

DISERTASI

**PEMODELAN SPASIAL PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN
DAN DAYA DUKUNG LINGKUNGAN
KAWASAN STRATEGIS NASIONAL MAMMINASATA**

*SPATIAL MODELLING OF LAND USE PREDICTION
AND ENVIRONMENTAL CARRYING CAPACITY
IN NATIONAL STRATEGIC AREA MAMMINASATA*

Disusun dan diajukan oleh:

Andi Muhammad Yasser Hakim

P013181013



**PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**PEMODELAN SPASIAL PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN
DAN DAYA DUKUNG LINGKUNGAN
KAWASAN STRATEGIS NASIONAL MAMMINASATA**

*SPATIAL MODELLING OF LAND USE PREDICTION
AND ENVIRONMENTAL CARRYING CAPACITY
IN NATIONAL STRATEGIC AREA MAMMINASATA*

Disertasi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor

Program Studi
Ilmu Pertanian

Disusun dan diajukan oleh:

**Andi Muhammad Yasser Hakim
P013181013**

Kepada

**PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN DISERTASI

**PEMODELAN SPASIAL PREDIKSI PENGGUNAAN LAHAN
DAN DAYA DUKUNG LINGKUNGAN
KAWASAN STRATEGIS NASIONAL MAMMINASATA**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI MUHAMMAD YASSER HAKIM

P013181013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Ilmu Pertanian
Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
pada tanggal 26 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Promotor



Prof. Ir. Sumbangan Baja, M.Phil. Ph.D.

Nip.19631229 1990021001

Co. Promotor

Co. Promotor



Prof. Dr. Ir. D. Agnes Rampisela, M.Sc.

Nip.19570117 1983032001



Dr. Samsu Arif, M.Si.

Nip.19630518 1991031011

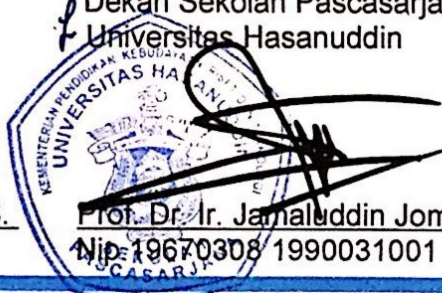
Ketua Program Studi
Ilmu Pertanian



Prof. Dr. Ir. Darmawan Salman, M.S.

Nip. 19630606 1988031004

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.

Nip.19670308 1990031001

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andi Muhammad Yasser Hakim
Nomor Pokok Mahasiswa : P013181013
Program Studi : Ilmu Pertanian
Jenjang : S3

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

“Pemodelan Spasial Prediksi Penggunaan Lahan dan Daya Dukung Lingkungan Kawasan Strategis Nasional Mamminasata”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil-alihan tulisan orang lain, dan bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, Juli 2021

Yang menyatakan,



Andi Muhammad Yasser Hakim

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan hasil penelitian yang berjudul **“Pemodelan Spasial Prediksi Penggunaan Lahan dan Daya Dukung Lingkungan Kawasan Strategis Nasional Mamminasata”**. Disertasi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Ilmu Pertanian Pascasarjana, Universitas Hasanuddin.

Penelitian ini disusun berdasarkan kondisi Mamminasata yang dinilai berpotensi terjadinya fenomena perubahan penggunaan lahan yang cukup signifikan dan tidak terkendali, menimbang lokasi tersebut merupakan kawasan strategis nasional dan sebagai pusat kegiatan ekonomi di Indonesia Timur. Hal ini juga dikhawatirkan akan menurunkan kondisi daya dukung lingkungan di Mamminasata pada masa yang akan datang. Penyusunan laporan ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi pemerintah setempat dan menjadi bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa proses penelitian dan penulisan disertasi ini tidak akan berjalan lancar dan selesai tepat waktu tanpa dukungan dari banyak pihak. Karena itu, penulis menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada yang terhormat:

1. Komisi pembimbing: Prof. Ir. Sumbangan Baja, M.Phil. Ph.D., Prof. Dr. Ir. Dorothea Agnes Rampisela, M.Sc., dan Dr. Samsu Arif, M.Si., yang telah banyak memberikan arahan, saran, masukan, motivasi, dan perhatian, serta bantuan dalam memperoleh dana penelitian dari Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui program Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Batch 3 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan hingga selesai dengan baik.

2. Pembimbing eksternal: Sensei Masayuki Matsuoka, Ph.D., yang telah menerima penulis sebagai mahasiswa untuk program Six University Initiative Japan Indonesia (SUIJI) di Kochi University, Japan dan membantu penulis dalam penyelesaian penelitian sehingga hasilnya dapat diterbitkan pada jurnal bereputasi.
3. Tim penguji: Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si., Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M.Sc., Dr. Ir. Rismaneswati, MP., Andang Suryana Soma, S.Hut. MP. Ph.D., sebagai penguji internal dan Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS sebagai penguji eksternal pada ujian tutup dan promosi doktor ini. Terima kasih pula kepada kedua penguji seminar proposal (alm.) Prof. Dr. Ir. Muchtar Salam Solle, M.Sc. PGD., serta (alm.) Dr. Paharuddin, M.Si. Semoga Allah SWT menempatkan beliau ditempat terbaik disisi-Nya.
4. Kepada Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. sebagai rektor Universitas Hasanuddin. Kepada Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. sebagai dekan sekolah pascasarjana beserta jajarannya. Kepada Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng. sebagai ketua program studi S2 Perencanaan Pengembangan Wilayah beserta para dosen pengajar dan staf administrasi. Serta kepada Prof. Dr. Ir. Darmawan Salman, M.S. sebagai ketua program studi S3 Ilmu Pertanian beserta para dosen pengajar dan staf administrasi.
5. Kepada rekan-rekan PMDSU Batch 3 Universitas Hasanuddin yang sama-sama berjuang dalam menempuh Pendidikan S2–S3, baik dalam suka maupun duka selama menyelesaikan program ini.

Secara khusus ungkapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta (Andi Achmar Yani Hakim dan Haskiah), om dan tante, Kakak Tanra dan istri, serta keponakan (Ratu, Rafa, Lisa) atas doa, semangat, dukungan moril maupun materil, serta motivasi yang sangat besar yang telah diberikan kepada penulis. Hanya Allah SWT yang dapat membalas atas segala kebaikan yang telah disalurkan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini.

Makassar, Juli 2021

Penulis,

Andi Muhammad Yasser Hakim

ABSTRAK

ANDI MUHAMMAD YASSER HAKIM. **Pemodelan Spasial Prediksi Penggunaan Lahan dan Daya Dukung Lingkungan Kawasan Strategis Nasional Mamminasata** (dibimbing oleh Sumbangan Baja, Dorothea Agnes Rampisela, dan Samsu Arif).

