SKRIPSI GEOFISIKA

PREDIKSI *SURFACE URBAN HEAT ISLAND INTENSITY* (SUHII) BERDASARKAN ANALISIS CITRA LANDSAT MULTITEMPORAL MENGGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA* DI KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh :

MIRNAYANI

H061171514

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

HALAMAN JUDUL

PREDIKSI *SURFACE URBAN HEAT ISLAND INTENSITY* (SUHII) BERDASARKAN ANALISIS CITRA LANDSAT MULTITEMPORAL MENGGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA* DI KOTA MAKASSAR

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Sains Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH :

MIRNAYANI

H061171514

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

HALAMAN PENGESAHAN

PREDIKSI *SURFACE URBAN HEAT ISLAND INTENSITY* (SUHII) BERDASARKAN ANALISIS CITRA LANDSAT MULTITEMPORAL MENGGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA* DI KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh :

MIRNAYANI

H061171514

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 31 Mei 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama	**Pembimbing Pendamping**
Dr. Samsu Arif, M.Si	**Dr. Sakka, M.Si**
NIP. 196305181991031011	**NIP. 196410251991031002**

Ketua Departemen Geofisika

Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: Mirnayani
NIM	: H061171514
Program Studi	: Geofisika
Jenjang	: S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PREDIKSI SURFACE *URBAN HEAT ISLAND INTENSITY* (SUHII) BERDASARKAN ANALISIS CITRA LANDSAT MULTITEMPORAL MENGGUNAKAN *CELLULAR AUTOMATA* DI KOTA MAKASSAR

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

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

Makassar, 31 Mei 2021

Yang Menyatakan

Mirnayani

SARI BACAAN

Fenomena suhu permukaan perkotaan lebih tinggi dibandingkan pedesaan sekitarnya dikenal sebagai S*urface Urban Heat Island* (SUHI). Kota Makassar sebagai salah satu kota terbesar yang memiliki peran penting dalam pembangunan ekonomi Indonesia saat ini telah terindikasi terjadi SUHI. Kemungkinan perubahan penggunaan lahan Kota Makassar di masa depan menjadi hal yang perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi suhu permukaan yang menyebabkan meningkatnya SUHII (*Surface Urban Heat Island Intensity*). Penelitian ini bertujuan untuk : 1) menentukan perubahan SUHII di Kota Makassar tahun 2010-2020 berdasarkan analisis citra Landsat multitemporal; 2) memprediksi SUHII di Kota Makassar tahun 2025 berdasarkan perubahan SUHII Kota Makassar menggunakan *Cellular Automata* (CA); 3) menganalisis kesesuaian prediksi SUHII pada tahun 2025 di Kota Makassar terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar. Penelitian prediksi SUHII ini dilakukan menggunakan data citra satelit Landsat multitemporal yakni Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2010 – 2020 dengan metode *Cellular Automata*. Hasil penelitian menunjukkan : 1) nilai ambang batas SUHII Kota Makassar tahun 2010 sebesar 24.58ºC, tahun 2015 sebesar 28.04ºC dan tahun 2020 sebesar 30.16ºC. Selama periode tahun 2010 – 2020, Kota Makassar mengalami peningkatan luas pada SUHII kelas 4 (2 – 3ºC) tiap tahunnya sekitar 22 – 24% dan SUHII kelas 3 (1 - 2ºC) meningkat sekitar 12% pada tahun 2015. Hal ini terjadi seiring berkurangnya luasan SUHII pada kelas kelas 2 (0 - 1ºC) sekitar 6-24% tiap tahunnya dan kelas 1 non-SUHII (< 0 ºC) tiap tahun menurun sekitar 10%; 2) Berdasarkan analisis hasil model simulasi CA tahun 2025, diperoleh nilai ambang batas SUHII tahun 2025 sekitar 32.03ºC dengan prediksi SUHII tertinggi yaitu kelas SUHII 4 (2 - 3ºC) seluas 60% dari luas Kota Makassar; 3) Prediksi SUHII Kota Makassar paling tinggi yaitu kelas SUHII 4 (2 - 3ºC) berada pada alokasi permanfaatan ruang permukiman kepadatan sedang dan kepadatan tinggi sesuai RTRW Kota Makassar tahun 2015-2034 dan kelas SUHII terendah yaitu SUHII 2 (0 - 1 ºC) terdapat pada tutupan lahan perairan.

Kata Kunci : *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII), Landsat, *Cellullar Automata* (CA), Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

ABSTRACT

The phenomenon in which temperature tends to be higher in urban area than surrounding non-urban area is known as Surface Urban Heat Island (SUHI). Makassar City, as one of the largest cities which have an important role in Indonesia's economic development, currently has indications of SUHI occurring. The possibility of land uses change in Makassar City in the future is something that needs to be considered because it will affect the surface temperature which causes an increase in SUHII (Surface Urban Heat Island Intensity). This study aims to: 1) determine changes in SUHII in Makassar City in 2010-2020 based on multi temporal Landsat image analysis; 2) predicting SUHII in Makassar City in 2025 based on changes to SUHII Makassar City using Cellular Automata (CA); 3) analyzing the suitability of SUHII predictions in 2025 in Makassar City against the Makassar City Spatial Plan (RTRW). This SUHII prediction research was conducted using multi temporal Landsat satellite image data, namely Landsat 7 ETM + and Landsat 8 OLI / TIRS 2010 - 2020 using the Cellular Automata method. The results showed: 1) the SUHII threshold value for Makassar City in 2010 was 24.58 ºC , 2015 was 28.04 ºC and in 2020 was 30.16 ºC . During the period 2010 - 2020, Makassar City experienced an increase in the area of SUHII class 4 (2 - 3ºC) each year by around 22 - 24% and SUHII class 3 (1 - 2ºC) increased by around 12% in 2015. This happened along with the decline. the area of SUHII in class 2 (0 - 1ºC) is around 6-24% per year and class 1 non-SUHII (<0 ºC) decreases by from 10% each year; 2) Based on the analysis of the results of the CA simulation model in 2025, the SUHII threshold value of 2025 is around 32.03ºC with the highest SUHII prediction, namely class SUHII 4 (2 - 3ºC) covering 60% of the area of Makassar City; 3) Prediction of the highest SUHII for Makassar City, namely SUHII class 4 (2 - 3ºC), which is in the allocation of medium and high density residential space utilization according to the RTRW of Makassar City 2015-2034 and the lowest SUHII class is SUHII 2 (0 - 1 ºC) on water land cover.

Keywords: Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII), Landsat, Cellular Automata (CA), Regional Spatial Planning (RTRW)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur bagi Allah, rabb semesta alam karena atas berkah limpahan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat merampungkan skripsi dengan judul ***Prediksi Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII) Berdasarkan Analisis Citra Landsat Multitemporal Menggunakan Cellular Automata di Kota Makassar***. Shalawat serta salam tak lupa penulis curahkan kepada Nabi Muhammad shallallahu ‘alaihi wa sallam, kepada para sahabat dan pengikutnya yang senantiasa mengikuti sunnah beliau hingga akhir zaman.

Proses penyusunan skripsi ini atas izin Allah dapat berjalan dengan baik melalui bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Dr. Samsu Arif, M.Si.** selaku pembimbing utama, **Bapak Dr. Sakka, M.Si.** selaku pembimbing pertama di kampus dan **Bapak Dr. Paharuddin, M.Si rahimahullah** yang telah memberikan perhatian, bimbingan, nasihat dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi tugas akhir.
2. **Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** dan **Bapak Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si.** selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam penulisan skripsi ini.
3. **Bapak Sabrianto Aswad, S.Si, M.T.** selaku dosen penasihat akademik penulis. Terima kasih atas berbagai nasihat, motivasi dan segala kebaikan serta **kepada seluruh dosen-dosen** yang telah mendedikasikan waktunya sebagai pengajar. Terima kasih atas ilmu yang disampaikan. Semoga menjadi amal jariah di akhirat kelak. Dan juga kepada seluruh **staf Departemen Geofisika** dan **staf**

Fakultas MIPA yang telah membantu menyelesaikan urusan-urusan akademik terkhusus selama proses penyusunan skripsi ini.

4. Kedua orang tua penulis, **Bapak Amiruddin** dan **Ibu Suryani**, yang senantiasa mendoakan, memberikan dorongan, semangat, cinta dan kasih sayang, pengorbanan yang tiada terkira serta senantiasa mengingatkan dan mengajarkan berbagai hal hingga menjadi seperti sekarang ini. Dan juga kepada adik-adikku tersayang. Serta kepada kakek, nenek, om, tante dan keluarga yang lainnya yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
5. Teman-teman seperjuangan **Geofisika 2017 dan Himafi 17** atas doa, dukungan, kebersamaan dan menemani penulis dalam menjalani perkuliahan dan menyelesaikan skripsi**.**
6. Serta kepada **seluruh pihak** secara langsung maupun tidak langsung yang telah sangat banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi maupun studi yang tidak sempat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis menyadari dalam penelitian dan penulisan hasilnya ini banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan agar penelitian ini dapat dikembangkan.

Makassar, 31 Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iii**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **iv**
SARI BACAAN ..... **v**
ABSTRACT ..... **vi**
KATA PENGANTAR ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Rumusan Masalah 4
I.3 Ruang Lingkup 5
I.4 Tujuan Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**
II.1 Surface Urban Heat Island (SUHI) 6
II.1.1 Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII) 7
II.2 Faktor yang Mempengaruhi SUHII 8
II.2.1 Tutupan Lahan 8
II.2.2 Land Surface Temperature (LST) 11
II.3 Pengertian dan Konsep Dasar Penginderaan Jauh 13
II.3.1 Fisika Penginderaan Jauh 14
II.3.2 Koreksi Citra 18
II.3.3 Resolusi Citra 19
II.3.4 Klasifikasi Citra untuk Pemetaan Tutupan Lahan 20
II.3.5 Citra Satelit Landsat 21
II.4 Pemodelan Prediksi Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII) 23
II.4.1 Rantai Markov (*Markov Chain*) 23
II.4.2 *Cellular Automata* (CA) 25
II.4.3 Integrasi *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) 29
II.4.4 Validasi Model 31

II.5 Fuzzy Logic 31
II.6 Analytical Hierarchy Process (AHP) 32
II.7 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar 33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 35
III.1 Lokasi Penelitian 35
III.2 Alat dan Bahan 36
III.2.1 Alat 36
III.2.2 Bahan 37
III.3 Tahapan Penelitian 37
III.3.1 Tahapan Pengumpulan Data 37
III.3.2 Tahapan Pengolahan Data 38
III.3.3 Validasi Data 45
III. 4 Bagan Alir 47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 51
IV.1 Hasil Pengolahan Tutupan Lahan 51
IV.1.1 Klasifikasi Tutupan Lahan 51
IV.1.2 Hasil Uji Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan 52
IV.1.3 Analisis Perubahan Tutupan Lahan dengan *Cross Classification* 53
IV.1.4 Analisis Perubahan Tutupan Lahan dengan Probabilitas *Markov Chain* dan Stokastik 55
IV.1.5 Validasi Model Stokastik Tutupan Lahan 57
IV.1.6 Evaluasi Kriteria Parameter Tutupan Lahan *Cellular Automata-Markov* 57
IV.1.7 Model Simulasi Tutupan Lahan Menggunakan *Cellular Automata-Markov* 61
IV.1.8 Evaluasi Tutupan Lahan Hasil Model Simulasi *Cellular Automata-Markov* 61
IV.2 Hasil Pengolahan *Land Surface Temperature* (LST) 63
IV.2.1 Klasifikasi LST 63
IV.2.2 Uji Akurasi LST 64
IV.2.3 Variasi LST Pada Kelas Tutupan Lahan 66
IV.2.4 Analisis Perubahan LST dengan *Cross Classification* 67

