

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang pesat telah menjadi pendorong utama percepatan urbanisasi di berbagai belahan dunia. Fenomena ini menyebabkan tekanan yang semakin besar terhadap ruang dan lingkungan di wilayah perkotaan (Fortuniak, 2009; Gill et al., 2007; Hosseini et al., 2016; United Nations, 2018). Diperkirakan pada tahun 2050, sekitar 70% dari populasi dunia atau sekitar 6,25 miliar jiwa akan tinggal di kawasan urban, sehingga menciptakan berbagai tantangan multidimensi seperti penurunan kualitas lingkungan, peningkatan suhu udara, serta keterbatasan ruang terbuka hijau (Amiri et al., 2009; L. Liu & Zhang, 2011; Rizwan et al., 2008; United Nations, 2018). Kondisi ini berpengaruh langsung terhadap kesehatan, kenyamanan, dan kualitas hidup masyarakat, serta menegaskan bahwa permasalahan urbanisasi tidak hanya berkaitan dengan aspek kepadatan penduduk, tetapi juga menyangkut keberlanjutan ekologis kota (Panah et al., 2017; Voogt & Oke, 2003; Xu et al., 2011; F. Yuan & Bauer, 2007).

Salah satu manifestasi nyata dari dampak urbanisasi dan perubahan iklim adalah fenomena *Urban Heat Island* (UHI), yaitu kondisi ketika suhu udara di kawasan perkotaan lebih tinggi dibandingkan wilayah sekitarnya. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik kawasan terbangun yang menggantikan lahan alami, seperti permukaan beton, aspal, dan bangunan tinggi, yang menyerap dan menahan panas lebih lama (Amiri et al., 2009; L. Liu & Zhang, 2011; Panah et al., 2017; Xu et al., 2011). Selain itu, sirkulasi udara yang terhambat akibat desain kota yang padat dan sempit, serta kontribusi emisi panas dari kendaraan, industri, dan penggunaan *Air Conditioner* (AC), memperparah kondisi termal di wilayah perkotaan (Fortuniak, 2009; Rizwan et al., 2008; Voogt & Oke, 2003; F. Yuan & Bauer, 2007).

Fenomena UHI tidak hanya menjadi isu global, tetapi juga semakin nyata terjadi di kota-kota besar Indonesia, termasuk Kota Bandung. Minimnya ruang terbuka hijau dan meningkatnya area terbangun di kota ini memperparah kondisi termal mikroklimat perkotaan (Naf & Hernawati, 2018). Meskipun Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 dan Perda RTRW Kota Bandung mengamanatkan

penyediaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebesar 30%, realisasi di lapangan masih menghadapi kendala struktural yang serius. Data terbaru menunjukkan bahwa proporsi RTH di Kota Bandung masih berkisar di angka 12,8% hingga 17%, jauh di bawah ambang batas ideal (Perdana & Susanti, 2025). Kesenjangan ini disebabkan oleh tingginya densitas bangunan dan terbatasnya lahan kota yang dapat dibebaskan, sebagaimana diakui oleh pemerintah kota yang menyatakan bahwa pencapaian target 30% merupakan tantangan berat akibat masifnya alih fungsi lahan. Oleh karena itu, strategi ekstensifikasi RTH tidak bisa lagi dilakukan secara acak, melainkan harus diprioritaskan pada zona-zona dengan anomali suhu tertinggi. Hiemstra et al. (2017) menyatakan bahwa munculnya fenomena UHI mencerminkan kurangnya koordinasi dalam penyediaan atau minimnya keberadaan ruang terbuka hijau di suatu wilayah. Kekurangan ruang hijau ini dapat memicu berbagai permasalahan serius, seperti meningkatnya berbagai jenis polusi udara, pencemaran air, berkurangnya penyerapan air hujan, gangguan kebisingan, serta timbulnya masalah psikologis dan kesehatan. Selain itu, permasalahan utama yang muncul adalah belum tersedianya pemahaman yang komprehensif mengenai dinamika spasial-temporal fenomena UHI, terutama dalam kaitannya dengan perubahan tutupan lahan di masa depan. Padahal, informasi ini sangat krusial dalam mendukung perencanaan kota yang adaptif terhadap perubahan iklim.