Rencana tata ruang wilayah Mamminasata, Provinsi Sulawesi Selatan ditetapkan oleh Pemerintah Indonesia untuk tahun 2011–2031. Program tersebut salah satunya mengatur arahan peruntukan kawasan budidaya dan kawasan lindung. Hanya saja, prediksi perubahan penggunaan lahan dan daya dukung lingkungan tidak dipertimbangkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasi dan memvalidasi jenis-jenis penggunaan lahan Mamminasata tahun 2006, 2011, 2016 dan mengidentifikasi besar perubahan tiap rentang waktu. Kedua, memodelkan prediksi penggunaan lahan Mamminasata tahun 2031 dan mengidentifikasi besar perubahan tiap rentang waktu berdasarkan dua skenario yang dibangun. Ketiga, mengevaluasi peta rencana pola ruang terhadap model prediksi penggunaan lahan Mamminasata; dan keempat, memprediksikan dan menilai kondisi daya dukung lingkungan Mamminasata tahun 2031. Hasil tujuan 1–3 diperoleh melalui integrasi metode Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis, sedangkan hasil tujuan 4 diperoleh melalui metode statistik. Hasil penelitian ini menunjukkan pada rentang tahun 2006–2016, penggunaan lahan jenis lahan terbangun mengalami pertambahan sebesar 484 ha dengan akurasi klasifikasi peta penggunaan lahan yang diperoleh lebih dari 80%. Skenario proyeksi penduduk lebih layak dijadikan sebagai acuan dalam arahan pemanfaatan ruang di Mamminasata. Berdasarkan kedua skenario yang dibangun, Zona B2 pada kawasan budidaya dan Zona L3 pada kawasan lindung memiliki persentase tertinggi dengan pemanfaatan peruntukan sesuai dengan fungsinya. Daya dukung lingkungan yang dinilai berdasarkan empat sektor di Mamminasata pada tahun 2031 menunjukkan kondisi yang baik. Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan oleh Pemerintah dalam merumuskan rencana pembangunan berkelanjutan Mamminasata di masa depan.

Kata kunci: daya dukung lingkungan, Mamminasata, pembangunan berkelanjutan, penggunaan lahan, rencana tata ruang wilayah

ABSTRACT

ANDI MUHAMMAD YASSER HAKIM. **Spatial Modelling of Land Use Prediction and Environmental Carrying Capacity in National Strategic Area Mamminasata** (supervised by Sumbangan Baja, Dorothea Agnes Rampisela, and Samsu Arif).

The spatial plan for Mamminasata area, South Sulawesi Province was established by the Indonesian Government for 2011–2031. One of the program's directives is to regulate designation of development and protected areas. However, predictions of land use changes and environmental carrying capacity were not considered. The purposes of this study were to classify and validate types of land use in Mamminasata in 2006, 2011, 2016, and to identify the changes in each time span. Secondly, to model prediction of land use for 2031 and identify changes in each time span based on two scenarios made. Third, to evaluate spatial pattern plan map towards land use prediction model; and fourth, to predict and assess the environmental carrying capacity for 2031. Integration of Remote Sensing and Geographic Information System methods was carried out for first three purposes and statistical methods for the fourth. Results indicated that during 2006–2016, built-up area increased by 484 ha with >80% accuracy of land use map classification obtained. The population projection scenario is more feasible to be used as reference for spatial direction in Mamminasata region. Based on the two scenarios made, Zone B2 in the development area and Zone L3 in the protected area have the highest percentage of allotment utilization according to its functions. Environmental carrying capacity assessed based on four sectors in Mamminasata region was predicted to be in good condition in 2031. Results of this study can be used as a reference by the Government in formulating Mamminasata's future sustainable development plan.

Keywords: environmental carrying capacity, land use, Mamminasata, spatial plan, sustainable development

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Kegunaan/Manfaat Penelitian	4
E. Kebaruan Penelitian.....	5
F. Ruang Lingkup/Batasan Penelitian.....	6
G. Sistematika dan Organisasi	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Pembangunan Berkelanjutan.....	9
B. Penggunaan Lahan dan Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Penggunaan Lahan	10
C. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis	11
D. Ketidakpastian (<i>Uncertainty</i>).....	12
E. Klasifikasi Penggunaan Lahan.....	14
F. Model Perubahan Penggunaan Lahan	15
G. Daya Dukung Lingkungan.....	17
H. Arahana Pemanfaatan Ruang	18
I. Kerangka Konseptual.....	18

BAB III METODE PENELITIAN	20
A. Rancangan Penelitian.....	20
B. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	20
C. Kebutuhan Data dan Instrumen Pengumpulan Data	23
D. Teknik Analisis Data	25
1. Klasifikasi Penggunaan Lahan	25
2. Model Perubahan Penggunaan Lahan.....	33
3. Perbandingan dengan Rencana Tata Ruang.....	40
4. Perhitungan Daya Dukung Lingkungan.....	42
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	49
A. Hasil Penelitian	49
1. Penggunaan Lahan Tahun 2006, 2011, dan 2016.....	49
2. Model Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2016 dan 2031	53
3. Evaluasi Rencana Pola Ruang.....	64
4. Kondisi Daya Dukung Lingkungan	72
B. Pembahasan.....	83
BAB V PENUTUP.....	92
A. Kesimpulan	92
B. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA.....	96
LAMPIRAN.....	102
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	136

DAFTAR TABEL

1.	Daftar nama-nama kecamatan yang terdapat di KSN Mamminasata berdasarkan kota/kabupaten.....	21
2.	Waktu perekaman, satelit dan sensor citra yang digunakan dalam tiga periode analisis klasifikasi penggunaan lahan.....	23
3.	Jenis data, unit data, dan sumber kebutuhan data.....	24
4.	Daftar komposit scene untuk metode komposit citra satelit.....	27
5.	Daftar pasangan citra untuk metode deteksi perubahan.....	31
6.	Penjelasan terkait kawasan budidaya dan kawasan lindung di KSN Mamminasata.....	41
7.	Standar kebutuhan ruang berdasarkan jumlah penduduk.....	43
8.	Tingkat kepadatan lingkungan, jumlah rumah per hektar, dan koefisien kebutuhan ruang per kapita berdasarkan lokasi geografis.....	47
9.	Hasil <i>ground truthing</i> untuk peta klasifikasi penggunaan lahan aktual tahun 2011 dan 2016.....	52
10.	Nilai Cramer's V dari masing-masing faktor pendorong.....	57
11.	Nilai uji akurasi prediksi perubahan penggunaan lahan 2016 terhadap peta aktual 2016 berdasarkan jenis Kappa.....	60
12.	Hasil <i>ground truthing</i> untuk peta model prediksi penggunaan lahan tahun 2016.....	60
13.	Luas dan persentase penggunaan lahan tahun 2016–2031.....	61
14.	Hasil tumpang susun peta rencana pola ruang terhadap prediksi penggunaan lahan tahun 2031.....	68
15.	Kondisi demografis di KSN Mamminasata tahun 2006–2019 berdasarkan kota/kabupaten.....	72
16.	Hasil perhitungan proyeksi penduduk di KSN Mamminasata tahun 2031 berdasarkan kota/kabupaten.....	73