IV.2.5 Analisis Perubahan LST dengan Probabilitas *Markov Chain* dan Stokastik 69
IV.2.6 Validasi Model Stokastik LST 70
IV.2.7 Evaluasi Kriteria Parameter LST *Cellular Automata-Markov* 71
IV.2.8 Model Simulasi LST Menggunakan *Cellular Automata-Markov* 74
IV.2.9 Evaluasi LST Hasil Model Simulasi *Cellular Automata-Markov* 75
IV.3 Hasil Pengolahan Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII) 76
IV.3.1 Pola Sebaran SUHII 76
IV.3.2 Model Prediksi SUHII Berdasarkan LST Hasil Simulasi *Cellular Automata-Markov* 79
IV.3.3 Evaluasi Prediksi SUHII 80
IV.4 Pembahasan Terkait Hasil Pengolahan Tutupan Lahan, LST dan SUHII. 81
IV.4.1 Analisis Hubungan Antara Tutupan Lahan, LST dan SUHII 81
IV.4.2 Analisis Kesesuaian Prediksi SUHII Terhadap RTRW Kota Makassar Tahun 2015-2034 84
BAB V PENUTUP 86
V.1 Kesimpulan 86
V.2 Saran 87
DAFTAR PUSTAKA 88
LAMPIRAN 97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema terbentuknya SUHI (Skepticalscience.com) 7
Gambar 2. 2 Ilustrasi variasi suhu pada wilayah perkotaan (EPA, 2014) 8
Gambar 2. 3 Sistem penginderaan jauh dan aplikasinya (Purwadhi & Sanjoto, 2008) 14
Gambar 2. 4 Komponen-komponen gelombang elektromagnetik (Lillesand et al., 2015) 15
Gambar 2. 5 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Hadi, 2019) 17
Gambar 2.6 Susunan sel Cellular Automata (Paharuddin, 2012) 27
Gambar 2. 7 Ilustrasi Cellular Automata (M. I. Kurniawan, 2016) 28
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian 36
Gambar 3.2 Bagan alir penelitian secara keseluruhan 47
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian bagian tutupan lahan 48
Gambar 3. 4 Diagram alir penelitian bagian LST 49
Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian bagian SUHII 50
Gambar 4. 1 Tutupan Lahan Kota Makassar : (a) tahun 2010 (b) 2015 (c) 2020. Kode 1 = vegetasi; 2 = lahan terbangun; 3 = perairan 51
Gambar 4. 2 Cross classification tutupan lahan : (a) tahun 2010 – 2015; (b) 2015-2020. Kode 1 = vegetasi; 2 = lahan terbangun; 3 = perairan 54
Gambar 4. 3 Tren perubahan luas tutupan lahan Kota Makassar tahun 2010, 2015 dan 2020 55
Gambar 4. 4 Matriksi probabilitas transisi markov 2010-2015 56
Gambar 4. 5 Estimasi stokastik tutupan lahan tahun 2020 berbasis Markov Chain. Kode 1 = vegetasi; 2 = lahan terbangun; 3 = perairan 56
Gambar 4. 6 Hasil standarisasi faktor pendorong : a) jarak ke jalan; (b) jarak ke permukiman; (c) kemiringan lereng. (d) constraint tubuh air 58
Gambar 4. 7 Penentuan kepentingan faktor pendorong dalam modul Weight Derivation - AHP 59
Gambar 4. 8 Hasil kalkulasi modul Weight Derivation - AHP untuk parameter faktor pendorong tutupan lahan 59
Gambar 4. 9 Hasil MCE faktor pendorong jarak ke jalan, jarak ke permukiman, kemiringan lereng dan faktor pembatas tubuh air 60
Gambar 4. 10 Hasil overlay MCE dengan tutupan lahan : (a) tahun 2010 (b) 2015 60
Gambar 4. 11 Hasil reclass overlay MCE dengan tutupan lahan : (a) tahun 2010 (b) 2015 60
Gambar 4. 12 Model hasil CA-Markov untuk tutupan lahan Kota Makassar tahun 2025. Kode 1 = vegetasi; 2 = lahan terbangun; 3 = perairan 61
Gambar 4. 13 Tren persentase perubahan luas tutupan lahan Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025 63
Gambar 4. 14 LST Kota Makassar : (a) tahun 2010 (b) 2015 (c) 2020. Kode 1 = <20ºC; 2 = 20 - 25ºC; 3 = 25 - 30ºC; 4 = 30 - 35ºC; 5 = 35 - 40ºC.... 64

Gambar 4. 15 Lokasi Stasiun Meteorologi Maritim Paotere 64
Gambar 4. 16 Perbandingan suhu permukaan dan suhu udara Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 66
Gambar 4. 17 Variasi LST rata-rata pada kelas tutupan lahan Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 67
Gambar 4. 18 Cross classification LST: (a) tahun 2010 – 2015; (b) 2015-2020. Kode 1 = < 20 ºC; 2 = 20 - 25ºC; 3 = 25 - 30ºC; 4 = 30 - 35ºC; 5 = 35 - 40 ºC.... 68
Gambar 4. 19 Tren persentase perubahan LST Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 69
Gambar 4. 20 Matriksi probabilitas transisi markov LST tahun 2010-2015 69
Gambar 4. 21 Estimasi stokastik LST tahun 2020 berbasis Markov Chain. Kode 1 = < 20 ºC; 2 = 20 - 25 ºC; 3 = 25 - 30 ºC; 4 = 30 - 35 ºC; 5 = 35 - 40 ºC . 70
Gambar 4. 22 Hasil standarisasi faktor pendorong : a) NDBI 2010; (b) NDBI 2015; (c) NDVI 2010. (d) constraint NDWI 2010 72
Gambar 4. 23 Penentuan kepentingan faktor pendorong dalam modul Weight Derivation - AHP..... 72
Gambar 4. 24 Hasil kalkulasi modul Weight Derivation - AHP untuk parameter faktor pendorong LST..... 73
Gambar 4. 25 Hasil MCE faktor pendorong NDBI, NDVI dan faktor pembatas NDWI..... 73
Gambar 4. 26 Hasil overlay MCE dengan LST : (a) tahun 2010 (b) 2015..... 73
Gambar 4. 27 Hasil reclass overlay MCE dengan LST : (a) tahun 2010 (b) 2015 74
Gambar 4. 28 Model hasil CA-Markov untuk LST Kota Makassar tahun 2025. Kode 1 = < 20 ºC; 2 = 20 - 25 ºC; 3 = 25 - 30 ºC; 4 = 30 - 35 ºC; 5 = 35 - 45 ºC 75
Gambar 4. 29 Tren persentase perubahan LST Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025 76
Gambar 4. 30 SUHII Kota Makassar : (a) tahun 2010; (b) 2015; (c) 2020. Kode 1 = < 0 ºC; 2 = 0 - 1 ºC; 3 = 1 - 2 ºC; 4 = 2 - 3 ºC..... 77
Gambar 4. 31 Tren persentase perubahan SUHII Kota Makassar tahun 2010, 2015 dan 2020..... 79
Gambar 4. 32 Model SUHII Kota Makassar tahun 2025. Kode 1 = < 0 ºC; 2 = 0 - 1 ºC; 3 = 1 - 2 ºC; 4 = 2 - 3 ºC..... 79
Gambar 4. 33 Tren persentase perubahan SUHII Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025..... 81
Gambar 4. 34 Grafik pertumbuhan penduduk Kota Makassar tahun 2010, 2015 dan 2020..... 82
Gambar 4. 35 Peta prediksi SUHII Kota Makassar tahun 2025..... 84
Gambar 4. 36 Peta alokasi pemanfaatan ruang permukiman pada RTRW Kota Makassar tahun 2015 - 2034 85

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi tutupan lahan menurut SNI 7645 dan hasil modifikasi (Badan Standardisasi Nasional, 2010; modifikasi sesuai penelitian) 10
Tabel 2.2 Formulasi indeks tutupan lahan (Hasanlou & Mostofi, 2015)..... 13
Tabel 2. 3 Perbandingan karakteristik citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS (NASA, 2020) 23
Tabel 2. 4 Indeks kappa untuk penilaian akurasi model (Fardani et al., 2020)..... 31
Tabel 2. 5 Nilai perbandingan berpasangan pada AHP (Parhusip, 2019; Syamsuddin & Hwang, 2009) 33
Tabel 3.1 Dataset citra Landsat tahun 2010-2020 tersedia di GEE..... 37
Tabel 3. 2 Klasifikasi kemiringan lereng (Arsyad, 1989) 39
Tabel 3. 3 Standarisasi parameter tutupan lahan (Eastman, 2012; W. D. W. Kurniawan, 2019) 41
Tabel 3. 4 Klasifikasi LST 42
Tabel 3. 5 Standarisasi parameter LST 44
Tabel 3.6 Kelas klasifikasi SUHII 45
Tabel 4. 1 Tabel akurasi klasifikasi tutupan lahan Kota Makassar tahun 2010 52
Tabel 4. 2 Tabel akurasi klasifikasi tutupan lahan Kota Makassar tahun 2015 52
Tabel 4. 3 Tabel akurasi klasifikasi tutupan lahan Kota Makassar tahun 2020 53
Tabel 4. 4 Luas tutupan lahan tahun 2010, 2015, 2020 di Kota Makassar 54
Tabel 4. 5 Persentase luas tutupan lahan tahun 2010, 2015, 2020 di Kota Makassar 55
Tabel 4. 6 Standarisasi parameter tutupan lahan (Eastman, 2012; W. D. W. Kurniawan, 2019) 58
Tabel 4. 7 Luas tutupan lahan Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025 62
Tabel 4. 8 Persentase luas tutupan lahan Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025 62
Tabel 4. 9 Suhu permukaan dan suhu udara Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020..... 66
Tabel 4. 10 Luas Perubahan LST tahun 2010, 2015, 2020 di Kota Makassar 68
Tabel 4. 11 Persentase luas LST tahun 2010, 2015, 2020 di Kota Makassar 68
Tabel 4. 12 Standarisasi parameter LST (Eastman, 2012; Malik et al., 2019)..... 71
Tabel 4. 13 Luas Perubahan LST Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025..... 75
Tabel 4. 14 Persentase luas LST Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025..... 76
Tabel 4. 15 Luas Perubahan SUHII Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 78
Tabel 4. 16 Luas Perubahan SUHII Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 78
Tabel 4. 17 Luas Perubahan SUHII Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025..... 80
Tabel 4. 18 Luas Persentase Perubahan SUHII Kota Makassar tahun 2010, 2015, 2020 dan prediksi tahun 2025 80

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Pengolahan Data Tutupan Lahan 98
LAMPIRAN 2 : Pengolahan Data LST 107
LAMPIRAN 3 : Pengolahan Data SUHII 122

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pesatnya urbanisasi menjadi tantangan utama pembangunan berkelanjutan di area perkotaan (Wardana, 2015). Saat ini, sekitar 55% populasi manusia dunia tinggal di area perkotaan dan jumlahnya diperkirakan akan meningkat menjadi 68% di tahun 2050 (United Nations, 2018). Pertumbuhan jumlah penduduk perkotaan, pola pembangunan kota yang cepat, tidak terencana dan tidak berkelanjutan menyebabkan banyak permasalahan lingkungan seperti mempengaruhi kualitas ekosistem, pemanasan global dan polusi udara (WHO, 2012).

