

**TESIS - DA185401**

# **KONSEP ADAPTASI FENOMENA UHI (URBAN HEAT ISLAND) BERDASARKAN URBAN CONFIGURATION KAWASAN SURABAYA TIMUR**

**RIVAN AJI WAHYU DYAN SYAFITRI**  
**NRP 08111850050005**

**Dosen Pembimbing**  
Adjie Pamungkas, ST, MDev, Plg, Phd  
Dr. Ir. Eko Budi Santoso, Lic.Rer. Reg.

**Dapartemen Arsitektur**  
**Bidang Keahlian Manajemen Pembangunan Kota**  
**Departemen Arsitektur**  
**Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**2020**



## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Arsitektur (M.Ars.)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**RIVAN AJI WAHYU DYAN SYAFITRI**

**NRP: 08111850050005**

Tanggal Ujian: 25 Juni 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui Oleh:

**Pembimbing:**

Adjie Pamungkas, ST, MDev, Plg, Phd

**NIP: 197811022002121002**

Dr. Ir. Eko Budi Santoso, Lic.Rer. Reg

**NIP: 19610726 1989031004**

**Penguji:**

Cahyono Susetyo, ST, M.Sc, Ph.D

**NIP: 197801082003121002**

Fx. Teddy Badai Samodra, ST. MT., Ph.D

**NIP: 19800406 2008011008**

Kepala Departemen Arsitektur

**Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian**



*[Handwritten signature of Dr. Dewi Septanti]*

**Dr. Dewi Septanti, S.Pd, ST., MT**

**NIP: 19690907 199702 2 001**



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rivan Aji Wahyu Dyan Syafitri  
NRP : 08111850050005  
Program Studi : Magister Manajemen Pembangunan Kota (S2)  
Departemen : Arsitektur

dengan ini menyatakan, bahwa isi sebagian maupun keseluruhan penelitian tesis saya dengan judul:

**KONSEP ADAPTASI FENOMENA UHI (*URBAN HEAT ISLAND*) BERDASARKAN *URBAN CONFIGURATION* KAWASAN SURABAYA TIMUR**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai hasil karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 13 Agustus 2020

Yang Membuat Pernyataan,



Rivan Aji Wahyu Dyan Syafitri

NRP. 08111850050005



# **KONSEP ADAPTASI FENOMENA UHI (*URBAN HEAT ISLAND*) BERDASARKAN *URBAN CONFIGURATION* KAWASAN SURABAYA TIMUR**

Nama Mahasiswa : Rivan Aji Wahyu Dyan Syafitri  
NRP : 08111850050005  
Dosen Pembimbing : Adjie Pamungkas, ST, MDev, Plg, Phd  
Co Pembimbing : Dr. Ir. Eko Budi Santoso, Lic.Rer. Reg

## **ABSTRAK**

Perubahan iklim yang terjadi karena urbanisasi berdampak pada peningkatan suhu perkotaan, atau yang biasa disebut sebagai *urban heat island* (UHI). Efek panas perkotaan akan terus berkembang seiring dengan pertumbuhan lahan terbangun yang *massive* terjadi. Akibatnya rusaknya kualitas lingkungan dan ketidaknyamanan thermal tidak dapat dihindarkan. Karakteristik *urban configuration* seperti jenis material permukaan, geometri perkotaan dan *urban green infrastruktur* memainkan peran penting dalam adaptasi fenomena tersebut. Namun, Surabaya Timur sebagai salah satu kawasan yang paling terdampak UHI belum banyak menekankan adaptasi berdasarkan *urban configuration*. Sedangkan mengubah fisik perkotaan yang telah dibangun akan sulit diimplementasikan dan memerlukan biaya yang mahal. Sehingga, tujuan dari penelitian ini adalah menyusun konsep adaptasi berdasarkan karakteristik *urban configuration*.

Penelitian ini mempertimbangkan pengamatan spasial UHI pada skala lokal dengan menggunakan paradigma *positivist*. Analisis dilakukan melalui pengamatan citra Landsat untuk memperoleh data spasial UHI dan citra LiDAR untuk mengidentifikasi karakteristik variabel *urban configuration*. Metode yang digunakan dalam menentukan tingkat pengaruh variabel adalah analisi regresi spasial *ordinary least square* (OLS). Kalibrasi model menggunakan metode uji asumsi klasik dan *cross validation* (RMSe). Terakhir adalah menentukan konsep adaptasi melalui model optimasi hasil regresi.

Hasil model optimasi yang didapatkan pada setiap konsep, diantaranya *cool material*, *reflective material*, *pervious material*, *urban skyline*, hubungan antar bangunan, intensitas pemanfaatan ruang, pola morfologi, *green pathway*, pepohonan pada lahan privat, green material, meminimalisir barrier perairan, badan air skala kecil pada lahan privat dan instalasi sirkulasi air. *Cool material* merupakan konsep paling efektif, namun setiap konsep tersebut dapat mendukung satu sama lain berdasarkan karakteristik *urban configuration*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *urban configuration* juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan konsep adaptasi UHI.

Keyword: *adaptation*, *spatial temporal*, *urban configuration*, *urban heat island*



# **CONCEPT OF UHI (URBAN HEAT ISLAND) PHENOMENA ADAPTATION BASED ON URBAN CONFIGURATION IN SURABAYA TIMUR**

Student Name	: Rivan Aji Wahyu Dyan Syafitri
NRP	: 08111850050005
Supervisor	: Adjie Pamungkas, ST, MDev, Plg, Phd
Co Supervisor	: Dr. Ir. Eko Budi Santoso, Lic.Rer. Reg

## **ABSTRACT**

Climate change that occurs due to urbanization has an impact on increasing urban temperatures, or commonly referred to as urban heat island (UHI). The effects of urban heat will continue to develop along with the massive growth of built-up land. As a result, damage to the environment and thermal discomfort cannot be avoided. Urban configuration characteristics such as surface material type, urban geometry, and urban green infrastructure play an important role in the adaptation of the phenomenon. However, East Surabaya as one of the areas most affected by UHI has not emphasized adaptation based on urban configuration. Meanwhile, changing the physical urban environment that has been built will be difficult to implement and will require expensive costs. This study aims to develop an adaptation concept based on the characteristics of an urban configuration.

This study considers UHI spatial observations on a local scale using the positivist paradigm. The analysis was carried out by observing Landsat imagery to obtain UHI spatial data and LiDAR imagery to identify characteristics of urban configuration variables. The method used in determining the level of influence of variables is ordinary least square (OLS) spatial regression analysis. The model calibration uses the classical assumption and cross-validation (*RMSe*) methods. Finally, determine the concept of adaptation through the regression results optimization model.

Optimization model results obtained on each concept, including cool material, reflective material, pervious material, urban skyline, relationships between buildings, the intensity of spatial use, morphological patterns, green pathways, trees on private land, green material, minimizing water barriers, water bodies small scale on private land and water circulation installations. Cool material is the most effective concept, but each of these concepts can support one another based on the characteristics of the urban configuration. So it can be concluded that the urban configuration also needs to be considered in determining the concept of UHI adaptation.

Keyword: *adaptation, spatial temporal, urban configuration, urban heat island*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis yang berjudul "Konsep Adaptasi UHI (*Urban Heat Island*) berdasarkan *Urban Configuration* Kawasan Surabaya Timur". Tesis ini dibuat untuk memenuhi gelar master di Pascasarjana Jurusan Arsitektur, bidang studi Manajemen Pembangunan Kota, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penyusunan Tesis ini tidak terlepas dari berbagai masalah dan kesulitan, namun dapat teratasi berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada:

- Allah SWT atas segala rahmat, ilmu, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini;
- Orang tua penulis (Bapak Suwardiyanto dan Ibu Sriwahyuni) atas segala do'a, dukungan dan semangat yang tidak pernah terputus;
- Yang terhormat, Bapak Adjie Pamungkas, ST, MDev, Plg, Phd selaku Pembimbing Tesis, atas segala bimbingan, ilmu, serta dorongan semangat dan motivasi yang menginspirasi penulis dalam penelitian ini.
- Yang terhormat, Bapak Dr. Ir. Eko Budi Santoso, Lic.Rer. Reg selaku Co-Pembimbing Tesis, atas bimbingan, masukan, arahan, dan pemahaman dalam penelitian ini.
- Yang terhormat, Bapak Nursakti Adhi Pratomoatmojo, ST., M.Sc. selaku dosen sekaligus kepala CV.Urbanesha, atas masukan dan referensi studi dalam penelitian.
- Yang terhormat, seluruh struktur Pemerintah Kota Surabaya dan PT Tata Guna Matra Architecture and Planning consult, atas segala informasi dan data yang digunakan penulis dalam penelitian.
- Rekan rekan yang senantiasa membantu, memotivasi dan memberikan dukungan khususnya May, Rezky, Galih, Lukman, Weka, Nova, Mamong, Ical, Jeje, Aga, Adit, Bob, Adam, Nasa, Noe, dan Okta
- Rekan rekan pascasarjana Arsitektur ITS angkatan 2018 atas kebersamaan, sharing informasi dan dukungannya selama ini
- Kontributor lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungan kepada penulis

Dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak tersebut akan selalu berguna bagi penulis untuk ke depannya. Penulis senantiasa menerima atas masukan, saran maupun kritik yang bersifat membangun, untuk perbaikan kedepannya. Semoga penelitian dalam topik *urban geography* dan *climate change* yang dilakukan ini dapat bermanfaat secara luas bagi kemajuan pengembangan ilmu bidang Arsitektur di masa yang akan datang.



## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Rumusan Masalah .....	4
1.3.    Tujuan Penelitian.....	5
1.4.    Manfaat Penelitian.....	5
1.4.1.    Manfaat teoritis .....	5
1.4.2.    Manfaat Praktis .....	6
1.5.    Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.5.1.    Ruang Lingkup Wilayah Studi.....	6
1.5.2.    Ruang Lingkup Aspek Studi .....	7
1.5.3.    Ruang Lingkup Lainnya.....	7
1.6.    Kerangka Berpikir .....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1.    Urbanisasi dan Perubahan Iklim.....	9
2.2.    Fenomena <i>Urban Heat Island</i> .....	9
2.2.1. <i>Urban Heat Island</i> .....	9
2.2.2.    Klasifikasi Jenis UHI .....	10
2.2.3. <i>Surface Temperature</i> .....	13
2.2.4.    Hubungan <i>surface temperature</i> dan <i>atmosphere temperature</i> .....	14
2.2.5.    Variabel Penyebab <i>Surface Urban Heat Island</i> .....	15
2.3.    Pengindraan Jauh untuk Analisis <i>Urban Heat Island</i> .....	27
2.3.1.    Pengindraan Jauh ( <i>remote sensing</i> ).....	27
2.3.2.    Citra Satelite Landsat .....	27
2.3.3.    Indeks Vegetasi untuk Menganalisis Suhu Permukaan .....	30
2.3.6.    Validasi Data.....	32
2.4.    Citra LiDAR .....	33
2.5.    Adaptasi <i>Urban Heat Island</i> .....	34
2.5.3.    Adaptasi.....	34
2.5.4.    Adaptasi <i>Urban Heat Island</i> .....	36
2.5.5. <i>Urban Configuration</i> dalam Adaptasi UHI.....	36
2.6.    Penelitian Terdahulu.....	58

2.6.3. Posisi penelitian.....	58
2.6.4. Perbedaan terhadap penelitian terdahulu .....	63
2.6.5. Sintesa Kajian Pustaka .....	63
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	67
3.1. Pendekatan Penelitian .....	67
3.2. Variabel Penelitian beserta definisi operasional .....	67
3.3. Kerangka Metodologi Penelitian .....	71
3.3.1. Persiapan.....	72
3.3.2. Penentuan Populasi dan Sampel .....	72
3.3.2.1. Penentuan Populasi .....	72
3.3.2.2. Penentuan Sampel.....	73
3.4. Data dan Sumber Data .....	74
3.4.1. Metode Pengumpulan Data .....	74
3.5. Teknik Analisis Data .....	75
3.5.1. Menganalisis pola distribusi <i>urban heat island</i> secara <i>spatial temporal</i> .....	76
3.5.2. Menganalisis karakteristik variabel penyusun <i>urban configuration</i> .....	88
3.5.3. Menganalisis variabel penyusun <i>urban configuration</i> yang mempengaruhi <i>urban heat island</i> .....	98
3.5.4. Merumuskan konsep adaptasi UHI berdasarkan klasifikasi <i>urban configuration</i> .....	103
3.6. Tahapan Penelitian.....	104
3.6.1. Perumusan Masalah.....	104
3.6.2. Studi Pustaka .....	105
3.6.3. Pengumpulan Data.....	105
3.6.4. Analisa Data .....	105
3.6.5. Kesimpulan.....	105
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	107
4.1. Gambaran Umum Wilayah Studi.....	107
4.1.1. Wilayah Administasi Surabaya Timur.....	107
4.1.2. Perubahan penggunaan lahan tahun 2001-2019 Kawasan Surabaya Timur	108
4.1.3. Rencana Tata Ruang Terkait .....	111
4.2. Pola distribusi <i>urban heat island</i> secara <i>spatial temporal</i> .....	116
4.2.1. Memodelkan suhu permukaan.....	116
4.2.1. Klasifikasi kawasan terdampak <i>Urban Heat Island (UHI)</i> .....	129
4.3. Analisis Karakteristik <i>Urban Configuration</i> .....	140
4.3.1. <i>Urban Green Infrastructure</i> .....	140
4.3.2. <i>Urban Geometry</i> .....	150
4.3.3. <i>Urban Material</i> .....	158
4.3.4. Klasifikasi <i>urban configuration</i> .....	161

4.4.	Pengaruh <i>urban configuration</i> terhadap <i>urban heat island</i> .....	165
4.4.1.	Variabel <i>urban configuration</i> yang mempengaruhi <i>urban heat island</i>	
	165	
4.4.6.	Model regresi spasial variabel <i>urban configuration</i> .....	171
4.4.2.	Kalibrasi model regresi .....	177
4.5.	Konsep adaptasi UHI.....	178
4.5.5.	Memilih lokasi sampel pengamatan.....	178
4.5.6.	Merumuskan konsep adaptasi ( <i>site analysis</i> ).....	179
4.5.7.	Matriks pentahapan dan struktur adaptasi UHI.....	239
<b>PENUTUP</b>	.....	<b>243</b>
5.1.	Kesimpulan.....	243
5.2	Saran .....	244
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>246</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>260</b>
Lampiran 1.	Pembagian bangunan berdasarkan zona penggunaan lahan .....	260
Lampiran 2.	<i>Exploratory regression</i> .....	262

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan UHI berdasarkan jenisnya .....	10
Tabel 2.2. Tabel Kategori Indeks suhu permukaan (LST).....	14
Tabel 2.3. Sub-variabel yang mempengaruhi <i>surface UHI</i> .....	17
Tabel 2.4. Faktor <i>Urban Geometry</i> .....	22
Tabel 2.5. Albedo berdasarkan tipe <i>urban material</i> .....	24
Tabel 2.6. Sifat termal dari permukaan buatan dan alami.....	25
Tabel 2.7. Faktor-faktor <i>urban form</i> yang mempengaruhi UHI .....	26
Tabel 2.8. Perbandingan Parameter-Parameter Spektral Sensor Pencitra OLI (Landsat 8) dan ETM+ (Landsat 7).....	29
<i>Tabel 2.9.</i> Jenis validasi Suhu Permukaan .....	33
<i>Tabel 2.10.</i> Tabel <i>Urban Climate Zone (UCZ)</i> sebagai bentuk pembagian <i>urban Configuration</i> .....	38
<i>Tabel 2.11.</i> Model <i>Urban Green Infrastructure</i> dalam memprioritaskan lokasi dan mengoptimalkan pendinginan .....	40
<i>Tabel 2.12.</i> Tabel Elemen <i>Green-Blue Infrastructure</i> .....	41
Tabel 2.13. Penelitian terdahulu terkait adaptasi UHI di Surabaya .....	61
Tabel 2.14. Tabel perbedaan terhadap penelitian sejenis.....	63
Tabel 2.15. Sintesa Pustaka .....	65
Tabel 3.1. Tabel variabel penelitian beserta definisi operasional .....	69
Tabel 3.2. Tabel sasaran, kebutuhan data dan proses pengumpulan.....	74
Tabel 3.3. Tabel tahapan penelitian serta alat analisis .....	75
Tabel 3.4. Band red dan NIR masing masing Landsat.....	78
Tabel 3.5. Band Thermal masing masing Landsat.....	78
Tabel 3.6. Pengambilan data pada masing masing variabel penelitian .....	89
Tabel 3.7. Tabel variabel depen (Y) dan independen (X) <i>urban configuration</i> .....	100
Tabel 4.1. Pembagian Administrasi Wilayah Surabaya Timur .....	107
Tabel 4.2. Perubahan penggunaan lahan 2001-2019 kawasan Surabaya Timur .....	108
Tabel 4.3. <i>Band Thermal</i> masing masing Landsat .....	116
Tabel 4.4. Uji <i>Bivariate Relationship</i> antara penggunaan lahan terhadap LST .....	125
Tabel 4.5. Perhitungan Deviasi dan Ambang batas UHI .....	130
Tabel 4.6. Tabel Distribusi UHI di Surabaya Timur.....	131
Tabel 4.7. Tabel Distribusi autokorelasi spasial UHI .....	135
Tabel 4.8. Tabel pola distribusi UHI berdasarkan moran scatterplot .....	138
Tabel 4.9. Sebaran <i>urban greenspace</i> .....	141
Tabel 4.10. Sebaran <i>urban waterspace</i> .....	146
Tabel 4.11. Persentase kepadatan bangunan terhadap suhu permukaan rata-rata.....	150
Tabel 4.12. Ketinggian bangunan terhadap suhu permukaan rata-rata .....	153
Tabel 4.13. <i>Floor area ratio</i> terhadap suhu permukaan rata-rata .....	155
Tabel 4.14. Tabel Klasifikasi <i>Urban Configuration</i> .....	162
Tabel 4.15. Tabel analisis variabel <i>urban configuration</i> .....	165
Tabel 4.16. Pengkodean variabel <i>urban configuration</i> .....	170
Tabel 4.17. Model stepwise yang paling signifikan.....	170
Tabel 4.18. Lokasi sampel setiap Klasifikasi <i>Urban Configuration</i> .....	178
Tabel 4.19. Gap analisis kategori 2 .....	179

Tabel 4.20.Konsep adaptasi pada variabel albedo .....	182
Tabel 4.21. Konsep adaptasi pada variabel ketinggian bangunan.....	183
Tabel 4.22. Konsep adaptasi pada variabel <i>sky view factor</i> .....	184
Tabel 4.23. Konsep adaptasi pada variabel kepadatan bangunan .....	185
Tabel 4.24. Konsep adaptasi pada variabel <i>urban green space</i> .....	186
Tabel 4.25. Konsep adaptasi pada variabel <i>urban water space</i> .....	187
Tabel 4.26.Strategi adaptasi <i>thermal</i> .....	187
Tabel 4.27.Model konsep adaptasi kategori 2.....	188
Tabel 4.28.Gap analisis kategori 3 .....	191
Tabel 4.29.Strategi adaptasi <i>albedo</i> .....	193
Tabel 4.30.Strategi adaptasi ketinggian bangunan.....	194
Tabel 4.31.Strategi adaptasi <i>sky view factor</i> .....	195
Tabel 4.32.Strategi adaptasi <i>kepadatan bangunan</i> .....	195
Tabel 4.33.Strategi adaptasi <i>urban green space</i> .....	196
Tabel 4.34.Strategi adaptasi <i>urban water space</i> .....	197
Tabel 4.35.Strategi adaptasi <i>thermal admittance</i> .....	197
Tabel 4.36.Model konsep adaptasi kategori 3.....	198
Tabel 4.37.Gap analisis kategori 4 .....	200
Tabel 4.38. Strategi adaptasi <i>albedo</i> .....	202
Tabel 4.39. Strategi adaptasi <i>mean building high, Sky view factor</i> dan kepadatan bangunan .....	203
Tabel 4.40. Strategi adaptasi <i>urban green space</i> .....	203
Tabel 4.41. Strategi adaptasi <i>urban water space</i> .....	204
Tabel 4.42. Strategi adaptasi <i>thermal admittance</i> .....	204
Tabel 4.43.Model konsep adaptasi kategori 4.....	205
Tabel 4.44.Gap analisis kategori 5 .....	207
Tabel 4.45. Strategi adaptasi <i>albedo</i> .....	210
Tabel 4.46. Strategi adaptasi <i>Sky view factor</i> .....	211
Tabel 4.47. Strategi adaptasi <i>building density</i> .....	211
Tabel 4.48. Strategi adaptasi <i>building density</i> .....	212
Tabel 4.49. Strategi adaptasi <i>urban green space</i> .....	213
Tabel 4.50. Strategi adaptasi <i>urban water space</i> .....	214
Tabel 4.51. Strategi adaptasi <i>thermal</i> .....	214
Tabel 4.52.Model konsep adaptasi kategori 5 .....	214
Tabel 4.53.Gap analisis kategori 6.....	217
Tabel 4.54. Strategi adaptasi <i>albedo</i> .....	220
Tabel 4.55. Strategi adaptasi <i>building density</i> .....	220
Tabel 4.56. Strategi adaptasi <i>sky view factor</i> .....	221
Tabel 4.57. Strategi adaptasi <i>building density</i> .....	222
Tabel 4.58. Strategi adaptasi <i>urban green space</i> .....	223
Tabel 4.59. Strategi adaptasi <i>urban water space</i> .....	223
Tabel 4.60. Strategi adaptasi <i>thermal</i> .....	224
Tabel 4.61.Model konsep adaptasi kategori 6.....	225
Tabel 4.62.Gap analisis kategori 7 .....	228
Tabel 4.63. Strategi adaptasi <i>mean building high</i> .....	230

Tabel 4.64. Strategi adaptasi <i>mean building high</i> .....	231
Tabel 4.65. Strategi adaptasi <i>sky view factor</i> .....	231
Tabel 4.66. Strategi adaptasi <i>kepadatan bangunan</i> .....	232
Tabel 4.67. Strategi adaptasi <i>urban green space</i> .....	233
Tabel 4.68. Strategi adaptasi <i>urban water space</i> .....	234
Tabel 4.69. Strategi adaptasi <i>thermal</i> .....	235
Tabel 4.70. Model konsep adaptasi kategori 7.....	235
Tabel 4.71. Matriks skema pentahapan UHI.....	240

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.Peta Administrasi Kawasan Surabaya Timur .....	6
Gambar 1.2. Pola perubahan suhu permukaan dari tahun 1994-2000-2011 .....	8
Gambar 1.3. Kerangka berpikir penelitian.....	8
Gambar 2.1. Illustrasi Fenomena UHI ( $^{\circ}\text{F}$ ).....	10
Gambar 2.2. Skala fenomena UHI .....	12
Gambar 2.3. Skema efek panas pada perkotaan dan lingkungan sekitarnya.....	13
Gambar 2.4. Variasi dari temperatur permukaan dan udara/atmosfer. ....	14
Gambar 2.5. mitigation measure Urban Heat Island dari sisi <i>city function</i> dan <i>city form</i> .....	15
Gambar 2.6. Kerangka indikator urban form mempengaruhi UHI .....	16
Gambar 2.7. Illustrasi Aspek terjadinya Surface UHI .....	19
Gambar 2.8. Contoh kategori urban green space (1)pohon (2)vertical greening (3)green rooftop (4)open green space.....	20
Gambar 2.9. Contoh kategori urban water body .....	21
Gambar 2.10. Illustrasi penyederhanaan perhitunganUrban Canyon Geometry .....	23
Gambar 2.11. <i>remote sensing</i> berdasarkan sensor .....	27
Gambar 2.12. (a) <i>scan line error</i> pada Landsat 7 (b)perkembangan satelit landsat.....	28
Gambar 2.13. Perbandingan Penyerapan dan Pemanutan Cahaya Tampak dan Inframerah Dekat oleh Vegetasi Sehat (kiri) dan Vegetasi Kurang Sehat/Jarang Vegetasi (kanan) ...	31
Gambar 2.14. (a) <i>LIDAR processing</i> (b)Skema perhitungan pengembalian laser LIDAR (c) Point Cloud data LiDAR pasca-processing .....	34
Gambar 2.15. Position <i>Green-Blue Infrastructure</i> .....	41
Gambar 2.16. Elemen <i>Green-Blue Infrastructure</i> penerapan dalam skala .....	42
Gambar 2.17. Karakteristik konfigurasi <i>Urban Form</i> .....	43
Gambar 2.18. Strategi urban geometry .....	44
Gambar 2.19. Desain model perkotaan untuk respone terhadap iklim .....	45
Gambar 2.20. (a) Foto udara morfologi perkotaan dan <i>normalized model</i> dari berbagai studi kasus.....	46
Gambar 2.21. <i>Sky View Factor</i> dari level koridor jalan dari morfologi bentuk perkotaan	47
Gambar 2.22. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik KDB pada Kawasan high rise .....	48
Gambar 2.23. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penataan masa bangunan pada Kawasan <i>high rise</i> .....	48
Gambar 2.24. Ilustrasi prinsip perancangan jarak antar bangunan pada Kawasan <i>high rise</i> .....	48
Gambar 2.25. Ilustrasi prinsip perancangan koefisien lantai bangunan pada Kawasan <i>high rise</i> .....	49
Gambar 2.26. Ilustrasi prinsip koefisien dasar hijau pada Kawasan <i>high rise</i> .....	49
Gambar 2.27. Ilustrasi prinsip penataan vegetasi pada Kawasan <i>high rise</i> .....	50
Gambar 2.28. Ilustrasi prinsip tutupan lahan perkerasan pada Kawasan <i>high rise</i> .....	50
Gambar 2.29. Ilustrasi prinsip <i>aspect ratio</i> pada Kawasan <i>high rise</i> .....	50
Gambar 2.30. Ilustrasi prinsip penataan ketinggian pada Kawasan <i>high rise</i> .....	50
Gambar 2.31. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik KDB pada Kawasan <i>medium rise</i> .....	51

Gambar 2.32. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penataan jarak antar masa bangunan pada Kawasan <i>medium rise</i> .....	51
Gambar 2.33. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penataan masa bangunan Kawasan <i>medium rise</i> .....	51
Gambar 2.34. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik koefisien lantai bangunan Kawasan <i>medium rise</i> .....	52
Gambar 2.35. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik tutupan lahan perkerasan dan non perkerasan Kawasan <i>medium rise</i> .....	52
Gambar 2.36. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penambahan bangunan dan pepohonan Kawasan <i>medium rise</i> .....	53
Gambar 2.37. Ilustrasi prinsip perancangan komponen aspect ratio bangunan pada Kawasan <i>medium rise</i> .....	53
Gambar 2.38. Ilustrasi prinsip perancangan penataan vegetasi pada Kawasan <i>medium rise</i> .....	54
Gambar 2.39. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik KDB pada Kawasan <i>low rise</i> .....	54
Gambar 2.40. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik koefisien lantai bangunan Kawasan <i>low rise</i> .....	54
Gambar 2.41. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik tutupan lahan perkerasan dan non perkerasan Kawasan <i>low rise</i> .....	55
Gambar 2.42. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik ketersediaan badan air Kawasan <i>low rise</i> .....	55
Gambar 2.43. perbedaan jenis atap dalam memantulkan, menyerap dan melepaskan radiasi .....	56
Gambar 2.44. Proses <i>green roof</i> dalam meminimalisir panas.....	57
Gambar 2.45. skema <i>cool pavement</i> dalam mengurangi suhu .....	57
Gambar 2.46. Pengaruh warna terang pada suhu permukaan .....	57
Gambar 2.47. Pengubahan menjadi permukaan berpori dengan vegetasi.....	58
Gambar 2.48. Permukaan berongga dalam menyerap air .....	58
Gambar 2.49. Posisi penelitian berdasarkan relevansi penelitian sebelumnya .....	59
Gambar 3.1. Skema metodologi penelitian .....	71
Gambar 3.2. <i>Grid unit analysis</i> Surabaya Timur .....	73
Gambar 3.3. Alur proses Sasaran 1: Pola Distribusi UHI.....	76
Gambar 3.4. Proses menghitung LST tahun 2001-2011 (landsat 7) 2016-2019 (landsat 8) 76	
Gambar 3.5. Contoh Skatter Plot cros Validation .....	83
Gambar 3.6. Diagram alir validasi .....	83
Gambar 3.7. Contoh perhitungan NF 3X3 pada raster.....	85
Gambar 3.8. Diagram alur klasifikasi peta UHI.....	85
Gambar 3.9. Pembagian moran <i>scatterplot</i> .....	87
Gambar 3.10. Bagan alir proses statistik deskjptif .....	89
Gambar 3.11. Bagan alir proses pengolahan citra LiDAR .....	90
Gambar 3.12. Bagan alir proses pengolahan <i>Urban Green Infrastructure</i> ( <i>Sugiyono</i> )....	91
Gambar 3.13. Bagan alir proses pengolahan <i>building density</i> .....	93
Gambar 3.14. Bagan alir proses pengolahan <i>mean building high</i> .....	94
Gambar 3.15. Bagan alir proses pengolahan <i>floor area ratio</i> .....	95

Gambar 3.16. Contoh hasil estimasi <i>sky view factor</i> (a) <i>ground</i> dan <i>building DSM</i> ( <i>grayscale</i> ) , <i>DSM</i> dilapisi dengan kanopi <i>DSM</i> (kuning ke hijau), (b) <i>SVF</i> yang dihasilkan .....	96
Gambar 3.17. Bagan alir proses pengolahan <i>sky view factor</i> .....	97
Gambar 3.18. Bagan alir proses pengolahan <i>urban material</i> .....	97
Gambar 3.19. Sampel regresi spasial .....	99
Gambar 3.20. Illustrasi analisis <i>stepwise</i> menggunakan <i>exploratory regression</i> .....	100
Gambar 3.21. <i>Scatterplots</i> : hubungan positif, hubungan negatif, dan kasus dua variabel tidak terkait .....	101
Gambar 3.22. (a) Garis regresi <i>Least Square</i> , (b) model residual regresi OLS .....	101
Gambar 3.23. Bagan alir proses pembobotan variabel <i>urban configuration</i> .....	103
Gambar 3.24. Skema perumusan konsep adaptasi .....	104
Gambar 4.1. Perubahan Lahan 2001-2019 di Kawasan Surabaya timur .....	109
Gambar 4.2. Arahan pengembangan Sub UP Prioritas Sub UP I-C (Blok I-C5 dan Blok I-C6) .....	113
Gambar 4.3. Arahan pengembangan Sub UP Prioritas Sub UP Prioritas UP II- C (Blok II-C1) .....	114
Gambar 4.4. Konsep pengaturan dimensi bangunan.....	114
Gambar 4.5. Arahan pengembangan Sub UP Prioritas UP IV-D (Blok IV-D1, Blok IV-D2, Blok IV-D3, Blok IV-D4). ....	116
Gambar 4.6. <i>Extract by mask</i> citra Landsat berdasarkan batas administrasi Surabaya Timur .....	117
Gambar 4.7. Nilai <i>spatial temporal Temperature Satellite</i> .....	118
Gambar 4.8. <i>Spatial temporal NDVI</i> .....	119
Gambar 4.9. <i>Spatial temporal Pv (Proportion Vegetation)</i> .....	121
Gambar 4.10. <i>Spatial temporal Land Surface Temperature</i> .....	122
Gambar 4.11. Pola Kelas Distribusi <i>Spatial temporal Land Surface Temperature</i> .....	122
Gambar 4.12. Perubahan nilai hubungan bivariate ( $R^2$ ) tiap tahun.....	124
Gambar 4.13. Komparasi hasil pengolahan <i>Land Surface Temperature</i> tahun 2019 ....	128
Gambar 4.14. <i>Cross Validation RMSE</i> pada LST Citra Landsat terhadap Citra ASTER .....	129
Gambar 4.15. Nilai <i>standard deviasi</i> dan <i>mean suhu</i> secara temporal .....	130
Gambar 4.16. Nilai <i>spatial temporal</i> distribusi UHI berdasarkan Grid 500m <sup>2</sup> .....	133
Gambar 4.17. Deviasi UHI selama tahun 2001-2019 .....	134
Gambar 4.18. Pola spasial distribusi UHI di Kawasan Surabaya Timur .....	134
Gambar 4.19. Urban Greenspace Kawasan Surabaya Timur .....	140
Gambar 4.20. Vegetasi (a)kawasan Graha ITS (b)Koridor jalan kertajaya dan efek suhu (c) <i>Profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap pepohonan .....	142
Gambar 4.21. (a)perumahan formal (b)perumahan non formal (c)mangrove wonorejo (d) <i>Profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap RTH .....	143
Gambar 4.22. RTH vertikal (a)Kantor Esa Sampoerna (b)Gedung PWK ITS (c)taman flora (d) <i>Profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap RTH Vertikal.....	144
Gambar 4.23. <i>Urban Waterspace</i> Kawasan Surabaya Timur .....	145
Gambar 4.24. Kolam (a)UNAIR kampus C (b)Perumahan formal (c)Kawasan SIER (d) <i>Profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap kolam .....	147

Gambar 4.25. (a) Sungai Wonokromo (b) Sungai Kali Mas (c) Sungai di bundaran ITS (d) <i>Profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap sungai.....	148
Gambar 4.26. Tambak (a) kampus UNAIR (b) daerah wonokromo (c) kawasan permukiman di rungkut (d) <i>Profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap tambak	149
Gambar 4.27. Persentase Kepadatan Bangunan Kawasan Surabaya Timur .....	151
Gambar 4.28. Perbandingan kepadatan bangunan .....	152
Gambar 4.29. Nilai <i>mean building high</i> Kawasan Surabaya Timur.....	153
Gambar 4.30. Perbandingan mean building high (a) bangunan tinggi (b) bangunan rendah (c) <i>profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap rata-rata ketinggian .....	154
Gambar 4.31. Nilai <i>floor area ratio</i> kawasan Surabaya Timur.....	155
Gambar 4.32. Perbandingan <i>floor area ratio/FAR</i> (a) FAR pada bangunan tinggi (b) FAR bangunan rendah (c) <i>profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap FAR .....	156
Gambar 4.33. Perbandingan sky view factor (a) kerapatan bangunan rendah (b) kerapatan tinggi (c) <i>profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap SVF.....	157
Gambar 4.34. Tabel distribusi jumlah nilai <i>sky view factor</i> .....	157
Gambar 4.35. Nilai <i>sky view factor</i> Kawasan Surabaya Timur.....	158
Gambar 4.36. Perbandingan albedo (a) permukaan dari seng (b) permukaan dari genteng (c) <i>profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap jenis permukaan .....	159
Gambar 4.37. Klasifikasi nilai Albedo Kawasan terdampak UHI.....	159
Gambar 4.38. Perbandingan thermal admittance (a) permukaan dari seng (b) permukaan dari genteng dan rumput (c) <i>profile graph</i> intensitas suhu permukaan terhadap jenis permukaan .....	160
Gambar 4.39. Klasifikasi nilai <i>Thermal Admittance</i> Kawasan terdampak UHI.....	161
Gambar 4.40. Klasifikasi <i>urban configuration</i> di kawasan Surabaya Timur .....	162
Gambar 4.41. Jarak terhadap <i>urban green space</i> .....	166
Gambar 4.42. Jarak terhadap <i>urban green space</i> .....	166
Gambar 4.43. Persentase <i>building density</i> .....	167
Gambar 4.44. Klasifikasi <i>mean building high (MH)</i> .....	167
Gambar 4.45. Klasifikasi <i>floor area ratio (FAR)</i> .....	168
Gambar 4.46. Klasifikasi <i>sky view factor (SVF)</i> .....	168
Gambar 4.47. Klasifikasi <i>surface albedo radiance</i> .....	169
Gambar 4.48. Klasifikasi <i>surface thermal admittance</i> .....	169
Gambar 4.49. Standar residu hasil regresi OLS.....	172
Gambar 4.50. Rangkuman hasil OLS.....	173
Gambar 4.51. Bobot masing-masing variabel urban configuration .....	173
Gambar 4.52. Peta UHI hasil model regresi.....	175
Gambar 4.53. Diagnosis OLS .....	176
Gambar 4.54. Uji kalibrasi model regresi .....	177
Gambar 4.55. <i>Cluster random sampling urban configuration</i> .....	178
Gambar 4.56. Mencerahkan warna permukaan.....	182
Gambar 4.57. Konsep adaptasi kategori 2 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan .....	190
Gambar 4.58. Konsep adaptasi kategori 3 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan .....	200
Gambar 4.59. Konsep adaptasi kategori 4 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan .....	207

Gambar 4.60. Konsep adaptasi kategori 5 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan	217
.....	.....
Gambar 4.61. Konsep perancangan kawasan taman harmoni.....	224
Gambar 4.62. Konsep adaptasi kategori 6 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan	228
.....	.....
Gambar 4.63. Konsep adaptasi kategori 7 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan	238
.....	.....