17.	Hasil perhitungan kondisi daya tampung wilayah di KSN Mamminasata tahun 2006–2031 berdasarkan kota/kabupaten.....	74
18.	Produksi, luas panen, dan produktivitas tanaman pangan di KSN Mamminasata tahun 2006–2019 berdasarkan kota/kabupaten.....	77
19.	Hasil perhitungan daya dukung lahan pertanian ditinjau dari nilai dan kelas daya dukung lahan pertanian tanaman pangan dan jumlah penduduk optimal di KSN Mamminasata tahun 2006–2019 berdasarkan kota/kabupaten.....	78
20.	Proyeksi kebutuhan lahan pertanian tanaman pangan di KSN Mamminasata tahun 2031 berdasarkan kota/kabupaten.....	79
21.	Luas wilayah keseluruhan, kawasan lindung, kawasan rawan bencana, dan lahan layak permukiman di KSN Mamminasata berdasarkan kota/kabupaten.....	80
22.	Hasil perhitungan daya dukung permukiman di KSN Mamminasata berdasarkan kota/kabupaten.....	80
23.	Distribusi penggunaan lahan berdasarkan fungsi peruntukannya pada tiap-tiap zona di KSN Mamminasata tahun 2031.....	87

DAFTAR GAMBAR

1.	Bagan kerangka konseptual prediksi penggunaan lahan dan daya dukung lingkungan	19
2.	Lokasi penelitian	22
3.	Diagram alur klasifikasi penggunaan lahan tahun 2006, 2011, dan 2016	26
4.	Diagram alur pemodelan perubahan penggunaan lahan dan evaluasi peta pola ruang dari pemerintah.....	35
5.	Landsat 7 ETM+ 2011.....	50
6.	Peta klasifikasi penggunaan lahan.....	51
7.	Grafik penambahan dan pengurangan penggunaan lahan periode tahun 2006–2011 dan 2011–2016.....	54
8.	Peta faktor-faktor pendorong.....	55
9.	Peta pemodelan tahun 2016.....	58
10.	Peta hasil validasi.....	59
11.	Peta prediksi penggunaan lahan tahun 2031.....	62
12.	Grafik perbandingan luas penggunaan lahan KSN Mamminasata tahun 2031 berdasarkan kota/kabupaten.....	63
13.	Peta rencana pola ruang KSN Mamminasata dari pemerintah.....	64
14.	Grafik persentase luas area tiap zona.....	65
15.	Peta rencana pola ruang yang ditumpang-susun.....	66
16.	Nilai daya dukung fungsi lindung di KSN Mamminasata tahun 2016–2031.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

1. Metode <i>cloud masking</i> dan <i>Support Vector Machine</i>	104
2. Metode pengaturan reflektansi peta penggunaan lahan.....	107
3. <i>Check point</i> pada citra <i>Google Earth</i>	108
4. Perangkat lunak <i>Map Plus</i>	114
5. Metode deteksi perubahan.....	115
6. Metode model perubahan penggunaan lahan.....	117
7. Dokumentasi survei lapangan.....	119
8. Titik survei lapangan berdasarkan jenis penggunaan lahan	122
9. Artikel	135

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Konsep pembangunan berkelanjutan yang ditetapkan pada Agenda 21 di Rio de Janeiro (United Nations, 1992), memicu banyak negara, utamanya negara-negara berkembang, berupaya untuk mencapai tujuan dari konsep tersebut. Konsep utama dari pembangunan berkelanjutan terdiri dari tiga pilar yaitu, sosial, ekonomi, dan lingkungan (Purvis et al., 2018). Berbagai isu yang mempengaruhi pembangunan berkelanjutan saling terkait secara geospasial dan dapat dianalisis, dimodelkan, dan dipetakan dalam konteks geografis (Scott & Rajabifard, 2017). Indonesia sebagai negara berkembang dan negara industri baru yang tumbuh subur di pertengahan 1990-an (Hsu & Perry, 2015), telah menerapkan konsep pembangunan berkelanjutan dalam program perencanaan tata ruang. Program-program tersebut salah satunya memuat regulasi terkait arahan peruntukan kawasan budidaya dan kawasan lindung pada suatu wilayah yang diwujudkan dalam rencana pola ruang.

Pemerintah daerah di Kawasan Strategis Nasional (KSN) Mamminasata yang terletak di Provinsi Sulawesi Selatan telah menetapkan perencanaan tata ruang pada kawasan tersebut sejak tahun 2006. Beberapa permasalahan yang teridentifikasi terkait kondisi penggunaan lahan dan perencanaan tata ruang (Japan International Cooperation Agency, 2006), diantaranya: (a) rencana tata ruang eksisting kurang memperhatikan pelaksanaannya, terutama untuk kawasan konservasi, lindung dan rawan bencana; (b) keseimbangan antara penggunaan lahan saat ini dan pembangunan masa depan tidak sepenuhnya diperhitungkan dalam rencana tata ruang yang ada; dan (c) kurangnya koordinasi antar instansi dan lembaga pemerintah. Isu penting lainnya adalah prediksi penggunaan lahan yang belum dipertimbangkan dalam rencana tata ruang KSN Mamminasata.

Beberapa peneliti telah mempelajari hubungan antara pembangunan berkelanjutan dan perubahan penggunaan lahan. García-Ruiz et al., (1996), mengaitkan efek perubahan penggunaan lahan pada pembangunan berkelanjutan di daerah pegunungan Pyrenees, Spanyol. Musa et al., (2018), memodelkan pembangunan kota berdasarkan perubahan penggunaan lahan untuk pembangunan berkelanjutan di wilayah Delta Niger, Nigeria. Salazar et al., (2020), menggabungkan perencanaan kota, konservasi alam, dan kawasan bencana untuk membangun model prediksi perubahan penggunaan lahan sebagai panduan untuk pembangunan berkelanjutan di Distrik Metropolitan Quito, Ekuador. Berdasarkan hal tersebut, pemodelan prediksi penggunaan lahan merupakan bagian penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan.