Guna menjamin kesejahteraan masyarakat perkotaan dan tetap menjaga kesetimbangan lingkungan, PBB menetapkan poin ke-11 dari 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau SDGs (*Sustainable Development Goals*) yakni pengembangan kota dan permukiman yang inklusif, aman dan tangguh (United Nations, 2015). Terkait tujuan pembangunan berkelanjutan tersebut dibutuhkan indikator perbandingan kota seperti perubahan tutupan lahan dan iklim perkotaan termasuk *Urban Heat Island* (Ravanelli et al., 2018). *Urban Heat Island* (UHI) merupakan suatu fenomena yang menunjukkan suhu perkotaan (*urban*) lebih tinggi dibandingkan suhu pedesaan (*rural*) sekitarnya (Renard et al., 2019; B. Zhou et al., 2017).

Lahan terbangun yang tinggi dan rendahnya vegetasi pada suatu wilayah perkotaan memicu terjadinya UHI (Sharifi & Lehmann, 2015; Shumilo et al., 2019). Secara umum, UHI terbagi dalam 3 kategori yaitu *Canopy Layer Heat Island*

(CLHI), *Boundary Layer Heat Island* (BLHI), dan *Surface Urban Heat Island* (SUHI) (Weng et al., 2018).

Salah satu kategori UHI yakni *Surface Urban Heat Island* (SUHI) terjadi karena perubahan suhu permukaan yang berkaitan dengan variabilitas spasial dan temporal jenis material dan orientasi permukaan sesuai durasi penyinaran matahari (Pichierri et al., 2012). SUHI dapat diidentifikasi berdasarkan *Land Surface Temperature* (LST) (Shumilo et al., 2019; Yao et al., 2020). Adanya perbedaan antara suhu permukaan lahan (LST) wilayah perkotaan yang kedap air dengan LST pedesaan sekitar membentuk *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) (Li et al., 2018).

Penentuan SUHII dilakukan berdasarkan nilai LST yang dapat diperoleh dari data citra satelit penginderaan jauh (inderaja) yang memiliki band termal (Renard et al., 2019; Song & Wu, 2016; Weng et al., 2018; Yao et al., 2020). Ketersediaan data inderaja yang konsisten dan berkala mendukung pengamatan SUHII yang membutuhkan analisis secara spasial dan temporal (Weng et al., 2018). Kajian mengenai SUHII telah dilakukan menggunakan data citra satelit yang membawa sensor termal (*Thermal Infrared Sensor*) seperti Landsat (Macarof & Statescu, 2017; Ravanelli et al., 2018; Sejati et al., 2019; Shorabeh et al., 2020; Song & Wu, 2016), MODIS (El Kenawy et al., 2020; Shastri et al., 2017), ASTER (Weng, 2009), AHVRR (Stathopoulou & Cartalis, 2009), Sentinel-3 SLSTR (Mirnayani et al., 2021; José Antonio Sobrino & Irakulis, 2020). Namun, citra Landsat yang paling banyak digunakan untuk penelitian SUHII (D. Zhou et al., 2019). Hal ini terkait ketersediaan data Landsat dimulai sejak tahun 1972, bebas akses dan gratis, serta data Landsat 5,7 dan 8 melakukan pengamatan bumi dengan resolusi spasial 30

meter (*visible*, NIR, SWIR), 100 meter (termal) dan 15 meter (pankromatik) serta resolusi temporal 16 hari dengan luas cakupan 185 km x 185 km (Wulder et al., 2015; D. Zhou et al., 2019). Resolusi temporal dengan area cakupan yang cukup tinggi diperlukan dalam penelitian SUHII untuk meneliti lingkup wilayah perkotaan secara efisien dan efektif (D. Zhou et al., 2019).

Kota Makassar merupakan salah satu kota metropolitan di Indonesia yang berperan penting dalam pembangunan ekonomi Indonesia (Bappeda Kota Makassar, 2018). Namun, kota terbesar dan penduduk terpadat di Kawasan Indonesia Timur ini berdasarkan hasil penelitian sebelumnya telah terindikasi fenomena UHI (Kurniati & Rahmi, 2020; Maru et al., 2015; Suriana et al., 2020). Hal ini disebabkan oleh perubahan lahan yang signifikan. Penelitian Suriana et al. (2020) menunjukkan Kota Makasar mengalami perubahan lahan mulai tahun 1989 dengan persentase kawasan terbangun meningkat sekitar 73,83%.

Berdasarkan penelitian Kurniati (2019), Kota Makassar mengalami kenaikan suhu rerata yakni dari 28,42ºC pada tahun 2013 menjadi 29,54ºC pada tahun 2018, yang menunjukkan bahwa Kota Makassar telah melebihi suhu nyaman (27ºC) sejak tahun 2013. Peningkatan suhu Kota Makassar ini terjadi di pusat perkotaan yang didominasi oleh bangunan seperti perumahan, toko dan perkantoran (Maru et al., 2015). Jenis penggunaan lahan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi suhu permukaan (Firozjaei et al., 2018). Kemungkinan perubahan penggunaan lahan Kota Makassar di masa depan menjadi hal yang perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi suhu permukaan yang menyebabkan terjadinya SUHII.

Kombinasi penerapan teknologi inderaja dengan model prediksi perubahan penggunaan lahan dan suhu permukaan pada masa yang akan datang telah dilakukan menggunakan metode seperti *Cellular Automata* (Firozjaei et al., 2018; Shorabeh et al., 2020; Tariq & Shu, 2020; Ullah, Ahmad, et al., 2019). Namun, sejauh ini belum ditemukan adanya penelitian prediksi SUHII Kota Makassar menggunakan *Cellular Automata*. Padahal prediksi SUHII di Kota Makassar dapat menjadi salah satu referensi bagi Pemerintah Kota Makassar dalam melakukan pembangunan dan pengembangan kota kedepannya. Kota Makassar saat ini telah memiliki Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang berlaku selama 20 tahun yakni dimulai tahun 2015 hingga tahun 2034 sesuai Peraturan Daerah Kota Makasar Nomor 4 tahun 2015, yang berperan sebagai alat untuk mewujudkan keseimbangan pembangunan antar wilayah dan kesinambungan pemanfaatan ruang di Kota Makassar (Bappeda, 2015). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memprediksi SUHII Kota Makassar tahun 2025 berdasarkan data citra satelit Landsat multitemporal yakni Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS tahun 2010 – 2020 menggunakan *Cellular Automata*.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perubahan *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) di Kota Makassar tahun 2010-2020 berdasarkan analisis citra Landsat multitemporal ?
2. Bagaimana simulasi dan prediksi *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) di Kota Makassar tahun 2025 berdasarkan informasi pola *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) Kota Makassar Menggunakan *Cellular Automata* ?

3. Bagaimana kesesuaian prediksi sebaran permukiman dengan *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) pada tahun 2025 di Kota Makassar terhadap alokasi pemanfaatan ruang permukiman pada Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar ?

I.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah memprediksi *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) di Kota Makassar tahun 2025 berdasarkan analisis citra Landsat multitemporal tahun 2010-2020 menggunakan *Cellullar Automata* dan menentukan kesesuaian prediksi SUHII terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan Perubahan *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) di Kota Makassar tahun 2010-2020 berdasarkan analisis citra Landsat multitemporal
2. Memprediksi *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) di Kota Makassar tahun 2025 berdasarkan informasi pola *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) Kota Makassar Menggunakan *Cellular Automata*
3. Menganalisis kesesuaian prediksi *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) pada tahun 2025 di Kota Makassar terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar

BAB II

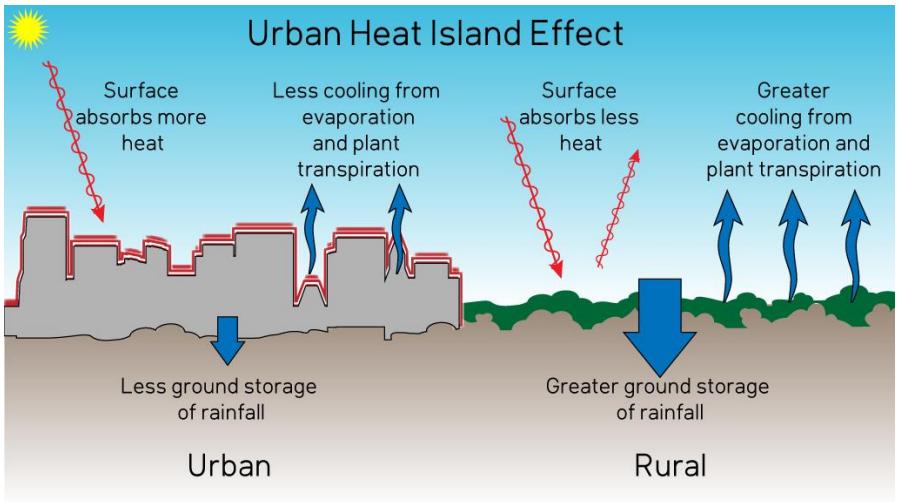
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Surface Urban Heat Island (SUHI)

Surface Urban Heat Island (SUHI) merupakan suatu fenomena suhu permukaan wilayah perkotaan (*urban*) lebih tinggi dibandingkan suhu pedesaan (*rural*) sekitarnya (J. A. Sobrino et al., 2012). Perbedaan suhu ini disebabkan oleh perbedaan kecepatan pendinginan permukaan antara perkotaan dan pedesaan sekitarnya, akibat adanya transformasi tutupan lahan wilayah perkotaan yang signifikan dalam waktu relatif cepat seperti transformasi permukaan hijau alami (vegetasi) dan lahan pertanian menjadi permukaan kedap air (beton, aspal, bangunan) (Buyantuyev & Wu, 2010; Farina, 2012). Secara umum, perbedaan suhu ideal perkotaan dan pedesaan sekitarnya berkisar antara 5ºC - 10ºC (Azevedo et al., 2016). Namun, secara spasial dan temporal SUHI bervariasi pada siang hari sekitar 10ºC - 15ºC dan malam hari sekitar 5ºC - 10ºC.