Penelitian mengenai pemantauan perubahan spasial dan temporal dari fenomena UHI memiliki peran penting bagi para perencana kota, arsitek, desainer kota, serta pengambil kebijakan di tingkat lokal (Shorabeh et al., 2020). Studi ini memberikan wawasan mengenai pola UHI di masa mendatang dan menjadi elemen kunci dalam upaya meningkatkan kesehatan serta kenyamanan hidup masyarakat perkotaan. Berdasarkan penelitian terdahulu, parameter terpenting dalam pemodelan spasial intensitas UHI adalah tutupan lahan dan *Land Surface Temperature* (LST) atau temperatur permukaan tanah (Firozjaei et al., 2018; Kong et al., 2014; Shorabeh et al., 2020; C. Yuan & Chen, 2011). Menurut Panah et al. (2017), *Land Surface Temperature* (LST) menjadi indikator utama dalam pemantauan serta penilaian terhadap proses-proses fisik, kimia, dan biologis yang terjadi di permukaan bumi, dan memiliki peran vital dalam penelitian iklim

khususnya di lingkungan perkotaan. Disisi lain, memperkirakan kemungkinan tutupan lahan di masa depan dapat memberikan informasi penting untuk intensitas UHI dimasa depan (Firozjaei et al., 2018). Sebagian besar penelitian terdahulu cenderung mengaplikasikan satu metode pemodelan, seperti *Cellular Automata-Markov Chain* (CA-MC), untuk memprediksi perubahan tutupan lahan. Model CA-MC merupakan kombinasi dari analisis *Markov Chain* (MC) yang dapat memonitor perubahan temporal tutupan lahan berdasarkan matriks transisi (Guan et al., 2011) serta model *Cellular Automata* (CA) yang dapat menentukan pola perubahan secara spasial (Nouri et al., 2014b). Namun, simulasi yang realistik perlu memperhitungkan berbagai faktor pendorong (*driving factor*) yang mencakup dimensi sosial, lingkungan, dan ekonomi. Untuk meningkatkan akurasi dari model CA-MC beberapa studi mengintegrasikan faktor sosial-ekonomi serta lingkungan untuk melihat pertumbuhan kawasan perkotaan (Guan et al., 2011). Dalam penelitian Gharaibeh et al. (2020), perlakuan tersebut dapat meningkatkan nilai akurasi sebesar 3,75 %. Penelitian Aburas et al. (2017a) menggabungkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Frequency Ratio* (FR) ke dalam model CA-MC untuk mensimulasikan pertumbuhan kota. Studi lainnya juga mengintegrasikan opini ahli atau *Multi Criteria Evaluation* (MCE) guna meningkatkan akurasi prediksi. Namun, karena kompleksitas perubahan lahan, pendekatan ini memiliki keterbatasan seperti kurangnya pengetahuan terhadap wilayah studi, subjektivitas dalam pemberian bobot variabel, serta keraguan atas keandalan hasil (Park et al., 2011). Selain itu, pendekatan MCE cenderung bersifat linier, yang tidak sepenuhnya mencerminkan dinamika spasial-temporal perubahan lahan. Oleh karena itu, dibutuhkan model berbasis *Artificial Intelligence* (AI) yang mampu mengatasi keterbatasan tersebut dan memberikan pemahaman serta hasil yang objektif dan lebih akurat terhadap proses perubahan (Shafizadeh-Moghadam, Tayyebi, & Helbich, 2017).

Salah satu model berbasis AI yang cocok untuk prediksi tutupan lahan adalah *Artificial Neural Network* (ANN). Model ini terdiri dari *node* atau *neuron* yang tersusun dalam beberapa lapisan, dengan pola koneksi yang disebut arsitektur (Maithani, 2009; Mohammady et al., 2014). Algoritma ANN mampu menangkap

hubungan non-linier antar faktor dan efektif dalam mengolah pola kompleks seperti pertumbuhan kota serta perubahan tata guna lahan, termasuk ketika data tidak lengkap atau kabur (Aburas et al., 2019). Proses pelatihannya menggunakan algoritma *Back-Propagation* (BP), yaitu metode koreksi kesalahan dengan membandingkan *output* aktual dan yang diharapkan, lalu menyesuaikan bobot berdasarkan aturan delta tergeneralisasi (Rumelhart et al., 2013; Zhou, 1999). Proses ini terus diulang hingga hasil yang diinginkan tercapai (Pijanowski et al., 2002). Untuk keperluan prediksi, model ANN mampu mengidentifikasi perubahan tata guna lahan dan pola lainnya berdasarkan data yang mencerminkan dinamika perilaku fenomena tersebut (Mohammady et al., 2014). Model ini juga dapat mengungkap keterkaitan antar faktor pendorong yang tersembunyi (Shafizadeh-Moghadam, Tayyebi, Ahmadlou, et al., 2017). Keunggulan utama dari ANN adalah kemampuannya menunjukkan pengaruh masing-masing faktor pendorong dalam prediksi dan mengidentifikasi faktor mana yang paling berkontribusi terhadap perubahan lahan (Park et al., 2011). Melihat potensi ANN dalam pemodelan tutupan lahan, penelitian ini mencoba untuk mengintegrasikan model CA – MC dengan ANN guna meningkatkan tingkat akurasi model.

