalam memprediksi tutupan lahan disesuaikan dengan lokasi penelitian. Penelitian yang dilakukan oleh Hakim, Baja, Rampisela, & Arif (2019) menggunakan tujuh faktor pendorong, antara lain jarak dari jalan, jarak dari pantai laut, jarak dari sungai, jarak dari pusat kota, kepadatan penduduk, ketinggian, dan kelerengan. Maka dari itu, faktor pendorong yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak dari jalan non tol, jarak dari jalan tol, jarak dari sungai, jarak dari pusat kota, kelerengan, dan kepadatan penduduk. Keenam faktor pendorong tersebut dipilih karena dapat mempengaruhi laju dan arah perubahan tutupan lahan serta sesuai dengan lokasi penelitian. Lebih jelas, langkah dalam analisis prediksi tutupan lahan dapat dilihat pada **Gambar 1. 5** berikut.



Gambar 1. 5 Diagram Kerja Analisis Prediksi Tutupan Lahan

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

1.9.4.3 Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Perhitungan luas konversi tutupan lahan Kota Salatiga menggunakan matriks perubahan tutupan lahan. Matriks disusun dengan tutupan lahan tahun 2019 sebagai baris dan tahun 2029 sebagai kolom. Hal ini mempermudah peneliti untuk melakukan analisis konversi tutupan lahan. Contoh matriks perubahan tutupan lahan dapat dilihat pada **Tabel I. 4**.

Tabel I. 4 Contoh Matriks Perubahan Tutupan Lahan

PL 2000	PL 2014 (ha)											Total 200
	Hp	Hs	Ks	Pm	A	Sw	Kt	T	B	Kc	Ha	
Hp	1320.06	0.63								0.03		1320.72
Hs		39925.72	0.18	33.81		37.87	0.62	28.47	363.44	2421.68		42811.78
Ks			6880.90	0.35								6881.25
Pm				10333.45								10333.45
A					1399.44							1399.44
Sw			1.28	3310.44	2.61	40604.81	0.00	408.28	108.03	7824.75		52260.19
Kt				0.00		0.00	4706.27	23.99		2.25		4732.51
T				320.92		0.02		1078.15		283.58		1682.66
B				696.97		179.56		0.16	1233.33	39.42		2149.44
Kc			0.22	28955.20	0.91	1049.97		84.55	441.81	139672.36		170205.03
Ha										0.13	5317.90	5318.10
Total 2005	1320.06	39926.35	6882.57	43651.14	1402.96	41872.28	4706.89	1623.60	2146.61	150244.20	5317.90	299094.57

= Berubah

= Tetap

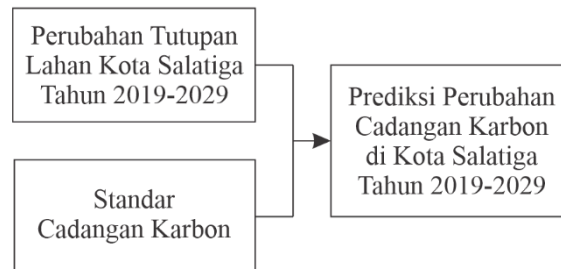
Keterangan : Hp = Hutan Primer, Hs = Hutan Sekunder, Ks = Kebun Sawit, Pm = Pemukiman, A = Tubuh Air, Sw = Sawah, Kt = Kebun Teh, T = Lahan Terbuka, B = Semak Belukar, Kc = Kebun Campur, Ha = Hutan Akasia

Sumber: Setiawan & Syaufina (2016)

1.9.4.4 Analisis Perhitungan Prediksi Perubahan Cadangan Karbon

Perhitungan perubahan cadangan karbon sama seperti perhitungan luas konversi tutupan lahan yaitu menggunakan matriks. **Gambar 1. 6** memperlihatkan diagram kerja analisis perhitungan prediksi perubahan cadangan karbon. Data yang digunakan adalah hasil perhitungan

luas konversi tutupan lahan dan standar cadangan karbon setiap tutupan lahan dalam satuan Ton C/Ha. Perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk matriks seperti matriks perubahan tutupan lahan sebelumnya.