SUHI terbentuk pada permukaan yang seharusnya menyerap panas dari matahari lebih banyak memantulkan kembali ke udara dan terperangkap dalam lingkup perkotaan. Penyebab peningkatan penyerapan dan perangkap radiasi matahari di perkotaan yang berasal dari panas yang diterima oleh material bangunan, pelepasan panas antropogenik dari transportasi dan mesin pendingin ruangan gedung-gedung; serta faktor lain seperti kepadatan populasi, kepadatan bangunan dan fraksi vegetasi yang secara langsung dan tidak langsung berkontribusi dalam pembentukan SUHI (lihat gambar 2.1) (B. Zhou et al., 2017). SUHI terjadi sepanjang hari baik siang hari maupun malam hari namun maksimum

intensitasnya saat siang hari musim panas (*summer*) (Azevedo et al., 2016; Farina, 2012).



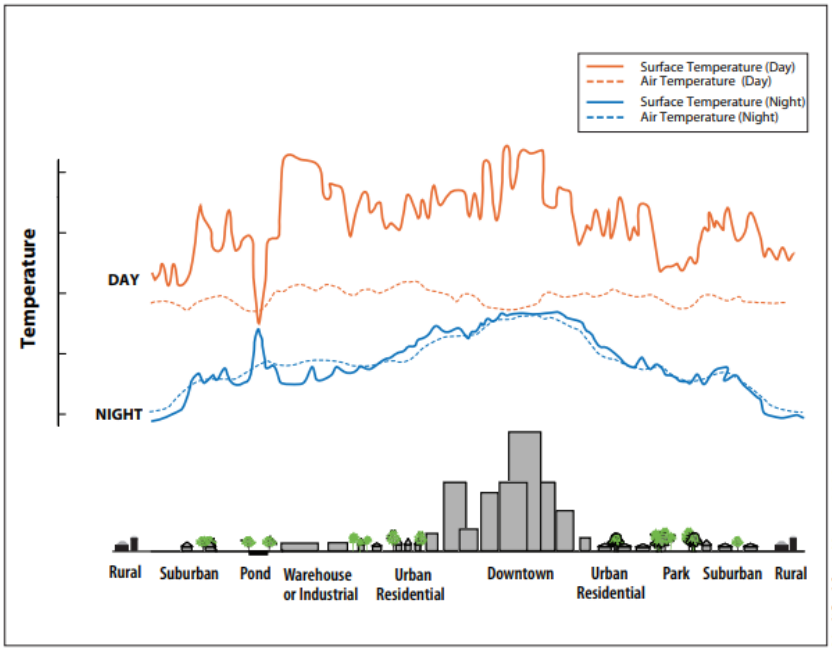
Gambar 2. 1 Skema terbentuknya SUHI (Skepticalscience.com)

II.1.1 Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII)

SUHI dapat diidentifikasi berdasarkan *Land Surface Temperature* (LST) wilayah perkotaan dan pedesaan sekitarnya (Shumilo et al., 2019; Yao et al., 2020). Adanya perbedaan antara suhu permukaan lahan (LST) membentuk *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) (Li et al., 2018). SUHII didefinisikan sebagai selisih antara LST wilayah perkotaan dengan LST pedesaan sekitarnya (Peng et al., 2012). Intensitas SUHI (SUHII) sama dengan karakteristik intensitas *Urban Heat Island* (UHI) yakni dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, tutupan lahan dan kelimpahan vegetasi (Farina, 2012).

Semakin tinggi nilai SUHII maka semakin tinggi juga efek negatif yang ditimbulkan pada lingkungan masyarakat perkotaan, seperti meningkatnya emisi polutan udara dan gas-gas rumah kaca, menurunnya kualitas air, meningkatnya suhu ketidaknyamanan termal yang memicu meningkatkannya konsumsi energi dan meningkatnya potensi ancaman kesehatan (EPA, 2014; Haashemi et al., 2016;

Lu et al., 2020; B. Zhou et al., 2017). SUHII akan berfluktuasi (lihat Gambar 2.2) berdasarkan faktor eksternal kota misalnya lokasi kota, musim, cuaca dan intensitas matahari (EPA, 2014) ; dan faktor internal seperti ukuran dan pertumbuhan kota, aktivitas manusia dan lalu lintas serta penggunaan lahan di dalam wilayah perkotaan (Keeratikasikorn & Bonafoni, 2018; B. Zhou et al., 2017).



Gambar 2. 2 Ilustrasi variasi suhu pada wilayah perkotaan (EPA, 2014)

II.2 Faktor yang Mempengaruhi SUHII

Secara umum, faktor yang mempengaruhi SUHII yaitu tutupan lahan dan suhu permukaan lahan atau *Land Surface Temperature* (LST) (Keeratikasikorn & Bonafoni, 2018; Renard et al., 2019). Faktor ini dapat diidentifikasi melalui teknologi penginderaan jauh.

II.2.1 Tutupan Lahan

Tutupan lahan merupakan tipe fisik lahan yang menunjukkan bagaimana manusia menggunakan lahan yang ada di permukaan bumi (FAO, 2016; NOAA,

2018). Tutupan lahan juga didefinisikan sebagai bentuk intervensi manusia terhadap lahan, guna memenuhi kebutuhan hidupnya (Rahmah et al., 2020). Sementara, berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2010, tutupan lahan adalah tutupan biofisik di permukaan bumi sebagai hasil pengaturan, aktivitas dan perlakuan manusia pada jenis tutupan lahan tertentu untuk kegiatan produksi, perubahan maupun perawatan pada lahan (Badan Standardisasi Nasional, 2010).

Tutupan lahan dipengaruhi oleh iklim, topografi, tanah maupun bencana alam dan juga aktivitas manusia menggunakan lahan (Rahmadewi, 2019). Karakteristik permukaan perkotaan seperti albedo, emisivitas dan kapasitas termal, sebagian besar ditentukan oleh tutupan lahan (Yao et al., 2020). Perubahan penutup lahan meningkatkan albedo dan kekasaran permukaan (Rahmadewi, 2019). Perubahan lahan pada wilayah perkotaan seiring kemajuan kota dan industri menyebabkan timbulnya UHI (Sobirin & Fatimah, 2015).

Keberagaman tutupan lahan di permukaan bumi perlu dilakukan klasifikasi tutupan lahan agar mudah diakomodasi (Badan Standardisasi Nasional, 2010). Klasifikasi menjelaskan kerangka sistematis dengan nama kelas dan kriteria untuk membedakannya serta memberi informasi hubungan antar kelas (FAO, 2016). Di Indonesia, sistem klasifikasi tutupan lahan berbeda-beda sesuai dengan karakteristik daerah masing-masing (Rahmadewi, 2019). Pada penelitian ini, digunakan sistem klasifikasi tutupan lahan sesuai SNI 7645:2010 dengan beberapa modifikasi kelas sesuai karakteristik lokasi penelitian berdasarkan penelitian SUHI sebelumnya (Maru et al., 2015; Rahmadewi, 2019; Sejati et al., 2019; Shorabeh et al., 2020; Ullah, Ahmad, et al., 2019) (lihat Tabel 2.2).

Tabel 2. 1 Klasifikasi tutupan lahan menurut SNI 7645 dan hasil modifikasi (Badan Standardisasi Nasional, 2010; modifikasi sesuai penelitian)

No	Klasifikasi sesuai SNI 7645:2010		Klasifikasi hasil modifikasi	
	Kelas tutupan lahan	Deskripsi	Kelas tutupan lahan	deskripsi
1	Vegetasi	Daerah dengan liputan vegetasi minimal 4% sedikitnya 2 bulan, termasuk didalamnya daerah pertanian (sawah, sawah pasang surut, ladang, perkebunan, perkebunan campuran, tanaman campuran) dan daerah bukan pertanian (hutan lahan kering, hutan lahan basah, semak belukar, padang rumput, alang-alang dan rumput rawa	Vegetasi	Terdiri atas : daerah pertanian (sawah, ladang, perkebunan) dan daerah bukan pertanian (hutan, semak belukar dan *mangrove*)
2	Lahan Terbangun	Area yang telah mengalami substitusi penutup lahan alami ataupun semi alami dengan penutup lahan buatan yang biasanya bersifat kedap air dan relatif permanen, termasuk di dalamnya yaitu : permukiman, bangunan industri, jaringan jalan, jaringan jalan kereta api, bandar udara, Pelabuhan laut, pertambangan, Tempat Pembuangan Akhir/ Sampah (TPA)	Lahan Terbangun	Terdiri atas : permukiman, bangunan industri, jaringan jalan, bandar udara, pelabuhan laut, TPA
3	Perairan	Semua kenampakan perairan, termasuk di dalamnya yaitu : danau atau waduk, tambak, rawa, sungai, anjir pelayaran, terumbu karang dan gosong pantai	Perairan	Terdiri atas : danau, tambak, rawa, sungai, empang dan terumbu karang

Keberagaman tutupan lahan dari permukaan wilayah perkotaan misalnya kepadatan rendah atau tinggi, kawasan perumahan, kawasan industri, kawasan militer atau sejarah, pemerintahan maupun area publik sering diabaikan dalam analisis SUHI padahal dalam rencana zonasi penggunaan lahan yang disediakan oleh pemerintah kota dalam konteks pembangunan perkotaan, intensitas SUHI dalam setiap kategori dengan batas yang jelas, penting untuk menilai efektivitas kebijakan perkotaan dalam hal keberlanjutan (Keeratikasikorn & Bonafoni, 2018).

II.2.2 *Land Surface Temperature (LST)*

Land Surface Temperature (LST) atau suhu permukaan daratan merupakan suhu radiasi kulit tanah yang berasal dari radiasi inframerah atau suhu permukaan atas bumi atau suhu permukaan objek diatas permukaan bumi (ESA, 2018). Menurut Rahmadewi (2019), LST atau suhu permukaan lahan adalah suhu bagian terluar dari objek yang diukur pada tingkat permukaan. LST sangat berperan penting dalam pengaturan energi permukaan. LST berfungsi sebagai syarat batas untuk fluks panas dan uap air ke atmosfer dan aliran panas ke dalam tanah (Crago & Qualls, 2014). Dalam pengamatana iklim perkotaan, LST merupakan parameter fisik utama yang digunakan dalam algoritma perkiraan SUHII (Stathopoulou & Cartalis, 2009).

Secara umum, SUHII diperoleh dari perhitungan LST berdasarkan citra satelit penginderaan jauh yang membawa sensor termal dengan menghitung perbedaan LST antara wilayah perkotaan dengan pedesaan sekitarnya atau perbedaan LST lahan terbangun wilayah perkotaan dengan non-perkotaan (misalnya tubuh air dan vegetasi) (Deilami et al., 2018). Penentuan LST berdasarkan data citra

penginderaan jauh terdapat beberapa metode diantaranya *mono-window algorithm, split-window algorithm* dan pemisahan suhu berdasarkan emisivitas (Ermida et al., 2020; Shumilo et al., 2019; Song & Wu, 2016; Yuan et al., 2017). Metode-metode ini memberikan hasil yang baik namun telah dibuktikan bahwa *mono window algorithm* merupakan metode yang sederhana dan efektif untuk analisis efek SUHII (Yuan et al., 2017).