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## **DAFTAR NOTASI**

DB	: <i>Density Building</i>
LiDAR	: <i>Light Detection and Ranging</i>
LAS	: <i>Laser Airbone Survey</i>
LST	: <i>Land Surface Temperature</i>
MBH	: <i>Mean Building High</i>
RTH	: Ruang Terbuka Hijau
SVF	: <i>Sky View Factor</i>
THI	: <i>Temperature Human Index</i>
UBL	: <i>Urban boundary layer</i>
UCL	: <i>Urban canopy layer</i>
UCZ	: <i>Urban climate zone</i>
UGI	: <i>Urban Green Infrastructure</i>
UGS	: Urban Green Space
UHI	: <i>Urban Heat Island</i>
UWS	: Urban Water Space

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Wilayah perkotaan terus berkembang secara cepat, diiringi dengan kompleksitas permasalahan pertumbuhan perkotaan (Thapa & Murayama, 2012). Perubahan penggunaan lahan sebagai bentuk pertumbuhan perkotaan berakibat pada perubahan iklim lokal karena peningkatan kebutuhan energi dan pemasaran polusi (Fan, 2018; Madlener & Sunak, 2011). Perubahan iklim yang terjadi berupa peningkatan pemanasan intraurban dimana kondisi udara dan suhu permukaan di kawasan perkotaan lebih panas dibandingkan kawasan disekitarnya, dikenal dengan istilah *Urban Heat Island* (Gartland, 2008). Fenomena ini telah menjadi isu penting perubahan iklim sejak awal tahun 1833 terkait studi dampak iklim lokal terhadap suhu (L. Howard, 1833). *Urban Heat Island* (UHI) berdampak negatif secara besar terhadap kualitas lingkungan perkotaan dan pembangunan ekonomi (Campbell, 2018; Macintyre et al., 2018; Wang, 2020; J Yang, 2016).

*Urban Heat Island* (UHI) merupakan hasil dari *urban form* dan *urban function*, iklim serta geografi perkotaan (Agathangelidis, 2019; C.Jhonson, 2015). Secara *urban form*, peningkatan suhu terjadi pada sekitar jalan, wilayah komersial, permukiman dan industri, kemudian mengalami penurunan suhu disekitar ruang hijau dan daerah perairan. Hal tersebut dikarenakan penggunaan lahan memiliki material dengan kemampuan penyerapan panas yang berbeda (I. D. Stewart, Oke, T.R., 2012; Živković, 2019). Secara *urban function*, panas diperkotaan dipengaruhi oleh intensitas penggunaan energi (*panas antropogenik*), seperti transportasi, dan peralatan pendingin udara (Živković, 2019). Suhu terakumulasi karena tingginya tingkat emisi perkotaan dan konduktivitas matahari, yang kemudian terperangkap oleh bentuk morfo-perkotaan, sifat reflektif permukaan, kapasitas panas dan termal dari material perkotaan (EPA, 2012b; Song, 2014). Secara kofigurasi perkotaan, *urban form* memiliki dampak yang lebih besar dibandingkan *urban function* terhadap UHI (Ward, 2016).

Pada tahun 2030, populasi perkotaan di negara-negara berkembang diperkirakan akan berlipat ganda dan tutupan lahan perkotaan menjadi tiga kali lipat, sementara desain *urban form* yang tepat akan memiliki dampak mendalam

pada lingkungan termal perkotaan dan keberlanjutan perkotaan (Agathangelidis, 2019; UN-HABITAT, 2010). Masalah ini menjadi penting karena hampir tidak mungkin secara signifikan untuk mengubah *urban form* karena lingkungan yang dibangun sebagian besar tidak dapat dipulihkan dan modifikasinya memerlukan biaya besar (Avner, 2014). Akibatnya, topik hubungan *Urban Form* dan UHI telah menarik perhatian dunia perencanaan perkotaan, ekologi perkotaan dan studi perubahan iklim (Agathangelidis, 2019; Ürge-Vorsatz et al., 2018).

Fenomena *UHI* tidak terbatas pada wilayah perkotaan yang luas, tetapi juga terjadi di wilayah metropolitan yang lebih kecil (Luvall, 2015). Jenis fenomena UHI dapat diamati pada *local scale* hingga *mesoscale*, atau biasa disebut *surface* UHI (R. T. Oke, 1997). Pada skala ini pengamatan cenderung berdasarkan variabel statis yang dikeluarkan oleh permukaan *urban form*. Sedangkan suhu udara tidak memiliki pengaruh yang signifikan karena hanya berpengaruh dalam peningkatan suhu *mikroscale* atau skala aktivitas manusia(Vgoot, 2003). Didalam *urban form* tidak terlepas dari adanya *urban configuration* sebagai salah satu faktor pendorong UHI (Richardson, 2007). Pembagian karakteristik perkotaan berdasarkan *urban configuration* memiliki metode pendekatan yang berbeda setiap kategorinya. Isu ini telah menjadi hal penting dalam adaptasi perubahan iklim (Agathangelidis, 2019; Gartland, 2010; Herath, 2018; Reder, 2018; Watkins, 2002). Karena konteks adaptasi perubahan iklim lebih ditekankan pada pendekatan fisik, berbeda dengan mitigasi yang berorientasi pada emisi (IPCC, 2019).

Melalui pengolahan citra landsat dalam pengukuran suhu permukaan, tahun 2001-2015 Kota Surabaya mengalami peningkatan suhu rata-rata sebesar  $3^{\circ}\text{C}$ , dari  $28^{\circ}\text{C}$  menjadi  $31^{\circ}\text{C}$  (Zulkarnain, 2016). Kondisi UHI pada saat itu memiliki perbedaan temperature  $\pm 1,4^{\circ}\text{C}$  dibandingkan dengan wilayah sekitarnya (Kurniati, 2015). Hubungan antara perubahan luas tutupan lahan terbangun terhadap suhu rata-rata Kota Surabaya mencapai nilai korelasi 0,97 dan perubahan tutupan lahan vegetasi memiliki nilai korelasi -0,75 (Dionysius S, 2013). Kota Surabaya memiliki indikasi pola pertumbuhan fenomena UHI dari pusat kota ke arah utara dan timur pada periode 1992-2000, kemudian pada periode 2000-2011 semakin meluas ke arah barat dan timur (Sobirin, 2015; Zulkarnain, 2016). Kondisi tersebut

menjelaskan bahwa Surabaya Timur merupakan daerah yang sangat signifikan mengalami peningkatan UHI.

Secara *spatial temporal* Surabaya Timur mengalami peningkatan suhu pada tahun 2001-2016 sebesar  $6,62^{\circ}\text{C}$ , dari tahun 2001 suhu rata-rata sebesar  $24,99^{\circ}\text{C}$  dan pada tahun 2016 mencapai  $31,61^{\circ}\text{C}$ . Pola peningkatan suhu berdasarkan *time series* 5 tahunan sangat kontras terlihat pada tahun 2016 hal tersebut diiringi dengan pola pertumbuhan yang cukup signifikan (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018). Kecenderungan pertumbuhan suhu terjadi pada sisi Timur yang merupakan wilayah alih fungsi RTH dan tambak menjadi kawasan permukiman dan sisi selatan merupakan kawasan industri SIER (Arifah, 2018; A. S. Jatayu, Cahyono, 2018). Berkurangnya lahan RTH akibat adanya perkembangan ukuran perkotaan yang *massive* terjadi memiliki dampak paling mendasar pada lingkungan thermal perkotaan (Kurniati, 2015; H. S. Takebayashi, Masashi, 2018). Diprediksikan UHI di Surabaya Timur akan terus mengalami peningkatan sejalan dengan alih fungsi lahan hijau yang terjadi. Tercatat dari tahun 2001-2016 telah terjadi peningkatan lahan terbangun seluas 1376 Ha atau 14% dari luas wilayah dan mengalami penurunan RTH 1334 Ha atau sekitar 13.6% luas wilayah (Arifah, 2018). Melihat kondisi ini maka pengamatan *spatial* secara *temporal* sangat diperlukan untuk mengamati anomali peningkatan suhu yang terjadi (X. Liu et al., 2020; Tempfli et al., 2009)

Ditinjau dari konfigurasi perkotaan, perkembangan Surabaya Timur juga diiringi dengan perkembangan geometri perkotaan. Bangunan skala besar dan kerapatan tinggi pada kawasan komersial cenderung membatasi ruang bebas udara (*sky view faktor*) yang mengakibatkan suhu cenderung terperangkap (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Venhari, 2019; Zulkarnain, 2016). Komposisi material juga semakin memiliki daya serap panas tinggi seperti aspal, beton, seng dan paving (Kurniati, 2017). Hal tersebut akan mengakibatkan semakin tingginya suhu permukaan pada kawasan lahan terbangun dan ketidak *nyamanan thermal* (Arifah, 2018; A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Pratiwi, 2018). Teori ketidaknyamanan *thermal* didasarkan pada keseimbangan antara produksi panas dan kehilangan panas untuk menjaga suhu tubuh manusia (ISO-7730, 2005 dalam Venhari, 2019). Kondisi

tersebut mampu mengakibatkan perubahan emosi dan penurunan produktivitas manusia (Ko et al., 2020; Wang, 2020).

Merujuk dalam buku “Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada bangunan Gedung” (2002) indeks kenyamanan suhu di Indonesia diantaranya (1) Sejuk nyaman  $20,5 - 22,8^{\circ}\text{C}$  (suhu efektif), (2) suhu nyaman optimal  $22,8 - 25,8^{\circ}\text{C}$ , dan (3) hangat nyaman antara  $25,8 - 27,1^{\circ}\text{C}$ . Penelitian Tursilowati and Djundjunan (2007) menunjukkan bahwa *Temperature Human Indeks* (THI) lebih dari 26 merupakan angka ketidak nyamanan kota Surabaya, namun tahun 2002 THI kota Surabaya mencapai nilai 32. Sehingga, perencana kota harus mempertimbangkan dampak UHI dan bekerja pada solusi untuk menciptakan kenyamanan termal perkotaan (Gartland, 2008; Peng, 2012; Revi, 2014). Merujuk *New Urban Agenda* pada UN Habitat III (*United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development*) point ke 79 diperlukan adaptasi perubahan iklim, tidak terkecuali fenomena UHI. Termasuk membatasi kenaikan suhu hingga  $1,5^{\circ}\text{C}$  dari periode pra industri.

Dalam konteks Surabaya Timur, adaptasi perubahan iklim dan membangun ketahanan dalam manajemen perkotaan belum banyak ditekankan. Penelitian terkait sebelumnya berorientasi pada perumusan konsep manajemen peningkatan suhu permukaan secara deskriptif, tanpa mengklasifikasikan UHI. Pengembangan penelitian yang dilakukan adalah (1)memberikan konsep adaptasi wilayah terdampak *urban heat island* (UHI) berdasarkan pertimbangan kategori *urban configuration*, (2)faktor-faktor *urban configuration* melalui regresi spasial *Ordinary Least Square (OLS)*, (3) dan ditunjang visual secara model adaptasi 3D. Digunakan iterasi suhu dan penggunaan lahan secara *spatial temporal (time series)* agar data yang diperoleh secara stasioner berkala, karena pentingnya pengujian pola data sebelum diolah (Santoso, 2009). Pendekatan *spatial* pada tingkat administrasi sangat efektif dalam adaptasi perubahan iklim dan pemanasan perkotaan (Biesbroek, 2009; Rushayati, 2016).

## 1.2. Rumusan Masalah

Surabaya Timur memiliki indikasi terjadi peningkatan UHI. Ditunjukkan dengan pola perubahan suhu permukaan kota Surabaya sebesar  $6,62^{\circ}\text{C}$  yang

berkembang ke arah Surabaya Timur dalam kurun 15 tahun terakhir. Keadaan tersebut menjadikan Surabaya Timur sebagai kawasan dengan peningkatan UHI paling signifikan. Hal tersebut diakibatkan oleh faktor penyusun *urban configuration* yang diantaranya *urban green infrastructure*, *urban geometri*, *urban material*. *Urban configuration* sebagai bagian dari *urban form* saat ini kurang berorientasi terhadap lingkungan. Dilain sisi, diperlukan strategi adaptasi melalui pengamatan *spatial temporal* agar kondisi peningkatan suhu tersebut mampu diminimalisir

Kajian *Urban Heat Island* dilakukan sebagai upaya menciptakan kenyamanan thermal melalui adaptasi berdasarkan *urban configuration*. Secara keruangan *urban configuration* memiliki tipologi yang berbeda dan pendekatan adaptasi yang berbeda. Maka, rumusan pertanyaan penelitian ini adalah bagaimana konsep adaptasi UHI berdasarkan *Urban Configuration* di kawasan Surabaya Timur?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini memberikan konsep adaptasi UHI (*Urban Heat Island*) yang dibagi berdasarkan *urban configuration* kawasan Surabaya Timur. Sasaran-sasaran yang dirumuskan adalah:

1. Menganalisis pola distribusi *urban heat island* secara *spatial temporal*
2. Menganalisis karakteristik variabel penyusun *urban configuration*
3. Menganalisis variabel penyusun *urban configuration* yang mempengaruhi *urban heat island*
4. Merumuskan konsep adaptasi UHI berdasarkan klasifikasi *urban configuration*

### **1.4. Manfaat Penelitian**

#### **1.4.1. Manfaat teoritis**

Hasil penelitian ini mengembangkan teori *urban configuration* yang aplikatif dan kontekstual dalam skala perkotaan, khususnya dalam konteks adaptasi *urban heat island*. Penelitian ini meneliti tentang pemahaman yang terstruktur terkait kontribusi disiplin keilmuan *urban climate change*, *urban landscape morphology* dan *urban development management* berbasis *remote sensing*. Merujuk pada tinjauan pustaka terkait adaptasi *urban heat island*, teori *urban*

*configuration* terkait dengan aspek *urban green infrastructure*, *urban geometry* dan *urban material*. Dimana di dalamnya terdapat tambahan teori pendukung seperti *spatial temporal* dalam menganalisa *urban heat island*. Pengamatan spasial iklim perkotaan dinilai dapat memberikan manajemen secara tepat sasaran (Cao, 2017).

#### 1.4.2. Manfaat Praktis

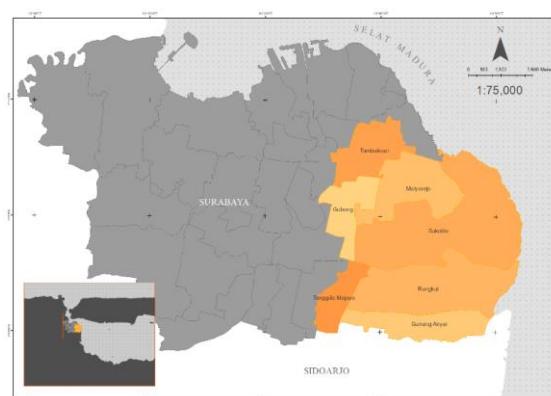
Hasil penelitian ini memberikan arahan bagi trilogi pelaku perencanaan dan pembangunan meliputi pemerintah, swasta dan masyarakat dalam menentukan konsep adaptasi iklim lokal di kawasan Surabaya Timur. Adaptasi iklim berdasarkan fisik perkotaan penting karena pembangunan sangat dipengaruhi oleh pelaku perencanaan, baik regulasi maupun tren pembangunan disekitarnya. Diharapkan mampu menjadi referensi spasial dalam menciptakan kenyamanan lingkungan berbasis thermal.

### 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

#### 1.5.1. Ruang Lingkup Wilayah Studi

Ruang lingkup wilayah pada penelitian ini terletak di kawasan Surabaya Timur. Memiliki luas kawasan sebesar 9783 Ha, terdiri dari Kecamatan Sukolilo, Tambaksari, Mulyorejo, Rungkut, Gubeng, Gunung Anyar dan Tenggilis Mejoyo. Batas administrasi wilayah penelitian sebagai berikut:

- a. Sebelah Utara : Kecamatan Bulak, Kecamatan Kenjeran
- b. Sebelah Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- c. Sebelah Barat : Kecamatan Wonocolo, Kecamatan Wonokromo, Kecamatan Tegalsari, dan Kecamatan Genteng
- d. Sebelah Timur : Selat Madura



Gambar 1.1.Peta Administrasi Kawasan Surabaya Timur

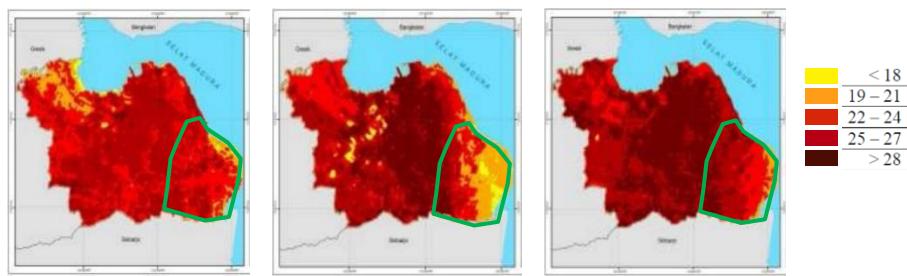
### **1.5.2. Ruang Lingkup Aspek Studi**

Lingkup dari penelitian membahas mengenai konsep adaptasi dampak UHI dalam skala *localscale*. Nilai UHI pada skala tersebut cenderung lebih statis apabila dibandingkan dengan skala *mikroscale* (aktivitas manusia) dan *mesoscale* (iklim). Penelitian berfokus pada *surface* UHI, karena penelitian mengenai UHI menggunakan *remote sensing* hanya mendapatkan suhu permukaan. Ketersediaan data *remote sensing* dapat memberikan gambaran tren perubahan suhu dalam rentang waktu yang cukup lama (X. Liu et al., 2020). Penelitian A. S. Jatayu, Cahyono (2018) menunjukkan terjadinya perubahan yang signifikan setiap 5 tahun sekali. Sehingga, kebutuhan data tersebut dapat didukung melalui pemanfaatan *remote sensing*. Didalam buku principle of remote sensing (2009) dijelaskan pengukuran suhu melalui *remote sensing* mampu menekan penggunaan biaya dalam memperoleh data yang cukup luas sesuai dengan topik penelitian.

Pentahapan dimulai pada pembahasan pola distribusi UHI, dimana konsentrasi penelitian berdasarkan kondisi fisik permukaan kawasan penelitian. Kemudian dilanjutkan mengetahui karakteristik adanya fenomena tersebut, yang diindikasikan melalui *urban configuration* yaitu meliputi *urban green infrastructure*, *urban geometri*, dan *urban material*. Kemudian dilakukan interpretasi nilai masing-masing faktor yang mempengaruhi UHI melalui *Ordinary Least Square (OLS)*. Hingga merumuskan konsep adaptasi UHI melalui analisis deskriptif berdasarkan pembagian kategori *urban configuration*.

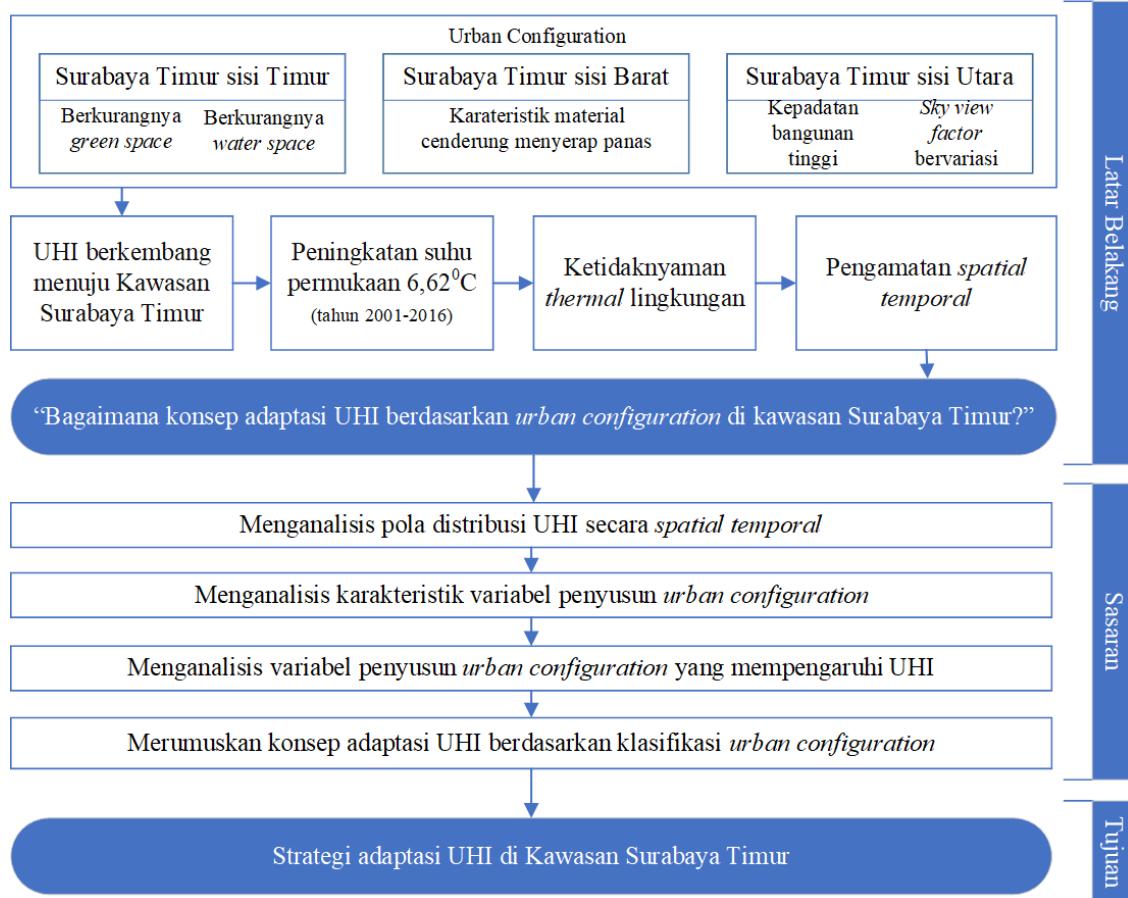
### **1.5.3. Ruang Lingkup Lainnya**

Penelitian ini melingkupi keilmuan manajemen kota berkelanjutan yang dikemas dalam bentuk adaptasi perubahan iklim mikro dari sisi ekologi perkotaan. Oleh karena itu, landasan teori dalam penelitian ini adalah kajian *urban configuration*, fenomena *surface* UHI, dan tinjauan adaptasi UHI skala lokal seperti *RDTRK UP Kertajaya*, *RDTRK UP Rungkut*, *RDTRK UP Darmahusada*, prioritisasi *urban green infrastructure*, *urban geometry strategy* serta *best practice urban material*. Dilakukan studi di Kawasan Surabaya Timur dikarenakan pola distribusi UHI memiliki kecenderungan peningkatan bergerak ke arah Surabaya Timur (Sobirin, 2015)



Gambar 1.2. Pola perubahan suhu permukaan dari tahun 1994-2000-2011

## 1.6. Kerangka Berpikir



Gambar 1.3. Kerangka berpikir penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Urbanisasi dan Perubahan Iklim**

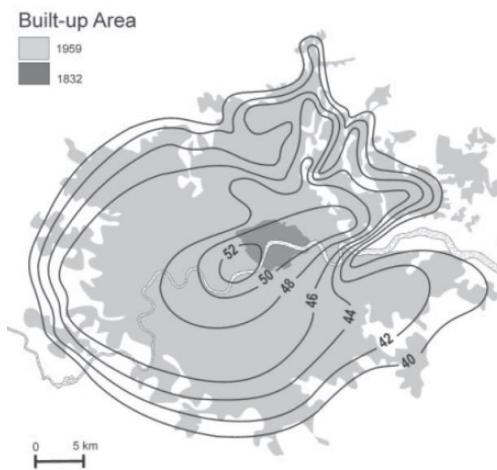
Perkembangan perkotaan menjadi minat kritis global sejak tahun 2007 dimana angka jumlah penduduk perkotaan mencapai 50,3% dari total populasi dunia, dan diproyeksikan mencapai 66% di tahun 2050 (Naumann-Stiftung, 2016; The World Bank, 2018). Menyikapi hal tersebut, perkotaan dituntut untuk meningkatkan pelayanan dasar seperti infrasturktur, perumahan dan lahan yang berorientasi pada kebutuhan masyarakat. Peristiwa tersebut sejalan dengan adanya perubahan iklim baik secara intensitas maupun frekuensi yang lebih tinggi dari sebelumnya (Huong, 2013). Kota-kota mengubah kondisi atmosfer setempat dan juga kondisi di sekitarnya (IPCC, 2019). Fenomena perubahan iklim akibat perkembangan lahan tersebut berdampak pada peningkatan UHI diperkotaan (Z. Yang et al., 2019). Beberapa tahun terakhir hasil penelitian menunjukkan bahwa UHI yang terjadi dikota-kota besar diakibatkan oleh perkembangan lahan terbangun melalui pengamatan *remote sensing* dan model simulasi (Sultana, 2018).

#### **2.2. Fenomena *Urban Heat Island***

##### **2.2.1. *Urban Heat Island***

*Urban Heat Island* (UHI) merupakan fenomena perubahan iklim perkotaan sejak tahun 1820. Dimana terjadi perbedaan suhu permukaan di daerah perkotaan dibandingkan daerah pedesaan sekitarnya dikarenakan terperangkapnya panas matahari (EPA, 2008; Gartland, 2008; Luke Howard, 1833; Vgoot, 2003). Dipicu oleh karakteristik tutupan permukaan perkotaan yang menyerap lebih banyak radiasi matahari dan terhalang oleh struktur bangunan (X. Liu et al., 2020). Pada kawasan terbangun daerah perkotaan rata-rata dapat mengalami *deviasi* suhu 1-3°C dibandingkan kawasan sekitarnya. Pada malam hari perbedaan tersebut dapat mencapai 12°C, disisi lain juga dapat meningkat pada waktu musim panas (EPA, 2012b; Singh, 2015). Aktivitas perkotaan akan dampak urbanisasi seperti aktivitas industri, aktivitas kawasan komersial dan transportasi turut menyumbang pelepasan panas antropogenik yang menyebabkan kenaikan temperatur (Kurniati, 2017). Dari teori tersebut dirumuskan bahwa *Urban Heat Island* adalah *deviasi* suhu permukaan

di daerah perkotaan yang lebih tinggi dikarenakan terperangkapnya panas dibanding daerah sekitarnya, yaitu daerah suburban maupun non urban.



*Gambar 2.1. Illustrasi Fenomena UHI ( $^{\circ}F$ )*  
Sumber: Luke Howard (1833)

### 2.2.2. Klasifikasi Jenis UHI

Menurut jenisnya fenomena UHI dibedakan menjadi *surface* dan *atmospheric urban heat island* (T. R. Oke, 1997; Singh, 2015). Jenis UHI ini memiliki perbedaan dalam caranya terbentuk, teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur, dampak, serta metode dalam mitigasinya.