Pemanfaatan sumber daya alam dengan tujuan dan maksud tertentu merupakan hakikat dari suatu pembangunan (Muta'ali, 2012). Hal tersebut sangat erat kaitannya dengan konsep daya dukung lingkungan. Perhatian terhadap daya dukung lingkungan sangat penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan (Liu & Borthwick, 2011). Konsep daya dukung lingkungan ini merupakan bentuk dari perbandingan antara kebutuhan manusia (yang diwujudkan dalam bentuk pembangunan) terhadap ketersediaan sumber daya alam. Kebutuhan manusia (*demand*) yang setiap waktu terus meningkat bertolak belakang dengan ketersediaan sumber daya alam (*supply*) yang terbatas. Apabila kecenderungan tersebut berlangsung terus menerus, maka dapat mengakibatkan kualitas dan kemampuan lingkungan menjadi sulit untuk diatasi yang juga dapat berpengaruh terhadap kondisi perekonomian suatu wilayah.

Ketimpangan antara *demand* dengan *supply* diindikasikan dapat terjadi di KSN Mamminasata. Peningkatan pertumbuhan ekonomi pada kawasan tersebut dapat memicu terjadinya arus migrasi penduduk ke dalam KSN Mamminasata, utamanya ke Kota Makassar sebagai kawasan perkotaan inti yang pertumbuhan penduduknya dapat menyebar ke daerah pinggiran kota hingga ke kawasan perkotaan sekitarnya di Kabupaten

Maros, Gowa (Sungguminasa) dan Takalar. Hal ini tercermin dari kondisi ekonomi rata-rata yang terus meningkat di KSN Mamminasata sebesar 39% di tahun 2006, 44% di tahun 2011, dan 45% di tahun 2016 berdasarkan data Produk Domestik Regional Bruto. Kondisi tersebut juga disebabkan karena Kota Makassar merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan dan KSN Mamminasata merupakan kawasan pusat ekonomi di Indonesia Timur.

Peningkatan jumlah penduduk berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Selatan di KSN Mamminasata dari tahun 2006–2016 sebesar 18,30% berimplikasi pada peningkatan kebutuhan ruang untuk permukiman dan berbagai ruang untuk aktifitas lainnya, dan diprediksikan akan terus meningkat. Adanya peningkatan kebutuhan ruang untuk kawasan terbangun mempunyai konsekuensi terhadap kecenderungan berubahnya penggunaan suatu lahan tertentu utamanya lahan pertanian dan lahan vegetasi ke penggunaan lahan untuk lahan terbangun yang berpengaruh terhadap kondisi daya dukung lingkungan.

Saat ini, Pemerintah Indonesia telah membuat rencana tata ruang untuk tahun 2011–2031 untuk menjadikan Mamminasata sebagai pusat layanan berskala internasional di Indonesia Timur dengan tujuan mencapai pembangunan berkelanjutan. Untuk mendukung rencana tersebut, pemerintah menetapkan Mamminasata sebagai kawasan strategis nasional, dengan tujuan agar kawasan ini menjadi model kawasan metropolitan dan sebagai contoh pembangunan perkotaan bagi kota-kota lain di Indonesia (Peraturan Presiden No. 55, 2011). Hanya saja, seperti halnya pada rencana tata ruang sebelumnya, pada rencana ini prediksi penggunaan lahan di masa depan belum dipertimbangkan.

Berdasarkan penjelasan-penjelasan tersebut, dibutuhkan pemodelan prediksi penggunaan lahan di KSN Mamminasata untuk mengevaluasi peta rencana tata ruang yang salah satunya diwujudkan dalam rencana pola ruang. Kondisi perubahan penggunaan lahan yang berpengaruh terhadap kondisi daya dukung lingkungan dapat diketahui melalui proses evaluasi

tersebut. Sehingga hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan dalam menetapkan konsep pembangunan berkelanjutan di KSN Mamminasata untuk masa depan.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat ditarik adalah:

1. Bagaimana kondisi penggunaan lahan di KSN Mamminasata tahun 2006, 2011, dan 2016?
2. Bagaimana model prediksi penggunaan lahan di KSN Mamminasata tahun 2031?
3. Bagaimana kondisi rencana pola ruang terhadap prediksi perubahan penggunaan lahan di KSN Mamminasata tahun 2031?
4. Bagaimana kondisi daya dukung lingkungan di KSN Mamminasata tahun 2031?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengklasifikasi dan memvalidasi jenis-jenis penggunaan lahan KSN Mamminasata tahun 2006, 2011, dan 2016 dan mengidentifikasi besar perubahan tiap rentang waktu.
2. Memodelkan prediksi penggunaan lahan KSN Mamminasata tahun 2031 dan mengidentifikasi besar perubahan tiap rentang waktu berdasarkan dua skenario yang dibangun.
3. Mengevaluasi peta rencana pola ruang untuk tahun 2031 terhadap model prediksi penggunaan lahan KSN Mamminasata.
4. Memprediksikan dan menilai kondisi daya dukung lingkungan KSN Mamminasata tahun 2031.

D. Kegunaan/Manfaat Penelitian

Kecenderungan perubahan penggunaan lahan dari lahan produktif ke lahan terbangun yang tidak terkendali dan menurunnya kondisi daya

dukung lingkungan diduga akan terus berlangsung pada tahun-tahun selanjutnya seiring dengan perkembangan Kota Makassar dan ketiga wilayah lainnya di KSN Mamminasata. Dengan kondisi tersebut, dibutuhkan strategi pengendalian pemanfaatan ruang dengan melakukan kajian terkait prediksi perubahan penggunaan lahan melalui pendekatan spasial dan daya dukung lingkungan yang dianalisis menggunakan metode statistik. Metode dari penelitian ini dapat menjadi acuan dalam penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang berkontribusi untuk dunia ilmu pengetahuan. Sedangkan, hasil dari penelitian ini dapat dijadikan acuan oleh pemerintah dalam penerapan konsep pembangunan berkelanjutan di KSN Mamminasata untuk masa depan.

E. Kebaruan Penelitian

Regulasi terkait RTRW di Indonesia merupakan perwujudan konsep pembangunan berkelanjutan. Regulasi tersebut salah satunya memuat penjelasan terkait arahan peruntukan penggunaan lahan dan daya dukung lingkungan yang tertuang dalam rencana pola ruang. Hanya saja, pedoman maupun laporan RTRW dan kajian-kajian terkait lingkungan hidup yang telah dibuat oleh pemerintah hanya mempertimbangkan kondisi eksisting yang memuat proyeksi jumlah dan kebutuhan penduduk dalam merumuskan arahan peruntukan penggunaan lahan dan daya dukung lingkungan suatu wilayah. Prediksi penggunaan lahan belum dipertimbangkan dalam perumusan RTRW.

Penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah (*gap*) tersebut melalui integrasi ilmu, metode dan teknologi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di KSN Mamminasata. Adapun kebaruan dalam penelitian ini adalah diperoleh informasi terkait model prediksi penggunaan lahan untuk tiap-tiap zona pada kawasan budidaya dan kawasan lindung (rencana pola ruang) pada RTRW KSN Mamminasata untuk tahun 2031 berdasarkan dua skenario yang dibangun (skenario *Business as Usual* dan proyeksi penduduk). Serta, diperoleh informasi terkait kondisi daya dukung

lingkungan berdasarkan daya tampung demografis, daya dukung lahan pertanian, daya dukung permukiman, dan daya dukung fungsi lindung di KSN Mamminasata untuk tahun 2031.

F. Ruang Lingkup/Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian dibagi menjadi dua (yang akan dijelaskan secara rinci pada BAB III). Ruang lingkup wilayah yaitu berdasarkan batas administrasi KSN Mamminasata, dan ruang lingkup substansi yang disesuaikan berdasarkan tujuan penelitian, yaitu:

1. Terkait kondisi penggunaan lahan, penelitian ini menggunakan enam jenis penggunaan lahan dengan rentang waktu tiap lima tahun dari 2006, 2011, dan 2016. Enam jenis penggunaan lahan ini mewakili jenis-jenis penggunaan lahan pada rencana tata ruang KSN Mamminasata dan berdasarkan acuan SNI 7645-1: 2014 tentang klasifikasi penutupan lahan – bagian 1: skala kecil dan menengah, agar lebih mempermudah dalam penelitian. Sedangkan rentang waktu dipilih mengingat RTRW KSN Mamminasata berlaku mulai tahun 2011 sampai tahun 2031. Selain itu, rentang lima tahun dipilih karena secara eksplisit terjadi perubahan penggunaan lahan yang nyata di lokasi penelitian yang dapat ditampilkan melalui citra satelit, dan kegiatan evaluasi RTRW dilakukan setiap lima tahun sekali.
2. Terkait prediksi perubahan penggunaan lahan, dipilih rentang waktu 15 tahun dari tahun 2016 mengingat rencana tata ruang KSN Mamminasata berlaku sampai tahun 2031. Faktor-faktor pendorong perubahan penggunaan lahan yang digunakan pada model hanya berupa faktor populasi dan faktor fisik wilayah. Faktor ekonomi tidak dimasukkan karena tidak sesuai format data yang tersedia (data statistik) terhadap proses pemodelan yang berupa data raster. Skenario model perubahan penggunaan lahan yang dibangun pada penelitian ini adalah berdasarkan *Business as Usual* (BAU) dan proyeksi penduduk.

3. Terkait evaluasi peta pola ruang terhadap peta prediksi penggunaan lahan, hal ini dilakukan untuk mengetahui proporsi penggunaan lahan terhadap kawasan lindung dan kawasan budidaya di KSN Mamminasata pada masa depan.
4. Terkait daya dukung lingkungan, proses perhitungan akan berpacu pada konsep dan tujuan dari daya tampung demografis, daya dukung lahan pertanian, daya dukung permukiman, dan daya dukung fungsi lindung di KSN Mamminasata.

G. Sistematika dan Organisasi

Tulisan ini terdiri atas lima bab yang dijelaskan sebagai berikut:

Bab I merupakan bab pendahuluan yang terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, kegunaan/manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika dan organisasi.

Bab II merupakan bab tinjauan pustaka yang terdiri atas konsep pembangunan berkelanjutan, teori penggunaan lahan dan faktor-faktor pendorong perubahan penggunaan lahan, penginderaan jauh dan sistem informasi geografis yang menjadi dasar dalam memperoleh peta penggunaan lahan, *uncertainty*, metode klasifikasi penggunaan lahan, model perubahan penggunaan lahan, konsep daya dukung lingkungan, arahan pemanfaatan ruang sebagai pedoman dalam mencapai konsep pembangunan berkelanjutan, yang dirangkum dalam kerangka konseptual.

Bab III merupakan metode penelitian yang terdiri atas rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, kebutuhan dan instrumen pengumpulan data, dan teknik analisis data berupa klasifikasi penggunaan lahan, model perubahan penggunaan lahan, perbandingan dengan rencana tata ruang, dan perhitungan daya dukung lingkungan.

Bab IV merupakan bab hasil penelitian yang menjelaskan terkait penggunaan lahan tahun 2006, 2011, dan 2016, model prediksi penggunaan lahan tahun 2016 dan 2031, evaluasi rencana pola ruang,

kondisi daya dukung lingkungan, pembahasan dan integrasi antar tujuan penelitian dari hasil penelitian yang diperoleh.

Bab V merupakan bab yang terdiri atas kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangunan Berkelanjutan

Permasalahan dunia terkait kemiskinan, ketidaksetaraan, perubahan iklim, degradasi lingkungan, perdamaian dan keadilan menjadi dasar ditetapkannya konsep pembangunan berkelanjutan pada Agenda 21 di Rio de Janeiro (United Nations, 1992). Pembangunan berkelanjutan menurut laporan dari Komisi Brundtland tahun 1987 diartikan sebagai pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (Shah, 2008). Konsep kebutuhan lebih dari sekadar kebutuhan material yang mencakup nilai, hubungan, kebebasan untuk berpikir, bertindak, dan berpartisipasi. Hal-hal tersebut merupakan konsep kehidupan yang berkelanjutan, baik secara moral maupun secara spiritual.

Pembangunan berkelanjutan menyatukan kepedulian terhadap daya dukung lingkungan dengan tantangan sosial, politik, dan ekonomi yang dihadapi umat manusia. Menurut Muralikrishna & Manickam, (2017), pembangunan berkelanjutan menyadari bahwa pertumbuhan harus inklusif dan berwawasan lingkungan untuk mengurangi kemiskinan dan membangun kemakmuran bersama bagi generasi saat ini dan untuk terus memenuhi kebutuhan generasi mendatang. Keduanya menambahkan bahwa tiga pilar pembangunan berkelanjutan (pertumbuhan ekonomi, pemeliharaan lingkungan, dan inklusi sosial) memuat semua sektor pembangunan, dari kota yang menghadapi urbanisasi cepat hingga sektor pertanian, infrastruktur, pengembangan dan penggunaan energi, ketersediaan air, dan transportasi.