Kajian prediksi SUHII menggunakan LST berdasarkan data penginderaan jauh (inderaja) menggunakan beberapa indikator tutupan lahan untuk estimasi LST seperti (Ahmed et al., 2013; Hasanlou & Mostofi, 2015; Rahman et al., 2017; Song & Wu, 2016; Tariq & Shu, 2020; Ullah, Tahir, et al., 2019) : *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), *Normalized Difference Bareness Index* (NDBaI), *Normalized Difference Water Index* (NDWI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Enchanced Built-up and Bareness Index* (EBBI), *Urban Index* (UI), *Built-up Index* (BUI). Namun, dalam penelitian ini digunakan 3 indikator prediktor LST yakni, NDBI, NDVI, NDWI sebagai sampel prediktor yang diasumsikan mewakili indeks urban dan vegetasi (Ahmed et al., 2013; Ullah, Tahir, et al., 2019) untuk prediksi LST menggunakan data citra Landsat multiwaktu (lihat Tabel 2.2). Indeks urban dan vegetasi ini dihitung dari *digital number* urban dan vegetasi berdasarkan nilai reflektans pada saluran(*band*) citra, untuk mengidentifikasi indeks yang paling berpengaruh untuk memprediksi suhu permukaan perkotaan (Mushore et al., 2017).

Studi mengenai perubahan spasial dan temporal SUHII menjadi hal sangat penting dilakukan untuk menemukan mitigasi yang relevan (Shorabeh et al., 2020) seperti penambahan vegetasi melalui *green roofs, cool roofs, reflective wall* (EPA,

2014). Mitigasi disesuaikan dengan bentuk kota, ruang terbuka hijau, penggunaan energi, air dan tingkat polusi kota (Darlina et al., 2018).

Tabel 2.2 Formulasi indeks tutupan lahan (Hasanlou & Mostofi, 2015)

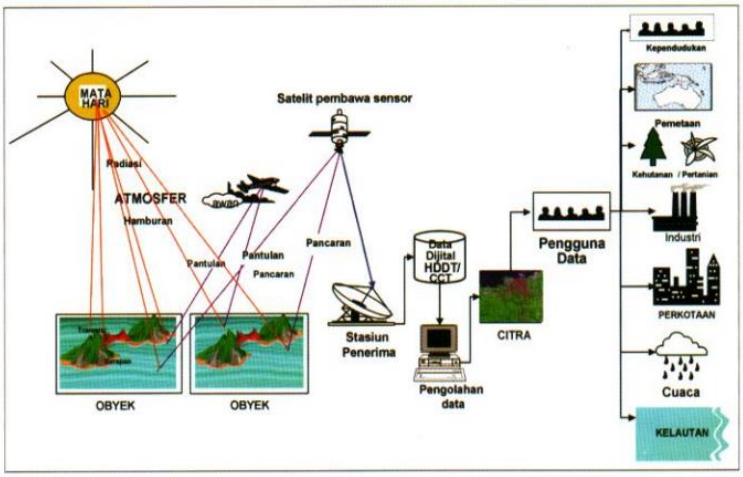
No	Indeks	Persamaan
1	*Normalized Difference Built-up Index* (NDBI)	$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}$
2	*Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$
3	*Normalized Difference Water Index* (NDWI)	$NDVI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$

II.3 Pengertian dan Konsep Dasar Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi mengenai suatu objek, area atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh oleh perangkat yang tidak kontak langsung dengan objek, area atau fenomena yang diselidiki (Lillesand et al., 2015). Penginderaan jauh (inderaja) menggambarkan objek di permukaan bumi dengan wujud dan letak objek yang mirip dengan kenampakan aslinya dalam cakupan luas. Citra inderaja merupakan gambaran suatu objek sensor inderaja yang berupa foto maupun digital (Purwadhi & Sanjoto, 2008). Teknologi penginderaan jauh digunakan untuk mendapatkan informasi secara akurat dalam waktu yang relatif cepat untuk berbagai bidang aplikasi seperti studi mengenai cuaca harian dan perubahan iklim, tutupan lahan perkotaan dan pedesaan, pemodelan ekosistem vegetasi, air, salju, ketahanan pangan dan lain-lain (Jensen, 2015).

Penginderaan jauh memiliki konsep dasar yang terdiri atas beberapa komponen yaitu (Purwadhi & Sanjoto, 2008): objek, sumber tenaga, alur transmisi

dan sensor. Komponen-komponen tersebut digunakan untuk mengambil data objek tanpa kontak langsung. Dalam penginderaan jauh dibutuhkan sumber energi untuk membawa data tentang objek ke sensor (Purwadhi & Sanjoto, 2008), tenaga yang digunakan berupa radiasi matahari dan jika dilakukan perekaman pada malam hari menggunakan tenaga buatan (Sugandi, 2010), sumber energi penginderaan jauh berupa gelombang elektromagnetik. Energi yang dipancarkan berinteraksi dengan objek dan energi tersebut akan dipantulkan kembali oleh objek untuk meneruskan informasi mengenai objek ke sensor. Sensor merupakan sebuah alat untuk merekam dan mencatat radiasi elektromagnetik. Sensor terpasang dalam wahana berupa pesawat terbang dan juga satelit. Saat data tercatat oleh sensor, sensor akan mengirimkan data ke stasiun untuk diolah dan di proses agar bisa didistribusikan ke pengguna data (*user*) (Purwadhi & Sanjoto, 2008). Sistem penginderaan jauh dan aplikasinya diilustrasikan pada Gambar 2.3.

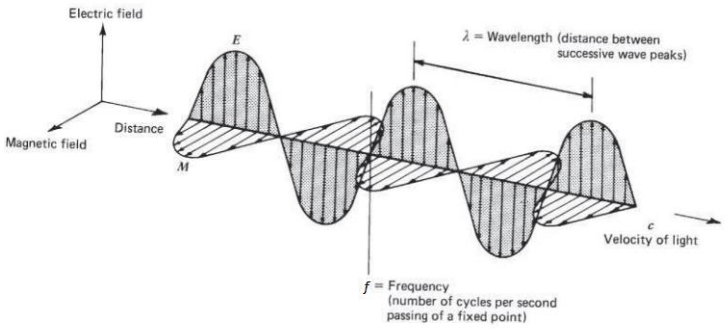


Gambar 2.3 Sistem penginderaan jauh dan aplikasinya (Purwadhi & Sanjoto, 2008)

II.3.1 Fisika Penginderaan Jauh

Sistem penginderaan jauh dibedakan menjadi dua yaitu sistem penginderaan jauh aktif dan sistem penginderaan pasif (Purwadhi & Sanjoto, 2008). Sistem

penginderaan jauh aktif maupun pasif memerlukan sumber energi. Penginderaan jauh pasif menggunakan sumber energi alami yaitu sinar matahari, sedangkan sistem penginderaan jauh aktif menggunakan sumber energi buatan. Sumber energi elektromagnetik utama adalah matahari. Matahari memancarkan gelombang elektromagnetik secara radiasi, baik melalui atmosfer maupun ruang hampa. Energi elektromagnetik berwujud panas dan sinar. Energi ini dibedakan berdasarkan panjang gelombang (λ) dan frekuensinya (*f*) (Hadi, 2019). Penginderaan jauh menggunakan prinsip-prinsip dasar fisika terutama terkait radiasi elektromagnetik karena proses yang terjadi dalam penginderaan jauh melibatkan interaksi radiasi energi dengan objek di permukaan bumi (Darmawan et al., 2018). Gelombang elektromagnetik meliputi gelombang elektrik dan magnetik (lihat Gambar 2.4) (Lillesand et al., 2015).



Gambar 2.4 Komponen-komponen gelombang elektromagnetik (Lillesand et al., 2015)

Radiasi matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik bergerak ke segala arah dengan kecepatan simultan (*c*), jarak dari puncak gelombang ke puncak gelombang lain (λ) dan banyaknya gelombang yang terbentuk persatuan unit waktu disebut frekuensi (*f*) dapat dirumuskan dalam persamaan berikut (2.1) (Lillesand et al., 2015; Sugandi, 2010) :

$$c = f\ \lambda \tag{2.1}$$

Keterangan :

c = kecepatan cahaya (3 x 10^8 m/s)

f = perputaran gelombang dalam satuan detik

λ = panjang gelombang (µm)

Radiasi gelombang elektromagnetik tersebut memancarkan energi secara konstan, jika suhu permukaan matahari sekitar 6000 K dan semua material di permukaan bumi diatas 0 K ($-273℃$). Dengan mengetahui suhu permukaan matahari, puncak gelombang dapat dihitung melalui persamaan berikut (Lillesand et al., 2015; Sugandi, 2010) :

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \tag{2.2}$$

Keterangan :

λ_m = Panjang gelombang maksimum (µm)

A = konstanta (2898 µm/K)

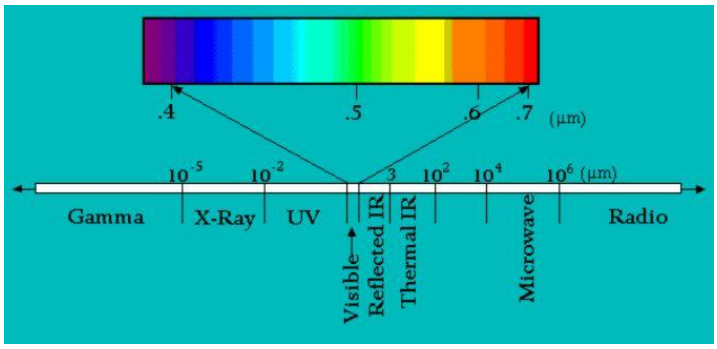
T = suhu (K)

Suhu matahari dengan puncak radiasi sekitar 0,48 µm dengan cahaya tampak yang dapat dilihat oleh mata manusia yakni panjang gelombang sekitar 0,4 µm – 0,7 µm. Gelombang elektromagnetik yang didasarkan suhu bumi (300 K) memiliki puncak radiasi dengan panjang gelombang sekitar 9,6 µm (Lillesand et al., 2015).

II.3.1.1 Spektrum Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik tidak memerlukan medium dalam perambatannya. Spektrum gelombang elektromagnetik dikategorikan berdasarkan panjang gelombang atau frekuensi (Hadi, 2019). Spektrum gelombang elektromagnetik kisaran panjang gelombang terpendek (sinar gamma dan sinar X)

ke panjang gelombang terpanjang (gelombang mikro dan gelombang radio) (Darmawan et al., 2018) (lihat Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Hadi, 2019)

Spektrum gelombang elektromagnetik yang digunakan dalam penginderaan jauh adalah spektrum cahaya tampak (0,4 µm – 0,7 µm), inframerah (0,7 µm- 0,9 µm), inframerah termal (0,9 µm – 14 µm) dan gelombang mikro (0,3 cm – 300 cm). pembahasan mengenai spektrum elektromagnetik dikenal sebagai istilah *band* dan *channel*. *Band* merupakan bagian yang lebih sempit dari spektrum (Hadi, 2019). Untuk identifikasi tutupan lahan digunakan *band* multispektral yaitu *band* cahaya tampak (*visible*) dan inframerah, sedangkan penentuan LST menggunakan band termal (Keeratikasikorn & Bonafoni, 2018; Renard et al., 2019).