Tabel 2.1. Perbedaan UHI berdasarkan jenisnya

Karakteristik	<i>Surface UHI</i>	<i>Atmospheric UHI</i>
Perkembangan Temporal	<ul style="list-style-type: none"> <li>Terjadi pada siang dan malam</li> <li>Peningkatan pada siang hari dan musim panas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kecil/tidak ada selama siang</li> <li>Fenomena pada malam hari atau musim dingin</li> </ul>
Perbedaan Intensitas	Memiliki variasi spasial dan temporal <ul style="list-style-type: none"> <li>Siang: <math>18 - 27^{\circ}F</math> (<math>10-15^{\circ}C</math>)</li> <li>Malam: <math>9 - 18^{\circ}F</math> (<math>5-10^{\circ}C</math>)</li> </ul>	Kurang variasi <ul style="list-style-type: none"> <li>Siang: <math>-1,8 - 5,4^{\circ}F</math> (<math>-1-3^{\circ}C</math>)</li> <li>Malam: <math>12.6 - 21.6^{\circ}F</math> (<math>7-12^{\circ}C</math>)</li> </ul>
Metode identifikasi	Pengukuran Tidak langsung (pada permukaan) <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Remote sensing</i></li> </ul>	Pengukuran sampling langsung (koridor), ruang antar Gedung ( <i>sky view factor, roofline</i> ) <ul style="list-style-type: none"> <li>Pusat pengukuran iklim</li> </ul>
Pengamatan	Secara 2 dimensi (vertical)	Secara 3 dimensi (vertical dan horizontal)
Jenis penggambaran	<i>Thermal Image</i>	<i>IsoThermal maps, Temperature graph</i>
Skala	<i>Local Scale - Mesoscale</i>	<i>micro-scale to local-scale</i>

Sumber: T. R. Oke (1997), Lo (2003), Singh (2015)

*Surface urban heat islands* adalah suhu permukaan daerah perkotaan yang lebih tinggi dibanding daerah pedesaan dan biasanya diilustrasikan dengan gambar termal. Sedangkan *atmospheric urban heat islands* didefinisikan sebagai Udara panas di area urban yang dibandingkan dengan udara sejuk di daerah pinggiran (Lo, 2003; Vgoot, 2003). Pada umumnya baik *surface* maupun *atmosphere* memiliki hubungan satu sama lain, dimana jenis *surface* akan bepengaruh terhadap tingkat suhu *atmosphere* yang ditimbulkan. Hubungan antara suhu permukaan dan suhu *atmosphere* berdasarkan ketinggiannya dari permukaan tanah, walaupun suhu permukaan lebih tinggi dari pada suhu udara (Ngie, 2014). UHI sebagai salah satu bentuk fenomena perubahan iklim perkotaan dalam skala spasial dibedakan mulai dari *macroscale* hingga *human scale* (Kotharkar, 2016; T. R. Oke, 1997). Berdasarkan skala secara pengukuran hubungan antara horizontal dan vertical terjadinya UHI dapat dibedakan menjadi 3 kelas:

1. *Microscale or street canyon scale*

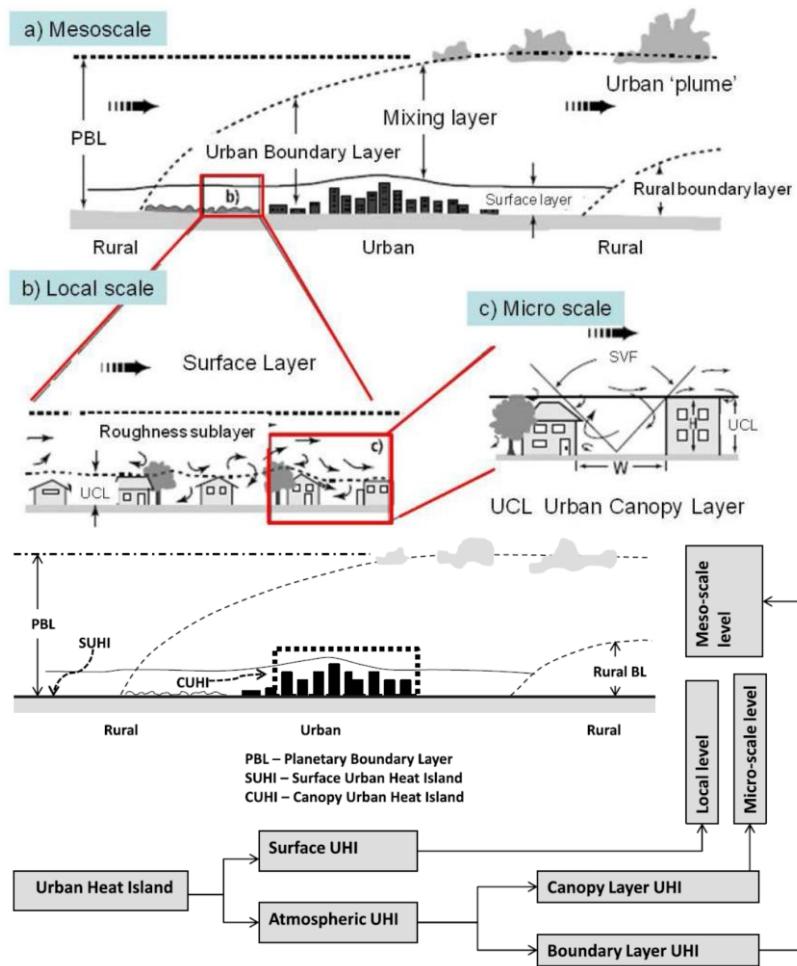
Jenis skala dari iklim mikro perkotaan yang berhubungan terhadap masing-masing bangunan, pohon, jalan, pedestrian, taman, halaman, dll

2. *Localscale or neighbourhood scale*

Meliputi elemen *landscape*, termasuk topografi tapi tidak termasuk efek *microscale*. Dalam lingkup perkotaan skala ini diterjemahkan sebagai iklim rata-rata terhadap jenis perkembangan perkotaan, meliputi penutup permukaan, ukuran, dan jarak antar bangunan

3. *Mesoscale or city scale*

Apabila elemen perkotaan pada *microscale* diakibatkan oleh fenomena pada *localscale*. Maka, dalam hal ini fenomena *localscale* berakibat pada kondisi dan memiliki hubungan pada *mesoscale*. Faktor yang mempengaruhinya adalah jenis penggunaan lahan.



Gambar 2.2. Skala fenomena UHI

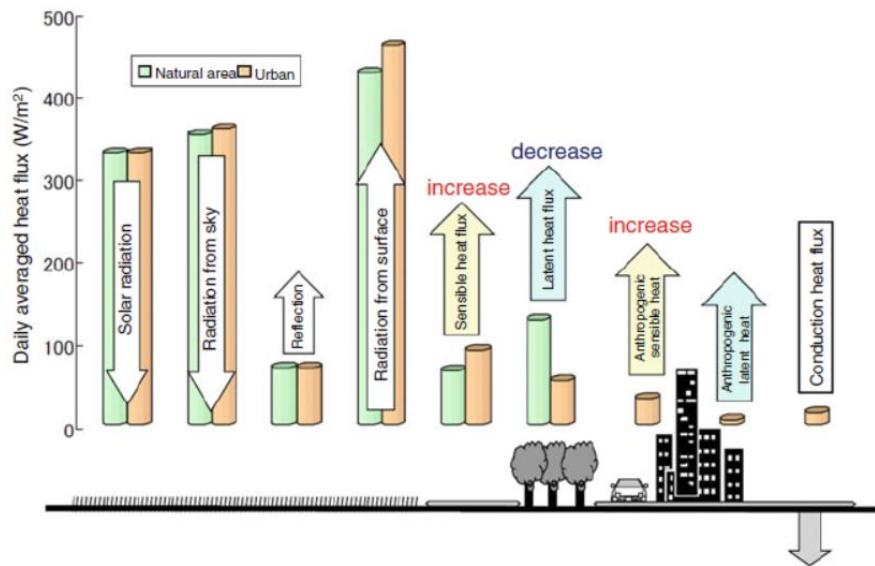
Sumber: Oke (1997) dalam Hove et al. (2011) dan Kotharkar (2016)

Bisa dikatakan bahwa *surface UHI* dapat diamati dalam skala *localscale* karena berupa pengamatan satu arah dan berdasarkan pantulan objek dengan citra. *Atmospheric UHI* dibedakan menjadi 2 jenis (Kotharkar, 2016; T. R. Oke, 1997; Singh, 2015):

1. *Urban canopy layer (UCL) heat island*: layer permukaan dimana tempat manusia tinggal dan melakukan aktivitas dari tanah hingga bentuk permukaan bangunan atau *city skyline*
2. *Urban boundary layer (UBL) heat island*: layer dimulai dari atap bangunan (garis *city skyline*) hingga titik dimana landscape perkotaan tidak dapat melebihi garis atmosphere. Pada umumnya memiliki batas maksimum hingga 1,5 km dari permukaan.

Sehingga dirumuskan pada penelitian ini akan membahas fenomena *surface UHI* karena menggunakan pendekatan *remote sensing*, dan memiliki nilai suhu

permukaan rata-rata yang relatif. Disamping itu, data suhu permukaan yang akan di bahas diambil pada saat musim panas dan secara *spatial temporal*. Ditinjau dari skala *lokalscale*, variabel berorientasi pada penutup jenis permukaan perkotaan.



Gambar 2.3. Skema efek panas pada perkotaan dan lingkungan sekitarnya  
Sumber: H. Takebayashi (2015)

### 2.2.3. Surface Temperature

Flukiasi energi gelombang panas yang kembali ke atmosfer dapat dikendalikan oleh suhu permukaan. Suhu permukaan sangat tergantung pada keadaan parameter permukaan lainnya, seperti albedo, kelembaban permukaan, kondisi dan tingkat penutupan vegetasi (Voogt, 1996 dalam I. Prasasti & Sari, 2017). Suhu permukaan merupakan rata-rata suhu jenis permukaan di tiap piksel, yang dihitung dengan tutupan bobotnya (Kotharkar, 2016; T. R. Oke, 1997). Hasil pengukuran kanal termal pada data satelit dapat digunakan untuk pemetaan pola suhu permukaan pada skala waktu dan spasial yang lebih luas. Suhu permukaan cenderung lebih rendah pada kawasan tutupan vegetasi, cenderung lebih tinggi pada kawasan lahan terbangun (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Zulkarnain, 2016). Pengukuran suhu permukaan dan udara dapat dilakukan secara langsung dan dapat diduga dari citra satelit. Dasar utama pemanfaatan data penginderaan jauh adalah kemampuannya dalam menyediakan data suhu permukaan lahan (*land surface temperature*) untuk wilayah yang luas dan dengan tingkat kerapan data yang tinggi (1200 m<sup>2</sup>) (Tempfli et al., 2009). Adapun klasifikasi indeks suhu sebagai berikut.

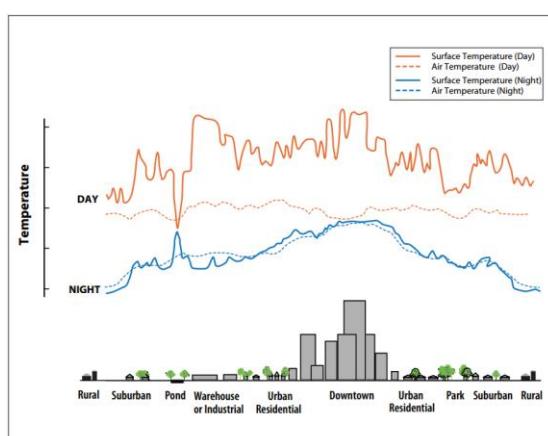
Tabel 2.2. Tabel Kategori Indeks suhu permukaan (LST)

No	Indeks Surface Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Kategori
1	<4	<i>Very cold</i>
2	4-8	<i>Cold</i>
3	8-13	<i>Cool</i>
4	13-18	<i>Slightly cool</i>
5	18-23	<i>Comfortable</i>
6	23-29	<i>Slightly warm</i>
7	29-35	<i>Warm</i>
8	35-41	<i>Hot</i>
9	>41	<i>Very Hot</i>

Sumber: Musco (2016)

#### 2.2.4. Hubungan *surface temperature* dan *atmosphere temperature*

Suhu permukaan dalam kasus UHI secara tidak langsung mempengaruhi suhu udara di bagian *canopy layer*, tempat permukaan dan aktivitas berada (Kotharkar, 2016). Misalnya pada kawasan terbangun memiliki suhu permukaan lebih tinggi dibandingkan suhu pada taman dan area bervegetasi yang berkontribusi dalam mendinginkan suhu udara. Hal ini disebabkan karena suhu permukaan cenderung terperangkap dan menjadi suhu udara yang hangat pada kawasan terbangun. Dengan kata lain, suhu udara dekat dengan permukaan tanah menjadi meningkat ketika suhu permukaan lebih panas dibanding suhu udara dan menurun ketika suhu permukaan lebih dingin dibanding suhu udara (H. Takebayashi, 2015). Meskipun begitu, hubungan antara permukaan dan suhu udara tidak konstan, dan suhu udara biasanya kurang bervariasi dari suhu permukaan di daerah (Ngie, 2014; T. R. Oke, 1997).



Gambar 2.4. Variasi dari temperatur permukaan dan udara/atmosfer.

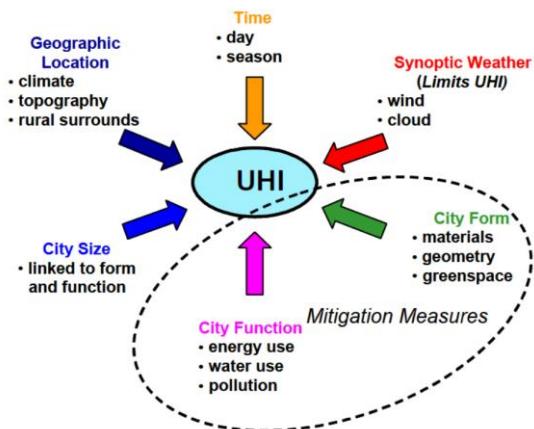
Sumber: EPA (2008)

### 2.2.5. Variabel Penyebab Surface Urban Heat Island

Peningkatan suhu tetap berlaku di Kota Surabaya meskipun hanya berkisar 1°C tiap tahunnya (Sobirin, 2015). Salah satunya dikarenakan perencanaan pembangunan kota yang mekanistik tidak menganut kaidah-kaidah ekosistem dan cenderung melawan alam dan lingkungan (Wardianto, 2011). Melihat dari beberapa hasil penelitian terkait UHI yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia (Hermawan, 2015; A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Kurniati, 2015; Noviyanti, 2016; Tursilowati & Djundjunan, 2007), aspek umum secara runtut yang menyebabkan UHI di kota Surabaya adalah:

- 1) Kependudukan yang mempengaruhi urbanisasi
- 2) Alih fungsi RTH atau lahan kosong menjadi lahan terbangun
- 3) Kepadatan Bangunan
- 4) Polusi oleh emisi karbon
- 5) Perbedaan temperature maksimum dan minimum yang cukup signifikan.

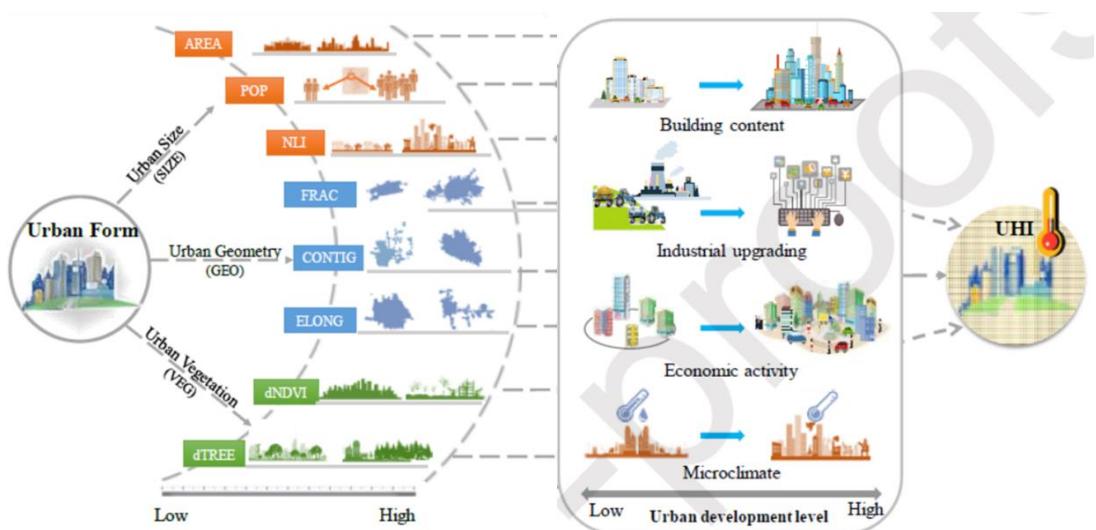
Menurut Vgoot dan Oke (2003) dalam Noviyanti (2016) menjelaskan bahwa adanya UHI disebabkan oleh posisi geografis (iklim, topografi, perdesaan sekitarnya), waktu (hari, musim), ukuran kota (hubungan bentuk dan fungsi), cuaca sinoptik (angin, cloud), bentuk kota (material, geometri, ruang terbuka hijau), fungsi kota (penggunaan energi, penggunaan air, polusi). Sedangkan menurut Hove et al. (2011) dalam mengukur intensitas UHI dapat diklasifikasikan dalam *city scale*, *urban design* dan struktur yang meliputi tipologi, *urban green*, *urban surface water*, *urban geometri* (tinggi, jarak dan kepadatan bangunan) dan karakteristik bahan perkotaan (radiative dan thermal).



Gambar 2.5. mitigation measure Urban Heat Island dari sisi *city function* dan *city form*

Sumber : C.Jhonson (2015), T. R. Oke (1995) dalam Noviyanti (2016)

Telah disepakati bahwa penelitian akan berorientasi pada *surface* UHI. Sehingga faktor yang akan diidentifikasi memiliki kecenderungan pada permukaan perkotaan. Hal ini erat kaitannya terhadap *urban material*, *urban geometry* dan *urban green infrastruktur* (Liang, 2020; Norton et al., 2015; Noviyanti, 2016). Bangunan di Surabaya masih belum banyak yang berorientasi pada lingkungan, khususnya dalam menyerap thermal. Seperti penggunaan kaca dapat menciptakan efek rumah kaca lokal di kota tersebut (Wardhono, 2011). Permukaan kawasan industri yang didominasi beton dan seng juga turut berkontribusi terhadap peningkatan suhu karena cenderung melepas panas yang berlebih (Zulkarnain, 2016). Ditunjang dengan jaringan jalan yang berupa aspal secara tidak langsung memiliki sifat menyimpan panas (I. P. Prasasti, Sari NM; Febrianti, Nur, 2015). Contoh lain dari sisi desain perbedaan suhu permukaan antara aspal hitam dan putih/warna terang dapat mencapai 7.7°C (Qi, 2020). Secara spasial pegelolaan UHI perlu mempertimbangkan pola kerapatan bangunan serta pola kerapatan vegetasi dalam pengukuran suhu permukaan (Sobirin, 2015; Zulkarnain, 2016).



Gambar 2.6. Kerangka indikator *urban form* mempengaruhi UHI  
Sumber:Liang (2020)

Tabel 2.3. Sub-variabel yang mempengaruhi *surface UHI*

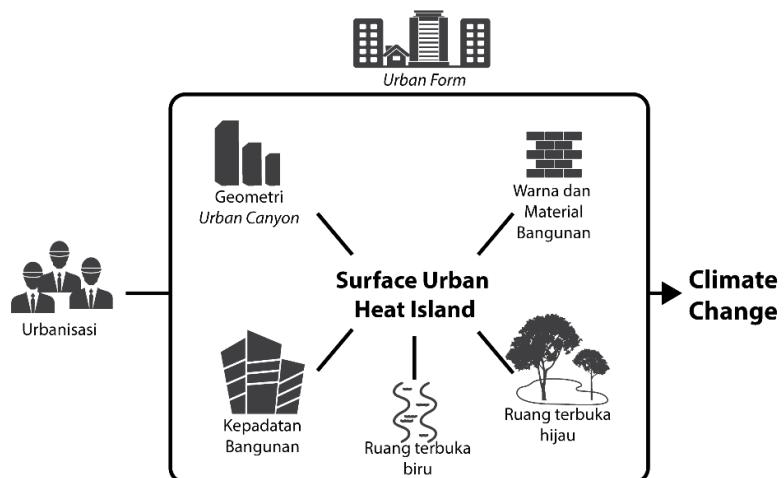
Aspek	Pakar	Kajian Teori	Pembahasan	Indikator
Pengelolaan UHI		<b>Faktor <i>surface UHI</i> kota Surabaya</b>		
	Sobirin (2015), Jatayu (2016), Zulkarnain (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jenis penggunaan lahan,</li> <li>Kerapatan bangunan</li> <li>Jarak antar bangunan</li> <li>Kepadatan bangunan</li> <li>Kerapatan vegetasi</li> </ul>	Fokus dalam penelitian berorientasi pada <i>Surface UHI</i> dan <i>urban configuration</i> . Teori oleh vgoot dan oke (2003), C Jhonson (2015), dan L.W.A.Van Hove (2011). Lingkup skala <i>lokalscale</i> menjadi pertimbangan dalam pengambilan variabel.	1. Variabel terikat: <b><i>surface UHI</i></b> . 2. Variabel bebas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><i>Urban Green Infrastructure (Sugiyono)</i></b></li> <li>• <b><i>Urban Geometri</i></b></li> <li>• <b><i>Urban Material</i></b></li> </ul>
	Kurniati (2016), Tursilowati (2012), Hermawan (2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Area Green Space</i>,</li> <li>• <i>Area Water Space</i></li> <li>• <i>Area of paving</i>,</li> <li>• <i>Area of Asphalt</i>,</li> </ul>		
	Novianti, (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Nilai SKV (Sky View Factor)</i></li> <li>• <i>Rata-rata ketinggian bangunan</i></li> <li>• <i>Luasan sungai</i></li> </ul>		
		<b>Faktor <i>surface UHI</i> secara general</b>		
	C.Jhonson (2015), Gratland (2008)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>urban form</i> (bahan penutup permukaan, bentuk dan orientasi permukaan)</li> <li>• <i>urban function</i> (sumber kelembaban, sumber kalor)</li> <li>• cuaca</li> <li>• geografi</li> </ul>		
	Vgoot dan Oke (2003) dalam Noviyanti (2016), Liang (2020)	<b>Var. measure</b> 1. <i>City Function: Energy, water use, pollution</i> 2. <i>City Form: Material, Geometric, Greenspace</i> <b>Var. non-measure</b> Posisi Geografis: (iklim, topografi, perdesaan sekitarnya), waktu (hari, musim), ukuran kota (hubungan bentuk dan fungsi), cuaca sinoptik (angin atau wind, awan atau cloud),		

	Hove et al. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• City scale (rasio aktivitas penduduk terhadap luas lahan)</li> <li>• Urban design dan struktur           <ol style="list-style-type: none"> <li>1. tipologi,</li> <li>2. <i>urban green infrastructure</i>,</li> <li>3. <i>urban surface water</i></li> <li>4. <i>urban geometri</i>,</li> <li>5. karakteristik bahan perkotaan (<i>radiative</i> dan <i>thermal</i>),</li> </ol> </li> </ul>		
	Qi (2020)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Tekniknya</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Greenery</i></li> <li>2. <i>Cool materials</i></li> <li>3. <i>Evaporative techniques</i></li> </ol> </li> <li>• <i>Planning and design variables</i></li> <li>• Tempat penerapan           <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kawasan Publik</i></li> <li>2. <i>Komponen Bangunan</i></li> </ol> </li> </ul>		

Sumber: Sintesa Pustaka, 2020

Dari iterasi tersebut variabel yang menjadi fokus penelitian adalah aspek fisik pada *localscale*. Adapun aspek fisik yang dapat menjadi pertimbangan dalam pembahasan adalah:

1. *Urban Green Infrastructure* meliputi *urban green space*, dan *urban surface water* sebagai elemen dalam menurunkan intensitas deviasi suhu. Dijabarkan oleh Hove et al. (2011), Ayu Candra Kurniati (2016), Qi (2020)
2. *Urban geometri* dijabarkan dalam ukuran bangunan berupa kepadatan bangunan dan rasio tinggi dan jarak antar bangunan (H/W) atau biasa disebut *sky view factor*. Dijabarkan oleh Vgoot dan Oke (2003) dan diperkuat Noviyanti (2016), Hove et al. (2011), Tursilowati (2012), Hermawan (2015), Liang (2020)
3. *Urban material* sebagai bentuk *radioactive properties* dalam memantulkan panas dan *thermal properties* dalam menyerap panas. Masing masing konsentrasi material perkotaan baik warna maupun bahan memiliki kemampuan yang berbeda beda. Dijabarkan oleh Gratland (2008) diperkuat Hove et al. (2011), Ayu Candra Kurniati. (2016), C.Jhonson (2015).



Gambar 2.7. Illustrasi Aspek terjadinya Surface UHI  
Sumber: Visual berdasarkan Sintesa Pustaka, 2020

#### 2.2.5.1. *Urban Green Infrastructure*

*Urban Green Infrastructure* didefinisikan sebagai jaringan area hijau yang terencana dan tidak terencana, mencakup baik ranah publik dan privat, serta dikelola sebagai sistem terpadu untuk memberikan berbagai manfaat (Lovell, 2013). *Urban Green Infrastructure* dibedakan menjadi *urban green space* dan *urban surface water* (Hove et al., 2011).

##### 1. *Urban Green Space*

*Urban Green space* merupakan kawasan hijau yang menyediakan berbagai layanan ekosistem untuk lingkungan perkotaan termasuk; mengurangi limpasan permukaan dan banjir, drainase berkelanjutan, peningkatan estetika umum, kesejahteraan dan modifikasi iklim mikro (Hall, 2014; IPCC, 2019). Diperkuat penelitian oleh Watkins (2002) *urban green space* mampu mereduksi panas melalui:

- (1) perlindungan jendela/dinding dari sinar matahari secara langsung,
- (2) memberikan ketahanan termal tambahan,
- (3) mengurangi infiltrasi,
- (4) melalui transfer panas laten.

Metode ini tergantung pada jenis vegetasi yang digunakan. Sehingga Norton et al. (2015) merumuskan jenis *urban green space* untuk mengoptimalkan efek pendinginan, diantaranya *green open space*, pohon, *green roofs*, dan *vertical greening*. Perubahan *urban green space* memiliki nilai korelasi -0,75 terhadap suhu

permukaan. (Dionysius S, 2013). Hasil perhitungan Kurniati (2016) *urban green space* merupakan faktor yang paling signifikan (sebesar 0.98) dalam mempengaruhi suhu permukaan di Surabaya. Diartikan semakin tinggi *urban green space*, maka semakin rendah intensitas suhu permukaan.

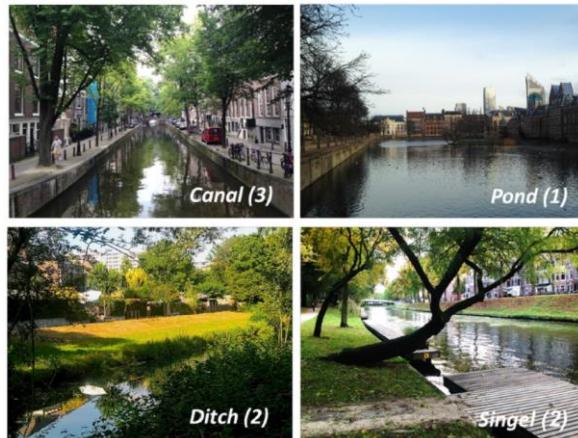


Gambar 2.8. Contoh kategori *urban green space* (1)pohon (2)vertical greening (3)green rooftop  
(4)open green space  
Sumber: Norton et al. (2015)

## 2. *Urban Surface Water*

Perencana dan arsitek kota telah lama mempertimbangkan *Urban Surface water* sebagai komponen penting dari setiap strategi untuk meminimalkan panas perkotaan (Coutts et al., 2016). *Urban Surface water* terdiri dari faktor sungai, danau/bozem, dan parit/kolam (Cai, 2018; Coutts et al., 2016; Moyer & Hawkins, 2017). Luasan sungai di Surabaya memiliki pengaruh negatif terhadap suhu permukaan, dimana setiap kenaikan luasan sungai maka akan menurunkan suhu permukaan menjadi  $33,0^{\circ}\text{C}$  dari suhu awal  $33,8^{\circ}\text{C}$ . Kondisi tersebut hampir menurunkan suhu sebesar  $-1^{\circ}\text{C}$  (Noviyanti, 2016). Dibeberapa kasus studi *urban surface water* mampu menurunkan hingga  $-2.5^{\circ}\text{C}$  (Völker, 2013). Angka tersebut tergantung pada ukuran dan lokasi dari *urban surface water*, karena dipengaruhi oleh bentuk perkotaan disekitarnya dan cenderung berdampak pada area jangkauan 250m (Cai, 2018). Sebuah studi pengindraan jauh menyarakan bahwa beberapa badan air yang lebih kecil dan berbentuk teratur yang terdistribusi secara merata di daerah perkotaan mampu menekan suhu daripada satu badan air yang lebih besar dengan volume total yang sama (Theeuwes, 2013). Robitu et al. (2004) dalam Hove et al. (2011) mengamati bahwa kolam kecil ( $4 \times 4$  m) memiliki efek pendinginan sekitar  $1^{\circ}\text{C}$  pada ketinggian hingga satu meter dan jarak hingga 30 m. Namun, perlu dicatat bahwa efek pendinginan badan air mungkin juga merupakan hasil bahwa

badan air menyediakan jalur angin bebas (zona ventilasi) (Hove et al., 2011). Menurut Jacobs et al. (2020) aliran air memiliki efek pendinginan yang lebih besar daripada air biasa. Tetapi air yang terdispersi seperti air mancur memiliki efek pendinginan terbesar (Ulpiani et al., 2019).



Gambar 2.9. Contoh kategori *urban water body*  
Sumber: Jacobs et al. (2020)

### 2.2.5.2. *Urban Geometry*

Geometri perkotaan mengacu pada dimensi dan jarak bangunan dalam area yang dibangun dari kota (Yue, 2019). Hal ini mempengaruhi aliran angin, penyerapan energi, dan kemampuan permukaan yang diberikan untuk memancarkan radiasi gelombang panjang ke ruang angkasa (Hove et al., 2011). Berdasarkan penelitian oleh Mohammed (2018) *urban geometry* sangat signifikan mengurangi suhu rata rata dan efektif dalam mengendalikan suhu permukaan disekitar jalan.

Aspek geometri perkotaan sering disebut *urban canyon / ngarai*, dapat diilustrasikan oleh jalan yang relatif sempit yang dibatasi oleh gedung-gedung tinggi (Qi, 2020). Pada siang hari bangunan tinggi dapat menciptakan keteduhan, mengurangi suhu permukaan dan udara. Di sisi lain, ketika sinar matahari mencapai permukaan *canyon*, energi matahari dipantulkan dan diserap oleh dinding bangunan, dan dapat meningkatkan suhu. Jadi, konfigurasi *urban geometry* memiliki pengaruh besar pada distribusi intra-perkotaan UHI (Hove et al., 2011). *Urban Geometri* dalam kaitannya terhadap suhu permukaan terdiri dari beberapa kategori, diantaranya *Building Density* (BD), *Sky View Factor* (SVF), Floor Area

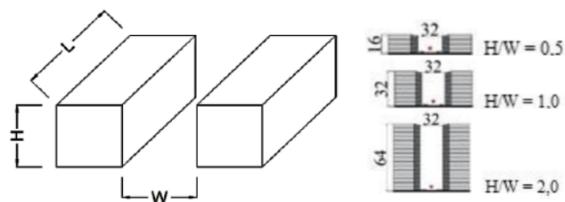
Ration (FAR) dan *Mean Building High* (MH) (Cai, 2018; Liang, 2020; I. D. Stewart & Oke, 2012)

Tabel 2.4. Faktor *Urban Geometry*

No	Faktor <i>Urban Geometry</i>	Definisi	Rumus	Ilustrasi
1	Kepadatan Bangunan/ <i>Building Density</i> (BD)	Persentase permukaan lahan yang tertutup bangunan dalam satu bidang tanah	$BD = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{C_L}$ $C_i$ adalah area tertutup bangunan, $C_L$ adalah area sebidang tanah	
2	Rata-rata tinggi bangunan/ <i>Mean Building High</i> (MH)	Rata-rata tinggi bangunan dalam suatu bidang tanah	$MH = \frac{\sum_{i=1}^N C_i H_i}{\sum_{i=1}^N C_i}$ $C_i$ adalah area tertutup bangunan, $H_i$ adalah tinggi bangunan	
3	Ratio Luas Lantai/ <i>floor area ratio</i> (FAR)	Ratio dari luas total lantai dalam suatu bidang tanah	$FAR = \frac{\sum_{i=1}^N C_i F_i}{C_L}$ $C_i$ adalah area tertutup bangunan, $F_i$ adalah jumlah lantai bangunan, and $C_L$ adalah area sebidang tanah	
4	Sky View Factor (SVF)	Rasio antara radiasi yang diterima oleh permukaan planar dan seluruh lingkungan radiasi hemisfer	$SVF = 1 - \sum_{i=1}^N \sin^2 \beta_i (\frac{\alpha_i}{360^\circ})$ N adalah jumlah total elemen sudut hambatan di lingkungan hemisfer; dan $\alpha_i$ dan $\beta_i$ masing-masing mencerminkan sudut elevasi dan azimut dari elemen sudut i Lindberg (2010)	

*Sumber: Dimodifikasi Cai (2018)*

Geometri dan parameter *canyon* seperti aspek rasio tinggi terhadap lebar (H/W) dan orientasi jalan menentukan akses matahari dan penciptaan suhu yang terjadi, dengan angka korelasi sebesar 0,88 (Hove et al., 2011; Muniz-Gäal, 2020). Rasio H/W (SVF) yang ideal untuk kota pada garis lintang menengah (garis lintang  $45^\circ$ ) berkisar antara 0,4 hingga 0,6. (T. R. Oke, 1988) termasuk Kota Surabaya. *Urban canyon* dapat dibedakan dalam berbagai cara berdasarkan tinggi (H), lebar (W) dan panjangnya (L). Berdasarkan rasio H/W, *canyon* dapat diklasifikasikan sebagai *avenue* ( $H/W < 0,5$ ), regular ( $H/W = 1,0$ ), atau deep ( $H/W > 2,0$ ). Parameter lain yang menentukan geometri *urban canyon* adalah rasio antara panjang dan tinggi (L/H). Menurut parameter ini, *canyon* dapat diklasifikasikan menjadi ngarai pendek ( $L/H < 3$ ), sedang ( $L/H = 5$ ), dan panjang ( $L/H > 7$ ) (Afiq, 2012). Studi pada rasio H/W mengungkapkan bahwa rasio ini secara langsung mempengaruhi durasi periode ketidaknyamanan termal di dalam geometri *urban canyon* (De, 2018; Lobaccaro, 2015) mengingat hubungannya dengan total radiasi matahari yang mencapai permukaan *canyon* (Abreu-Harbich, 2014). Sedangkan pada rasio L/H lebih berkaitan pada mekanisme aliran angin di dalam *canyon*. Dikarenakan panjang jalan tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap kapasitas suhu, berbeda dengan lebar jalan (Hang, 2010). Pada lingkup lebih luas, tingkat panas matahari ditentukan oleh orientasi bangunan. Representatif tiga dimensi dari geometrik perkotaan memiliki efek sangat besar pada UHI, dengan mengabaikan faktor aliran udara. Oleh karena itu istilah *sky view factor* untuk estimasi intensitas UHI ditentukan sebagai ukuran dalam penelitian ini.



*Gambar 2.10. Illustrasi penyederhanaan perhitungan Urban Canyon Geometry*  
Sumber: Muniz-Gäal (2020)

#### 2.2.5.3. *Urban Material*

Dalam kasus UHI, sifat radiasi dan termal dari material perkotaan menentukan bagaimana energi matahari dipantulkan, dipancarkan, dan diserap (Liang, 2020). Sebagian besar bahan di lingkungan perkotaan bersifat kedap air.