Menurut García-Ruiz et al., (1996), konsep pembangunan berkelanjutan dapat dirumuskan dengan mengetahui kondisi perubahan penggunaan lahan. Sedangkan menurut Liu & Borthwick, (2011),

pembangunan berkelanjutan dapat dicapai dengan memperhatikan kondisi daya dukung lingkungan suatu wilayah.

B. Penggunaan Lahan dan Faktor yang Mempengaruhi Perubahan Penggunaan Lahan

Menurut Baja (2012), penggunaan lahan berkaitan dengan aktivitas manusia yang secara langsung berhubungan dengan lahan, di mana terjadi penggunaan dan pemanfaatan lahan dan sumber daya yang ada serta menyebabkan dampak pada lahan. Produksi tanaman, tanaman kehutanan, permukiman perumahan adalah bentuk dari penggunaan lahan.

Perubahan penggunaan lahan dalam pelaksanaan pembangunan tidak dapat dihindari. Perubahan tersebut terjadi karena adanya keperluan untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang terus meningkat jumlahnya dan tuntutan akan mutu kehidupan yang lebih baik. Menurut Arsyad (2010), semua bentuk intervensi manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup manusia baik materil maupun spiritual merupakan ilustrasi perubahan penggunaan lahan.

Meskipun alasan utama terjadinya perubahan penggunaan lahan yang sangat cepat adalah pertumbuhan populasi, hal tersebut juga dipengaruhi oleh kombinasi dari faktor lingkungan, geografis, sosial ekonomi (Hassan et al., 2016; Kurniawan & Krol, 2014; Minallah et al., 2016), dan faktor kelembagaan dan kebijakan (Baja et al., 2011).

Kurniawan & Krol (2014), meneliti perubahan penggunaan lahan menggunakan faktor-faktor pendorong berupa kepadatan penduduk, jarak dari jalan, jarak dari sungai, jarak dari kota terdekat, jarak dari pusat perkotaan, jarak dari lahan terbangun eksisting, jarak dari lahan pertanian eksisting, jarak dari lokasi wisata (faktor sosial ekonomi), dan elevasi, kemiringan lereng, batuan, jenis tanah (faktor bio-fisik).

Hassan et al. (2016), mengemukakan faktor-faktor pendorong perubahan penggunaan lahan yaitu, faktor lingkungan (temperatur dan curah hujan) dan faktor sosial ekonomi (Produk Domestik Bruto dan

kepadatan penduduk). Gharbia et al. (2016), meneliti fenomena tersebut menggunakan faktor pendorong yaitu, kepadatan penduduk, jarak dari jalan utama dan jalan kecil, jarak dari pusat kota, jarak dari lahan terbangun eksisting, kemiringan lereng, kawasan lindung, dan kawasan rawan bencana. Lee et al. (2013), menambahkan terkait masalah dan kebijakan umum merupakan salah satu faktor terjadinya perubahan penggunaan lahan.

C. Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis

Menurut Lillesand & Kiefer (2000), penginderaan jauh (PJ) merupakan ilmu dan seni dalam memperoleh suatu informasi tentang area, objek, atau fenomena alam melalui analisis data yang diakuisisi oleh suatu alat atau teknologi tanpa adanya kontak langsung dengan area, objek, atau fenomena alam tersebut. Secara sederhana, Baja (2012) menjelaskan bahwa penginderaan jauh terkait dengan deteksi dan pengukuran fenomena dengan perangkat sensitif terhadap energi elektromagnetik (tanpa sentuhan langsung ke objek tersebut) seperti: cahaya (kamera dan *scanner*); panas (*thermal scanner*); gelombang mikro dan radio (*radar*).

Sistem informasi geografis (SIG) menurut Star & Estes (1990) adalah suatu sistem berbasis komputer untuk menangkap, menyimpan, memanggil kembali, menganalisis, dan menampilkan data spasial sehingga efektif dalam menangani permasalahan yang kompleks baik untuk kepentingan penelitian, perencanaan, pelaporan, maupun untuk pengelolaan sumber daya dan lingkungan. Star & Estes (1990) juga menyimpulkan bahwa SIG memiliki 4 lingkup, diantaranya: kegiatan pemetaan (*mapping*); aspek-aspek pengukuran baik kuantitatif maupun kualitatif (*measurement*); kegiatan pemantauan terhadap perubahan-perubahan fenomena/kondisi (*monitoring*); dan kegiatan pemodelan terhadap fenomena/kondisi (*modelling*). Dalam hal ini, Baja (2012) menambahkan bahwa SIG sangat efektif dalam pengelolaan basis data (*management*).

Untuk mensimulasikan dan memprediksi perubahan penggunaan lahan, berbagai model telah diterapkan, terutama dengan menggabungkan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (Chim et al., 2019; Sohl et al., 2016). Losiri et al., (2016), mengklasifikasikan model tersebut menjadi empat jenis: (a) model empiris dan statistik seperti *Markov chain* dan regresi logistik; (b) model dinamis seperti *cellular automata*, model berbasis agen, algoritma genetika, jaringan saraf tiruan, dan sistem dinamis; (c) model terintegrasi seperti *conversion of land use and its effects at small regional extent* (CLUE-S) dan Dyna-CLUE; dan model hybrid seperti *Metronamica*, *land transformation model*, *land change modeler* (LCM), dan *slope, land use, exclusion, urban extent, transportation, and hill-shade* (SLEUTH).

D. Ketidakpastian (*Uncertainty*)

Uncertainty telah menjadi topik penting dalam ilmu informasi geografis selama lebih dari dua dekade. Fokus luaran spasial dari SIG adalah: (i) peta yang menunjukkan variabel utama dan (ii) beberapa penilaian ketidakpastian pada peta tersebut (Foody & Atkinson, 2002). Ketidakpastian juga telah menjadi subyek dari banyak penelitian dalam penginderaan jauh dengan fokus utamanya adalah penilaian (dan peningkatan) prediksi atau akurasi klasifikasi. Namun, ketidakpastian dalam penginderaan jauh menjadi kurang eksplisit daripada ketidakpastian dalam SIG, karena sedikitnya permintaan untuk menghasilkan peta yang menggambarkan ketidakpastian.

Ketidakpastian merupakan masalah yang kompleks dan multi-sektor yang merupakan inti dari (spasial) statistik, yang secara luas diakui pentingnya dalam ilmu informasi geografis dan semakin penting dalam penginderaan jauh. Ketidakpastian muncul dari banyak sumber mulai dari ketidaktahuan (misalnya dalam pemahaman), melalui pengukuran hingga prediksi. Kamus Bahasa Inggris Oxford memberikan definisi berikut untuk kata tidak pasti: 'tidak diketahui atau tidak tahu pasti; tidak untuk

diandalkan; berubah'. Ketidakpastian berkaitan dengan informasi yang berupa *error*, *accuracy*, *bias*, dan *precision* (Foody & Atkinson, 2002).