II.3.1.2 Hambatan dari Atmosfer

Saat gelombang elektromagnetik mengenai atmosfer, ada kemungkinan terjadi hambatan, adanya berbagai ukuran partikel di atmosfer dan panjang gelombang yang berbeda-beda menyebabkan gelombang elektroamgnetik dihamburkan dalam berbagai tipe yaitu (Hadi, 2019) :

1. Hamburan Rayleigh

Hamburan Rayleigh terjadi ketika gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan partikel yang diameternya lebih kecil dari panjang gelombang (λ) yang mengenainya sehingga panjang gelombang yang lebih pendek akan dihamburkan.

Hamburan ini menyebabkan terdapat kabut tipis pada citra, yang secara visual mengurangi kejelasan citra.

2. Hamburan Mie

Hamburan Mie terjadi jika panjang gelombang elektromagnetik memiliki ukuran sama dengan diameter partikel di atmosfer. Hamburan ini disebabkan oleh uap air dan debu yang ada di atmosfer. Hamburan Mie mempengaruhi panjang gelombang yang lebih panjang dari Rayleigh. Hamburan ini terjadi pada sebagian besar atmosfer.

3. Hamburan Nonselektif

Hamburan nonselektif terjadi jika diameter partikel lebih besar dibandingkan panjang gelombang elektromagnetik yang mengenainya. Panjang gelombang yang berkisar 5 µm – 10 µm disebut non selektif karena menghamburkan spektrum fotografi. Hamburan ini disebabkan oleh partikel di atmosfer berupa uap air dan air hujan. Pada citra tampak sebagai kabut dan awan putih.

II.3.2 Koreksi Citra

Citra satelit yang direkam oleh sensor satelit pada dasarnya memiliki kesalahan akibat seperti terekamnya seluruh efek atmosfer, pengaruh kelengkungan bumi, dan lain-lain sehingga perlu dilakukan koreksi (Lukiawan et al., 2019).

1. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki nilai piksel data citra akibat gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama yang menyebabkan nilai pantulan objek di permukaan bumi yang terekam oleh sensor bukanlah nilai asli, melainkan nilainya menjadi lebih besar dibandingkan yang seharusnya (Lukiawan et al., 2019). Jenis koreksi radiometrik yaitu seperti koreksi matahari, koreksi BRDF, dan koreksi atmosferik.

2. Koreksi Geometrik

Geometrik merupakan posisi geografis yang berhubungan dengan distribusi keruangan (*spatial distribution*). Pada geometrik terdapat informasi data yang mengacu pada bumi seperti posisi (sistem koordinat lintang dan bujur) maupun informasi yang lainnya (Lukiawan et al., 2019). Koreksi geometrik dilakukan untuk memperbaiki posisi dan orientasi citra satelit (Hakim et al., 2012). Metode koreksi geometrik dilakukan akibat adanya kesalahan sistematik dan non-sistematik. Kesalahan sistematik disebabkan diantaranya oleh faktor kelengkungan permukaan bumi sedangkan untuk kesalahan non-sistematis diakibatkan oleh perbedaan ketinggian pada objek yang ada di permukaan bumi.

II.3.3 Resolusi Citra

Kualitas citra penginderaan jauh dikategorikan berdasarkan resolusi citra sebagai berikut (Darmawan et al., 2018): 1) Resolusi spasial merupakan ukuran terkecil dari objek yang dapat direkam oleh sensor sehingga menunjukkan kerincian informasi mengenai objek. Objek terkecil ini dinyatakan dalam sebuah piksel (*pixel*); 2) Resolusi spektral merupakan angka dan dimensi dari panjang gelombang (mengacu pada *band* atau *channel*) pada spektrum gelombang elektromagnetik (Jensen, 2015). Resolusi spektral menunjukkan rinci panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan oleh sensor saat merekam objek; 3) Resolusi temporal, adalah waktu yang diperlukan suatu wahana untuk melakukan perekaman pada tempat atau posisi yang sama; 4) Resolusi radiometrik adalah tingkat kepekaan sensor terhadap perbedaan terkecil kekuatan sinyal yang dihasilkan objek pada saat perekaman sehingga dapat dibedakan berdasarkan segi warna dan intensitas cahaya.

Resolusi radiometrik memberikan informasi mengenai pantulan objek yang terekam. Informasi ini disimpan dalam *band* atau *channel*.

Resolusi temporal yang tinggi dibutuhkan untuk bisa menganalisis perubahan SUHII maupun tutupan lahan dan juga kajian SUHII membutuhkan cakupan luas untuk memungkinkan proses pengamatan seluruh lingkungan perkotaan. Hal ini mampu meningkatkan efisiensi waktu dan akurasi kajian SUHII (D. Zhou et al., 2019).

II.3.4 Klasifikasi Citra untuk Pemetaan Tutupan Lahan

Klasifikasi citra merupakan analisis citra dilakukan dengan bantuan komputer digital dengan algoritma-algoritma tertentu dengan waktu prosesnya yang cepat serta dapat mengekstraksi besaran fisik dan indeks (Kushardono, 2017). Secara umum, klasifikasi citra dibedakan menjadi dua kelas yaitu (Kushardono, 2017) : 1) klasifikasi terbimbing (*supervised*) dengan konsep pengkelasan pola-pola penutup penggunaan lahan pada citra didasarkan masukan dari operator; dan 2) klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised*) merupakan klasifikasi yang dilakukan dengan pengelompokkan nilai-nilai piksel pada suatu citra oleh komputer ke dalam kelas-kelas nilai (spektral, temporal, spasial) dengan menggunakan algoritma klusterisasi. Saat ini dengan kemajuan teknologi mendukung pengolahan data citra menjadi lebih efisien. Salah satu klasifikasi spektral otomatis untuk penggunaan lahan yakni klasifikasi terbimbing menggunakan algoritma *machine learning* yaitu *Random Forest* (Eisavi et al., 2015). Akurasi menjadi target ketepatan klasifikasi dari sebuah algoritma *machine learning* (Bappenas, 2017; Widiastusi, 2018). Metode *Random Forest* (RF) merupakan pengembangan dari metode *Decision*

Tree, yang terdiri dari beberapa *tree* yang di setiap tree dilakukan training terhadap sampel data (Sambodo et al., 2014).

II.3.5 Citra Satelit Landsat

Landsat adalah program satelit sumberdaya bumi pada tahun 1972 yang dikembangkan oleh Badan Penerbangan dan Antariksa Amerika Serikat (*The National Aeronautical and Space Administration*) atau yang biasa dikenal sebagai NASA (NASA) (Jensen, 2015). Landsat diluncurkan pada tanggal 22 Juli 1972 sebagai ERTS-I (*Earth Resources Technology Satellite I*) kemudian disusul beberapa peluncuran generasi satelit Landsat berikutnya. Landsat 5 diluncurkan pada tanggal 1 Maret 1984 dengan membawa sensor TM (*Thematic Mapper*) yang memiliki resolusi spasial 30 m x 30 m dengan 7 saluran spektral (*band* 1, 2, 3 , 4, 5, 6, 7) (Rahmadewi, 2019). Landsat 7 diluncurkan pada tanggal 15 April 1999. Landsat 7 membawa sensor yakni *Enchanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). Sensor ETM+ dikembangkan dengan kemampuan spektral dan spasial mirip dengan sensor TM namun dengan tambahan sebuah *band* pankromatik pada resolusi 15 meter dan band termal dengan resolusi yang lebih tinggi yakni 60 – 120 meter (Jensen, 2015). Citra Landsat 7 harus diperbaiki dahulu citranya sebelum digunakan karena terdapat garis hitam atau strip yang menutupi objek pada permukaan bumi. Hal ini disebabkan oleh kesalahan sensor saat merekam karena melebihi masa waktunya sehingga kenampakan yang terekam kurang maksimal. Umur operasi Landsat 7 adalah 5 tahun. Alternatif solusi dari perbaikan citra yakni metode *gap and fill*. Konsep metode ini dengan menggabungkan antara citra satelit yang terkena strip dengan citra satelit lainnya. Citra yang digunakan merupakan

citra bebas awan dan memiliki tanggal perekaman yang berdekatan (Rahmadewi, 2019).

Landsat 8 dikembangkan sebagai kolaborasi antara NASA dan U.S *Geological Survey* (USGS). NASA memimpin fase desain, konstruksi, peluncuran dan kalibrasi di-orbit, waktu satelit yang disebut dengan *Landsat Data Continuity Mission* (LCDM). Pada Mei 2013, USGS mengambil alih operasi rutin dan satelit tersebut menjadilah Landsat 8. Muatan satelit Landsat 8 terdiri dua instrumen yaitu *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Kedua sensor ini memberikan cakupan musiman dari daratan secara global dengan resolusi spasial 30 meter (untuk band cahaya tampak, NIR, SWIR); 100 meter (termal); dan 15 meter (pankromatik) (NASA, 2020a). Konsep dasar operasi Landsat 8 adalah untuk melanjutkan pengoperasian sistem satelit Landsat 7. Untuk itu pengamatan Landsat 8 mengorbit sesuai dengan orbit matahari (*Sun-synchronous*), dengan ketinggian orbit dari ekuator yakni 705 km. Landsat 8 memiliki periode orbit selama 16 hari untuk mengamati tempat yang sama, dengan melawati khatulistiwa pada pukul 10:11 pagi (+/- 15 menit) Rata-rata Waktu Lokal (MLT) (USGS, 2016). Karakteristik Landsat 7 dan Landsat 8 disajikan dalam Tabel 2.3.

Kajian SUHII paling banyak menggunakan Landsat karena program observasi bumi terpanjang yang tak terputus hingga kini, ketersedian data konsisten dan gratis sejak tahun 2008 serta Landsat seri 5,7, 8 melakukan pengamatan bumi dengan resolusi temporal 16 hari dengan cakupan luas 185 km x 185 km (D. Zhou et al., 2019). Selain itu, Landsat paling banyak digunakan dalam penentuan LST terkait penyediaan data pengamatan dengan resolusi spasial yang tinggi dalam inframerah termal (100 m) yang tersedia 38 tahun (Ermida et al., 2020).