Akibatnya, lebih banyak energi tersedia untuk emisi gelombang panjang, fluks panas yang masuk dan konduksi ke permukaan (Hove et al., 2011).

#### a. Sifat Radiasi

Daerah perkotaan biasanya memiliki bahan permukaan, seperti atap dan paving, yang memiliki albedo lebih rendah daripada yang di daerah pedesaan. Akibatnya, lingkungan yang dibangun umumnya kurang memantulkan dan menyerap lebih banyak energi matahari. Panas yang diserap ini meningkatkan suhu permukaan dan berkontribusi pada pembentukan UHI (Pigliautile, 2020). Albedo dari bahan dan area perkotaan memiliki nilai yang khas. Beberapa penelitian telah mengukur kemampuan peningkatan albedo untuk memitigasi UHI dan mengurangi penggunaan energi pendingin (Hove et al., 2011). Jandaghian (2020) menemukan bahwa peningkatan skala besar diperlukan albedo mampu menurunkan intensitas UHI sebesar 2°C.

Tabel 2.5. Albedo berdasarkan tipe *urban material*

No.	Kategori Permukaan	Albedo (%)	
1	<i>Unclassified</i>	0.05	
2	Perairan	0.08	
3	Bangunan	Beton	0.12
		Batako/batuhan lainnya	0.35 (Bretz et al., 1992)
		Atap aspal	0,10-0,45
		atap sangat reflektif (kaca)	0,60-0,70
		Genteng putih/gypsum	0.85
		Genteng abu-abu	0.03
		Genteng hijau	0.73
4	Jalan	Genteng merah	0.3
		Aspal baru	0.05
		Aspal lama	0.2
5	Tanah	Jalan beton	0,10-0,35
		Tanah kering	0.20 (Ojima and Toriyama, 1982)
		Tanah berpasir	0,20-0,30
		Pasir basah/pantai	0,10-0,20
6	Rail kereta	Tanah yang dibudidayakan	0,20
7	Kayu		0.15 (Taha et al., 1988)
8	Tanaman	<i>Rumput basah</i>	0.20 (Stull, 1988)

		<i>Rumput kering</i>	0,30
		<i>Pepohonan</i>	0,20-0,30
		<i>Hutan Kota</i>	0,15-0,20
9	<i>Permukaan Keras Lainnya</i>	<i>Ubin</i>	0,10-0,35
		<i>Besi/seng</i>	0,10-0,16
		<i>Lainnya</i>	0,05

Sumber: Bretz et al., (1992); dalam Hove et al. (2011), Aktas (2017)

### b. Sifat Thermal Permukaan

Perilaku ini sangat ditentukan oleh kepadatan, kapasitas panas spesifik, konduktivitas termal, dan koefisien penerimaan termal dari bahan yang digunakan (Hove et al., 2011). Kapasitas panas ( $C_p$  dalam  $J \ kg^{-1} \ K^{-1}$ ) mengacu pada kemampuan material untuk menyimpan panas, sedangkan konduktivitas termal ( $k$ ) adalah kemampuannya untuk menyalurkan panas. Banyak bahan bangunan, seperti baja dan batu, memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi daripada bahan pedesaan, seperti tanah kering dan pasir. Akibatnya, kota biasanya lebih efektif dalam menyimpan energi matahari sebagai panas dalam infrastruktur (Xu, 2020). Pusat kota metropolitan pada wilayah beriklim tropis dapat menyerap dan menyimpan dua kali jumlah panas dibandingkan dengan lingkungan pedesaan (Hove et al., 2011; Wonorahardjo et al., 2020). Berbeda dengan geometri, perbedaan dalam penerimaan termal kurang jelas dan terlihat. Pemodelan yang dilakukan Xu (2020) bahwa sifat thermal permukaan mampu menurunkan  $0.78^{\circ}\text{C}$ . Diperkuat simulasi yang dilakukan oleh Montavez et al. (2007) menunjukkan bahwa kombinasi geometri dan sifat termal dapat menurunkan intensitas UHI  $10^{\circ}\text{K}$ .

Tabel 2.6. Sifat termal dari permukaan buatan dan alami

No.	Kategori Permukaan		Thermal admittance ( $\text{J} \ \text{m}^{-2} \ \text{s}^{-1/2} \ \text{K}^{-1}$ )
1	<i>Unclassified</i>		1205
2	Perairan		1545
3	<i>Bangunan</i>	Beton	1505
		Batako/batuhan lainnya	1070 (Oke, 1987)
		Atap aspal	1205
		Atap sangat reflektif (kaca)	1110
		Genteng	1065
4	<i>Jalan</i>	Aspal	1205
		Jalan beton	1785
5	<i>Tanah</i>	Tanah kering	600 (Oke, 1987)
		Tanah berpasir	600

		Tanah/pasir basah (pantai)	2210
6	Rail kereta		1150
7	Kayu	tingkat kadar air	300
8	Tanaman	<i>Rumput basah</i>	300
		<i>Rumput kering</i>	882
		<i>Pepohonan</i>	550
		<i>Hutan Kota</i>	162-589
9	Permukaan Keras Lainnya	<i>Ubin</i>	1220
		<i>Baja/Besi/seng</i>	14475
		<i>Lainnya</i>	1205

Sumber: Wonorahardjo et al. (2020); Zmarsly et al., (2002) dalam Hove et al. (2011); Aktas (2017)

Berdasarkan uraian diatas dapat diamati bahwa *surface UHI* diakibatkan oleh beberapa variabel *urban form* yang cenderung mengurangi maupun menambah dalam hal intensitas temperature. Sehingga faktor dalam penelitian ini diantaranya

Tabel 2.7. Faktor-faktor *urban form* yang mempengaruhi UHI

Aspek	Pakar	Variabel	Faktor	Indikator
Faktor faktor urban form yang mempengaruhi UHI	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Norton et al. (2015)</li> <li>• Dionysius S, (2013)</li> <li>• Ayu Candra Kurniati, (2016)</li> <li>• Hall, (2014)</li> <li>• IPCC, (2019)</li> <li>• Hove,et.al. (2011)</li> </ul>	<i>Urban Green Infrastructure</i>	<i>Urban Green Space</i> <i>Pohon</i> <i>Green open space</i> <i>vertical greening</i> <i>green roof</i>	Mampu mengurangi suhu 2°C
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coutts et al., (2016)</li> <li>• Völker, (2013)</li> <li>• Hove,et.al. (2011)</li> <li>• Cai, (2018)</li> <li>• Moyer &amp; Hawkins, (2017)</li> </ul>		<i>Urban Water Space</i> 1.sungai, 2.danau/bozem 3.parit/kolam	Mampu mengurangi suhu 3°C
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hove,et.al. (2011)</li> <li>• Mohammed and Salman, (2018)</li> <li>• De, (2018)</li> <li>• Liang, (2020);</li> <li>• I. D. Stewart &amp; Oke, (2012)</li> <li>• Muniz-Gaal, 2020</li> <li>• Cai, (2018)</li> </ul>	<i>Urban Geometry</i>	<i>Building Density (BD)</i> <i>Mean Building High (MH)</i> <i>Sky View Factor (SVF)</i>	angka korelasi sebesar 0,88
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hove,et.al. (2011)</li> <li>• Pigliautile, (2020)</li> <li>• Jandaghian, (2020)</li> </ul>	Urban Material	Sifat Radiasi	menurunkan intensitas UHI sebesar 2°C
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hove,et.al. (2011)</li> <li>• Xu, (2020)</li> </ul>		Sifat Thermal Permukaan	mampu menurunka

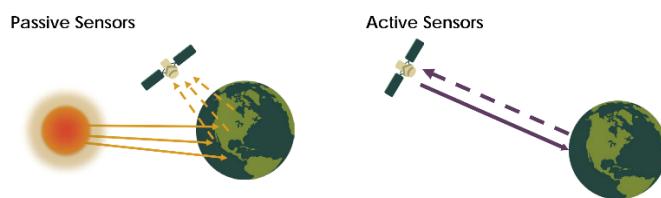
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montavez et al., (2007)</li> <li>• Wonorahardjo et al. (2020)</li> </ul>			n suhu 0.78°C
--	---	--	--	------------------

Sumber: Sintesa Pustaka, 2020

### 2.3. Pengindraan Jauh untuk Analisis *Urban Heat Island*

#### 2.3.1. Pengindraan Jauh (*remote sensing*)

Penginderaan jauh atau *remote sensing* adalah proses mendekripsi dan memantau karakteristik fisik suatu daerah dengan mengukur radiasi yang dipantulkan dan dipancarkan dari kejauhan (biasanya dari satelit atau pesawat terbang) (USGS, 2020d). Didukung oleh metode pengolahan citra dan komputer memungkinkan proses analisis multitemporal perubahan suhu dari data remote sensing dapat dilakukan secara cepat, ekonomis, resolusi yang cukup tinggi, konsisten, pengulangan perekaman, dan kemampuan dalam mengukur/merekam kondisi permukaan bumi dengan baik (Jatmiko, 2016). *Remote sensing* menjadi kebutuhan yang tidak dapat dihindarkan di masa depan, terutama terkait dengan efisiensi dan keefektifan analisis perkotaan (Benza, 2016). Dalam penginderaan jauh, sensor inframerah termal pada satelit memperoleh informasi kuantitatif mengenai suhu permukaan yang terkait dengan jenis tutupan lahan. Informasi tersebut dapat digunakan untuk perencanaan kota dan mitigasi UHI (Coutts et al., 2016; Shirani-Bidabadi et al., 2019).



Gambar 2.11. *remote sensing* berdasarkan sensor

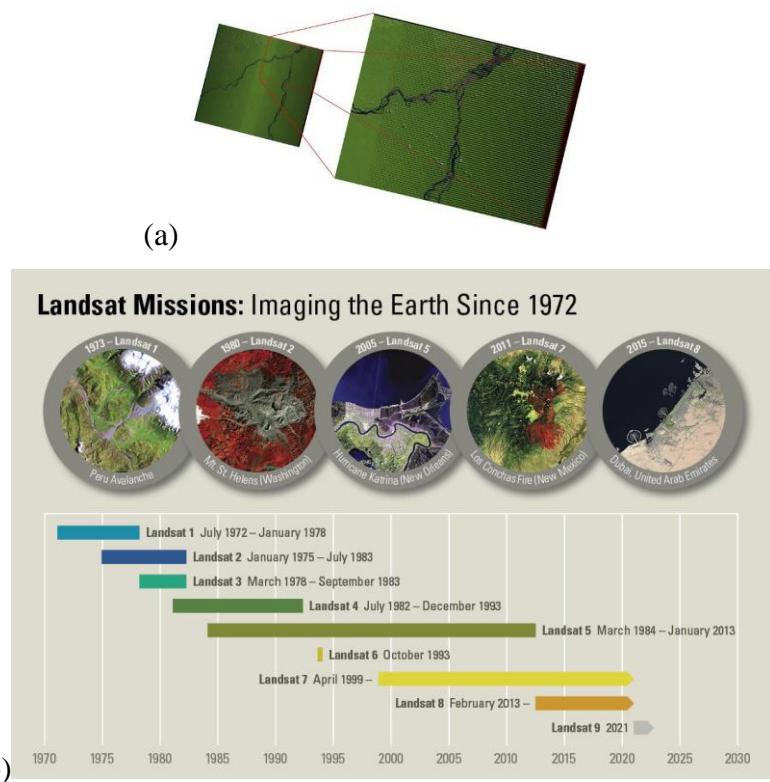
Sumber: <https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensing>, diakses 6 maret 2020

#### 2.3.2. Citra Satelite Landsat

Satelit Landsat merupakan citra multi-spektral berkualitas tinggi dari permukaan bumi yang dibuat oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA) dan United States Geological Survey (USGS) (Miller, 2016). Saat ini tercatat sudah terdapat 8 citra landsat yang sudah diluncurkan oleh NASA dan USGS. Disisi lain, saat ini sedang tahap observasi dan percobaan untuk peluncuran satelit landsat 9 (USGS, 2020a). Keunikan citra landsat diantaranya (1) mampu

menyediakan cakupan global secara teratur, (2) tersedia secara gratis, (3) Arsip gambar citra dapat dilihat sejak tahun 1972 (Miller, 2016).

Peluncuran Landsat 7 ETM pada April 1999 merupakan perbaikan dari Landsat 6 yang gagal mengorbit. Dengan sistem *Thematic Mapper (TM)*, sensor satelit merekam data permukaan bumi dengan lebar sapuan (scanning) sebesar 185 km. Perekaman yang digunakan menggunakan 7 (tujuh) saluran panjang gelombang, meliputi tiga saluran panjang gelombang tampak (USGS, 2016 dalam Zulkarnain, 2016). Namun pada tahun 2003 satelite 7 mengalami permasalahan sistem sehingga terdapat *scan line error (SLC-off data)* yang dihasilkan pada gambar. *Scan line error* adalah perekaman data secara zigzag sehingga area gambar digandakan dan meninggalkan celah data (USGS, 2020b). Kemudian pada Februari 2013 dilanjutkan melalui misi Landsat 8 OIL TIRS sebagai pengembangan Landsat 7 ETM. Satelit Landsat 8 memiliki sensor *Onboard Operational Land Imager (OLI)* dan *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* dengan jumlah kanal sebanyak 11 buah. Akurasi data yang diberikan lebih baik dari pada landsat sebelumnya (USGS, 2020b).



Gambar 2.12. (a) *scan line error* pada Landsat 7 (b) perkembangan satelit landsat  
Sumber: USGS (2020a)

Sensor pencitra TIRS pada Landsat 8 dapat menghasilkan kontinuitas data untuk kanal-kanal inframerah termal yang tidak dicitrakan oleh OLI (Nasa, 2008 dalam Sitanggang, 2011). Informasi radiansi panas pada spectrum thermal sangat dipengaruhi oleh suhu permukaan dan emisivitas obyek. Makin tinggi temperature suatu obyek, makin tinggi intensitas radiasinya. Informasi radiansi ditangkap sensor termal dan disimpan dalam bentuk digital number (Shirani-Bidabadi et al.) dengan range 0 sampai 255 (8 bit) untuk data TM/ETM+ dan 0 sampai 65536 a (16 bit) untuk data TIRS (USGS, 2020a). Sensor pencitra OLI memiliki kanal-kanal spektral yang serupa dengan sensor ETM+ pada Landsat 7. Kanal-kanal baru yang terdapat pada sensor OLI ini, antara lain: kanal untuk deteksi aerosol garis pantai (kanal 1: 443 nm) dan kanal untuk deteksi *cirrus* (kanal 9: 1375 nm). Perbandingan parameter spektral instrumen OLI dan TIRS terhadap ETM+/Landsat 7, ditunjukkan pada tabel berikut. Umumnya interval yang digunakan untuk pengamatan thermal berada pada 3-5  $\mu\text{m}$  (Ahmadian) dan 8-14  $\mu\text{m}$  (TIR) (Tempfli et al., 2009)

Tabel 2.8. Perbandingan Parameter-Parameter Spektral Sensor Pencitra OLI (Landsat 8) dan ETM+ (Landsat 7)

Landsat 7 ETM+		Landsat 8 OLI TIRS	
Band	Parameter Spektral	Band	Parameter Spektral
		Band 1	Visible (0.43 - 0.45 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 1	Visible (0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ ) 30 m	Band 2	Visible (0.450 - 0.51 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 2	Visible (0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ ) 30 m	Band 3	Visible (0.53 - 0.59 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 3	Visible (0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ ) 30 m	Band 4	Red (0.64 - 0.67 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 4	Near-Infrared (0.77 - 0.90 $\mu\text{m}$ ) 30 m	Band 5	Near-Infrared (0.85 - 0.88 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 5	Near-Infrared (1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ ) 30 m	Band 6	SWIR 1(1.57 - 1.65 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 6	Thermal (10.40 - 12.50 $\mu\text{m}$ ) 60 m Low Gain / High Gain	Band 10	TIRS 1 (10.6 - 11.19 $\mu\text{m}$ ) 100 m
		Band 11	TIRS 2 (11.5 - 12.51 $\mu\text{m}$ ) 100 m
Band 7	Mid-Infrared (2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ ) 30 m	Band 7	SWIR 2 (2.11 - 2.29 $\mu\text{m}$ ) 30 m
Band 8	Panchromatic (PAN) (0.52 - 0.90 $\mu\text{m}$ ) 15 m	Band 8	Panchromatic (PAN) (0.50 - 0.68 $\mu\text{m}$ ) 15 m
		Band 9	Cirrus (1.36 - 1.38 $\mu\text{m}$ ) 30 m

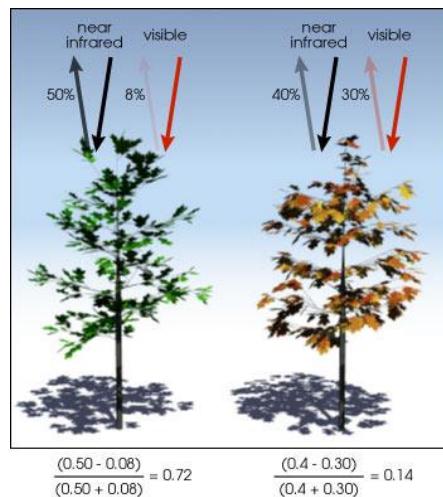
Sumber: Markham (2015)

Citra Landsat secara luas digunakan untuk analisis UHI karena terkait resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan citra satelit NOAA-AVHRR dan MODIS (Rasul et al., 2017; Tempfli et al., 2009). Untuk sensor NOAA-AVHRR walaupun dengan resolusi 1,1 km dapat digunakan untuk analisis UHI, namun eror mencapai 2,4°C (Stathopoulou dan Cartalis, 2009). Sehingga pemanfaatan citra satelit landsat untuk pemetaan suhu adalah tepat, selain akurasi citra yang tinggi, data suhu permukaan yang diperoleh hasil dari klasifikasi tutupan lahan dibawah 1,2°C dan suhu permukaan dari kerapatan vegetasi dan bangunan dibawah 0,75°C (Tan, 2017). Penelitian mengenai UHI menggunakan remote sensing hanya mendapatkan suhu permukaan. Pertimbangan penggunaan remote sensing adalah ketersediaan data yang dapat memberikan gambaran tren perubahan suhu dalam rentang yang cukup lama (X. Liu et al., 2020).

### **2.3.3. Indeks Vegetasi untuk Menganalisis Suhu Permukaan**

Dalam merumuskan indeks suhu menggunakan pengindraan jauh terdapat 3 parameter, meliputi NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*), NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dan NDWI (*Normalized Difference Water Index*) (Guha, 2018). NDVI digunakan untuk mengetahui kualitas dan distribusi vegetasi, NDWI untuk mengetahui karakteristik perairan, dan NDBI untuk mengetahui distribusi dan perubahan lahan terbuka (Govil, 2019). Dari hasil kajian terhadap penggunaan parameter NDVI dan NDBI, dapat diketahui parameter NDVI sering digunakan untuk mengetahui kualitas dan distribusi vegetasi dan NDBI seringkali digunakan dalam memahami kondisi penutup lahan, terutama lahan terbangun di wilayah perkotaan maupun pedesaan (Govil, 2019; Guha, 2018). Hubungan antara LST-NDVI dan LST-NDBI sama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap suhu permukaan. Penilitian Guha (2018) menunjukkan hubungan sebesar  $-0.71$  dan  $-0.57$  dengan NDVI, serta  $0.71$  dan  $0.61$  dengan NDBI. Y. R. Jamei, Priyadarsini; Sun, Qian Chayn (2019) menambahkan pada negara tropis hubungan NDBI berpengaruh positif (0,6) dan NDVI berpengaruh negatif ( $-0.8$ ). Terdapat kelebihan pada masing masing pendekatan, NDBI lebih tepat untuk diterapkan pada pengamatan harian atau temporal, sendangkan NDVI dalam pengamatan musiman (Macarof & Florian, 2017).

Untuk menentukan tingkat kerapatan vegetasi pada sebidang tanah, harus mengamati warna-warna yang berbeda (panjang gelombang) dari sinar matahari tampak dan inframerah dekat yang dipantulkan oleh tanaman. Triyanti (2008) dalam Zulkarnain (2016) mengatakan bahwa NDVI merupakan nilai ataupun indeks hasil pendekatan matematis dari kondisi vegetasi/tumbuhan di suatu wilayah yang didasarkan pada pemantulan (albedo). Ketika sinar matahari mengenai objek, panjang gelombang tertentu dari spektrum akan diserap dan panjang gelombang yang lain akan dipantulkan. Pigmen klorofil dalam daun tanaman, dengan kuat menyerap cahaya tampak (panjang gelombang: 0,4 – 0,7  $\mu\text{m}$ ) untuk digunakan dalam proses fotosintesis. Di sisi lain, struktur sel daun dengan kuat memantulkan cahaya inframerah dekat (panjang gelombang: 0,7 – 1,1  $\mu\text{m}$ ). Sehingga semakin banyak daun yang dimiliki oleh tanaman, semakin banyak pula panjang gelombang cahaya ini yang akan dipengaruhinya (NASA, 2000).



Gambar 2.13. Perbandingan Penyerapan dan Pemantulan Cahaya Tampak dan Inframerah Dekat oleh Vegetasi Sehat (kiri) dan Vegetasi Kurang Sehat/Jarang Vegetasi (kanan)

Sumber: NASA (2000)

NDVI dapat dihitung dari cahaya tampak dan inframerah dekat yang dipantulkan oleh vegetasi. Vegetasi yang sehat menyerap sebagian besar cahaya tampak yang mengenainya dan memantulkan sebagian besar cahaya inframerah dekat (kiri). Vegetasi yang tidak sehat ataupun jarang vegetasi lebih banyak memantulkan cahaya tampak dan lebih sedikit cahaya inframerah dekat (kanan) (NASA, 2000). Pada citra Landsat 7, untuk perolehan NDVI menggunakan band Band 4 (NIR) dan Band 3 (red), band thermal pada band 6 VCID 1 dan 6 VCID 2. Pada citra Landsat 8, untuk perolehan NDVI menggunakan band 4 (merah) dan 5

(inframerah), sedangkan band termal yang digunakan adalah band 10 dan 11. Penggunaan band 10 dan 11 merujuk pada Loyd (2017), disarankan menggunakan band 10 dengan keakuratan  $\sim\pm 1$  K untuk estimasi sederhana, sehingga ukuran kedetailan yang bisa diakomodasi landsat 8 adalah 30m. Selain itu, syarat utama dalam penggunaan citra adalah harus bebas awan. Jika digunakan citra yang berawan, walau dalam persentase yang kecil, akan lebih baik jika tidak digunakan, karena dapat mengganggu hasil akhir distribusi UHI (Fawzi, 2017).

### 2.3.6. Validasi Data

Dalam pengolahan data spasial tidak terlepas dengan adanya sistem validasi, untuk mengetahui keakuratan dari model tersebut. Siabi (2020) menyatakan bahwa validasi merupakan bagian penting dari suatu pemodelan empiris (*empirical modelling*) dalam penelitian yang bersifat multidisiplin. Validasi dilakukan dengan menguji akurasi potensial dari nilai-nilai yang diproyeksikan atau diprediksikan. Tiga metode banyak digunakan untuk memvalidasi produk LST yang berasal dari pengukuran satelit, yaitu, metode validasi berbasis suhu (Göttsche, 2013; Martin; & Göttsche, 2016; Ouyang et al., 2017), metode validasi berbasis *radiance* (Duan et al., 2018; Gomis-Cebolla, 2018; Hulley & Hook, 2012) dan metode *inter-comparison* (Duan, Li, & Leng, 2017; Duan et al., 2019; Ermida et al., 2014). Ketiga metode ini saling melengkapi dan memberikan tingkat informasi yang berbeda tentang keakuratan produk LST yang diturunkan dari satelit. Tinjauan komprehensif metode validasi LST dan praktik terbaik disediakan oleh Guillevic et al. (2017).

Metode validasi berbasis suhu melibatkan perbandingan langsung pengamatan LST berbasis darat dan LST turunan satelit produk (Ouyang et al., 2017). Hal ini memungkinkan penentuan akurasi dalam produk LST yang diturunkan dari satelit. Melalui perbandingan pengamatan LST berbasis darat (*in-situ*) dan LST dari satelit akan diperoleh tingkat eror data LST yang digunakan (Göttsche, 2013). Pengolahan LST menggunakan satelit umumnya memiliki akurasi kondisi lapangan yang tinggi (Martin; & Göttsche, 2016). Pengukuran LST *in situ* tidak mewakili pengukuran LST pada skala piksel satelit (Duan et al., 2019).

Sedangkan metode validasi berbasis *radiance* dan metode *inter-comparison* mengkaji dari *Remote Sensing Handbook* (2016) kedua metode ini saling memiliki keterkaitan (Duan et al., 2018). Metode *inter-comparison* dapat berupa validasi proses pengolahan LST dari citra satu terhadap citra lainnya (Ermida et al., 2014). Dimana dalam proses pengolahannya diperlukan data radiance (cahaya) untuk meperoleh LST masing masing citra (Abrams, 2002; Hulley & Hook, 2012; Zanter, 2016). Biasa dikenal *standardized cross-validation*, dimana pertimbangan waktu perekaman data sangat diutamakan dalam model ini (Duan et al., 2019; Szymanowski, 2011). Validasi proses pengolahan LST Landsat dapat dilakukan dengan melakukan komparasi dengan pengohan LST pada citra ASTER. Dipilih citra ASTER karena merupakan citra medium resolution dengan kategori yang sama terhadap citra Landsat (Tempfli et al., 2009). Dari segi band, pada Citra ASTER juga terdapat band thermal (band 13,14) dengan resolusi 90m, band Red (band 2) 15m dan band NIR (band 3) 15m. Sistem orbit pada Citra ASTER dan Landsat sama sama dalam waktu 16 hari. Dari pertimbangan data tersebut menjadi pertimbangan citra ASTER sebagai citra komparasi dalam validasi proses (Abrams, 2002; Kato, 2005).

*Tabel 2.9. Jenis validasi Suhu Permukaan*

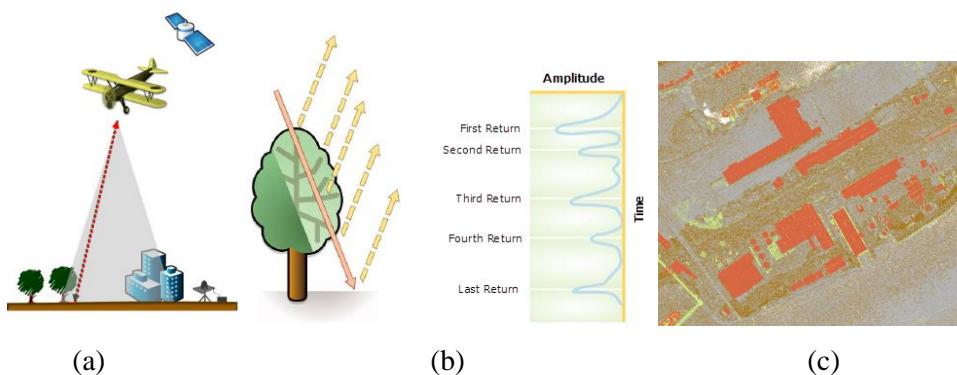
No	Metode Validasi	Keterangan	Teknik kalibrasi
1	Validasi berbasis suhu	Perbandingan suhu pengukuran <i>in-situ/lapangan</i>	RMSE (Root Mean Square Error)
2	Validasi berbasis <i>radiance</i>	<i>standardized cross-validation</i> terhadap radiance citra satellite sejenis	
3	Validasi <i>inter-comparison</i>	<i>standardized cross-validation</i> terhadap kondisi permukaan	

*Sumber: sintesa pustaka, 2020*

#### 2.4. Citra LiDAR

*Light Detection and Ranging (LiDAR)* adalah teknologi yang mirip dengan RADAR yang dapat digunakan untuk membuat model elevasi digital (Aktas) resolusi tinggi dengan akurasi vertikal 0,3-10 cm. Peralatan LIDAR, yang meliputi pemindai laser, Global Positioning System (GPS), dan *Inertial Navigation System* (INS) umumnya dipasang di pesawat kecil. Pemindai laser mentransmisikan *pulse laser* ke permukaan tanah, dari mana mereka dipantulkan atau tersebar kembali ke pemindai laser. Jarak antara pemindai laser dan tanah kemudian dihitung

berdasarkan kecepatan cahaya. Sehingga memberikan informasi 3D yang tepat tentang rupa permukaan tersebut (ESRI, 2020e). Sistem LiDAR memungkinkan para ilmuwan dan profesional untuk memeriksa lingkungan alami dan buatan manusia dengan akurasi, presisi, dan fleksibilitas. LiDAR dapat menghasilkan peta garis pantai yang lebih akurat dan model elevasi digital untuk tanggap darurat bencana, sebaran pohon, jembatan, gedung, kedalaman sungai hingga kedalaman laut (NOAA, 2020).



Gambar 2.14. (a) *LIDAR processing* (b) Skema perhitungan pengembalian laser LIDAR (c) Point Cloud data LiDAR pasca-processing  
Sumber: (ESRI, 2020f)

Data lidar yang diorganisasikan secara spasial pasca-pemrosesan dikenal sebagai data *point cloud*. Cloud titik awal adalah koleksi besar titik ketinggian 3D, yang meliputi x, y, dan z, bersama dengan atribut tambahan seperti stempel waktu GPS. Fitur permukaan spesifik yang pertemuan laser diklasifikasikan setelah *point cloud* lidar awal pasca-diproses. Ketinggian untuk tanah, bangunan, kanopi hutan, jalan layang, dan hal lain yang ditemui oleh sinar laser selama survei merupakan data *point cloud*. Selain itu melalui pesawat LiDAR juga bisa diambil foto citra/*aerial imagery* dengan resolusi pixel juga mencapai 0,3cm. Sehingga data ini dapat digunakan untuk mengamati permukaan secara lebih detail (ESRI, 2020f)

## 2.5. Adaptasi *Urban Heat Island*

### 2.5.3. Adaptasi

Beradaptasi dengan *climate change* dapat dianggap sebagai tema “baru” pada tahap perencanaan (Garschagen, 2014). Kebutuhan untuk mengatasi *climate change* dari sudut pandang adaptasi merupakan lompatan besar dari logika global ke skala urban dan lokal. Adaptasi adalah isu perkotaan dan lokal, karena sangat

spesifik bagaimana cara kota dan penduduknya menemukan kebijakan yang sesuai untuk diterapkan dalam semua konteks (Nurse et al., 2014). Kebutuhan untuk menghadapi *climate change* pada skala perkotaan dapat dikaitkan dengan berbagai pertimbangan, yang harus ditangani secara integratif. *Climate change* menjadi masalah dalam agenda perkotaan dalam menanggapi kebutuhan untuk menghadapi kerentanan kota, didefinisikan sebagai “sejauh mana orang, tempat, institusi dan sektor-sektor rentan terhadap, dan tidak mampu mengatasi, dampak perubahan iklim dan bahaya” (UN-HABITAT, 2010). Pada tingkat konseptual, adaptasi akan mengadopsi kerangka teori terpadu yang mampu mengintegrasikan adaptasi perubahan iklim dan Pengurangan Risiko Bencana (PRB) juga mempertimbangkan relevansinya untuk perencanaan kota. (Musco, 2016).

Banyak respons terkait lahan yang berkontribusi pada adaptasi perubahan iklim dapat mengurangi degradasi lahan perkotaan (IPCC, 2019). Adaptasi dapat dibagi menjadi: (i) antisipatif, (ii) otonom dan (iii) direncanakan. Jika dalam beberapa dekade terakhir, konsep "keberlanjutan" telah menjadi elemen kunci dari pembangunan kota, dan "adaptasi" bertujuan meletakkan fondasi untuk daya tahan melalui strategi, tindakan, dan tindakan spesifik (Musco, 2016). Mengingat kesulitan dalam memprediksi perubahan parameter iklim pada skala dan komponen alami yang berbeda, strategi adaptasi harus diatur dengan mencari tidak hanya untuk memastikan fungsionalitas sistem tetapi juga untuk mengambil keuntungan dari peluang yang mungkin timbul dari perubahan secara temporal (Suhua, 2019). Pada pembahasan UHI dikawasan Surabaya Timur, akan ditekankan pada adaptasi pada sudut pandang ketiga atau direncanakan.

Adaptasi terdiri dari tindakan di seluruh masyarakat, oleh individu, kelompok dan pemerintah. Adaptasi dapat dimotivasi oleh banyak faktor, termasuk perlindungan kesejahteraan ekonomi atau peningkatan keamanan (Adger, 2005). Karena pertumbuhan manusia berpusat diperkotaan, maka adaptasi perkotaan merupakan upaya dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan (Revi, 2014). Perbedaan adaptasi dan mitigasi dalam konteks *urban climate change* adalah penekanan mitigasi lebih pada topik Carbon Dioksida (C0<sub>2</sub>) dan melingkupi variabel yang dinamis (IPCC, 2019). Sehingga istilah adaptasi digunakan pada fokus penelitian karena berorientasi pada fisik perkotaan yaitu *urban configuration*.