Di Kota Bandung, tren urbanisasi terlihat semakin intensif, ditandai dengan berkurangnya ruang terbuka hijau dan meningkatnya area terbangun. Studi lokal oleh Naf & Hernawati (2018) mengindikasikan bahwa kerapatan vegetasi yang rendah berbanding terbalik dengan nilai LST, sehingga memperkuat indikasi adanya fenomena UHI. Melihat hal tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengkaji dinamika perubahan tutupan lahan di Kota Bandung selama tiga dekade terakhir (2004, 2014, dan 2024) serta memprediksi intensitas UHI pada tahun 2034.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, teridentifikasi beberapa permasalahan lingkungan Kota Bandung sebagai berikut:

1. Pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang pesat di Kota Bandung memicu alih fungsi lahan yang masif dari lahan alami menjadi lahan terbangun, sehingga mengubah karakteristik biofisik permukaan.

2. Perubahan tutupan lahan, khususnya hilangnya vegetasi dan meluasnya permukaan kedap air, menyebabkan degradasi kualitas lingkungan termal dan memicu fenomena *Urban Heat Island* (UHI).
3. Belum tersedianya informasi spasial yang komprehensif mengenai prediksi kondisi tutupan lahan di masa depan (tahun 2034) dan implikasinya terhadap peningkatan intensitas UHI.
4. Metode prediksi konvensional (seperti CA-MC standar) memiliki keterbatasan dalam memodelkan pertumbuhan kota yang kompleks dan non-linier, sehingga seringkali menghasilkan akurasi yang kurang optimal tanpa integrasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*).

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan penelitian sebagai berikut:

1. Analisis perubahan tutupan lahan dibatasi pada klasifikasi empat kelas utama, yaitu lahan terbangun, vegetasi, lahan terbuka, dan badan air di wilayah administrasi Kota Bandung menggunakan citra satelit.
2. Analisis kondisi termal difokuskan pada pengolahan *Land Surface Temperature* (LST) dan indeks *Urban Heat Island* (URI) menggunakan data citra Landsat secara *time-series* pada tahun 2004, 2014, dan 2024.
3. Prediksi masa depan dibatasi pada skenario tutupan lahan dan estimasi intensitas UHI untuk tahun 2034.
4. Pemodelan spasial dilakukan dengan mengintegrasikan metode *Cellular Automata-Markov Chain* (CA-MC) dengan *Artificial Neural Network* (ANN), menggunakan enam variabel pendorong (*driving factors*): jarak dari jalan utama, jarak dari pusat kota, jarak dari pusat komersial, kepadatan penduduk, kemiringan lereng (*slope*), dan ketinggian (*elevation*)

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan pada latar belakang, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana dinamika spasial-temporal tutupan lahan dan intensitas *Urban Heat Island* (UHI) di Kota Bandung periode 2004–2024, serta prediksi kondisinya

pada tahun 2034 menggunakan integrasi model *Cellular Automata-Markov Chain* atau *Artificial Neural Network* (CA-MC-ANN)?

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Teoritis:

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis terhadap ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang geografi dan penginderaan jauh, terkait dengan dinamika tutupan lahan dan fenomena *Urban Heat Island* (UHI). Secara spesifik, studi ini berpotensi memperdalam pemahaman mengenai pola spasiotemporal perubahan tutupan lahan di wilayah perkotaan dan implikasinya terhadap intensitas UHI di Kota Bandung. Selain itu, Penelitian ini berkontribusi dalam mendemonstrasikan penerapan integrasi *Artificial Neural Network* (ANN) pada model CA-MC untuk menghasilkan proyeksi tata ruang yang presisi di wilayah urban yang kompleks. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada validasi dan pengembangan aplikasi model prediksi UHI yang lebih akurat dan reliabel di wilayah urban yang memiliki karakteristik serupa.

Manfaat Praktis:

Secara praktis, penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pemerintah kota, perencana wilayah, dan pengambil kebijakan dalam menyusun strategi mitigasi dan adaptasi *Urban Heat Island* (UHI). Hasil pemetaan dan prediksi perubahan tutupan lahan serta intensitas UHI dapat menjadi dasar perencanaan tata ruang kota yang berkelanjutan. Informasi wilayah rentan UHI membantu pengutamaan tindakan seperti pengembangan ruang hijau dan penggunaan material konstruksi yang tepat, demi peningkatan kualitas hidup masyarakat perkotaan.