Tabel 2. 3 Perbandingan karakteristik citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS (NASA, 2020)

Landsat 7 ETM+		**Landsat 8 OLI/TIRS**	
***Spectral band* (µm)**	**Resolusi (m)**	***Spectral band* (µm)**	**Resolusi (m)**
Band 1 : 0.45-0.52 µm (*Blue*)	30	Band 1 : 0.43-0.45 µm (*Coastal/ Aerosol*)	30
Band 2 : 0.53-0.61 µm (*Green*)		Band 2 : 0.45-0.51 µm (*Blue*)	
Band 3 : 0.63-0.69 µm (*Red*)		Band 3 : 0.53-0.59 µm (*Green*)	
Band 4 : 0.77-0.90 µm (NIR)		Band 4 : 0.64-0.67 µm (*Red*)	
Band 5 : 1.55-1.75 µm (SWIR-1)		Band 5 : 0.85-0.88 µm (NIR)	
Band 6 : 10.4-12.5 µm (TIR)	60	Band 6 : 1.57-1.65 µm (SWIR-1)	
Band 7 : 2.08-2.35 µm (SWIR-2)	30	Band 7 : 2.11-2.30 µm (SWIR-2)	
Band 8 : 0.52-0.9 µm (*Panchromatic*)	15	Band 8 : 0.50-0.68 µm (*Panchromatic*)	15
		Band 9 : 1.36-1.38 µm (*Cirrus*)	30
		Band 10 : 10.60-11.19 µm (TIRS-1)	100
		Band 11 : 11.50-12.51 µm (TIRS-2)	100

II.4 Pemodelan Prediksi *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII)

Dalam penelitian prediksi *Surface Urban Heat Island Intensity* (SUHII) ini, melibatkan pemodelan yang terdiri dari tiga proses utama yaitu *Markov Chain*, *Cellular Automata* dan validasi model.

II.4.1 Rantai Markov (*Markov Chain*)

Rantai Markov (*Markov Chain*) merupakan proses acak dengan informasi mengenai masa depan terkandung dalam keadaan sekarang (tidak perlu memeriksa masa lalu untuk menentukan masa depan), hal ini berdasarkan proses *Markov*

property yakni bentuk ke depan hanya bergantung pada keadaan sekarang dan tidak bergantung pada bentuk sebelumnya ((Achmad, 2009) dalam (Peruge, 2013)). Dalam teori probabilitas statistik, yang dianalisis dalam proses Markov adalah fenomena yang berubah terhadap waktu secara waktu untuk keadaan tertentu dimana *the Markov property* berlaku; teori ini dicirikan dengan suatu proses acak dengan distribusi bersyarat dari apa yang terjadi di masa depan bergantung pada kondisi sekarang dan bukan masa lalu (masa depan dan masa lalu independen) (Baja, 2012). *Markov Chain* memiliki prinsip dasar yaitu beberapa titik di masa depan (t+1) dapat ditentukan dari fungsi tutupan lahan, LST maupun SUHII saat ini (Iacono et al., 2015) . Berikut sifat umum, probabilitas transisi dan matriks transisi dari *Markov Chain* ((Achmad, 2009) dalam (Peruge, 2013) :

a. Sifat umum, dari proses Markov yaitu:

1) $f\ (X_n\ |X_n - 1, \dots, X_1) = f\ (X_n \mid X_n - 1)$ (2.3)

2) $E\ (X_n\ |X_n - 1, \dots, X_1) = E\ (X_n \mid X_n - 1)$ (2.4)

3) Proses Markov bila waktu dibalik :

$$f(X_n\ |X_n + 1, \dots, X_n + k) = f\ (X_n \mid X_n + 1) \quad (2.5)$$

4) Bila keadaan sekarang diketahui, masa lalu independen dengan masa depan, bila $k < m < n$ maka :

$$f(X_n, X_k\ \ |X_m) = f\ (X_n \mid X_m)\ f\ (X_k \mid X_m) \quad (2.6)$$

b. Probabilitas transisi, adalah probabilitas pergerakan dari keadaan E_i ke E_j, dinotasikan dengan P_{ij}.

$$P\left(E_j\ \middle|E_{k1}, E_{k1}, \dots, E_{kv}, E_i\right) = P\left(E_j \middle| E_i\right) = P_{ij} \quad (2.7)$$

Untuk semua *i* dan *j* $P_{ij} > 0$ dan untuk setiap $i \sum_{j=1}^{N} P_{ij} = 1$

c. Matriks transisi. Sebuah sistem dengan N adalah keadaan, $E_1, E_2, \dots, E_n$ dan probabilitas transisi $P_{ij} = 1, 2, \dots N$ adalah

$$T = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \dots & P_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix} \quad (2.8)$$

Salah satu software geospasial yang dapat digunakan dalam analisis proses Markov yaitu *IDRISI*. Pada IDRISI terdapat modul Markov untuk menganalisis sepasang *image* tutupan lahan, LST maupun SUHII dan menghasilkan matriks probabilitas transisi, matriks area transisi, dan satu set *image* probabilitas bersyarat. Matriks probabilitas transisi merupakan *file* teks yang mencatat probabilitas bahwa setiap kategori tutupan lahan, LST maupun SUHII akan berubah ke setiap kategori lainnya. Sementara area transisi adalah *file* teks yang mencatat jumlah piksel yang diharapkan berubah dari masing-masing jenis tutupan lahan, LST maupun SUHII ke jenis tutupan lahan, LST maupun SUHII lainnya selama periode waktu yang ditentukan. Dalam kedua file ini, baris mewakili kategori jenis tutupan lahan, LST maupun SUHII yang lebih lama dan kolomnya mewakili kategori yang lebih baru. Image probabilitas bersyarat mengindikasikan kemungkinan bahwa setiap jenis tutupan lahan, LST maupun SUHII akan ditemukan pada setiap piksel setelah jumlah unit waktu yang ditentukan (Fitriana et al., 2017).

II.4.2 *Cellular Automata* (CA)

Model *Cellular Automata* (CA) awalnya digagas oleh Ulam dan Von Neumann pada tahun 1940-an untuk memberikan kerangka kerja formal dalam menyelididki perilaku kompleks dari suatu sistem luas (M. I. Kurniawan, 2016).

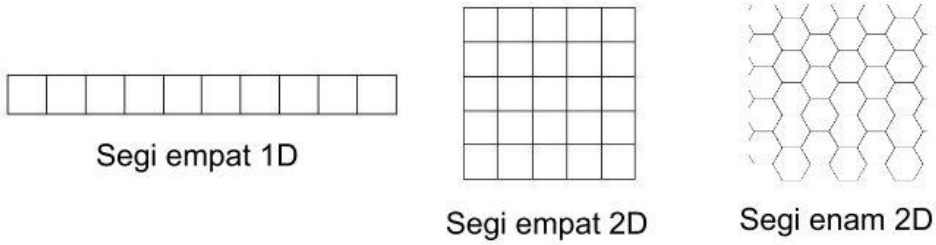
Cellular Automata (CA) adalah model dinamis berupa *grid* yang tersusun atas sel-sel dalam satuan diskrit yang saling berinteraksi satu sama lain (S. Q. Wang et al., 2012).

Menurut Liu (2009), CA merupakan sistem dinamis diskrit yang menunjukkan ruang dibagi menjadi ruang spasial dan waktu dalam tiap tahapan. Sementara, menurut Paharuddin (2012), CA adalah suatu metode komputasi untuk memprediksi perubahan sistem dinamik yang bergantung pada aturan sederhana dan berkembang menurut aturan dari waktu ke waktu. Sementara Menurut Baja (2012), *Cellular Automata* merupakan suatu model sederhana dari proses terdistribusi spasial (*spatial distributed process*) dalam GIS (*Geographic Information System*). Setiap data terdiri dari susunan sel-sel (grid), dan masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya diperbolehkan berada di salah satu dari beberapa keadaan sehingga pemodelan ini hanya dapat dilakukan pada data raster.

CA juga didefinisikan sebagai sistem dinamis yang beroperasi dengan ruang dalam data raster dengan nilai raster diasumsikan sebagai data diskrit dan perilakunya dipengaruhi oleh ketetanggaannya (Yudarwati et al., 2016). Dengan menggunakan informasi data raster sebagai data input, setiap sel menerapkan aturan sederhana untuk menentukan apakah berubah atau tetap dan berubah menjadi apa (keadaan lainnya). Konsep dasar ini diulang secara terus menerus pada seluruh sel hingga mendapatkan suatu keadaan tertentu (Baja, 2012).

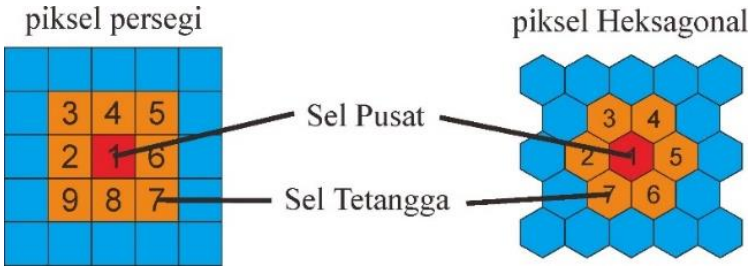
Pemanfaatan CA salah satunya digunakan untuk mempelajari sistem geografis spasial-temporal seperti penggunaan lahan perkotaan dan suhu

permukaan (Shorabeh et al., 2020; S. Q. Wang et al., 2012). CA dapat menggabungkan komponen spasial berdasarkan aturan sederhana dan dinamis sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengolahan komputasi (Deep & Saklani, 2014).



Gambar 2.6 Susunan sel *Cellular Automata* (Paharuddin, 2012)

Cellullar Automata memiliki data yang terdiri atas sel-sel (*grid*) dan masing-masing diatur sedemikian rupa dan hanya diperbolehkan berada di beberapa keadaan saja (Rahmadewi, 2019). Keadaan CA dipengaruhi oleh variabel tiap sel. Sel merupakan unit spasial terkecil (Deep & Saklani, 2014). CA didefinisikan sebagai suatu koleksi tersusun dari unsur-unsur serupa yaitu sel *(cell)*. Struktur diberikan oleh pilihan berbentuk piksel (*lattice*). *Lattice* ada yang 1 dimensi, 2 dimensi, dan 3 dimensi dengan membentuk grid segiempat sederhana maupun susunan lain seperti segi enam (lihat Gambar 2.6). Sel-sel tetangga (*neighborhoods*) merupakan bagian yang merepresentasikan kesatuan sel yang berinteraksi dengan pusat sel. Ketetanggaan (*neighborhoods*) diartikan sebagai perubahan pada satu piksel akan dipengaruhi oleh jenis pada piksel tetangganya (Rahmadewi, 2019). Sebuah *Cellular Automata* berkembang dalam tahapan waktu diskrit, dengan nilai variabel selnya dipengaruhi oleh nilai variabel “tetangga” pada tahapan waktu sebelumnya (lihat gambar 2.7) (M. I. Kurniawan, 2016).