#### **2.5.4. Adaptasi *Urban Heat Island***

Diperlukan manajemen dalam pengelolaan *urban heat island* agar tercipta kenyamanan thermal melalui penataan kawasan (Gartland, 2008). Menurut Yamamoto (2006), adaptasi dalam pengolahan UHI dibedakan berdasarkan skala keterpengaruhannya, mulai dari individual hingga antar kota (*mikroscale* hingga *mesoscale*). Dalam lingkup perkotaan adaptasi dapat dilakukan melalui peningkatan penutup permukaan buatan (pengurangan transfer panas) dan perbaikan struktur perkotaan (Cao, 2017). Dalam kasus perubahan iklim penggunaan adaptasi lebih ditekankan pada pendekatan fisik, berbeda dengan mitigasi yang berorientasi pada emisi (IPCC, 2019; Satterthwaite, 2007). Adaptasi dapat berupa pengaturan *urban form* yang terdiri dari *urban geometry*, *urban material* dan *urban green infrastructure* (Hove et al., 2011; Ayu Candra Kurniati, 2016; Qi, 2020; Noviyanti, 2016, Liang, 2020; C.Jhonson, 2015). Terdapat 7 tahapan agar perumusan konsep adaptasi UHI dapat efektif diterapkan (Richardson, 2007):

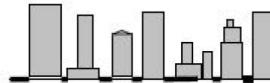
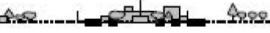
- a. Fokus adaptasi pada wilayah geografis yang memiliki resiko UHI
- b. Setiap daerah perlu menilai kondisi lokal untuk menentukan kemungkinan penyebab utama UHI.
- c. Berdasarkan kondisi sosial dan fisik setempat, identifikasi kemungkinan tindakan adaptasi yang sesuai untuk setiap wilayah.
- d. Memprioritaskan langkah-langkah tersebut dengan potensi menurunkan suhu terbesar.
- e. Mempertimbangkan implikasi skenario dan evaluasi biaya/manfaat di berbagai skala waktu.
- f. Melibatkan penduduk dan pemangku kepentingan lainnya, terutama terkait dengan implementasi program.
- g. Melakukan evaluasi dan monitoring terhadap keberhasilan adaptasi.

#### **2.5.5. *Urban Configuration* dalam Adaptasi UHI**

Tipologi distrik kota atau *urban configuration* memiliki pengaruh pada iklim lokal. Watkins (2002) menunjukkan bagaimana tipologi daerah perkotaan mempengaruhi intensitas UHI-nya melalui delapan kategori *urban configuration* dan 'kehijauan'. Sifat permukaan dan akses ke langit untuk penerimaan panas dan

emisi energi adalah faktor penting. Kedelapan kategori tersebut mewakili peningkatan urbanisasi, yaitu peningkatan kapasitas panas lokal, dan penurunan vegetasi dan *sky view factor* (Hove et al., 2011). Kemudian P. R. Oke (2006) menunjukkan sejauh mana topology berupa *urban climate zone (UCZ)* dalam desain perkotaan dapat secara signifikan mempengaruhi intensitas *Urban Heat Island*. Hingga kategori 3 (daerah perkotaan kepadatan menengah) ditemukan peningkatan intensitas UHI siang hari rata-rata. Pada kategori 2 (daerah terbangun kepadatan tinggi) intensitas UHI siang hari rata-rata terkadang lebih rendah daripada yang ditemukan di daerah kategori 2 yang mungkin disebabkan oleh efek bayangan yang meningkat.

Tabel 2.10. Tabel Urban Climate Zone (UCZ) sebagai bentuk pembagian *urban Configuration*

Kelas	Urban Climate Zona, UCZ	Gambar	Sky View Factor	Build (%)	Land Use
1	Perkotaan yang sangat berkembang dengan bangunan tinggi bertingkat yang berdekatan <b>Misalnya:</b> pusat kota ( <i>downtown</i> )		>2	>90	CBD (central business district)
2	Perkotaan dengan kepadatan tinggi berkembang dengan 2-5 lantai, bangunan yang melekat atau sangat dekat sering kali dari batu bata atau batu, <b>Misalnya:</b> pusat kota lama		1.0-2.5	>85	Bangunan cagar budaya, perdagangan, kantor
3	Perkotaan dengan kepadatan menengah yang sangat maju dengan rumah-rumah, tokotoko dan apartemen-apartemen yang terpisah atau terpisah, tetapi <b>Misalnya:</b> perumahan kota		0.5-1.5	70-85	Ruko, permukiman, perdagangan dan jasa
4	Perkotaan dengan kepadatan rendah atau sedang yang sangat berkembang dengan bangunan rendah besar dan parkir beraspal. <b>Misalnya:</b> pusat perbelanjaan, gudang		0.05-0.2	70-95	Perdagangan dan jasa, industri, gudang
5	Pembangunan sedang, pinggiran kota kepadatan rendah dengan 1 atau 2 rumah bertingkat. <b>Dominan permukaan:</b> perumahan transisi, atau lahan terbangun sedang		0.2-0.6 (lebih dari >1, dengan pohon)	35-65	Permukiman, ruang terbuka
6	<i>Mixed use</i> dengan bangunan besar di lanskap terbuka. <b>Dominan permukaan:</b> institusi dan vegetasi		0.1-0.5 (tergantung pohon)	<40	rumah sakit, universitas, bandara, Per mukiman ruang terbuka
7	Perkembangan semi-rural, rumah-rumah yang tersebar di area alami atau pertanian. <b>Dominan permukaan:</b> pertanian, perkebunan, dan vegetasi lainnya		>0.05	<10	Permukiman, ruang terbuka

Sumber: Oke, 2006 dan Watskin, 2002

### **2.5.5.1.Prioritisasi *Urban Green Infrastructure* dalam pembentuk kota sejuk**

*Urban Green Infrastructure* sebagai salah satu variabel adaptasi UHI mampu membentuk kota terasa lebih sejuk sehingga nyaman untuk beraktivitas (Lovell, 2013). Konsep adaptasi UHI melalui *Urban Green Infrastruktur* sudah banyak diterapkan di beberapa kota di dunia (Herath, 2018; Larsen, 2015; Norton et al., 2015; Saaroni, 2018). Dalam penerapannya prioritisasi *urban green infrastructure* perlu dikaji lebih mendalam, karena berpengaruh terhadap efektifitas pada suhu perkotaan. Semakin mendekati pusat UGI perlu dibuat zona transisi semacam jalur hijau dalam radius kurang lebih 1km agar pengaruh UGI terhadap UHI dapat optimal (Norton et al., 2015; O’Malley, 2015). Perlu diperhatikan skala kecil penghijauan permukaan tidak efektif dalam beradaptasi dengan pemanasan perkotaan. Namun apabila terpola akan cukup efektif untuk mengurangi pemanasan global dan UHI (Yumino, 2015).

Tabel 2.11. Model *Urban Green Infrastructure* dalam memprioritaskan lokasi dan mengoptimalkan pendinginan

<i>Urban Green Infrastructure</i>	<i>Green Open Space</i>	<i>Tree</i>	<i>Green roofs</i>	<i>Vertical Greening</i>
Suasana permukaan koridor?	Iya, jika rumput lebih dominan dari beton	Iya	Kondisi atap, bukan internal permukaan koridor	Iya
Suasana orang	Iya, jika berpohon	Iya	Tidak, hanya sangat intensive <i>green roof</i>	Tidak
Peningkatan pantulan panas (reflektivitas)	Iya, jika berumput	Iya	Iya, jika tanaman sehat	Iya
Pendinginan <i>Evapo-transpirative?</i>	Iya, jika dengan air	Iya (selama tidak mengalami kekeringan)	Iya, dengan air ketika panas	Iya, dengan air ketika panas
	Tidak, jika tanpa air		Tidak, jika tanpa air	Tidak, jika tanpa air
Prioritas lokasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jalan yang lebar dengan bangunan rendah – di kedua sisi</li> <li>• Jalan yang lebar dengan bangunan tinggi – sisi yang terkena matahari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jalan yang lebar dengan bangunan rendah – di kedua sisi</li> <li>• Jalan yang lebar dengan bangunan tinggi – sisi yang terkena matahari</li> <li>• Pada ruang terbuka hijau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atap yang terkena matahari</li> <li>• Bangunan yang dikategorikan miskin</li> <li>• Bangunan lebar tapi rendah</li> <li>• Daerah padat dengan ketersediaan ruang terbuka rendah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinding koridor yang terkena matahari langsung</li> <li>• Sempit/lebar koridor dimana pohon tidak dapat disediakan</li> </ul>

Sumber: Norton et al. (2015)

*Urban Green Infrastructure* adalah unsur pembentuk *Green-Blue City* (Saaroni, 2018). *Green-Blue city* merupakan area perkotaan yang didesain untuk mengatur sistem alami dalam meningkatkan kualitas ekologi, nilai kemudahan yang terkait dengan penghijauan kota, dan juga menyediakan manajemen iklim. Meliputi “green” aset (pohon, taman, kebun) dan “blue” aset (*water sensitive urban design* (WSUD), area drainase, dan penampung banjir) yang terencana. Ditujukan dalam mengatasi pola iklim dan suhu ekstrim (Victoria, 2017)



Gambar 2.15. Position *Green-Blue Infrastructure*

Sumber: Victoria (2017)

*Tabel 2.12. Tabel Elemen Green-Blue Infrastructure*

No	Elemen <i>Green-Blue Infrastructure</i>		Keterangan
1	<i>Green roofs</i>		Atap hijau adalah atap bangunan yang sudah ada sebagian atau seluruhnya tertutup vegetasi yang ditanam ke dalam media
2	<i>Green walls</i>		taman vertikal di samping sebuah bangunan yang terdiri dari tumbuh-tumbuhan dalam media tumbuh yang terpasang ke dinding.
3	<i>Street trees</i>		Penanaman pohon pada trotoar yang bisa dirancang untuk menjadi irigasi pasif dari limpasan stormwater dari trotoar dan jalan
4	<i>Gardens</i>		Kebun terdiri dari tumbuh-tumbuhan media tumbuh (tanah). Dirancang untuk menangkap, menahan dan merawat limpasan stormwater sebelum masuk ke tanah
5	<i>Swales</i>		Sengkedan adalah saluran terbuka yang dangkal dan bervegetasi yang membawa serta mengolah stormwater. Vegetasi dapat berupa rumput
6	<i>Parks</i>		Taman adalah area ruang terbuka publik yang menyediakan berbagai kegiatan rekreasi bagi masyarakat setempat.
7	<i>Sports grounds</i>		area ruang terbuka yang luas yang mendukung kegiatan rekreasi aktif.
8	<i>Urban agriculture</i>		Sumber produksi lokal produk makanan. Dapat mencakup kebun komunitas yang terbuka untuk umum, atau pertanian perkotaan skala kecil yang layak secara komersial.

9	<i>Green corridors</i>		Koridor hijau adalah ruang hijau linier yang dapat menyediakan berbagai layanan koneksi termasuk habitat alami dan jalur rekreasi.
10	<i>Ponds and Lakes</i>		Kolam dan danau adalah badan air terbuka yang dirancang untuk menampung air secara permanen. Pada sempadannya dapat diberikan vegetasi
11	<i>Wetlands</i>		badan air yang sangat bervegetasi.
12	<i>Waterways</i>		Saluran air adalah saluran yang menangkap dan menyampaikan aliran dari tangkapan, termasuk sungai, anak sungai dan sungai dan bisa alami atau sistem yang dimodifikasi
13	<i>Urban Forests</i>		Hutan adalah area besar penanaman pohon, semak dan penutup tanah yang lebat. Dapat berupa sisa, tumbuh kembali atau hutan kota yang baru dibuat.

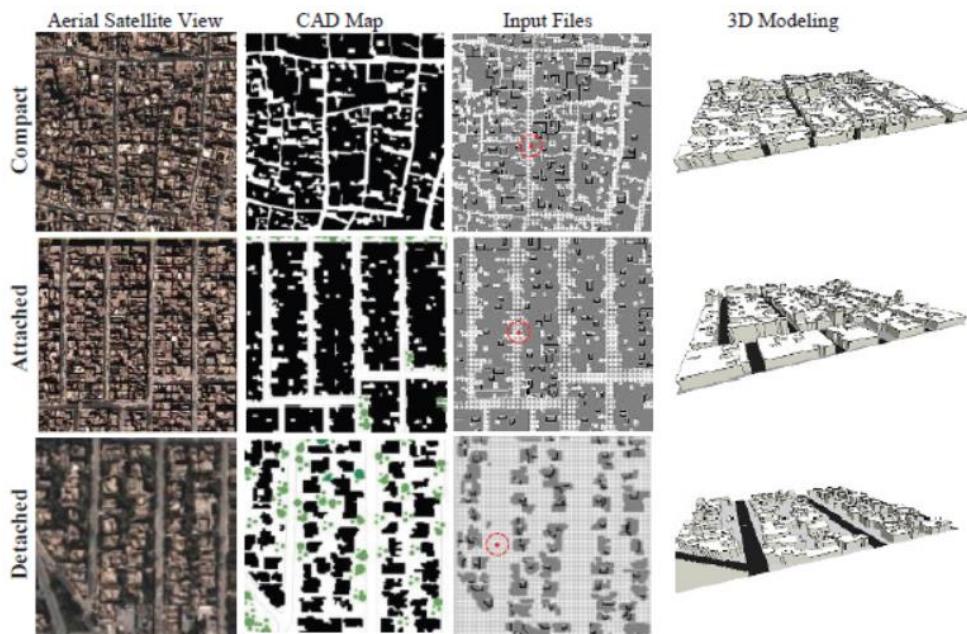


Gambar 2.16. Elemen *Green-Blue Infrastructure* penerapan dalam skala  
Sumber: Victoria (2017)

### 2.5.5.2. Penataan *urban form* sebagai strategi adaptasi UHI

Pengaruh adanya urbanisasi berakibat pada perubahan fisik perkotaan (IPCC, 2019). Pola *urban form* yang dimodifikasi dari urbanisasi mengarah pada pembentukan iklim perkotaan yang berbeda (Coutts et al., 2016). Studi di Irak menunjukkan terdapat 3 pola *urban form* yang berpengaruh terhadap UHI, diantaranya kompak, teratur dan tidak teratur. Model perkotaan yang paling efektif dalam meminimalisir suhu adalah *Compact urban form* (Alobaydi, 2016). Istilah konsep *Compact Eco-City* sering menjadi isu yang disorot dalam manajemen

perkotaan, khususnya adaptasi UHI (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Moriyama & Tanaka, 2012; Norton et al., 2015). *Urban form* yang bersifat menurunkan suhu mampu meminimalisir peningkatan suhu di kawasan tetangganya (Alobaydi, 2016). Hal ini sejalan dengan kebutuhan akan green space dan water space sebagai salah satu unsur guna meningkatkan *compact* nya suatu perkotaan.



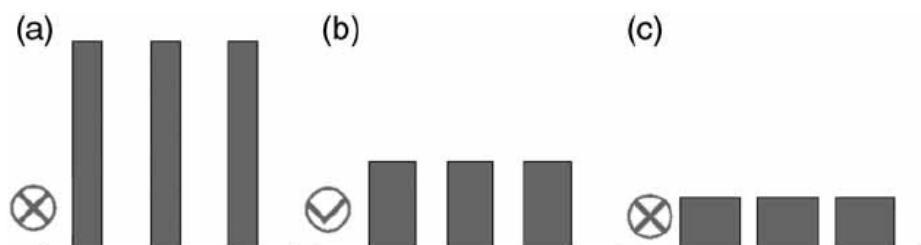
Gambar 2.17. Karakteristik konfigurasi *Urban Form*  
Sumber: Alobaydi (2016)

Perencanaan pembangunan spasial, yang mengontrol pertumbuhan area yang dibangun dan menambahkan kompleksitas lahan akan menciptakan lingkungan perkotaan yang nyaman dan ramah (Rushayati, 2016). Konsep pengembangan *Compact city* dapat berupa:

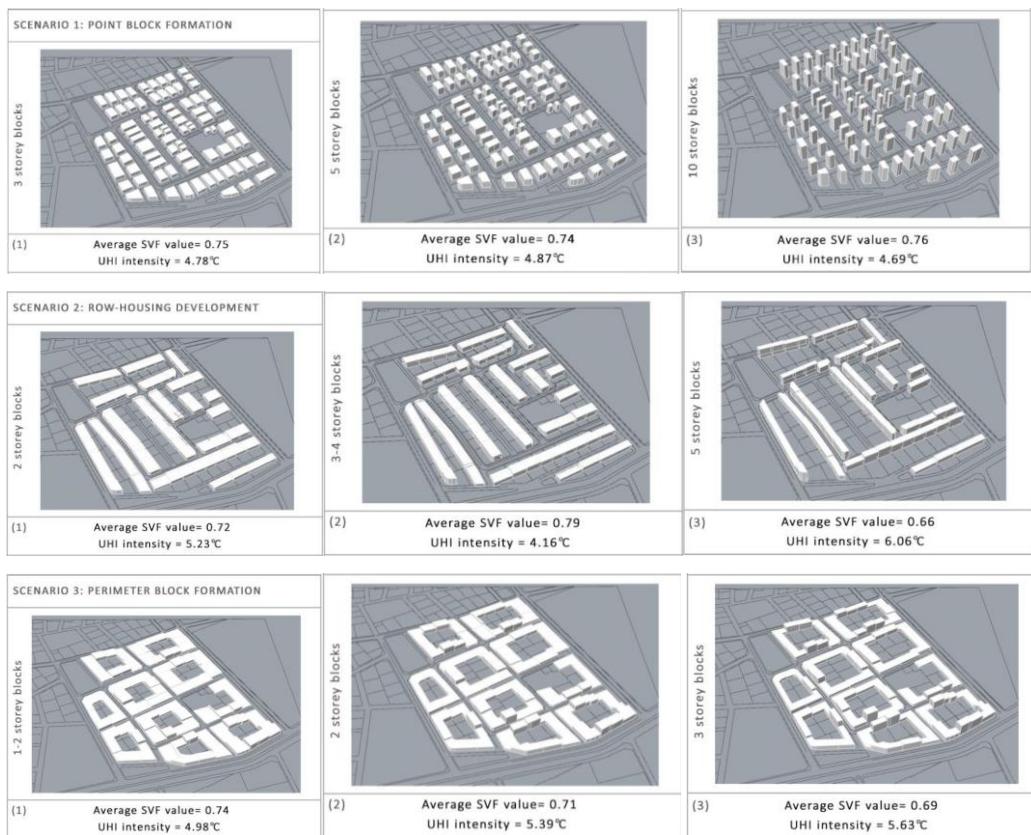
1. *Compact eco-city*: Berorientasi pada pengembangan RTH pada lahan yang terbatas. Dapat berupa peningkatan jalur hijau, RTH vertikal dan *rooftop garden* (Hamin & Gurran, 2009; Rushayati, 2016; Tursilowati, 2002)
2. Mengoptimalkan *mix use* atau banyak penggunaan lahan lain dalam radius yang berdekatan (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Norton et al., 2015; Rushayati, 2016)
3. Pengembangan bangunan vertikal yang berorientasi pada lingkungan (Liang, 2020; Rushayati, 2016)

4. Bangunan tinggi yang mengarah ke wilayah pesisir perlu dibatasi agar tidak mengganggu sirkulasi udara (Biesbroek, 2009; Hamin & Gurran, 2009; Rushayati, 2016).
5. Memiliki bentuk bangunan yang relatif sederhana (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018; Liang, 2020)
6. Memiliki kepadatan serta kontinuitas rendah untuk penggunaan lahan kategori terbangun (Alobaydi, 2016; Liang, 2020; Zulkarnain, 2016)

Istilah *urban form* dapat diamati dari sisi *urban geometry*. Skema adaptasi *urban geometry* perlu mempertimbangkan kepadatan bangunan dan *sky view factor*. Hasil dari uji sensitivitas Yuan and Chen (2011) menunjukkan bahwa rongga antar bangunan dapat meminimalisir peningkatan suhu. Hal tersebut dikarenakan pantulan matahari tidak langsung terkena permukaan pada area *boundary layer (UBL)*. Sehingga *urban planner* perlu menekan angka kepadatan bangunan (Dirksen, Ronda, Theeuwes, & Pagani, 2019). Dalam merancang model operasional desain perkotaan yang responsif terhadap iklim, penelitian Sakar, Çalışkan, and Planning (2019) menunjukkan bahwa model bangunan dengan jumlah lantai 3-4 dengan rata-rata area tercover bangunan 40% adalah perancangan yang mampu menekan angka UHI. Sedangkan daerah yang membatasi ruang bebas pada sekitar koridor jalan memiliki intensitas UHI yang lebih tinggi. Sehingga bangunan tinggi belum tentu berimplikasi pada peningkatan suhu, bergantung pada orientasi bangunan terhadap jalan. Semakin rendah kepadatan bangunan semakin rendah pula nilai *sky view factor* dan intensitas suhu yang terjadi (Ratti, Raydan, & Steemers, 2003).

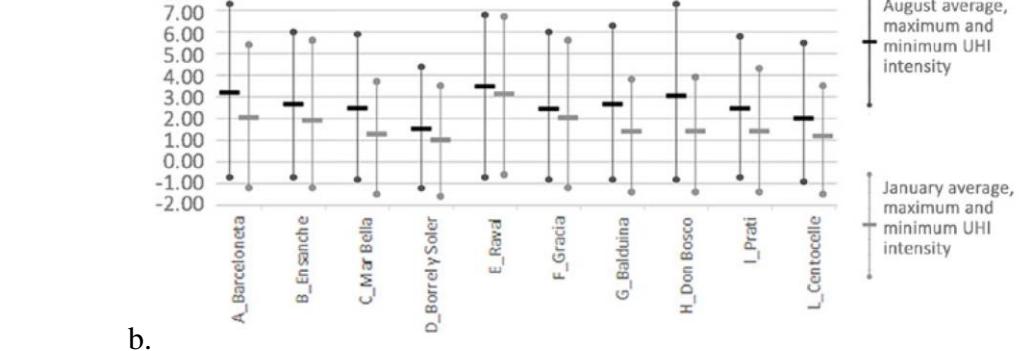
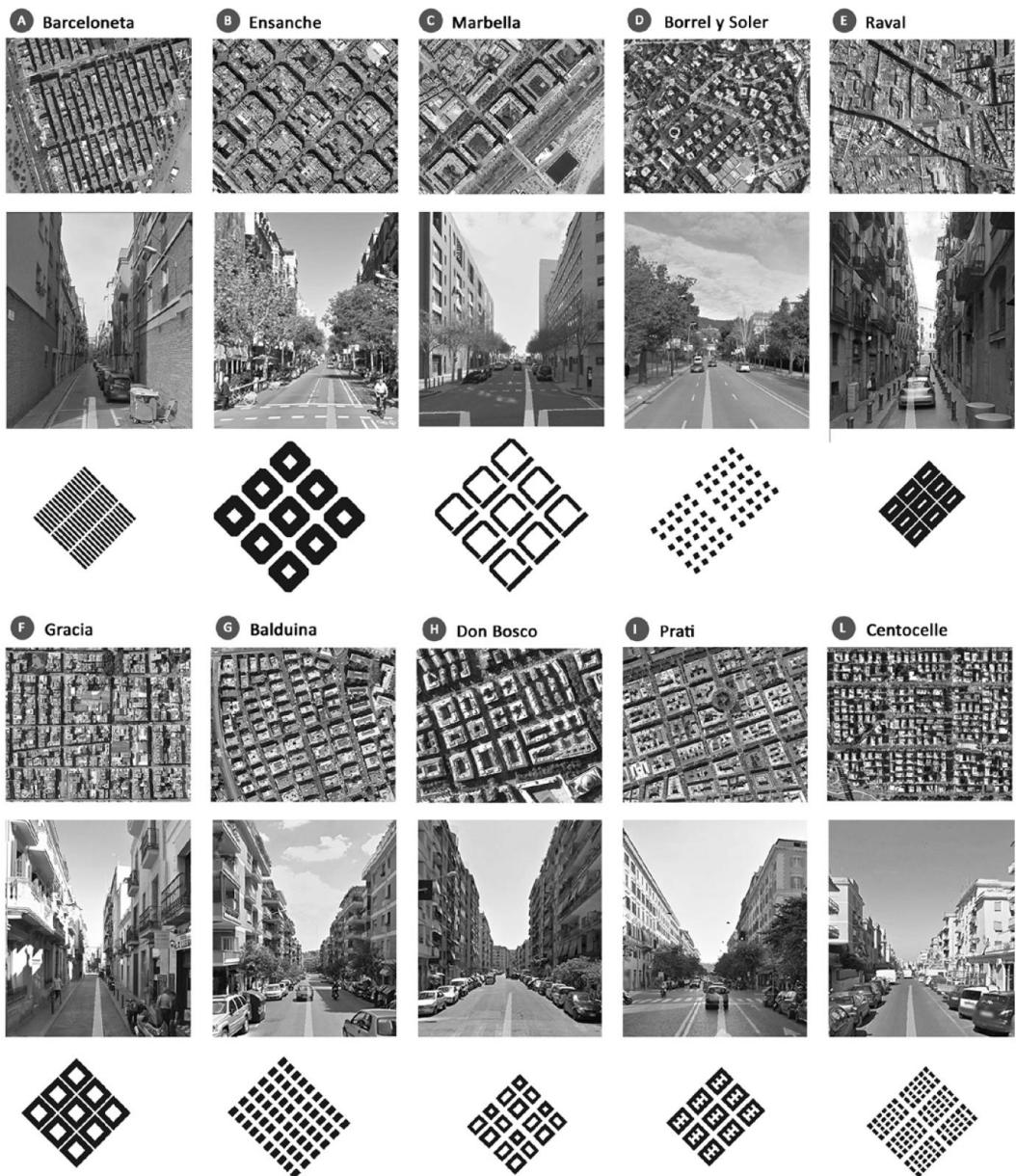


Gambar 2.18. Strategi urban geometry  
Sumber: (Yuan & Chen, 2011)



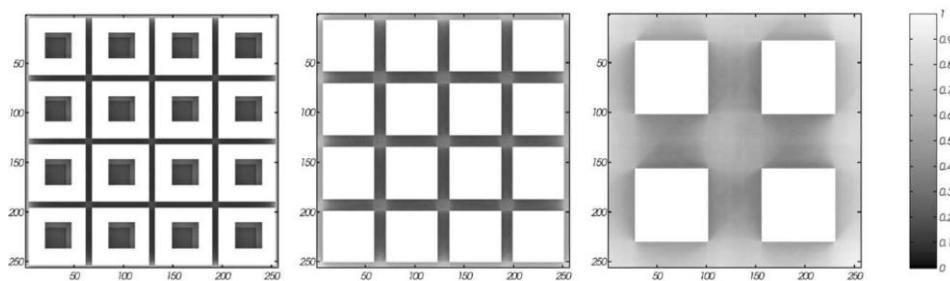
Gambar 2.19. Desain model perkotaan untuk respon terhadap iklim  
Sumber: Sakar et al. (2019)

Selain melalui literatur kebijakan lokal, guna menekan angka kepadatan dapat dilakukan dengan mereview studi yang telah diterapkan di perkotaan lain. Di beberapa kota memiliki pola morfologi yang berbeda beda. Hal tersebut dapat menjadi *identity* dari perkotaan dan berdampak pada lingkungan thermal (Salvati, Cecere, & Coch, 2016). Di negara Jepang, sebagai salah satu negara di asia juga menerapkan pengaturan morfologi kota dalam hal *climate change*. Jepang merupakan salah satu negara dengan toleransi adaptasi perkotaan terhadap iklim yang cukup tinggi. Konsep tersebut memberikan gambaran batasan lahan yang dapat dikembangkan menjadi bangunan (Ministri of Land Infrastructure and Transport Japan, 2015). Di Indonesia istilah tersebut dikenal dengan intensitas pemanfaatan ruang (IPR). Lebih jelasnya akan dijabarkan dalam model berikut.



Gambar 2.20. (a) Foto udara morfologi perkotaan dan *normalized model* dari berbagai studi kasus  
 (b) Maximum, minimum dan rata-rata UHI pada morfologi kota yang berbeda

Sumber: Salvati et al. (2016)



Gambar 2.21. *Sky View Factor* dari level koridor jalan dari morfologi bentuk perkotaan  
Sumber: Ratti, Raydan, Steemers, and buildings (2003)

Tabel 2.12. Rasio kepadatan bangunan regulasi berdasarkan zona penggunaan lahan

No	Kategori penggunaan lahan	Max. ratio kepadatan bangunan (%)
1	Kategori I zona perumahan rendah	30, 40, 50, 60
2	Kategori II zona perumahan rendah	30, 40, 50, 60
3	Kategori I zona perumahan berorientasi menengah/tinggi	30, 40, 50, 60
4	Kategori II zona perumahan berorientasi menengah/tinggi	30, 40, 50, 60
5	Kategori I zona perumahan	30, 40, 50, 60
6	Kategori II zona perumahan	50, 60, 80
7	Zona semi-perumahan	50, 60, 80
8	Zona komersial lingkungan	60, 80
9	Zona komersial	80
10	Zona semi-industri	50, 60, 80
11	Zona industri	50, 60
12	Zona industri eksklusif	30, 40, 50, 60

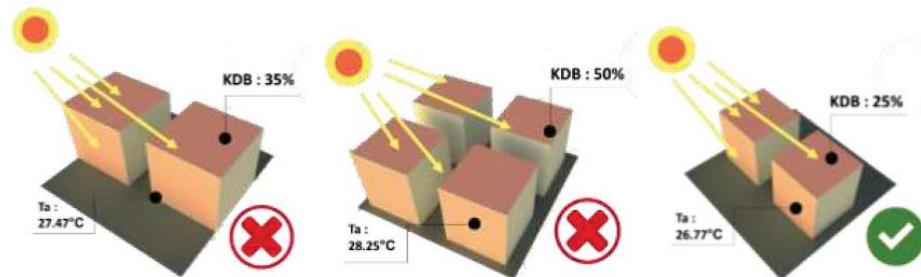
Sumber: (Ministri of Land Infrastructure and Transport Japan, 2015)

\*lampiran1

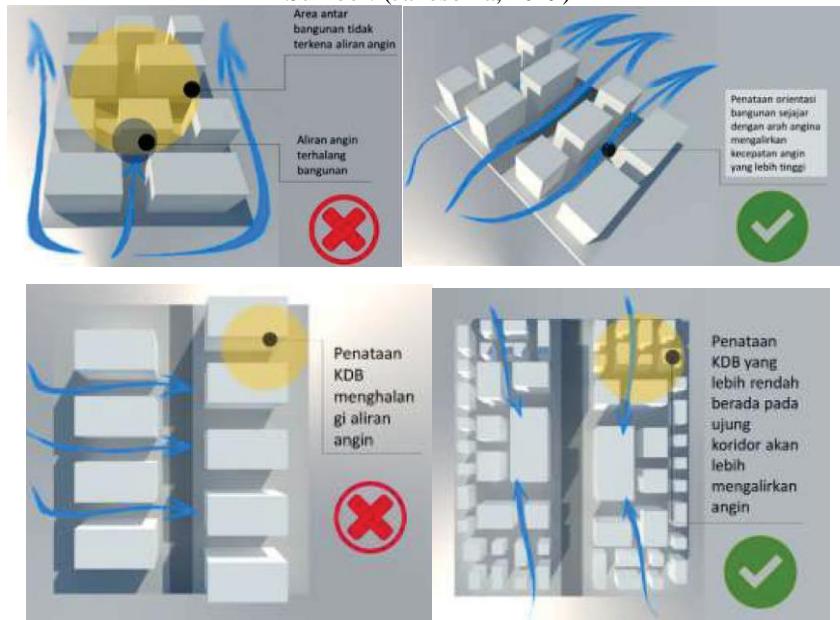
Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa pola perkotaan yang memiliki suhu relative rendah secara berturut adalah (B) Borrel y sorel, (C) Marbella dan (L) Centocelle. Kota ini memiliki karakteristik adanya ruang sempadan antar bangunan. Baik pada kawasan kepadatan tinggi maupun rendah, kompleksitas penggunaan lahan juga berpengaruh dalam hal ini (Salvati et al., 2016). Didukung oleh penelitian Ratti, Raydan, Steemers, et al. (2003) pada model tipe halaman perkotaan yang paling tepat untuk kawasan tropis adalah tipe ke 3. Melalui perhitungan rasio lahan terbangun, kepadatan bangunan dan *sky view factor*, tipe yang pertama dan

kedua sangat mempengaruhi panas perkotaan. Dari sisi perancangan di Kota Surabaya, Janesonnia (2019) membagi kedalam high rise, medium rise dan low rise.