Error (kesalahan) pada suatu lokasi dapat didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai sebenarnya dan prediksi. Dengan demikian, kesalahan merupakan nilai yang diukur atau diprediksi secara individu dan pada dasarnya berbasis data. Tidak terdapat model statistik yang terlibat dalam kesalahan. Lebih jauh, kesalahan memiliki arti yang sangat berbeda dengan ketidakpastian. Sebagai contoh, diperoleh bahwa nilai prediksi (5,6) dan *error* (-0,02) diketahui dengan sempurna dari suatu perhitungan. Maka dari itu, terdapat kesalahan dalam perhitungan tersebut tetapi tidak ada ketidakpastian. Ketidakpastian berkaitan dengan apa yang 'tidak diketahui atau tidak diketahui pasti'. Dengan demikian, ketidakpastian dikaitkan dengan dugaan (statistik) dan, khususnya, prediksi (statistik). Prediksi statistik semacam ini paling sering merupakan nilai sebenarnya yang tidak diketahui, tetapi bisa juga dari kesalahan yang tidak diketahui. Tiga hal yang berhubungan dengan informasi tentang ketidakpastian: akurasi, bias, dan presisi. Ketiga hal tersebut adalah istilah yang sering disalahgunakan. Misalnya, peneliti sering menggunakan presisi yang berarti akurasi, begitupun sebaliknya.

Bias. Tidak seperti kesalahan, bias berbasis model karena bergantung pada model statistik yang dipasang pada kumpulan dari nilai data. Bias paling sering diprediksi oleh *mean error* (rata-rata kesalahan), yang kemungkinan berupa ukuran paling sederhana dari kesepakatan antara satu set nilai yang diketahui dan satu set nilai prediksi. Dengan demikian, bias adalah ekspektasi *over-* atau *under-*prediksi berdasarkan beberapa model statistik. Semakin besar kesalahan (sistematis), semakin besar pula biasnya. Oleh karena itu, bias adalah ekspektasi statistik, dan untuk memprediksinya, secara umum memerlukan kumpulan nilai. Jika untuk sampel yang besar nilai sebenarnya secara konsisten melebihi perkiraan, dapat disimpulkan bahwa proses pengukuran tersebut adalah bias. Dugaan semacam itu didasarkan pada model statistik.

Precision. Seperti bias, presisi didasarkan pada model yang bergantung pada model statistik yang dipasang pada kumpulan nilai. Presisi paling sering diprediksi menggunakan beberapa ukuran penyebaran kesalahan di sekitar kesalahan rata-rata, misalnya, deviasi standar dari kesalahan (*standard deviation of error*), sering disebut kesalahan prediksi (di mana kesalahan prediksi adalah akar kuadrat dari varians prediksi). Deviasi standar dari kesalahan dapat diprediksi langsung dari kesalahan itu sendiri jika kesalahan tersebut diketahui. Dengan demikian, ketidaktepatan (*imprecision*) adalah ekspektasi dari penyebaran kesalahan. Semakin kecil kesalahan (acak), semakin besar presisi. Dugaan statistik semacam itu, sekali lagi, berbasis model.

Accuracy (akurasi) adalah jumlah dari tidak bias (yaitu kebalikan dari bias) dan presisi. Persamaan sederhana yang mendefinisikan akurasi dalam istilah tidak bias dan presisi ini secara fundamental penting dalam penelitian ketidakpastian. Jika kumpulan data independen digunakan untuk menilai ketidakpastian, akurasi dapat diprediksi secara langsung. Secara khusus, *root mean square error* (RMSE) yang sensitif terhadap kesalahan sistematis dan acak, dapat digunakan untuk memprediksi akurasi. Akurasi, seperti bias dan presisi, bergantung pada model statistik. Ini adalah ekspektasi dari kesalahan keseluruhan.

Penting untuk membedakan antara *error* (kesalahan) dan *accuracy* (akurasi). Pada dasarnya, kesalahan berkaitan dengan satu nilai dan berbasis data. Akurasi berhubungan dengan rata-rata (ekspektasi statistik) dari kumpulan nilai: hal ini berbasis model. Kesalahan nyata yang diamati tidak bergantung pada model yang mendasarinya. Perbedaan antara model dan data penting untuk analisis statistik.

E. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Untuk memperoleh peta klasifikasi penggunaan lahan, *support vector machine* (SVM) dengan kemampuan non-linearitas dan multidimensi merupakan pilihan yang baik karena metode ini memiliki teknik klasifikasi

citra yang handal untuk menangani citra satelit multispektral (Mountrakis et al., 2011). Untuk dua periode atau lebih, metode deteksi perubahan (*change detection*) dapat diterapkan untuk memantau dinamika penggunaan lahan. Metode deteksi perubahan dikelompokkan menjadi dua kategori: perbandingan langsung tanpa pengawasan (PLTP) dan perbandingan pasca klasifikasi yang diawasi (PPKD) (Coppin et al., 2004). PLTP relatif sederhana dan mudah, dan tidak memerlukan pelatihan yang manual (Bruzzone & Prieto, 2000), sedangkan PPKD menggunakan objek citra sebagai unit dasar dalam analisis perubahan dan sekaligus mendeteksi luas dan jenis perubahan (Yuan et al., 2019).

Metode *change detection* sederhana lainnya adalah *change vector analysis* (CVA), yang menghitung vektor perubahan spektral menggunakan kumpulan citra satelit dari beberapa waktu perekaman yang diberikan dan membandingkan besarnya dengan kriteria ambang batas yang ditentukan (Malila, 1980). Klasifikasi penggunaan lahan merupakan bagian penting dalam memprediksikan perubahan penggunaan lahan, dan merupakan penelitian umum yang sering digunakan untuk menentukan kondisi aktual (Noi & Kappas, 2017), masa lalu (Baeza & Paruelo, 2020; Jozdani et al., 2019; J. Lee et al., 2020; Zhou et al., 2020), dan masa depan (Liping et al., 2018; Sharma et al., 2018; Sohl et al., 2016) dari penggunaan lahan. Klasifikasi penggunaan lahan dan deteksi perubahan juga didukung oleh ketersediaan dan akses, serta kesinambungan dan keterjangkauan data penginderaan jauh resolusi menengah hingga rendah yang dapat diperoleh secara legal dan *open-access* (Turner et al., 2015).