Gambar 2.7 Ilustrasi *Cellular Automata* (M. I. Kurniawan, 2016)

Secara umum, model CA bekerja dengan (Hedge et al., 2009) :

1. Melakukan simulasi keadaan saat ini berdasarkan keadaan masa lampau menggunakan data citra dalam bentuk deret waktu (*time-series*)
2. Melakukan validasi simulasi berdasarkan data citra inderaja dan melalui koleksi observasi lapangan yang tersedia
3. Memungkinkan model untuk mengulang ke tahun pilihan di masa depan
4. Membandingkan keluaran model dengan pendekatan time-series yang autoregresif untuk kondisi tahunan

Cellular Automata terdiri dari 5 unsur dasar (Liu, 2009):

1. Sel (*Cell*), merupakan unit spasial dasar dalam ruang selluler(*cellular*). Sel ini diatur dalam *spatial tessellation* yakni sebuah grid dua dimensi dari sel merupakan bentuk umum dari CA yang digunakan dalam pemodelan pertumbuhan perkotaan (Rahmadewi, 2019).
2. Keadaan dari sel-sel CA. Keadaan (*State*), adalah atribut sistem. Setiap sel hanya mengambil satu kondisi pada waktu tertentu. Dalam penelitian ini, keadaan mewakili jenis tutupan lahan, kelas LST dan SUHII.
3. Ketetanggaan (*Neighborhood*) adalah serangkaian sel yang saling berinteraksi
4. Aturan transisi (*Transition Rules*), didefinisikan sebagai respon perubahan suatu sel dalam menanggapi kondisi tiap sel dan tetangganya.

5. Waktu (*Time-step*) adalah variabel yang menentukan dimensi waktu yang digunakan pada proses *Cellular Automata*. Waktu dalam penelitian ini didefinisikan sebagai periode iterasi (Rahmadewi, 2019).

Secara umum, persamaan *Cellular Automata* dapat dituliskan sebagai berikut (Gidey et al., 2017) :

$$S(t, t+1) = f(S(t), N) \tag{2.9}$$

dengan S merupakan himpunan terbatas dari keadaan diskrit *cellular*, N adalah bidang *cellular*, t dan t+1 merupakan waktu yang berbeda dan f adalah transformasi aturan keadaan dalam ruang lokal.

II.4.3 Integrasi *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov)

Markov Chain adalah pemodelan dari probabilitas yang dipelajari dalam ilmu statistika (Baja, 2012). Dalam *Markov Chain*, probabilitas transisi mungkin akurat berdasarkan kategori, namun tidak terdapat informasi mengenai distribusi spasial kejadian dalam setiap tutupan lahan, LST, maupun SUHII sehingga tidak ada komponen spasial dalam hasil pemodelan. Untuk menambahkan karakter spasial dalam pemodelan digunakan *Cellular Automata* (CA) (Eastman, 2012). Meskipun CA memiliki kelebihan, namun juga memiliki keterbatasan yakni definisi pada aturan transisi dan struktur model. Sehingga tidak mampu memprediksi dinamika tutupan lahan, LST maupun SUHII (Rocha et al., 2007). Keterbatasan ini dapat diatasi melalui teknik integrasi model dinamis dan empiris yang berbeda seperti *Cellular Automata-Markov* (CA-Markov) (Gidey et al., 2017).

Cellular Automata-Markov (CA-Markov) adalah integrasi dari *Cellular Automata* dengan konsep keadaan saat ini dipengaruhi oleh sel tetangganya yang pada aturan transisi terdapat ketergantungan antara sel tetangga. Aturan transisi

diekspresikan oleh probabilitas yang hanya mempertimbangan keadaan saat ini. Model Markov mewakili luas dan model stokastik untuk temporal dan spasial sifat ketergantungan yang terkait dengan 1-D dan multidimensi secara acak (Moser et al., 2013). Integrasi antara CA-Markov lebih akurat dan logis untuk memprediksi perubahan tutupan lahan, LST maupun SUHII. Model CA-Markov menghitung status piksel berdasarkan status awalnya, kondisi piksel sekitarnya dan aturan transisi. Hal ini yang mendasari dinamika perubahan berdasarkan konsep kedekatan pada area yang di kelas sama akan lebih mungkin berubah menjadi kelas berbeda. Fitur terpenting dari CA-Markov adalah memprediksi pola ruang dan temporal yang dinamis dan kompleks melalui serangkaian aturan transisi (Gidey et al., 2017).

Aturan yang digunakan dalam CA-Markov ditulis dalam Persamaan sebagai berikut (Susilo, 2011) :

$$S_{t+1} = f\{(S_t).(I).(P).(N)\} \tag{2.10}$$

Keterangan :

S_{t+1} = keadaan dari sel yang berpotensi berubah pada t+1

S_t = keadaan sel pada saat t

I = Indeks kesesuaian sel pada saat t

P = Probabilitas sel

N = Indeks sel tetangga

Keadaan sel (*state*) pada penelitian ini untuk mewakili tutupan lahan, LST dan SUHII. Probabilitas sel diperoleh dari hasil analisis Markov. Jika menggunakan multikriteria maka I (*indeks kesesuaian*) dapat dihitung melalui persamaan (Gidey et al., 2017) :

$$I_{t+1} = \sum_{i=1}^{n} w_i \,.\, c_i . \prod_{i=1}^{n} r_i \tag{2.11}$$

Keterangan :

I_{t+1} = Indeks kesesuaian yang berpotensi berubah pada S_{t+1}

w_i = pembobotan setiap parameter faktor pendorong

c_i = kriteria dari *constraint* (faktor pembatas)

II.4.4 Validasi Model

Validasi model dilakukan berdasarkan uji akurasi Kappa. Secara umum, indeks Kappa dibagi menjadi 5 kategori dengan detail ditulis dalam Tabel 2.4 (Fardani et al., 2020).

Tabel 2.4 Indeks kappa untuk penilaian akurasi model (Fardani et al., 2020)

Indeks Kappa	**Tingkat akurasi**
< 0.2	Buruk
0.21 – 0.4	Cukup
0.41 – 0.6	Sedang
0.61 – 0.8	Bagus
0.81 - 1	Sangat Bagus

II.5 Fuzzy Logic

Fuzzy logic atau logika *fuzzy* adalah salah satu cara pandang dan pendekatan yang menyatakan sesuatu tidak benar-benar pasti atau eksak dalam suatu derajat atau tingkat kepastian (Fadillah, 2019). Pada penelitian prediksi SUHII menggunakan *Cellular Automata-Markov* ini, *fuzzy logic* digunakan dalam standarisasi parameter faktor pendorong (*driving factor*).

Pada *fuzzy logic* terdapat himpunan fuzzy, yaitu merupakan himpunan yang setiap elemen-elemennya memiliki derajat keanggotaan tertentu (Fadillah, 2019). Nilai suatu keanggotaan dalam himpunan fuzzy (*membership function*) memiliki dua kemungkinan yaitu (Kusumadewi & Guswaludin, 2005) :

1. Satu (1), untuk suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan

2. Nol (0), untuk suatu item yang tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan

Pada software pengolahan data geospasial IDRISI, nilai keanggotaan fuzzy selain terdapat tipe data *real* dengan nilai 1 dan 0, juga terdapat tipe data *byte* dengan nilai 0 – 255.

II.6 *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah teori umum pengukuran untuk menurunkan skala rasio dari perbandingan berpasangan dan kontinu yang diambil dari pengukuran aktual atau dari skala fundamental yang menunjukkan kekuatan relatif dari preferensi dan perasaan (Saaty, 1987). Metode AHP memungkinkan perhitungan kualitatif dan kuantitatif pada metode pengambilan keputusan dengan memberikan dasar untuk memperoleh, mendiskusikan, mencatat dan mengevaluasi elemen-elemen keputusan berdasarkan cara hierarki dengan tujuan, tujuan detail atau faktor dan alternatif (Syamsuddin & Hwang, 2009). AHP dalam pemodelan SUHII menggunakan *Cellular Automata-Markov* digunakan dalam pembobotan parameter faktor pendukung.

Struktur AHP diterjemahkan ke dalam serangkaian pertanyaan dari bentuk "Seberapa penting kriteria A relatif terhadap kriteria B ?", Input ke model AHP adalah jawaban pembuat kepututsan untuk serangkaian pertanyaan disebut sebagai perbandingan berpasangan (*pairwise comparisons*). Pertanyaan jenis ini digunakan untuk menetapkan dalam AHP baik bobot untuk kriteria dan skor untuk pilihan pada kriteria yang berbeda. Nilai perbandingan berpasangan AHP disajikan dalam Tabel 2.5 (Parhusip, 2019; Syamsuddin & Hwang, 2009).

Tabel 2.5 Nilai perbandingan berpasangan pada AHP (Parhusip, 2019; Syamsuddin & Hwang, 2009)

Nilai Perbandingan Kriteria A terhadap Kriteria B	Keterangan
1	Kedua kriteria sama pentingnya
3	Kriteria A sedikit lebih penting dari kriteria B
5	Kriteria A lebih penting dari kriteria B
7	Kriteria A jelas lebih penting dari kriteria B
9	Kriteria A mutlak lebih penting dari kriteria B

II.7 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar

Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Makassar atau RTRWK Makassar adalah hasil perencanaan tata ruang yang merupakan penjabaran strategi dan arahan kebijakan pemanfaatan ruang wilayah nasional, kawasan strategi nasional dan provinsi ke dalam struktur dan pola ruang wilayah Kota Makassar. RTRW Kota Makassar memiliki peran sebagai alat untuk mewujudkan keseimbangan pembangunan antar wilayah dan berkesinambungan ruang di Kota Makassar (Bappeda Kota Makassar, 2015).

Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Makassar sesuai Peraturan Daerah Kota Makaasar Nomor 4 Tahun 2015 berfungsi sebagai pedoman untuk (Bappeda Kota Makassar, 2015) : 1) Penyusunan rencana pembangunan daerah; 2) Pemanfaatan ruang dan pengendalian pemanfaatan ruang di wilayah Kota Makassar; 3) Perwujudan keterpaduan, keterkaitan, dan keseimbangan perkembangan antarwilayah serta keserasian antarsektor di Kota Makassar; 4) Penetapan lokasi dan fungsi ruang untuk investasi di Kota Makassar; dan 5) Perwujudan keterpaduan rencana pengembangan Kota Makassar dengan kawasan sekitarnya.

Jangka waktu Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Makassar adalah 20 tahun dan dapat ditinjau kembali 1 kali dalam 5 tahun. Arahan pemanfaatan ruang wilayah

Kota Makassar merupakan acuan dalam mewujudkan struktur ruang, pola ruang dan kawasan strategis Kota Makassar. Arahan pemanfaatan ruang terdiri atas (Bappeda Kota Makassar, 2015) :

1. Indikasi program utama, meliputi : a) indikasi program utama perwujudan struktur ruang; b) indikasi program utama perwujudan pola ruang; dan c) indikasi program utama perwujudan kawasan strategis kota .
2. Indikasi sumber pendanaan, berasal dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN), Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) dan sumber lain sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.
3. Indikasi pelaksana meliputi pemerintah, pemerintah provinsi, pemerintah daerah Kota Makassar, dan/ atau masyarakat
4. Waktu pelaksanaan meliputi : a) tahap pertama, pada periode tahun 2015-2019; b) tahap kedua pada periode tahun 2020 – 2024; c) tahap ketiga pada periode tahun 2025 – 2029; dan d) tahap keempat pada periode tahun 2030- 2034.