### 1. Prinsip perancangan pada area *high rise*



Gambar 2.22. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik KDB pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



Gambar 2.23. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penataan masa bangunan pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



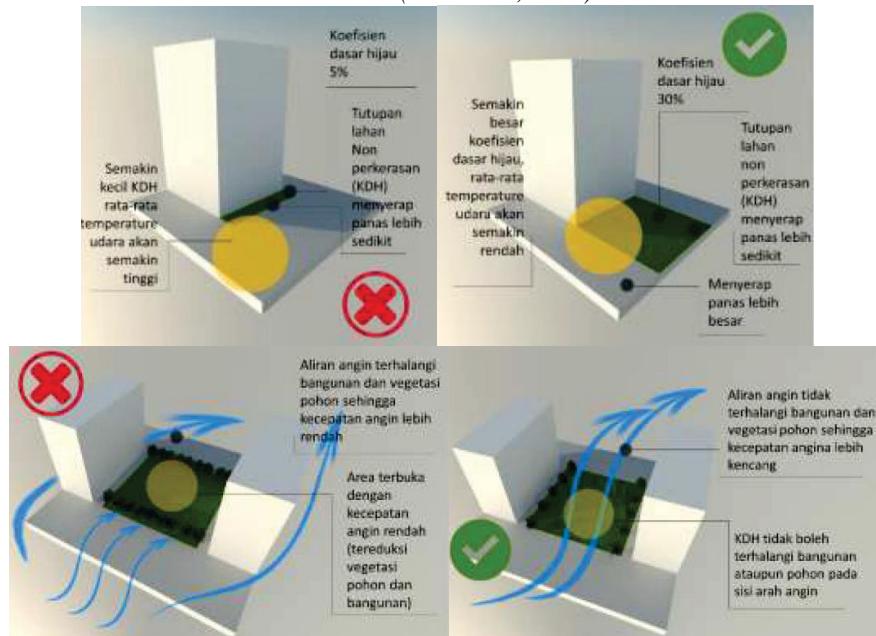
Gambar 2.24. Ilustrasi prinsip perancangan jarak antar bangunan pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



KLB	KDB	Jumlah Lantai Maksimum	Ketingian Bangunan Maksimum
4	100%	4 lantai	16 m
6	100%	6 lantai	24 m
4	50%	8 lantai	32 m
6	50%	12 lantai	48 m
4	35%	12 lantai	46 m
6	35%	17 lantai	68 m
4	25%	16 lantai	64 m
6	25%	24 lantai	96 m

Ketentuan inensitas lahan paling optimum berdasarkan kenyamanan termal

Gambar 2.25. Ilustrasi prinsip perancangan koefisien lantai bangunan pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



Gambar 2.26. Ilustrasi prinsip koefisien dasar hijau pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)





Gambar 2.27. Ilustrasi prinsip penataan vegetasi pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



Gambar 2.28. Ilustrasi prinsip tutupan lahan perkerasan pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



Aspect ratio Bangunan	Ketinggian Bangunan Simulasi	Jumlah Lantai Bangunan	Jarak Antara Bangunan Simulasi	Ketentuan Jarak Minimal Antar Bangunan tiap Satu Lantai
1.6	82 m	21 lantai	51 m	2.5 m
2.66	80 m	20 lantai	30 m	1.5 m
4.8	130 m	32 lantai	27 m	0.8 m

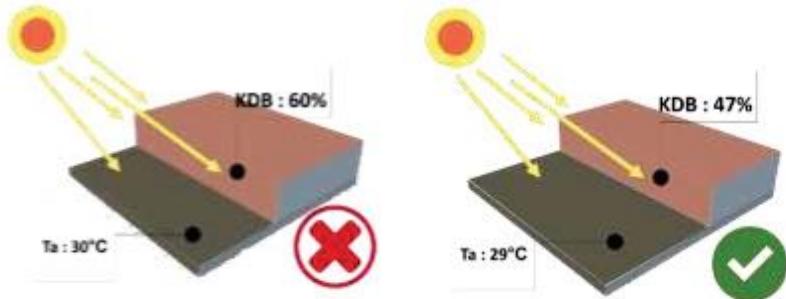
Ketentuan jarak antar bangunan untuk memaksimalkan angin

Gambar 2.29. Ilustrasi prinsip aspect ratio pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



Gambar 2.30. Ilustrasi prinsip penataan ketinggian pada Kawasan *high rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)

## 2. Prinsip perancangan pada area *medium rise*



Gambar 2.31. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik KDB pada Kawasan *medium rise*

Sumber: (Janesonia, 2019)



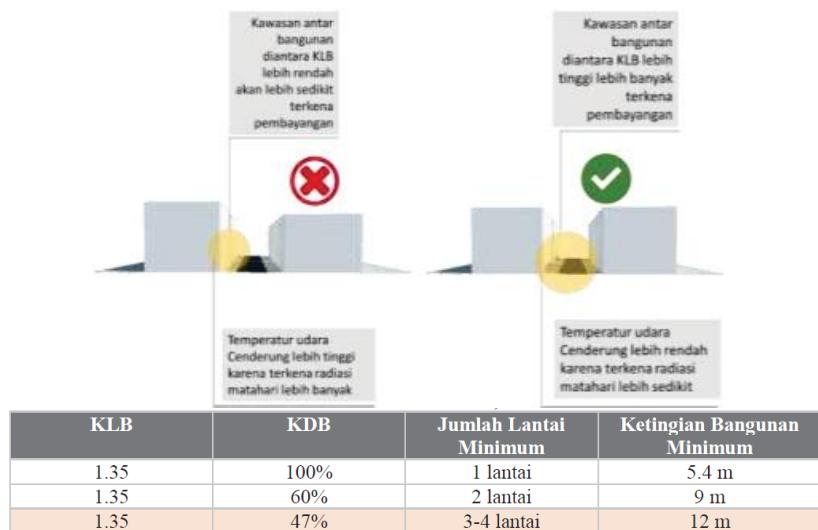
Gambar 2.32. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penataan jarak antar massa bangunan pada Kawasan *medium rise*

Sumber: (Janesonia, 2019)



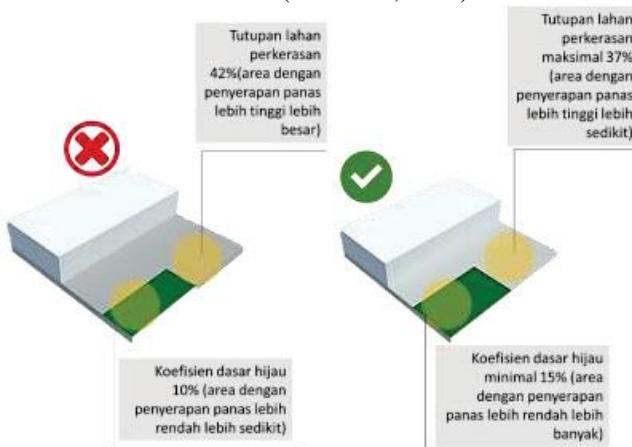
Gambar 2.33. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penataan masa bangunan Kawasan *medium rise*

Sumber: (Janesonia, 2019)



Gambar 2.34. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik koefisien lantai bangunan Kawasan *medium rise*

Sumber: (Janesonnia, 2019)



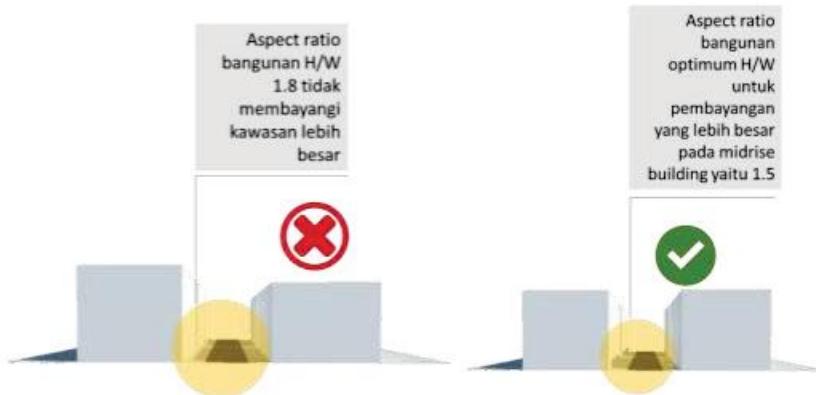
Gambar 2.35. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik tutupan lahan perkerasan dan non perkerasan Kawasan *medium rise*

Sumber: (Janesonnia, 2019)



Gambar 2.36. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik penambahan bangunan dan pepohonan Kawasan *medium rise*

Sumber: (Janesonia, 2019)



Aspect ratio Bangunan	Ketinggian Bangunan Simulasi	Jumlah Lantai Bangunan	Jarak Antar Bangunan Simulasi	Ketentuan Jarak Minimal Antar Bangunan tiap Satu Lantai
1.5	18 m	4 lantai	7.5 m	1.8 m
1.8	18 m	4 lantai	10 m	2.5 m

Ketentuan jarak antar bangunan untuk memaksimalkan pembayangan

Gambar 2.37. Ilustrasi prinsip perancangan komponen aspect ratio bangunan pada Kawasan *medium rise*

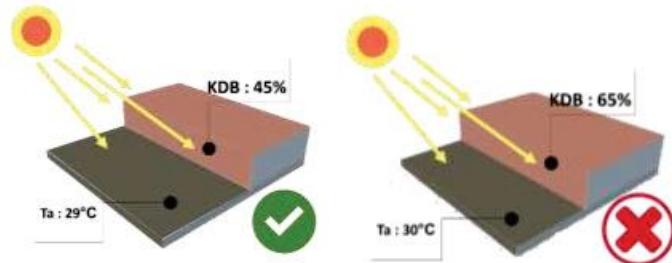
Sumber: (Janesonia, 2019)





Gambar 2.38. Ilustrasi prinsip perancangan penataan vegetasi pada Kawasan *medium rise*  
Sumber: (Janesonnia, 2019)

### 3. Prinsip perancangan pada area *low rise*



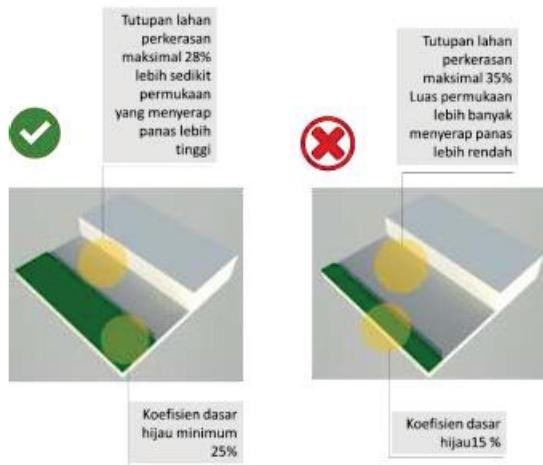
Gambar 2.39. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik KDB pada Kawasan *low rise*  
Sumber: (Janesonnia, 2019)



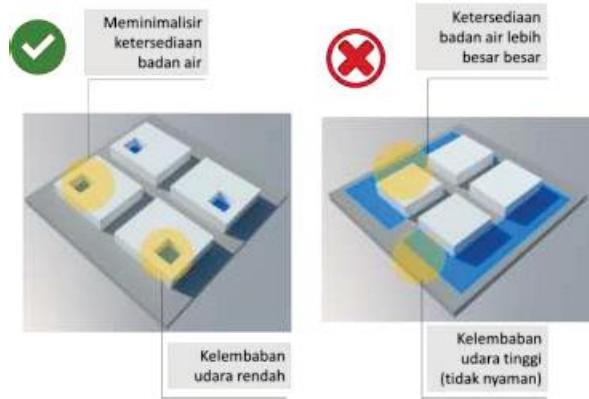
KLB	KDB	Jumlah Lantai Maksimum	Ketingian Bangunan Maksimum
0.7	100%	0.7 lantai	2.8 m
0.7	65%	1 lantai	4.3 m
0.7	45%	1.5 lantai	6.2 m

Ketentuan inensitas lahan paling optimum berdasarkan kenyamanan termal

Gambar 2.40. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik koefisien lantai bangunan Kawasan *low rise*  
Sumber: (Janesonnia, 2019)



Gambar 2.41. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik tutupan lahan perkerasan dan non perkerasan Kawasan *low rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)



Gambar 2.42. Ilustrasi prinsip perancangan komponen fisik ketersediaan badan air Kawasan *low rise*  
Sumber: (Janesonia, 2019)

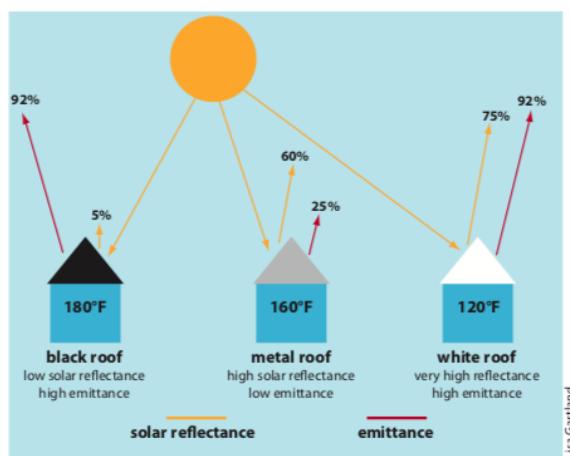
### 2.5.5.3. Alternatif jenis *urban material* dalam adaptasi UHI

Strategi pendinginan melalui jenis permukaan dapat menjadi alternatif dalam manajemen UHI. Tak jarang penelitian yang merekomendasikan pengaturan jenis permukaan bangunan. Karena hal ini merupakan faktor pembangunan yang dapat dibatasi dan diadaptasi dalam regulasi. Tujuan pemilihan material adalah untuk meningkatkan albedo (O’Malley, 2015; Pratiwi, 2018). Namun perlu menjadi catatan tidak semua permukaan dengan albedo tinggi mampu menurunkan suhu. Material reflektif yang mampu meningkatkan suhu permukaan diantaranya kaca, besi dan aspal yang tidak berorientasi pada lingkungan (Yumino, 2015). Pengaturan jenis *urban material* dalam adaptasi UHI diantaranya:

1. Jenis atap menjadi perhatian karena sekitar 25% permukaan perkotaan berupa bangunan. Perkembangan teknologi bahan atap mampu menghadirkan kenyaman lingkungan, efisiensi biaya, ramah lingkungan dan mengurangi efek UHI tentunya.

### **b. Cool roof**

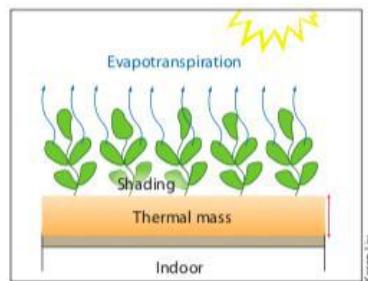
*Cool roof* memantulkan dan memancarkan panas sekitar 28-33°C dari permukaan penutup atap (EPA, 2012b). Atap dingin bercat cerah memiliki tingkat tinggi albedo dan permukaannya memantulkan radiasi matahari untuk mengurangi panas yang diserap (Roman, 2016). Perkembangan teknologi *Cool Roof* memungkinkan untuk menciptakan warna yang bervariasi dengan menggunakan pigmen reflektif inframerah seperti cat termos kromik, pelapis *Phase Change Material (PCM)* (Junjing Yang et al., 2018).



Gambar 2.43. perbedaan jenis atap dalam memantulkan, menyerap dan melepaskan radiasi  
Sumber: EPA (2012b)

### **c. Green Roof**

Lapisan vegetasi *green roof* dibangun di atas media tanam minimum tanah dan kedap air. Green roof terdiri dari ekstensif dan intensif (Junjing Yang et al., 2018). Ekstensif menggunakan tanaman berbobot lebih ringan seperti seperti sedum, sukulen, tanaman keras dan vegetasi lain. Kelebihan desain ini mudah dalam *maintenance*. Sementara intensif dibuat menyerupai taman konvensional dan tidak ada batasan jenis vegetasi



Gambar 2.44. Proses *green roof* dalam meminimalisir panas  
Sumber: EPA (2012b)

2. Jenis perkerasan akan mempengaruhi banyaknya albedo yang dipantulkan. Berdasarkan Mohajerani (2017) jenis perkerasan yang dapat digunakan untuk adaptasi UHI diantaranya:

#### *a. Cool pavement*

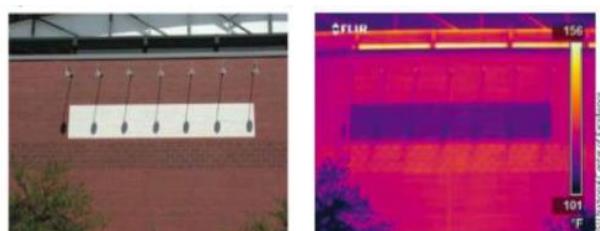
Tidak seperti bahan perkerasan berwarna gelap, perkerasan dingin memiliki permukaan yang dilapisi dengan aditif atau pigmen untuk memantulkan radiasi matahari. Warna cerah akan memantulkan panas matahari daripada paving yang gelap (Pratiwi, 2018). Jika permukaan perkerasan reflektor surya meningkat dari 10 menjadi 35%, suhu udara berpotensi turun menjadi  $0,6^{\circ}\text{C}$  (EPA, 2012a).



Gambar 2.45. skema *cool pavement* dalam mengurangi suhu  
Sumber: clearstonepaving.co.uk, 2012 dalam Pratiwi (2018)

#### *b. Reflective pavement*

*Reflective pavement* dapat dibuat dengan menyediakan lapisan, seperti cat reflektif, sealant bitumen tipis, atau dasar resin pada lapisan agregat di trotoar (Mohajerani, 2017).



Gambar 2.46. Pengaruh warna terang pada suhu permukaan  
Sumber: (EPA, 2012a)

### *c. Porous pavement*

Permukaan berpori terdiri dari sistem jaringan seluler, dengan celah atau lubang di antara bagian-bagiannya untuk menahan kelembapan dan memungkinkan air hujan melewati langsung ke dasar perkerasan. Celah atau lubang pada paver berpori lebih baik diresapi dengan vegetasi dibandingkan dengan pasir. Itu karena rumput atau tumbuh-tumbuhan memiliki albedo tinggi (Qin, 2015a, 2015b). Metode ini juga cocok untuk diterapkan pada trotoar.



Gambar 2.47. Pengubahan menjadi permukaan berpori dengan vegetasi  
Sumber: clearstonepaving.co.uk, 2012 dalam Pratiwi (2018)

### *d. Pervious pavement*

*Pervious pavement* adalah jenis permukaan dengan rongga yang memungkinkan air meresap. Permukaan ini banyak dikembangkan dalam studi material beton dan aspal. Rongga yang besar pada beton memungkinkan air mengalir sehingga efek pendinginan beton dapat bervariasi.



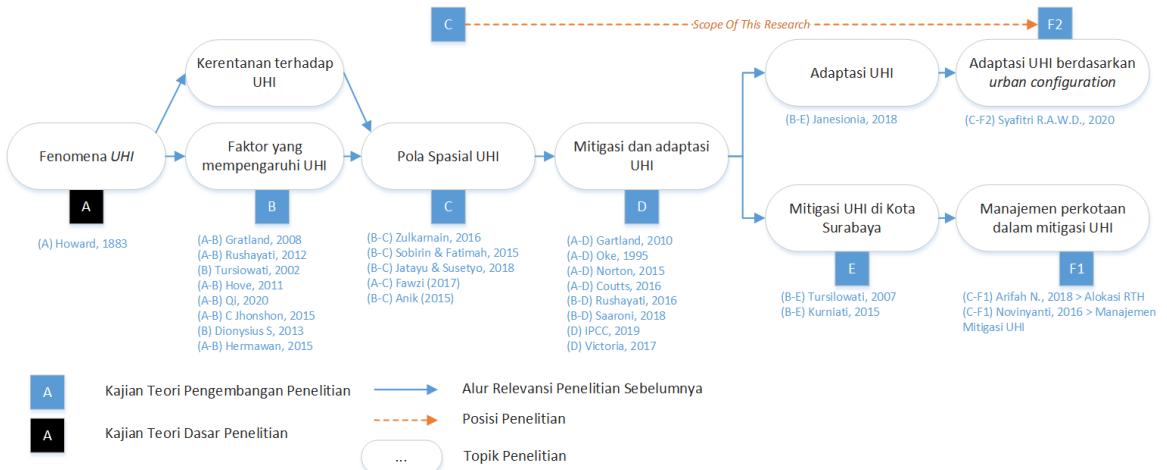
Gambar 2.48. Permukaan berongga dalam menyerap air  
Sumber: clearstonepaving.co.uk, 2012 dalam Pratiwi (2018)

## 2.6. Penelitian Terdahulu

### 2.6.3. Posisi penelitian

Hasil kajian penelitian sejenis dijadikan landasan untuk melihat point penting dari masing-masing fokus penelitian. Dalam hal ini membantu merumuskan posisi penelitian yang akan dibuat dalam kerangka hubungan penelitian terhadap perkembangan ilmu sains. Berikut posisi penelitian terhadap penelitian yang relevan sebelumnya, termasuk (a)teori dasar UHI, (b)faktor yang

mempengaruhi UHI, (c) pola distribusi UHI, (d) strategi adaptasi UHI, hingga (e) strategi adaptasi UHI di Surabaya.



Gambar 2.49. Posisi penelitian berdasarkan relevansi penelitian sebelumnya  
Sumber: Peneliti, 2020

Penelitian sejenis sebelum dilakukan pengambilan topik penelitian ini adalah penelitian oleh Tursilowati (2002), Dionysius S, (2013), Hermawan (2015) yang membahas faktor yang mempengaruhi perubahan UHI di Surabaya. Kemudian dilanjutkan oleh Zulkarnain (2016), Jatayu dan Susetyo (2018) yang membahas faktor kemudian merumuskan pola distribusi UHI baik berdasarkan indek kerapatan maupun pola penggunaan lahan. Dilanjutkan oleh Tursilowati (2007), Ayu Chandra Kurniati (2015) terkait strategi mitigasi UHI yang seperti apa untuk diimplementasikan di Kota Surabaya. Setelahnya pengembangan penelitian yang sudah ada oleh Arifah N (2018) dalam manajemen perkotaan melalui pemodelan lokasi RTH berdasarkan pola UHI yang dibentuk dalam upaya mitigasi serta Novianti (2016) melakukan manajemen berdasarkan *mitigation measure* UHI yang terdiri dari *city form* dan *city function*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 2.13. Penelitian terdahulu terkait adaptasi UHI di Surabaya

No.	Judul dan Peneliti	Metode	Lokasi	Hasil Penelitian
1	<i>Factors influencing urban heat island in Surabaya, Indonesia</i> Kurniati, AC (2016)	<b>Deskriptif Kuantitatif</b> Kajian literature > SPSS > PLS-R analisis menggunakan Smart-PLS Software	Surabaya	Faktor yang mempengaruhi UHI di Surabaya: penyediaan ruang hijau, konsumsi listrik dan penggunaan aspal
2	Model Matematis Pengaruh Perubahan Pola Spasial Penggunaan Lahan Terhadap Peningkatan Temperatur Permukaan Wilayah Surabaya Timur. Anoraga & Suseptyo (2018)	<i>Remote Sensing</i> (Koreksi Geometrik dan Radiometrik) > <i>Overlay GIS</i> > <i>Spatial Metric</i> > <i>Analisis Regresi Linier Berganda</i>	Surabaya Timur	Peningkatan suhu permukaan pada tahun 2001-2016 sebesar 6,1°C. Perubahan penggunaan lahan di kawasan Surabaya Timur berupa konversi lahan terbuka (RTH, Pertanian, Tambak, Tanah Kosong) menjadi lahan terbangun (Permukiman, Perdagangan dan Jasa, Fasilitas Umum, serta Industri dan Pergudangan). Metrik PLAND (kepadatan) merupakan metrik yang paling banyak berpengaruh dalam mempengaruhi perubahan suhu permukaan.
3	Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Perubahan Suhu Permukaan Di Kota Surabaya. Zulkarnain, 2018	Konversi band termal menjadi suhu Permukaan > Maximum likelihood classification, NDVI, NDBI > Overlay dan regresi korelasi	Surabaya	Konversi lahan non-terbangun (RTH/tambak) menjadi lahan terbangun (permukiman, industri/gudang) terjadi di daerah peri-urban Kota Surabaya. NDBI (kerapatan bangunan) merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap kenaikan suhu permukaan. Intensitas UHI dapat ditekan dengan menerapkan konsep <i>Compact City</i> yang didukung melalui <i>Transit Oriented Development (TOD)</i> dan <i>Pedestrian Oriented Development (POD)</i> .
4	Urban Heat Island dan Kontribusinya Pada Perubahan Iklim Dan Hubungannya Dengan Perubahan Lahan Laras Tursilowati (2008)	Menghitung neraca energi dan membuat Peta Persebaran UHI di Kota Bandung, Kota Semarang dan Kota Surabaya	Kota besar di Indonesia (Bandung, Semarang dan Surabaya)	Di Bandung perluasan UHI (daerah dengan suhu tinggi 30-35°C) terletak pada kawasan terbangun di pusat kota per tahun ±12606 ha (4,47%), Semarang 12174 ha (8,4%), Surabaya 1512 ha (4,8%). Pertumbuhan kawasan terbangun di Bandung per tahun 1029 ha (0,36%), Semarang 1200 ha (0,83%), dan Surabaya 531,28 ha (1,69%). Tingginya laju urbanisasi menjadi salah satu penyebab meluasnya <i>Urban Heat Island</i>

5	Kajian Penyusunan Prinsip Perancangan Dari Aspek Kenyamanan Termal Pada Iklim Lembab Tropis. Studi Kasus : Kota Surabaya Pada Tipe Area Highrise Building, Midrise Building Dan Lowrise Building. Janesonia, 2018	<b>Deskriptif Kuantitatif</b> Analisis Deskriptif > Simulasi Envi-Met, Analisis Regresi > Deskriptif Kuantitatif	Surabaya	Prinsip perancangan kota berdasarkan kondisi thermal kawasan pada Tipe Area <i>Highrise Building</i> , Tipe Area <i>Midrise Building</i> , Tipe Area <i>Lowrise Building</i> . Simulasi menunjukkan bahwa pola bangunan yang teratur dan memperhatikan <i>sky line factor</i> membuat suhu tidak terperangkap geometry bangunan
6	Konsep Manajemen UHI ( <i>Urban Heat Island</i> ) di Kawasan CBD Kota Surabaya (UP. Tunjungan). Noviyanti, 2016	<b>Statistik Deskriptif</b> TIRS (Landsat 8) > Statistik deskriptif > Minitab, analisis Regresi Linier Berganda dan interpretasi hasil (rumus) > Interpretasi Hasil based on theory dan best practise	UP Tunjungan, Kota Surabaya	6 faktor yang mempengaruhi suhu permukaan di UP. Tunjungan, yaitu nilai SKV ( <i>sky view factor</i> ), rata-rata ketinggian bangunan, luasan sungai, emisi CO2 transportasi, emisi CO2 permukiman, dan emisi CO2 perdagangan dan jasa (selang kepercayaan 10%). Manajemen perkotaan yang diberikan adalah POAC.

Sumber: Hasil Pustaka, 2020

#### 2.6.4. Perbedaan terhadap penelitian terdahulu

Penelitian sejenis ditemukan adalah penelitian oleh Noviyanti (2016) dengan judul konsep manajemen UHI di Kawasan CBD Kota Surabaya. Adapun unsur keterbaruan maupun perbedaan terhadap penelitian tersebut adalah:

Tabel 2.14. Tabel perbedaan terhadap penelitian sejenis

Perbedaan	Noviyanti (2016)	Penelitian yang akan dilakukan	Ket
Pengolahan UHI	Berdasarkan nilai suhu permukaan	Melakukan perhitungan algoritma UHI menggunakan <i>raster calculator</i> pada GIS	UHI merupakan fenomena peningkatan suhu, namun secara teori UHI diperoleh atas perhitungan simpangan terbesar antara $T(^{\circ}\text{C})$ pusat kota terhadap $T(^{\circ}\text{C})$ kawasan sekitarnya dan nilai standar deviasi. Suhu Permukaan menjadi indikator dalam menilai UHI (Guo et al., 2015).
Penggunaan data <i>time series</i>	Penggunaan lahan tahun 2015 dan suhu tahun 2015	Penggunaan lahan tahun 2001-2019, dan suhu tahun 2001-2019. Dibagi secara <i>multi-temporal</i> 5 th	Penggunaan data <i>time series</i> merupakan rekomendasi penelitian Noviyanti (2016). Sehingga distibusi pola UHI berdasarkan komparasi penggunaan lahan dan suhu lebih kompleks
Variabel	<i>Mitigation Measure (City Form dan City Function)</i>	<i>Adaptation Urban Configuration (Urban Green Infrastructure, urban geometric, urban material)</i>	Adaptasi lebih berorientasi pada bentuk kota. Sehingga pendekatan yang ditekankan pada variabel fisik dan data yang dapat di spasialkan
Penentuan Sample dan populasi	<i>Cluster sampling</i> berdasarkan penggunaan lahan	Pengambilan data secara <i>cluster</i> dilakukan pada seluruh populasi kawasan terdampak UHI.	Cluster diperoleh setelah sasaran 1 dianalisis. Pembagian sample didasarkan oleh grid kategori <i>urban configuration</i>
Perumusan Konsep Adaptasi	Melalui kajian literure dan <i>best practice</i>	Pembobotan secara <i>Ordinary Least Square (OLS)</i> , Adaptasi melalui <i>gap analysis</i>	Konsep adaptasi melalui kajian <i>best practice</i> dan pengamatan klasifikasi <i>urban configuration</i> secara deskriptif kualitatif
Luaran	Konsep manajemen melalui POAC	Konsep manajemen perkotaan berbasis visual 3D dan model regresi	Pada kawasan UHI diberikan adaptasi dengan menampilkan desain secara 3D pada lokasi sebenarnya.

Sumber: Sintesa Pustaka, 2020

#### 2.6.5. Sintesa Kajian Pustaka

Fenomena UHI di perkotaan dipengaruhi oleh beberapa variabel terkait dengan adaptasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 2.15. Sintesa Pustaka

<b>Sub Bahasan</b>	<b>Indikator</b>	<b>Variabel</b>	<b>Sub-Variabel</b>	<b>Ket</b>	
Fenomena UHI	Faktor yang mempengaruhi UHI	<i>Urban Green Infrastructure</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Urban Green Space</i></li> </ul>	<i>Green Open Space</i>	
				<i>Rooftop Greening</i>	
				<i>Tree</i>	
				<i>Vertical Greening</i>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Bluespace/Urban water space</i></li> </ul>	Sungai	
		<i>Urban Geometri</i>		Bozem/Danau	
				Parit/Kolam	
		<i>Urban Material</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Building Density (BD)</i></li> <li>• <i>Mean Building High (MH)</i></li> <li>• <i>Floor Area Ratio (FAR)</i></li> <li>• <i>Sky View Factor (SVF)</i></li> </ul>	Jumlah bangunan/luas blok	
			Ketinggian bangunan rata-rata/luas blok		
			Rasio dari luas total lantai		
			Ruang bebas permukaan		
Pengindraan jauh untuk mengidentifikasi <i>UHI</i>	Pola Distribusi UHI dari tahun 2001-2019	Penggunaan lahan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Sifat Albedo Radiance</i></li> <li>• <i>Sifat Thermal Admittance</i></li> </ul>	Panas yang dipantulkan jenis permukaan	
			Panas yang diserap jenis permukaan		
			-		
			-		
			<i>Open Space</i> (Pertanian, rth, mangrove, tambak, tanah kosong, taman, dan perairan)	-	
		Suhu Permukaan (LST)	<i>NDVI (Indeks Vegetasi)</i>	-	
Adaptasi Fenomena UHI	Dokumen Perencanaan (RDTRK UP)	Pengembangan RTH	-	1. Penambahan RTH Publik dan Privat minimum 30% dari luas kawasan	

	Kertajaya, RDTRK UP Rungkut, RDTRK UP Darmahusada)	Penataan IPR Bangunan	-	2.Optimalisasi fungsi waduk/bozem, dan penghijauan pada kawasan sempadan 3.Penetapan kawasan sempadan pantai dan hutan mangrove 4.Penetapan sempadan sungai pada seluruh UP serta penghijauan 5.Perlindungan kawasan sepanjang sempadan SUTT/SUTET 6.Pengembangan yang diprioritaskan pada Sub UP II-C1 7.Pengaturan IPR (Instensitas Pemanfaatan Ruang)
	Prioritisasi <i>Urban Green Infrastructure</i> dalam pembentuk kota sejuk	<i>Urban Green Infrastructure</i>	-	Pengoptimalan adaptasi peningkatan suhu melalui perencanaan pohon, <i>Green Open Space, Green Roofs, Vertical Greening</i> secara tepat guna
	Penataan <i>Urban Form</i> sebagai strategi adaptasi UHI	<i>Urban Geometri</i>	-	<i>Compact Eco-City</i> , Pengendalian pertumbuhan lahan terbangun, Pemanfaatan ruang secara vertikal, <i>Mix use</i> . Pengaturan sirkurlasi udara melalui penataan <i>IPR</i> (Instensitas Pemanfaatan Ruang) dan <i>sky view factor</i>
	Alternatif jenis <i>urban material</i>	<i>Urban material</i>	-	<i>Coolroof, green roof, cool pavement, porous pavement, Reflective pavement, pervious pavement</i>

Sumber: Sintesa Pustaka, 2020

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1.Pendekatan Penelitian**

Paradigma *positivist* digunakan dalam penelitian, dikarenakan penelitian berorientasi pada obyektivitas, fakta berdasarkan lapangan dan tidak bebas atau memiliki nilai serta *simulation research* melalui asumsi dan *logical argumentation research* (Groat & Wang, 2013). Secara epistemologis hubungan peneliti dengan realitas yang diteliti tidak bisa dipisahkan, harus interaktif dengan subjektivitas seminimal mungkin. Secara metodologis adalah modified experimental/manipulatif. Pendekatan penelitian dilakukan dengan *mixed method* antara kualitatif dan kuantitatif. Kelebihan dari desain ini adalah potensi untuk memaksimalkan kekuatan dan meminimalisir kekurangan tiap strategi (Groat & Wang, 2013). Kuantitatif digunakan dalam menguji teori, menyajikan fakta, mendeskripsikan secara statistik dan menunjukkan hubungan antar variabel serta sifatnya mengembangkan konsep (Subana dan Sudrajat, 2005). Penelitian kualitatif lebih mengutamakan pada masalah proses dan makna atau persepsi, dimana penelitian ini diharapkan dapat mengungkap berbagai informasi kualitatif dengan deskripsi-analisis yang diteliti dan penuh makna dalam merumuskan suatu konsep (Muhadjir, 1992). Penelitian yang dilakukan bersifat studi kasus, dengan lokasi studi di kawasan Surabaya Timur.