F. Model Perubahan Penggunaan Lahan

Fenomena dunia nyata yang kompleks merupakan kendala utama yang dimiliki oleh peneliti dan pengambil keputusan untuk mengkaji secara langsung, termasuk fenomena perubahan penggunaan lahan. Penyederhanaan realita atau fenomena merupakan metode atau cara yang sering dilakukan tanpa menghilangkan substansinya. Metode atau cara

dalam menyajikan dan mengkaji suatu fenomena yang lazim digunakan yaitu melalui pemodelan berupa metode tumpang susun (*overlay*).

Fenomena perubahan penggunaan lahan dapat dimodelkan dengan beragam metode atau cara sehingga model yang dihasilkan dapat beragam pula. Briassoulis (2000) mengklasifikasikan model perubahan penggunaan lahan menjadi delapan kriteria: tujuan dari penyusunan model, teori yang melandasi penyusunan model, skala keruangan dan *spatial explicitness* dari model, jenis penggunaan lahan yang dipertimbangkan sebagai objek analisis utama, tipe proses perubahan penggunaan lahan yang dipertimbangkan, perlakuan terhadap dimensi temporal dan teknik penyelesaian yang digunakan.

Berdasarkan penelitian Pickard et al., (2017), *land change modeler* (LCM) memiliki empat karakteristik dan keunggulan khusus: (a) proses memasukkan data yang fleksibel dalam pra-pemrosesan dan proses pengumpulan data; (b) probabilitas permukaan, lapisan pengecualian, dan stratifikasi regional dalam proses kalibrasi; (c) pemodelan stokastik untuk menghasilkan proses model prediksi; dan (d) variabel dinamis yang diperbolehkan dan analisis skenario dalam mengekstrapolasi skenario masa depan. Model ini telah digunakan dalam beberapa penelitian tentang simulasi pertumbuhan perkotaan (Ahmed & Ahmed, 2012; Ozturk, 2015; Tewolde & Cabral, 2011), dinamika spasial dari deforestasi dan fragmentasi (Singh et al., 2017), perubahan penggunaan lahan mengikuti kebijakan infrastruktur hijau (Shade & Kremer, 2019), dan seterusnya.

Model *multi-layer perceptron neural network* dan *Markov chain* (MLPNN + MC) pada LCM ditemukan dapat menghasilkan akurasi prediksi yang jauh lebih tinggi daripada model lain (Losiri et al., 2016; Mahmoud et al., 2016; Ozturk, 2015; Pérez-Vega et al., 2012; Roy et al., 2014). Akurasi prediksi yang lebih tinggi ini berasal dari jaringan saraf yang mampu mengekspresikan perubahan dalam berbagai jenis penggunaan lahan secara lebih memadai dibandingkan dengan probabilitas tunggal seperti *weights of evidence* (Pérez-Vega et al., 2012). Tiga lapisan (*input, hidden,*

output) di MLPNN digunakan untuk mengekspresikan hubungan non-linier yang kompleks antara perubahan penggunaan lahan dan faktor pendorong yang menghasilkan potensi transisi, sedangkan matriks potensi transisi dihitung dengan menggunakan MC untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di masa depan (Chim et al., 2019).

G. Daya Dukung Lingkungan

Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang dengan tegas mengamanatkan bahwa setiap penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dari skala nasional hingga detail harus memperhatikan daya dukung lingkungan hidup. Hal tersebut bertujuan agar suatu wilayah dapat mengetahui batasan dari kemampuannya yang mencakup kemampuan dalam menyediakan ruang, kemampuan dalam menyediakan sumber daya alam, dan kemampuan untuk melakukan perbaikan kualitas lingkungan apabila terdapat dampak yang mengganggu keseimbangan ekosistem (Muta'ali, 2015).

Menurut Rees & Wackernaegel (1997) dan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, daya dukung lingkungan hidup diartikan sebagai kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung perikehidupan manusia dan makhluk hidup lain. Dengan demikian, konsep daya dukung secara umum dapat dilihat dari dua sisi yaitu: (a) dari sisi ketersediaan, dengan melihat karakteristik wilayah, potensi sumber daya alam yang ada di suatu wilayah; dan (b) dari sisi kebutuhan/permintaan, yaitu dengan melihat kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya dan arahan kebijakan prioritas suatu wilayah.

Terdapat banyak definisi, konsep dan metode dalam mengukur kemampuan daya dukung lingkungan, namun kesamaannya adalah daya dukung selalu memperhatikan perbandingan dan keseimbangan antara ketersediaan (*supply*) dan permintaan (*demand*). Menurut Muta'ali (2015), dari berbagai macam definisi yang ada, tidak ada defisini umum yang dapat

diterima semua pihak, dan tidak ada pendekatan yang tepat bagaimana daya dukung tersebut dapat dihitung. Perhitungan menjadi sulit dikarenakan terlalu banyak faktor yang mempengaruhi ketersediaan dan permintaan sehingga terlalu banyak elemen yang mempengaruhi komponen daya dukung lingkungan. Kesulitan tersebut mengakibatkan daya dukung umumnya berlaku secara sektoral (pertanian, pariwisata, sosial, dan lain-lain) yang dikembangkan berdasarkan tujuan dan fungsi tertentu, tanpa memperhitungkan interaksi antar wilayah.

H. Arahan Pemanfaatan Ruang

Arahan pemanfaatan ruang juga merupakan perencanaan penggunaan lahan. Perencanaan penggunaan lahan diperlukan untuk memandu para pengambil keputusan dalam memilih jenis penggunaan lahan yang tepat, menentukan lokasi spasial yang optimal dari kegiatan yang direncanakan, mengidentifikasi peluang dan merumuskan perubahan penggunaan lahan, dan mengantisipasi konsekuensi dari perubahan dalam kebijakan penggunaan lahan (Baja, 2009). Arahan pemanfaatan ruang di Indonesia mengacu pada Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, sebagai upaya untuk mewujudkan struktur ruang dan pola ruang sesuai dengan rencana tata ruang.

I. Kerangka Konseptual

Perumusan konsep pembangunan berkelanjutan dalam penelitian ini didasarkan pada arahan pemanfaatan ruang yang diwujudkan dalam pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan dan daya dukung lingkungan yang ditampilkan pada Gambar 1. Peta penggunaan lahan diperoleh dengan memanfaatkan teknologi PJ dan SIG. Klasifikasi penggunaan lahan berdasarkan enam jenis penggunaan lahan diperoleh menggunakan metode SVM dan *change detection*. Model prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan metode MLPNN dan MC pada LCM bersama dengan faktor-faktor pendorong (faktor populasi dan