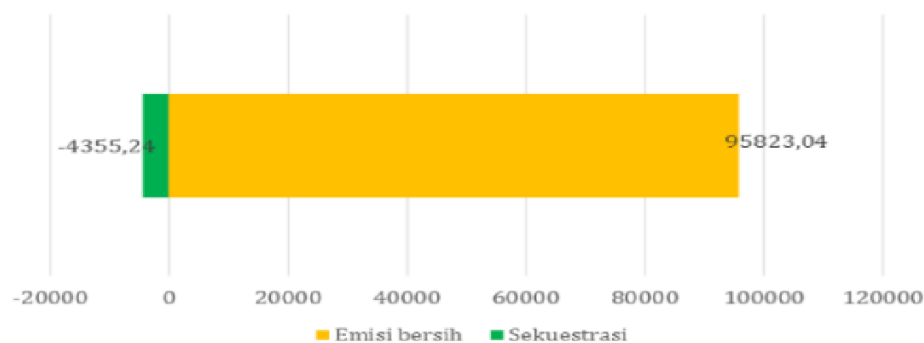


Gambar 1. 6 Diagram Kerja Analisis Perhitungan Prediksi Perubahan Cadangan Karbon

Sumber: Analisis Peneliti, 2020

1.9.4.5 Analisis Input Output

Analisis input output akan menghasilkan grafik *gain and loss* berdasarkan perhitungan prediksi perubahan cadangan karbon yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini diperlukan karena suatu lahan memiliki dua kemungkinan perubahan cadangan karbon, yaitu sekuestrasi karbon atau emisi karbon. Grafik tersebut mempermudah peneliti untuk mengetahui kecenderungan perubahan cadangan karbon yang akan terjadi pada masa depan. Contoh grafik *gain and loss* dapat dilihat pada **Gambar 1. 7** berikut.



Gambar 1. 7 Contoh Grafik *Gain and Loss*

Sumber: Dewa & Sejati (2019)

1.10 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan sasaran, ruang lingkup (substansi dan wilayah), manfaat penelitian, kerangka pikir, dan sistematika penulisan. Latar belakang memaparkan justifikasi pemilihan tema penelitian. Selanjutnya, rumusan masalah berisi mengenai

pertanyaan penelitian yang kemudian disusun subbab tujuan dan sasaran untuk menjawab keingintahuan peneliti. Batasan pembahasan penelitian dijabarkan dalam ruang lingkup substansi dan ruang lingkup wilayah. Kegiatan penelitian yang dilakukan hingga mencapai tujuan penelitian dituangkan dalam subbab kerangka pikir.

BAB II KAJIAN PUSTAKA PREDIKSI PERUBAHAN CADANGAN KARBON AKIBAT KONVERSI TUTUPAN LAHAN

Kajian pustaka berisi tinjauan terhadap teori/ konsep yang relevan dengan tema penelitian dan teknik analisis yang digunakan dalam metodologi studi. Kajian Pustaka ini membahas mengenai urbanisasi dan perkembangan kota, perubahan iklim, perubahan cadangan karbon akibat konversi lahan, penginderaan jauh untuk identifikasi perubahan tutupan lahan, dan pemodelan SIG untuk prediksi tutupan lahan. Bab ini ditujukan untuk memberi batasan penelitian secara substansial dengan mendefinisikan kata kunci dalam penelitian.

BAB III GAMBARAN UMUM KOTA SALATIGA

Gambaran objek studi memaparkan karakteristik Kota Salatiga dan menjelaskan secara lebih detail dan holistik mengenai permasalahan penelitian yang berada di wilayah studi.

BAB IV PREDIKSI PERUBAHAN CADANGAN KARBON AKIBAT KONVERSI TUTUPAN LAHAN

Bab ini membahas hasil analisis peneliti sesuai dengan sasaran penelitian. Adapun hasil analisis berupa identifikasi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2009 dan 2019, prediksi tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2029, perhitungan perubahan tutupan lahan Kota Salatiga tahun 2019-2029, dan perhitungan prediksi perubahan cadangan karbon Kota Salatiga tahun 2019-2029.

BAB V KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Bab ini berisi kesimpulan dan rekomendasi peneliti berdasarkan hasil analisis.