#### **3.2. Variabel Penelitian beserta definisi operasional**

Variabel penelitian akan memiliki ukuran bersifat kuantitatif. Penentuan variabel penelitian dilakukan berdasarkan hasil kajian pustaka dengan melakukan penyesuaian kondisi yang ada pada wilayah penelitian. Variabel terikat dalam penelitian adalah fenomena UHI, variabel bebas nya adalah sub variabel yang mempengaruhi UHI, variabel kontrol adalah kategori *urban configuration*.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 3.1. Tabel variabel penelitian beserta definisi operasional

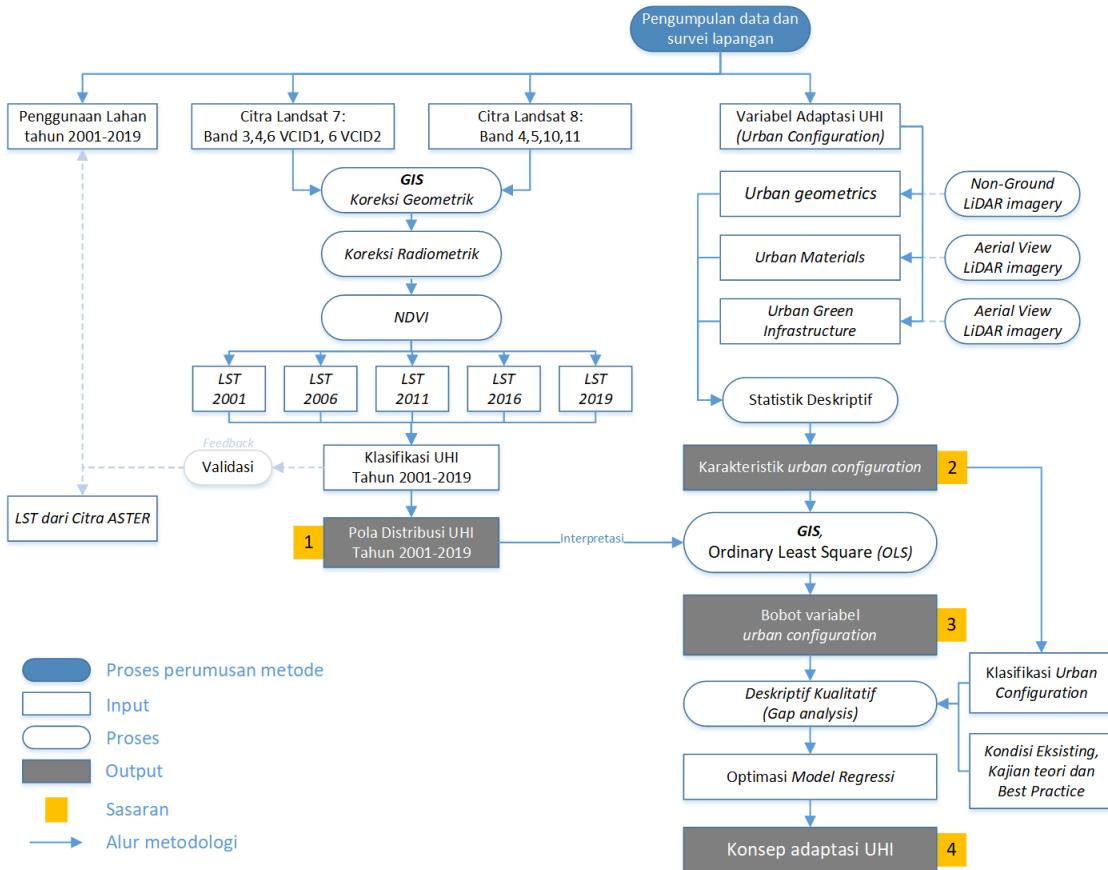
No	Sasaran	Indikator	Variabel	Sub Variabel	Parameter	Definisi Operasional	
1	Menganalisis pola distribusi <i>urban heat island</i> secara <i>spatial temporal</i>	Perubahan UHI 2001-2019	Suhu Permukaan 2001-2019	-	°C	Perubahan UHI tahun 2001-2019	
		Pola distribusi UHI 2001-2019	UHI 2001- 2019	-	°C	Pola distribusi UHI melalui validasi <i>inter-comparison</i> dan <i>spatial autocorrelation</i>	
			Penggunaan Lahan 2001-2019	Fasilitas umum,	m dalam pixel		
				Industri dan pergudangan,			
				Perdagangan dan Jasa,			
				Permukiman,			
				<i>Open Space</i>			
				Jaringan Transportasi			
		Suhu Permukaan ASTER	Reflektan Suhu Permukaan ASTER 2019	-	°C		
2	Menganalisis karakteristik variabel penyusun <i>urban configuration</i>	Hasil sasaran 1				Pertimbangan lokasi terdampak UHI	
		Faktor yang mempengaruhi UHI	<i>Urban Green Infrastructure</i>	<i>Urban Green space</i>	% dalam piksel	Semakin tinggi persentase <i>greenspace</i> dan <i>waterspace</i> intensitas UHI akan semakin ditekan	
				<i>Urban water space</i>			
			<i>Urban Geometri</i>	<i>Building Density (BD)</i>	<i>m</i> dalam pixel	Bagaimana ukuran bangunan ditempatkan sehubungan dengan intensitas UHI pada suatu blok	
				<i>Mean Building High (MH)</i>	<i>m</i> dalam pixel		
				<i>Floor Area Ratio (FAR)</i>	<i>m</i> dalam pixel		
				<i>Sky View Factor (SVF)</i>	<i>m</i> dalam pixel		
			<i>Urban Material</i>	<i>Sifat Albedo Radiance</i>	<i>Albedo (α/δ)</i>	Kemampuan material permukaan dalam memantulkan panas	

			Sifat <i>Thermal Admittance</i>	$\alpha$	Kemampuan material permukaan dalam menyerap panas
3	Menganalisis variabel penyusun <i>urban configuration</i> yang mempengaruhi <i>urban heat island</i>	Nilai tingkat pengaruh tiap variabel terhadap UHI	Hasil sasaran 2 ( <i>Urban Green Infrastructure, Urban Geometri, Urban Material</i> )		Mempertimbangkan nilai tingkat pengaruh variabel terhadap UHI
4	Merumuskan konsep adaptasi UHI berdasarkan klasifikasi <i>urban configuration</i>	Karakteristik <i>Urban Configuration</i>	<i>Penggunaan Lahan 2019</i>		Pembagian ketegori <i>urban configuration</i> per grid
			Hasil sasaran 2 ( <i>Sub-variabel: Building density, Sky view factor</i> )		
		Konsep Adaptasi UHI	<i>Kategori Urban Configuration</i>		Paradigma konsep adaptasi UHI berdasarkan pembagian <i>urban configuration</i>
			<i>Penggunaan lahan 2019</i>		
			Hasil Sasaran 3 (Bobot masing masing variabel)		
			<i>Best practice</i> (Kebijakan, kajian terkait)		

Sumber: Hasil Sintesa, 2020

### 3.3. Kerangka Metodologi Penelitian

Dalam kerangka umum, penelitian ini akan terdiri dari persiapan, pemodelan, kerja lapangan dan akuisisi data, validasi, evaluasi, kalibrasi dan pelaporan. Skema kerangka kerja penelitian disajikan sebagai berikut.



Gambar 3.1. Skema metodologi penelitian

Sumber: Peneliti, 2020

Sebelum masuk dalam tahap analisa, dilakukan pengumpulan data, fenomena yang diperlukan serta beberapa ulasan literatur yang tepat untuk memperoleh hasil penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi Citra Landsat 7 ETM tahun 2001, 2006, 2011 dan Citra Landsat 8 OIL TIRS tahun 2016, 2019, penggunaan lahan tahun 2019, Citra ASTER tahun 2019 dan karakteristik variabel *urban configuration* Surabaya Timur. Tahap pertama adalah mengolah data satelit landsat tahun 2001-2019 untuk memperoleh data LST (*land surface temperature*). Dalam tahap ini dilakukan validasi terhadap LST hasil pengamatan in-situ atau lapangan dan perbandingan LST hasil pengolahan satelit ASTER. Melalui klasifikasi deviasi terhadap kawasan sekitar dan pengamatan pola perubahan penggunaan lahan

diperoleh pola distribusi UHI. Tahap kedua adalah mengidentifikasi kondisi *urban form* pada kawasan terdampak UHI, sehingga menghasilkan karakteristik *urban configuration*. Data diperoleh melalui pengamatan lapangan dan tinjauan dokumen terkait. Tahap Ketiga mengolah data karakteristik *urban configuration* kedalam regresi spasial melalui *Ordinary Least Square (OLS)* untuk mendapatkan bobot faktor yang mempengaruhi UHI di Surabaya Timur. Tahap terakhir diperoleh melalui pertimbangan dari bobot masing-masing faktor dan pembagian *urban configuration* kawasan dalam merumuskan konsep adaptasi UHI.

### **3.3.1. Persiapan**

Tahapan ini menjelaskan tentang kegiatan persiapan seperti studi literatur, pengumpulan data, perangkat lunak, dan persiapan untuk analisa. Beberapa perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut:

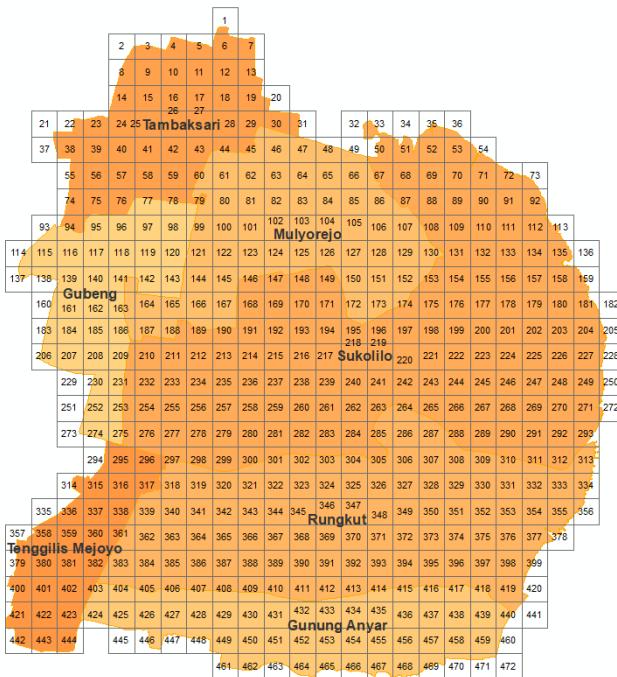
1. Operasi GIS, *Remote Sensing*: ArcGIS Pro 2.3.1., QGIS 3.4.13, GeoDa
2. Pemrosesan Teks: Microsoft Word
3. Pemrosesan Tabel Statistik: Microsoft Excel
4. Grafik, 3D dan illustrasi: Microsoft Visio, Adobe Photoshop, SketchUp 2017, Lumion 6.0, dan City Engine 2020.0

### **3.3.2. Penentuan Populasi dan Sampel**

#### **3.3.2.1. Penentuan Populasi**

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kawasan Surabaya Timur yang terdampak UHI. Pendekatan pengambilan data berbasis grid digunakan untuk menghasilkan peta analisis adaptasi UHI. Hal ini dipilih karena dianggap sebagai cara paling sederhana untuk melakukan resampel data yang tidak beraturan ke dalam kisi-kisi reguler sehingga memberikan sarana sistematis untuk mengeneralisir data dan merencanakan rute pengamatan (Alexander & Mills, 2014; Arnfield, 2003). Pemetaan berbasis grid untuk *lokal scale* dengan luas kurang dari 300km<sup>2</sup> menggunakan grid dengan ukuran 500m<sup>2</sup> (Alexander & Mills, 2014; Cai, 2018; Novananda, 2015). Karena komposisi permukaan yang kompleks dan bangunan di daerah perkotaan, data sampel pada ukuran grid yang terlalu kecil mungkin gagal mewakili seluruh area, namun jika data diambil sampelnya pada

ukuran grid yang terlalu besar, informasi rinci mungkin diabaikan, yang mengarah ke resolusi rendah. (Cai, 2018; Lau et al., 2015). Dari total 472 grid pada wilayah studi, akan diambil grid kawasan terdampak UHI sebagai populasi..



Gambar 3.2. Grid unit analysis Surabaya Timur  
Sumber: Peneliti, 2020

### 3.3.2.2. Penentuan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara acak dengan teknik *cluster random sampling*. *Cluster sampling* adalah teknik pengambilan sampel dengan memperhatikan kelompok-kelompok dalam populasi (Sugiyono, 2008), dalam hal ini adalah karakteristik *urban configuration* yaitu penggunaan lahan, SVF dan kepadatan bagnunan. Penentuan lokasi sample dirumuskan secara spasial setelah memperoleh distribusi UHI pada sasaran pertama. Pada cluster random sampling akan dilakukan pemilihan acak pada masing masing klasifikasi *urban configuration*. Kelebihan penggunaan metode sampel ini adalah (Sugiyono, 2008)

1. Sampel terpilih adalah sampel yang sesuai dengan tujuan penelitian.
2. Teknik ini merupakan cara yang mudah untuk dilaksanakan.
3. Sample bersifat random sehingga objective terhadap data

Sedangkan kekurangan metode sampel ini adalah:

1. Tidak ada jaminan jumlah sampel yang digunakan representative

- Kurang dapat digunakan sebagai generalisasi apabila dalam kasus mengambil kesimpulan statistik

### **3.4. Data dan Sumber Data**

#### **3.4.1. Metode Pengumpulan Data**

Secara umum ada dua metode pengumpulan data berdasarkan jenis datanya, metode pengumpulan data primer dan data sekunder (Sangadji, 2010). Namun dalam penelitian ini hanya dikumpulkan data sekunder dalam proses penelitian. Tidak dilakukan validasi data lapangan karena kondisi penelitian yang tidak memungkinkan untuk melakukan pengamatan lapangan:

##### **1. Metode Pengumpulan Data Sekunder**

Metode pengumpulan data sekunder merupakan metode yang dilakukan untuk mendapatkan sumber data penelitian secara tidak langsung atau data sekunder (data subyek, data fisik, data dokumenter) baik secara manual maupun dengan komputer. Untuk lebih jelasnya mengenai data dan perolehan data dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 3.2. Tabel sasaran, kebutuhan data dan proses pengumpulan

No	Sasaran	Kebutuhan Data	Sumber Data	Proses Pengumpulan/Pengolahan
1	Menganalisis pola distribusi <i>urban heat island</i> secara <i>spatial temporal</i>	Suhu permukaan 2001-2019	Citra Landsat 7 ETM dan Citra Landsat 8 OIL TIRS	<a href="http://www.earthexplorer.usgs.nasa.gov">www.earthexplorer.usgs.nasa.gov</a> , band diolah menggunakan NDVI melalui ArcGis
		Validasi Suhu Permukaan	Citra ASTER tahun 2019	
		Penggunaan lahan 2001-2019	Observasi lapangan, jurnal, RTRW Kota Surabaya	RTRW Kota Surabaya tahun 2019-2039 dari CKTR Kota Surabaya dan penelitian Jatayu(2018)
2	Menganalisis karakteristik variabel penyusun <i>urban configuration</i>	<i>Urban Green Infrastructure</i>	<i>Street View</i> , masterplan RTH	Dari masterplan RTH kota Surabaya kemudian divalidasi google <i>street view</i>
		<i>Urban Geometrik</i>	<i>Street View</i> , dan Citra building LiDAR	Pengolahan citra building (3D) LiDAR, dan divalidasi google <i>street view</i> pada kawasan terdampak UHI
		<i>Urban Material</i>	<i>Street View</i> dan Citra Imagery LiDAR	Diperoleh dari pengamatan citra imagery LiDAR, dan divalidasi google <i>street view</i> pada kawasan terdampak UHI

Sumber: Peneliti, 2020

### 3.5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

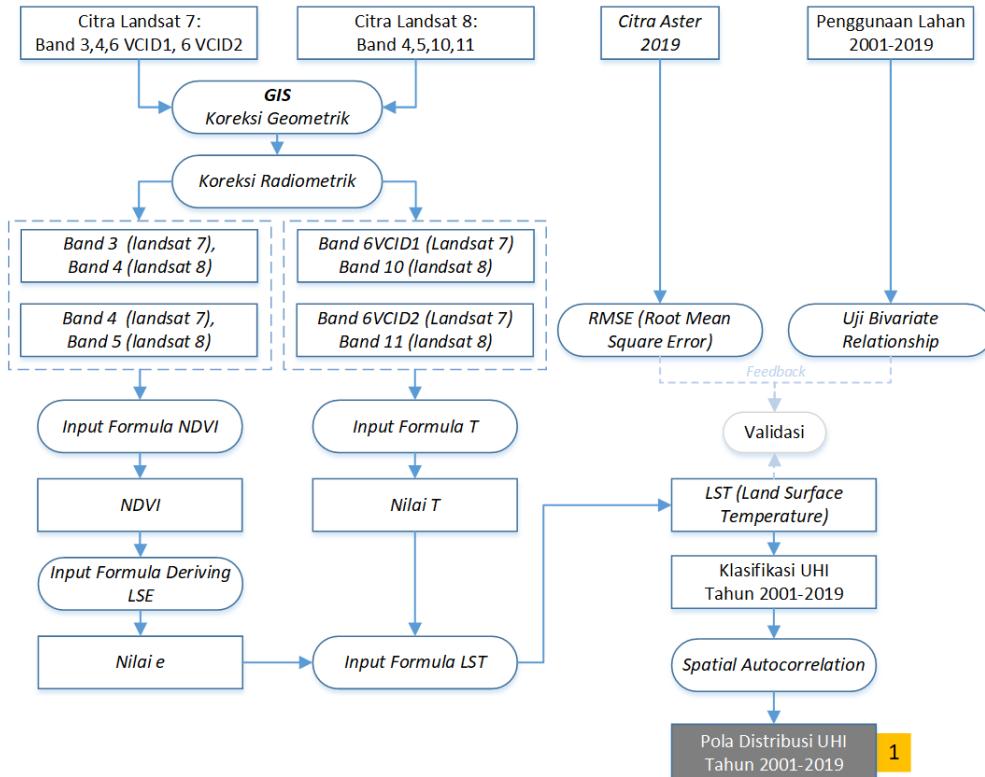
Tabel 3.3. Tabel tahapan penelitian serta alat analisis

No	Sasaran	Input	Teknik Analisis	Output
1	Menganalisis pola distribusi <i>urban heat island</i> secara <i>spatial temporal</i>	Citra Landsat 7 ETM+ th 2001, 2006, 2011 Citra Landsat 8 OIL TIRS th 2016, 2019 Citra ASTER tahun 2019 Penggunaan Lahan 2001-2019	NDVI  <i>standardized cross-validation</i>  <i>Uji bivariate relationships</i>	Suhu Permukaan Surabaya Timur Skala 1:25000, tahun 2001, 2006, 2011, 2016, 2019
		Suhu permukaan 2001-2019	• Alogaritma UHI • Fuzzy 3X3 • Spatial Autocorrelation	Pola distribusi UHI 2001-2019
2	Menganalisis karakteristik variabel penyusun <i>urban configuration</i>	• <i>Urban Green space</i> • <i>Urban water space</i> • <i>Building Density (BD)</i> • <i>Mean Building High (MH)</i> • <i>Floor Area Ratio (FAR)</i> • <i>Sky View Factor (SVF)</i> • Sifat Albedo Radiance • Sifat Thermal Admittance	Observasi lapangan, tinjauan literature, pengolahan citra LiDAR	Peta variabel <i>urban green infrastruktur, urban geometry, urban material</i> kawasan terdampak UHI
3	Menganalisis variabel penyusun <i>urban configuration</i> yang mempengaruhi <i>urban heat island</i>	Peta pola distribusi UHI  Sasaran 2	<i>Ordinary Least Square (OLS)</i>	Bobot pengaruh <i>urban green infrastruktur, urban geometry, urban material</i> terhadap UHI
4	Merumuskan konsep adaptasi UHI berdasarkan klasifikasi <i>urban configuration</i>	Penggunaan lahan  Karakteristik <i>urban geometry</i>  Sasaran 3	Optimasi model Regresi, <i>Gap analysis</i> , Interpretasi <i>based on theory</i> , dan <i>best practice</i> (GIS, SketchUp, City Engine)	Kategori <i>urban configuration</i>  Adaptasi UHI berdasarkan <i>urban configuration</i>

Sumber: Peneliti, 2020

### 3.5.1. Menganalisis pola distribusi *urban heat island* secara *spatial temporal*

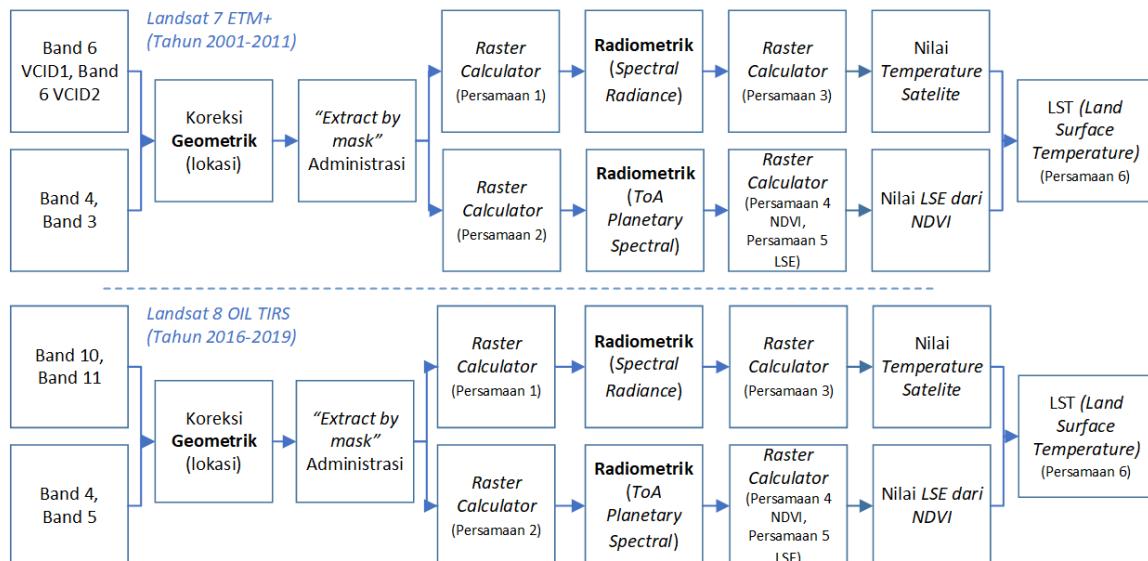
Kerangka alur dalam menganalisis sasaran pertama dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 3.3. Alur proses Sasaran 1: Pola Distribusi UHI

Sumber: Peneliti, 2020

#### 3.5.1.1. Menghitung nilai suhu permukaan secara *spatial temporal*



Gambar 3.4. Proses menghitung LST tahun 2001-2011 (landsat 7) 2016-2019 (landsat 8)

Sumber: Peneliti, 2020

Perhitungan nilai LST diolah dari Satellite Landsat milik NASA dan *open access* dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Dari citra landsat 7 ETM+ akan diperoleh suhu permukaan tahun 2001, 2006 dan 2011. Pada landsat 8 akan diperoleh suhu permukaan tahun 2016 dan 2019. Keseluruhan formula dalam menghitung nilai LST diperoleh dari Landsat 7 Handbook (2011), Landsat 8 Handbook (2016). Dalam persiapan pengolahan landsat, data terlebih dahulu dilakukan koreksi secara geometrik dan koreksi *radiometric (reflectance dan radiance)*. Nilai radian spektral didefinisikan sebagai *fluks* radian per unit pada sudut tertentu yang di radiasikan oleh suatu objek ke arah tertentu. Sedangkan nilai reflektan merupakan rasio energi yang dipantulkan dengan total energi yang mengenai suatu permukaan per unit area. Kemampuan maksimal sensor mendeteksi suhu dapat dilakukan dengan menggunakan koreksi *radiance* (Flynn et al., 2002). Koreksi geometrik dilakukan dengan melakukan georeferensi apabila citra landsat yang diperoleh tidak sesuai koordinat dan perbaikan *Scan Line Error (SLC-off)*. *SLC-off* tersebut diakibatkan oleh kegagalan teknis sistem satelite setelah tahun 2003 (USGS, 2020b). Untuk melakukan koreksi *SLC-off* digunakan *gap filling* toolbox pada ArcGIS (Scaramuzza, 2004). Pada koreksi radiance band yang digunakan yaitu band thermal (Band 6 untuk Landsat 7 ETM+, Band 10 dan 11 untuk Landsat 8 OIL TIRS). Berikut formula untuk koreksi radiance

$$L\lambda = MlQcal + Al \dots \text{Persamaan (1)}$$

$L\lambda$  : Spectral radiance ( $W/(m^2 * sr * \mu m)$ )

$Ml$  : Radiance multiplicative scaling factor for the band  
(RADIANCE\_MULTI\_BAND\_n from the metadata)

$Al$  : Radiance additive scaling factor for the band (RADIANCE\_ADD\_BAND\_n from the metadata)

$Qcal$  : L1 pixel value in DN

Selanjutnya menggunakan band Red dan NIR diperoleh *reflectance* (ToA) melalui rumus berikut.

$$\rho\lambda' = M\rho * QCal + A\rho \dots \text{Persamaan (2)}$$

$\rho\lambda'$  : ToA Planetary Spectral Reflectance, tanpa koreksi untuk solar angle

$M\rho$  : Reflectance multiplicative scaling factor for the band  
(REFLECTANCE\_MULTI\_BAND\_n from the metadata)

- $A\rho$  : Reflectance additive scaling factor for the band  
*(REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_n from the metadata)*
- Qcal : L1 pixel value dalam DN (setiap band thermal yang digunakan)

Tabel 3.4.Band red dan NIR masing masing Landsat

No	Band Thermal	Jenis Landsat	Ml	Al	M $\rho$	A $\rho$
1	Band 3 (Red)	Landsat 7 ETM	6.7087E-02	-0.06709	1.2809E-03	-0.011584
2	Band 4 (NIR)		3.7205E-02	3.16280	2.8439E-03	-0.017807
3	Band 4 (Red)	Landsat 8 OIL TIRS	3.3420E-04	0.10000	2.0000E-05	-0.10000
4	Band 5 (NIR)		3.3420E-04	0.10000	2.0000E-05	-0.10000

Sumber: Metadata Landsat, 2020

#### A. Menghitung suhu permukaan satelit (*Sattelite Brightness Temperature*)

*Satellite Brightness Temperature* adalah suhu permukaan yang berada pada sensor satellite. Berikut formulasinya.

$$T = (K2 / \ln((K1L\lambda) + 1)) - 273,15 \dots \text{Persamaan (3)}$$

$T$  : Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

$K1$  : Band-specific Thermal Conversion Constant from the metadata

*(K1\_CONSTANT\_BAND\_X, Where X is the band number, 10 or 11 and 6VCID1 or 6VCID2)*

$K2$  : Band-specific Thermal Conversion Constant from the metadata

*(K2\_CONSTANT\_BAND\_X, Where X is the band number, 10 or 11 and 6VCID1 or 6VCID2)*

$L\lambda$  : Spectral radiance ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ )

273,15 : Angka konversi Kelvin menjadi Celsius

Tabel 3.5.Band Thermal masing masing Landsat

No	Band Thermal	Jenis Landsat	K1	K2
1	Band 6VCID1	Landsat 7 ETM	666.09	1282.71
2	Band 6VCID2		666.09	1282.71
3	Band 10	Landsat 8 OIL TIRS	774.8853	1321.0789
4	Band 11		480.8883	1201.1442

Sumber: Metadata Landsat, 2020

Hasil perhitungan tersebut menghasilkan temperatur dari band 6 VCID1 dan band 6 VCID2 untuk Landsat 7 ETM serta band 10 dan 11 untuk Landsat 8 OIL TIRS. Sehingga perlu dilakukan perhitungan rata-rata dengan tools “Cell Statistic” dengan pilihan *overlay statisticnya mean* menggunakan ArcGIS.

## B. Menghitung Emisivitas Permukaan (*Land Surface Emisivitas*)

Emisivitas adalah kemampuan permukaan dalam memancarkan energi thermal yang dimilikinya (H. Takebayashi, 2015). Tahapan analisis diawali perhitungan NDVI dengan menggunakan Band 4 (NIR) dan Band 3 (red) untuk Landsat 7 ETM+, band 5 (NIR) dan band 4 (Red) untuk Landsat 8 OIL TIRS dengan formula berikut. Nilai NDVI berkisar antara -1 sampai dengan 1. USGS (2013) menunjukkan bahwa nilai NDVI  $<0$  atau yang bernilai negatif cenderung merupakan perairan bebas.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \dots \text{Persamaan (4)}$$

Setelah diperoleh NDVI dilakukan perhitungan Proporsi Vegetasi (Pv) hal ini karena semakin rendah proporsi vegetasi dikawasan tersebut semakin tinggi energi thermal yang dimiliki, begitu sebaliknya (Singh, 2015). Untuk mendapatkan nilai Pv maka perlu menskalakan NDVI untuk meminimalkan gangguan dari kondisi tanah yang lembab dan fluks energi permukaan. Nilai Pv nantinya digunakan untuk menghitung nilai *Deriving LSE* (e). LSE (*Land surface emissivity*) didasarkan pada hukum Kirchhoff, pada keseimbangan termal, tingkat emisi suatu benda atau permukaan setara dengan jumlah penyerapannya pada panjang gelombang yang sama. Penyerapan yang dimaksud adalah energi yang diserap oleh suatu benda yang didefinisikan berdasarkan panjang gelombang dan sudut datang tertentu.

$Pv = (NDVI - NDVImin / NDVImax - NDVImin)^2$  ..... Persamaan (5.a)

$e=0,004 Pv+0,986$  ..... Persamaan (5.b)

### C. Menghitung Suhu Permukaan (*Land Surface Temperature*)

Langkah terakhir dalam menentukan nilai LST yaitu menghitung nilai LST untuk masing-masing band (band 6 VCID1 dan 6 VCID2, band 10 dan 11) dengan formula berikut.

$$LST = T/1 + w * (T/\rho) * \ln(e) \dots \text{Persamaan (6)}$$

T : Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

W : Wavelength of emmited rediance (10,40 $\mu$ m → band 6 VCID1; 12.5  $\mu$ m → band 6 VCID2, 10,8  $\mu$ m → band 10; 12  $\mu$ m → band 11)

$$\rho : h^*c/s (1.438 \cdot 10^{-2} mK)$$

$h = \text{Planck's constant} (6,626 * 10^{-34} \text{ Js})$

$c$  = velocity of light ( $2,998 * 108$  m/s)

$s$  = Boltzmann's constant ( $1,38 * 10^{-23}$  J/K)

$\rho$  = 14380

#### D. Validasi *Land Surface Temperature* (LST)

Validasi data LST dilakukan menggunakan pendekatan uji *inter-comparison* melalui *bivariate relationship* dan *standardized cross-validation*:

1. Uji *bivariate relationship* berdasarkan penggunaan lahan dilakukan untuk mengamati pola perubahan *spatial temporal* LST. Pengujian dilakukan dengan membuat grafik *scatter plot* uji komparasi bivariate dengan software ArcGIS antara luasan jenis penggunaan lahan terhadap nilai suhu permukaan (LST). Dari hasil *scatter plot* dapat diamati apakah memiliki pola yang linier atau fluktuatif. Semakin linier grafik maka semakin akurat validasi antara pertambahan Suhu Permukaan terhadap luas jenis penggunaan lahan. Dalam uji *bivariate relationship* yang menjadi variabel dependen adalah UHI tahun 2019 dan variabel independent adalah permukiman, perdagangan dan jasa, fasilitas umum, industri, *open space*, dan jaringan transportasi (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018). Metode uji bivariate dilakukan dengan mengamati sifat hubungan  $R^2$ . RSquare ( $R^2$ ) merupakan ukuran kinerja model yang meringkas seberapa baik estimasi nilai Y (suhu permukaan) dengan nilai Y (suhu permukaan) yang diamati (ESRI, 2020c). Umumnya digunakan untuk mengukur kinerja model. Nilai R-squared berkisar dari 0 hingga 100 persen. Jika model cocok dengan nilai variabel dependen yang diamati dengan sempurna, nilai R-squared adalah 1,0, meskipun ini sangat tidak mungkin. Nilai R-squared seperti 0,49, misalnya, jauh lebih mungkin, dan berarti bahwa model menjelaskan 49% variasi dalam variabel dependen. Menurut Colton and Bower (2002) kekuatan hubungan dua variabel secara kualitatif dapat dibagi dalam 4 area, yaitu:

$R^2 = 0,00 - 0,25$  tidak ada hubungan/hubungan lemah

$R^2 = 0,26 - 0,50$  hubungan sedang

$R^2 = 0,51 - 0,75$  hubungan kuat

$R^2 = 0,76 - 1,00$  hubungan sangat kuat/sempurna

2. *Standardized cross-validation* merupakan pengujian berbasis *radiance* dan *inter-comparison*. Suhu yang menjadi komparasi adalah LST dari Citra ASTER Level-1 yang diperoleh dari <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Perhitungan Citra ASTER Level-1 tidak jauh berbeda dengan perhitungan pada Citra Landsat, pendekatan yang digunakan juga berdasarkan Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) (Tempfli et al., 2009). Formula perhitungan LST ASTER sebagai berikut (Abrams, 2002):

- **Konversi Digital Numbers (DNs) ke Radiance**

$$L\lambda = (\text{DN}-1 \times \text{UCC})$$

$L\lambda$  : Top atmosphere radiance  $\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{sr} \times \mu\text{m})$

DN : ASTER Thermal Infrared Band (Band 13 dan Band 14)

UCC : Unit Conversion Coefficient pada thermal infrared band yang digunakan ( $0.005693 \rightarrow$  Band 13 dan  $0.005225 \rightarrow$  Band 14)

- **Konversi Radiance ke Brightness Temperature**

$$T = (K2/\ln((K1/L\lambda)+1)) - 273,15$$

$T$  : Brightness Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

$K1$  : Band-specific Thermal Conversion Constant ( $865.65 \rightarrow$  Band 13 dan  $1349.82 \rightarrow$  Band 14)

$K2$  : Band-specific Thermal Conversion Constant ( $649.60 \rightarrow$  Band 13 dan  $1274.49 \rightarrow$  Band 14)

$L\lambda$  : Top atmosphere radiance ( $\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{sr} \times \mu\text{m})$ )

273,15 : Angka konversi Kelvin menjadi Celsius

- **Estimasi Nilai Land Surface Emissivity (LSE)**

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

NDVI : Indeks Kerapatan Vegetasi, (band 3 (NIR) dan band 2 (Red))

$$Pv = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}) / (\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min})^2$$

Pv : Proportion of Vegetation

$$E_{13} = 0.968 + 0.022Pv$$

$$E_{14} = 0.970 + 0.020Pv$$

E : Emisivitas

- **Menghitung nilai LST**

$$LST = BT / (1 + (\lambda * (BT / \rho)) * \ln(e))$$

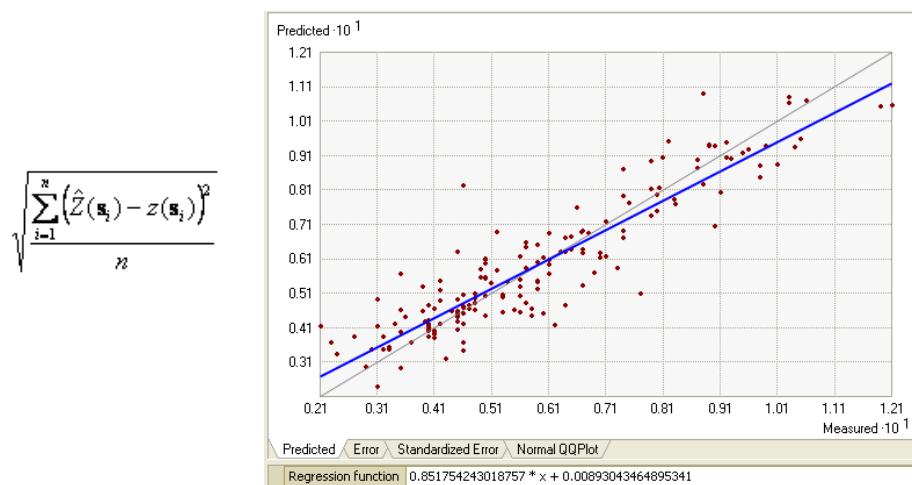
*Ts* : land surface temperature dengan Inversi Planck Function.

*BT* : brightness temperature

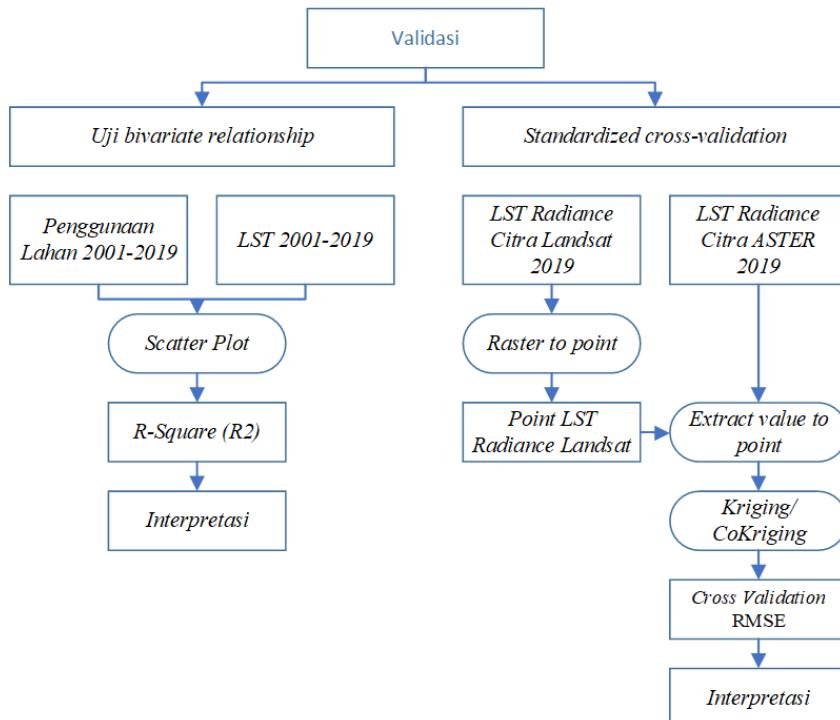
$\lambda$  : effective wavelength (10.659→ Band 13 dan 11.289→Band 14)

*e* : Emisivitas

Pengujian dilakukan dengan RSME (*Root Mean Square Error*) antara LST satellite Landsat dan LST satellite ASTER pada software GIS. Nilai RMSE dapat diterima apabila  $RMSE < 1$  (Ahmadian, 2016). Semakin rendah RMSE semakin tinggi validitas estimasi LST hasil pengolahan Landsat. Tahapan komparasi kedalam RMSE adalah dengan mengubah Citra Landsat sebagai LST awal (terukur) kedalam bentuk point pada tiap piksel. Fitur yang digunakan adalah *raster to point* pada ArcGIS. Selanjutnya dari point LST Landsat tersebut diambil nilai LST validasi (*predicted*) dari Citra ASTER. Fitur yang digunakan adalah *extract value to point* pada ArcGIS. Setelah diperoleh kedua point yang mewakili nilai setiap LST ini dilakukan komparasi dengan fitur *Geostatistical Wizard* dengan metode *Geostatistical method Kriging/CoKriging*. Kriging dipilih karena merupakan metode interpolasi geostatistik tertua dan paling banyak dipelajari, sangat fleksibel dan memungkinkan untuk menyelidiki grafik *spatial auto-* dan *cross-correlation*. Kriging menggunakan model statistik yang memungkinkan berbagai keluaran termasuk prediksi, kesalahan standar prediksi, probabilitas, dan kuantil. Fleksibilitas kriging dapat membutuhkan banyak metode pengambilan keputusan. Kriging mengasumsikan data berasal dari proses stokastik stasioner, dan beberapa metode mengasumsikan data terdistribusi normal. Melalui model komparasi ini dihasilkan semacam validasi silang dengan formula RMSE sebagai berikut (Esri, 2016b). Dalam RMSE ditunjukkan garis hubungan antara sebaran point yang diberikan (dalam hal ini LST Landsat) terhadap point prediksi (dalam hal ini LST ASTER) yang ditunjukkan berupa garis biru pada Gambar 3.4. Semakin dekat ke garis 1:1 (garis tengah abu abu) maka semakin sesuai data yang ada karena hasil autokorelasi terdapat persamaan regresi yang kuat (Esri, 2016b).



Gambar 3.5. Contoh Skatter Plot cros Validation  
Sumber: Esri, 2016



Gambar 3.6. Diagram alir validasi  
Sumber: Peneliti, 2020

### 3.5.1.2. Klasifikasi pola distribusi UHI

Efek atau intensitas dari UHI dapat didefinisikan dengan formula berikut [Persamaan 7](Lima Alves & Lopes, 2017).

$$\Delta T_{\mu-r} = T_{\mu} - T_r \dots \text{Persamaan (7)}$$

Dimana  $T_{\mu}$  merupakan suhu permukaan di kota atau bentuk penggunaan lahan yang lebih hangat dari suhu sekitarnya,  $T_r$  merupakan suhu permukaan di

sekitar wilayah yang diukur  $T\mu$ , dan  $\Delta T\mu-r$  merupakan efek dari UHI yang ditimbulkan. Akan tetapi, dengan teknik penginderaan jauh persamaan tersebut dimodifikasi agar dapat dispasialkan. Berdasarkan definisi tentang UHI, peta UHI harus merepresentasikan perbedaan suhu pada wilayah yang diteliti. Dalam hal ini, UHI dapat diidentifikasi dengan formula berikut [Persamaan 8](Ma, 2010)

$$T > \mu + 0,5\alpha \dots \text{Persamaan (8.a)}$$

$$0 < T \leq \mu + 0,5\alpha \dots \text{Persamaan (8.b)}$$

Dimana  $\mu$  dan  $\alpha$  merupakan nilai rata-rata dan standar deviasi dari suhu permukaan yang diperoleh. Persamaan 8.a menunjukkan ambang batas suhu (*threshold temperature*) untuk area yang terjadi UHI sedangkan persamaan 8.b menunjukkan area yang tidak terjadi UHI. Pada persamaan ini, menjadi garis bawah dipengaruhi oleh nilai  $\mu$  dan  $\alpha$ . Nilai  $\mu$  dan  $\alpha$  tentu berhubungan dengan statistik citra yang dipengaruhi oleh luas wilayah pengamatan atau jenis tutupan lahan.

Perlu diperhatikan UHI merupakan fenomena geografis, yang berarti fenomena tersebut dipengaruhi oleh lingkungan sekitarnya. Jika menggunakan pendekatan penginderaan jauh, nilai yang digunakan seharusnya bukan nilai piksel suhu permukaan hasil ekstraksi. Jika suatu piksel dengan resolusi 100x100 m lebih panas dari piksel sebelahnya, piksel tersebut akan mempengaruhi objek atau nilai piksel yang disebelahnya, begitu juga sebaliknya pada objek yang lebih dingin. Dengan kata lain, nilai piksel suhu permukaan merepresentasikan nilai piksel itu sendiri terhadap suhu disekelilingnya, ini disebut analisis ketetanggan atau *neighbourhood* (Fawzi, 2017). Rajasekar (2009) menggunakan analisis nilai piksel tetangga untuk mendapatkan nilai UHI. Analisis piksel tetangga mengacu pada *local neighbourhood*, untuk mengubah nilai piksel di tengah lingkungan berdasarkan statistik lingkungan lokal piksel (J. G. Liu & Mason, 2013). Untuk mendapatkan UHI menggunakan analisis piksel ketetanggan salah satunya dapat menggunakan operasi filter yang digunakan adalah neighbourhood filter (NF) 3X3. Pertimbangan NF 3x3 adalah pola distribusinya pixel disekitarnya memiliki kesempatan yang sama dan cenderung bersifat terpusat (Rajasekar, 2009). Adapun formula dalam menentukan rentang kawasan terklasifikasi UHI di ArcGis sebagai berikut [persamaan 9]. Dengan rentang waktu penggunaan lahan dari 2001-2019 dan diharapkan diperoleh distribusi UHI secara kompleks dalam rentang 5 tahun.

5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	9.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

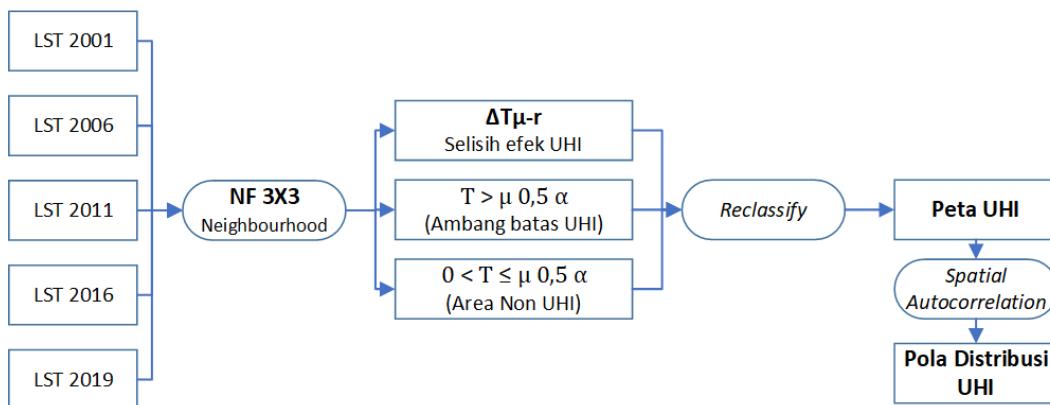
  

5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5.0	5.0	5.4	5.4	5.4	5.0
5.0	5.0	5.4	5.4	5.4	5.0
5.0	5.0	5.4	5.4	5.4	5.0
5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

Gambar 3.7. Contoh perhitungan NF 3X3 pada raster  
Sumber: Esri (2016a)

$$\text{Peta UHI} = T_{mean} - (\mu 0,5 \alpha) \dots \text{Persamaan (9)}$$

dimana  $\mu$  dan  $\alpha$  merupakan rerata dan standar deviasi dari suhu permukaan hasil pengolahan nilai rerata ( $T_{mean}$ ) di daerah penelitian (Fawzi, 2017).



Gambar 3.8. Diagram alur klasifikasi peta UHI  
Sumber: Peneliti, 2020

Untuk menganalisis jenis pola distribusi UHI diperlukan pendekatan *Spatial Autocorrelation* dengan GIS. Autokorelasi spasial adalah taksiran dari korelasi antar nilai observasi yang berkaitan dengan lokasi spasial pada variabel yang sama. Autokorelasi positif menunjukkan adanya kemiripan nilai dari lokasi-lokasi yang berdekatan dan cenderung berkelompok. Sedangkan autokorelasi spasial yang negatif menunjukkan bahwa lokasi-lokasi yang berdekatan mempunyai nilai yang berbeda dan cenderung menyebar.

Karakteristik dari autokorelasi spasial yang diungkapkan oleh Kosfeld (2006), adalah:

1. Jika terdapat pola sistematis pada distribusi spasial dari variabel yang diamati, maka terdapat autokorelasi spasial.

2. Jika kedekatan atau ketetanggaan antar daerah lebih dekat, maka dapat dikatakan ada autokorelasi spasial positif.
3. Autokorelasi spasial negatif menggambarkan pola ketetanggaan yang tidak sistematis.
4. Pola acak dari data spasial menunjukkan tidak ada autokorelasi spasial.

Pengukuran autokorelasi spasial untuk data spasial dapat dihitung menggunakan metode Moran's Index (Indeks Moran), Geary's C, dan Tango's excess (Pfeiffer, 2008). Pada pembahasan makalah ini metode analisis hanya dibatasi pada metode Moran's Index (Indeks Moran). Pengujian secara global melalui statistik Moran's I merupakan pengujian adanya autokorelasi dengan asumsi lokasi sama tetapi variabel berbeda dan berbasis kovarian. Menurut Lee dan Wong (2001) statistik Moran's I dapat diukur dengan rumus sebagai berikut.

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (10)}$$

Dimana  $S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}$  dan  $W_{ij}$  merupakan matriks pembobot tidak terstandarisasi. Apabila dinotasikan secara matriks menjadi persamaan berikut.

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{(x - \bar{x})^T W_{ij} (x - \bar{x})}{(x - \bar{x})^T (-\bar{x})} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (11)}$$

Dimana  $W_{ij}$  merupakan matriks pembobot terstandarisasi. Nilai harapan dari  $I$  yaitu:

$$E(I) = \frac{-1}{(n-1)} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (12)}$$

Pengujian Hipotesis terhadap parameter  $I$  adalah sebagai berikut :

$H_0$ : tidak ada autokorelasi spasial

$H_1$ : terdapat autokorelasi positif (indeks *Moran's I* bernilai positif) atau

$H_1$ : terdapat autokorelasi negatif (indeks *Moran's I* bernilai negatif).

Statistik uji indeks Moran's I diturunkan dalam bentuk statistik peubah acak normal baku. Hal ini didasarkan pada teori Dalil Limit Pusat dimana untuk  $n$  yang besar dan ragam diketahui maka  $Z(I)$  akan menyebar normal baku sebagai berikut.

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (13)}$$

Dimana I merupakan indeks Moran's I, Z(I) merupakan nilai statistik uji indeks Moran's I, E(I) adalah nilai ekspektasi indeks Moran's I, dan Var(I) merupakan nilai varians dari indeks Moran's I dengan

$$\text{Var}(I) = \frac{n^2 \cdot S_1 - n \cdot S_2 + 3 \cdot S_0^2}{(n^2 - 1) \cdot S_0^2} - [E(I)]^2$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

$$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji} \right)^2 = \sum_{i=1}^n (w_{i\bullet} + w_{\bullet i})^2$$

..... Persamaan (14)

Keterangan:

$w_{ij}$  : elemen matriks pembobot terstandarisasi

$w_{i\bullet}$  : jumlah baris ke-i pada matriks pembobot terstandarisasi

$w_{\bullet j}$  : jumlah kolom ke-j pada matriks pembobot terstandarisasi

Pengujian ini akan menolak hipotesis awal jika nilai  $Z(I) > Z(\alpha)$  (autokorelasi positif) atau  $Z(I) < -Z(\alpha)$  (autokorelasi negatif). Positif autokorelasi spasial mengindikasikan bahwa antar lokasi pengamatan memiliki keeratan hubungan. Selanjutnya dalam autokorelasi spasial terdapat pembagian moran *scatterplot*. Moran *Scatterplot* adalah alat yang digunakan untuk melihat hubungan antara nilai pengamatan yang terstandarisasi dengan nilai rata-rata tetangga yang sudah terstandarisasi. Jika digabungkan dengan garis regresi maka hal ini dapat digunakan untuk mengetahui derajat kecocokan dan mengidentifikasi adanya outlier. Moran *Scatterplot* dapat digunakan untuk mengidentifikasi keseimbangan atau pengaruh spasial (Anselin, 1993).

Kuadran I atau HH ( <i>High-High</i> )	Kuadran IV atau HL ( <i>High-Low</i> )
Kuadran II atau LH ( <i>Low-High</i> )	Kuadran III atau LL ( <i>Low-Low</i> )

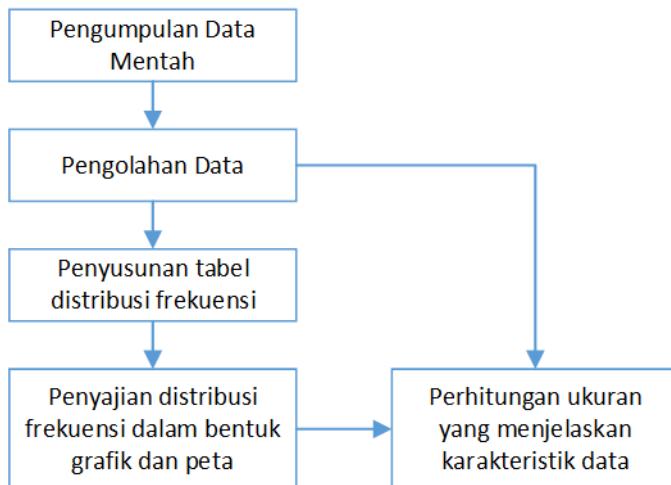
Gambar 3.9. Pembagian moran *scatterplot*  
Sumber: Anselin, 1993 dalam A. Jatayu (2018)

Kuadran I (terletak di kanan atas) disebut *High-High (HH)*, menunjukkan daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi. Kuadran II (terletak di kiri atas) disebut *Low-High (Muniz-Gäal)*, menunjukkan daerah dengan pengamatan rendah tapi dikelilingi daerah dengan nilai pengamatan tinggi. Kuadran III (terletak di kiri bawah) disebut *Low-Low (LL)*, menunjukkan daerah dengan nilai pengamatan rendah dan dikelilingi daerah yang juga mempunyai nilai pengamatan rendah. Kuadran IV (terletak di kanan bawah) disebut *High-Low (HL)*, menunjukkan daerah dengan nilai pengamatan tinggi yang dikelilingi oleh daerah dengan nilai pengamatan rendah. Moran's *Scatterplot* yang banyak menempatkan pengamatan di kuadran HH dan kuadran LL akan cenderung mempunyai nilai autokorelasi spasial yang positif (cluster). Sedangkan Moran's *Scatterplot* yang banyak menempatkan pengamatan di kuadran HL dan LH akan cenderung mempunyai nilai autokorelasi spasial yang negatif.

Analisis ini menentukan apakah distribusi LST tersebar atau mengelompok yang didasarkan pada kedekatan tepi sudut sebagai konseptualisasi hubungan spasial dari nilai LST (Y. Jamei, Rajagopalan, & Sun, 2019). Untuk statistik Global Moran's I,  $H_0$  menyatakan bahwa LST yang dianalisis didistribusikan secara acak di Surabaya Timur. Namun,  $H_0$  ditolak ketika  $p$  (*probability*) yang dikembalikan oleh indeks ini rendah, dan nilai absolut skor-z tinggi dan terletak di luar interval kepercayaan. Indeks Global Moran untuk semua akuisisi adalah  $>0.9$ , yang menunjukkan bahwa variabel tersebut dekat dengan pola kluster dan nilai  $<1\%$  berpeluang acak berdasarkan pada skor-z. Temuan ini adalah konfirmasi lain untuk menolak hipotesis nol. Indeks Moran dihitung pada UHI tahun 2001-2019.

### **3.5.2. Menganalisis karakteristik variabel penyusun *urban configuration***

Karakteristik variabel *urban configuration* dianalisis secara statistik deskriptif. Statistik deskriptif adalah statistik yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau memberikan gambaran terhadap obyek yang diteliti melalui data sampel atau populasi sebagaimana adanya dan membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum (Sugiyono, 2008).



Gambar 3.10. Bagan alir proses statistik deskjptif

Sumber: Peneliti, 2020

Dari data kawasan terdampak UHI dilakukan penyusunan tabel distribusi frekuensi pada setiap variabelnya, dimana tabel distribusi frekuensi merupakan proses analisis pengelompokan data ke dalam beberapa kategori yang menunjukkan banyaknya data setiap kategori (Sugiyono, 2008). Pada tahap selanjutnya penyajian distribusi frekuensi untuk setiap variabel *urban configuration* disajikan dalam bentuk grafik, diagram pie dan peta. Data penelitian hanya diambil pada wilayah terdampak UHI, sehingga kawasan non-UHI tidak dilakukan pengamatan.

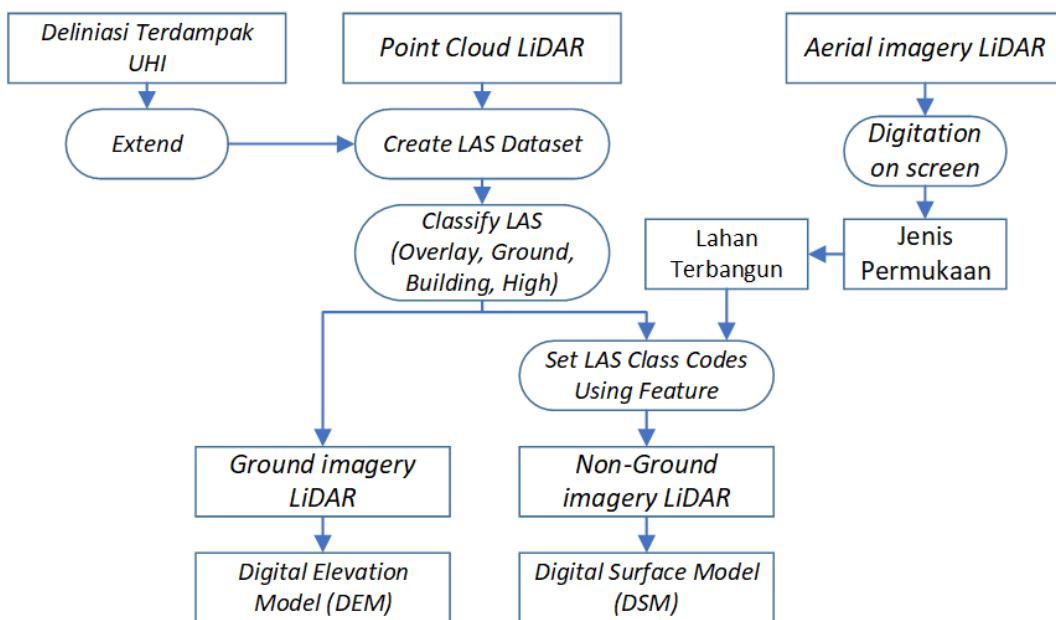
Tabel 3.6. Pengambilan data pada masing masing variabel penelitian

No	Variabel	Sub-variabel	Pengamatan data
1	<i>Urban Green Infrastructure</i>	<i>Urban green space</i>	Seluruh wilayah terdampak UHI
		<i>Urban water space</i>	
2	<i>Urban Geometry</i>	<i>Building Density (BD)</i>	<i>Purposive sampling</i>
		<i>Mean Building High (MH)</i>	<i>Purposive sampling</i>
		<i>Floor Area Ratio (FAR)</i>	<i>Purposive sampling</i>
		<i>Sky View Factor (SVF)</i>	<i>Purposive sampling</i>
3	<i>Urban Material</i>	<i>Sifat Albedo Radiance</i>	<i>Purposive sampling</i>
		<i>Sifat Thermal Admittance</i>	<i>Purposive sampling</i>

Sumber: Peneliti, 2020

Kriteria purposive sampling dalam hal ini adalah kawasan terdampak UHI. Sehingga, untuk kawasan non-UHI tidak dilakukan pengambilan data. Data karakteristik variabel penyusun *urban configuration* diperoleh dari data point cloud dan aerial imagery pada LiDAR. Pengolahan dengan software ArcGIS akan diperoleh data digital elevation model (Aktas) dan digital surface model (DSM). DEM merupakan kenampakan permukaan (terrain) tanah yang memiki referensi

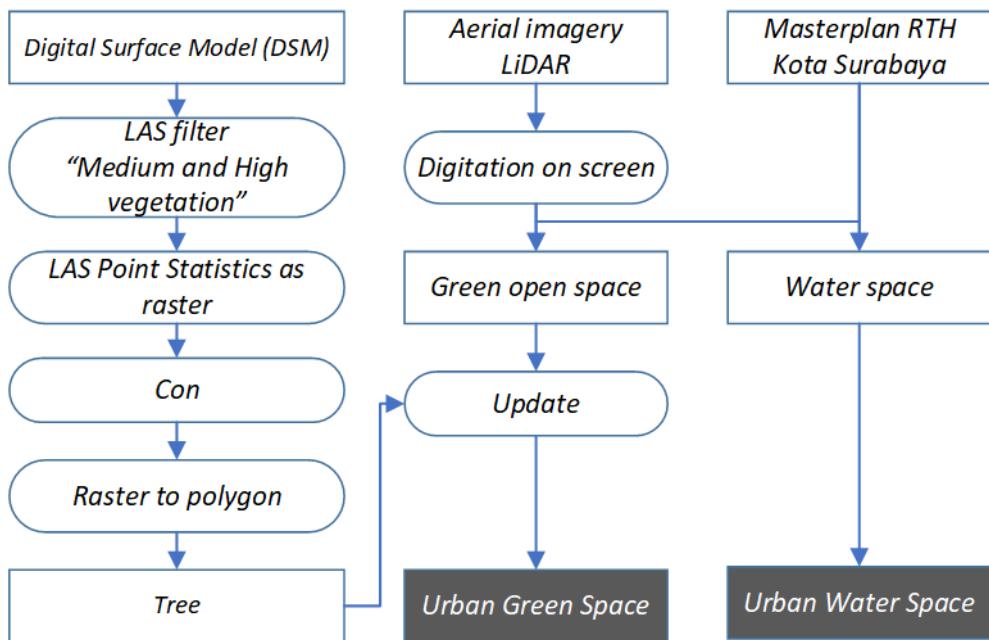
datum vertikal/topografi. Sedangkan DSM adalah fitur alami dan dibangun di permukaan Bumi seperti bangunan dan pohon. Digunakan data batas deliniasi kawasan terdampak UHI untuk memberikan batasan zona analisis dari data LiDAR. Data permukaan yang berupa bangunan ditambahkan guna mengklasifikasikan lahan terbangun dan non terbangun pada data LiDAR. Klasifikasi LAS (*Laser Airbone Survey*) overlay digunakan untuk memisahkan data DEM dan DSM. Klasifikasi LAS *ground* digunakan untuk membuat data kelas permukaan tanah. Klasifikasi LAS *building* untuk mengklasifikasikan data bangunan. Terakhir klasifikasi LAS *high* untuk mengklasifikasikan permukaan berdasarkan tinggi objek alami maupun buatan, termasuk meklasifikasikan vegetasi.



Gambar 3.11. Bagan alir proses pengolahan citra LiDAR  
Sumber: Peneliti, 2020

### 3.5.2.1. Analisis *Urban Green Infrastructure* (Sugiyono)

Metode proses pengolahan data urban green infrastructure untuk mendapatkan sebaran urban green space dan urban water space dijerlaskan dalam diagram berikut. Selain memanfaatkan data dari pengolahan LiDAR juga ditunjang pengambilan informasi dari masterplan RTH Kota Surabaya.



Gambar 3.12. Bagan alir proses pengolahan *Urban Green Infrastructure* (Sugiyono)

Sumber: Peneliti, 2020

## 1. Urban Green Space (UGS)

Merujuk pada penelitian Norton *et al.* (2015) *urban green space* (UGS) terdiri dari green space, pohon, RTH vertikal dan green roof. *Green space* terdiri dari taman, pekarangan, jalur hijau, sempadan dan semak belukar. Pohon umumnya bisa berada di pekarangan, koridor jalan maupun lahan terbuka lainnya. *Green roof* terdiri dari *extensive* (penghijauan atap skala kecil berupa tanaman merambat, bunga dan hidroponik) dan *intensive* (penghijauan atap yang membutuhkan unsur tanah dan sistem air berupa pepohonan, perdu dan tanaman vegetasi). Data utama *urban green space* diperoleh dari analisis pada citra LiDAR. Untuk data pohon diperoleh melalui ekstrasi pada *non-ground imagery* pada LiDAR, data *green space* dan *green roof* diperoleh melalui pengamatan pada *aerial imagery* pada LiDAR, data RTH vertikal diperoleh dari *google street view*. Selain itu digunakan juga dokumen masterplan RTH kota Surabaya guna menunjang kelengkapan data.

## 2. Urban Water Space (UWS)

Merujuk pada penelitian Jacobs *et al.* (2020) *urban water space* (UWS) terdiri dari sungai, bozem/danau, parit/kolam. Data utama *urban water space* diperoleh dari *digitation on screen* pada *aerial imagery* LiDAR. Kemudian digunakan juga dokumen masterplan RTH kota Surabaya guna menunjang kelengkapan data.

### **3.5.2.2. Analisis *Urban Geometry* (*UG*)**

Pengolahan data *urban geometry* digunakan untuk mendapatkan peta sebaran lahan terbangun, ketinggian bangunan dan persebaran blok. Dari peta tersebut dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *building density*, *mean building high*, dan *sky view factor*. Selain memanfaatkan data dari pengolahan LiDAR juga ditunjang pengambilan informasi dari peta penggunaan lahan tahun 2019 yang telah diperoleh pada sasaran pertama.

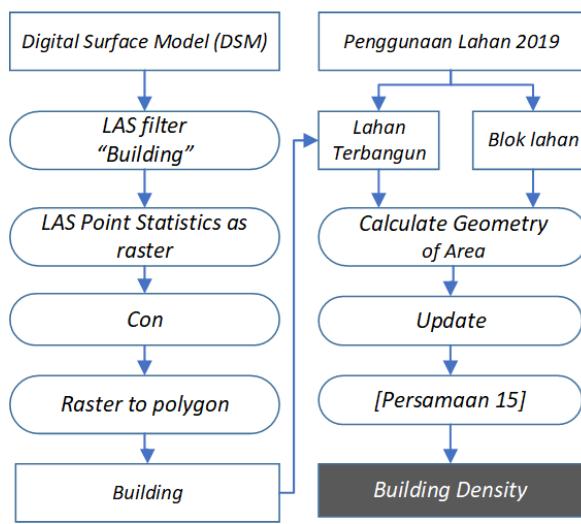
#### **1. Building Density (BD)**

Untuk memperoleh kepadatan bangunan kerangka diadaptasi dari Cai (2018). Dalam hal ini, kepadatan bangunan merupakan persentase permukaan lahan yang tertutup bangunan dalam satu bidang tanah. Melalui filtering bangunan pada citra LiDAR dan penggunaan lahan diperoleh data bangunan yang ada di kawasan Surabaya Timur. Melalui *calculate field* pada ArcGIS, perhitungan kepadatan bangunan menggunakan formula berikut:

$$BD = \frac{\sum_{i=1}^N c_i}{c_L} \dots \text{Persamaan (15)}$$

$c_i$  adalah area tertutup bangunan,

$c_L$  adalah area sebidang tanah



Gambar 3.13. Bagan alir proses pengolahan *building density*  
Sumber: Peneliti, 2020

## 2. **Mean Building High (MH)**

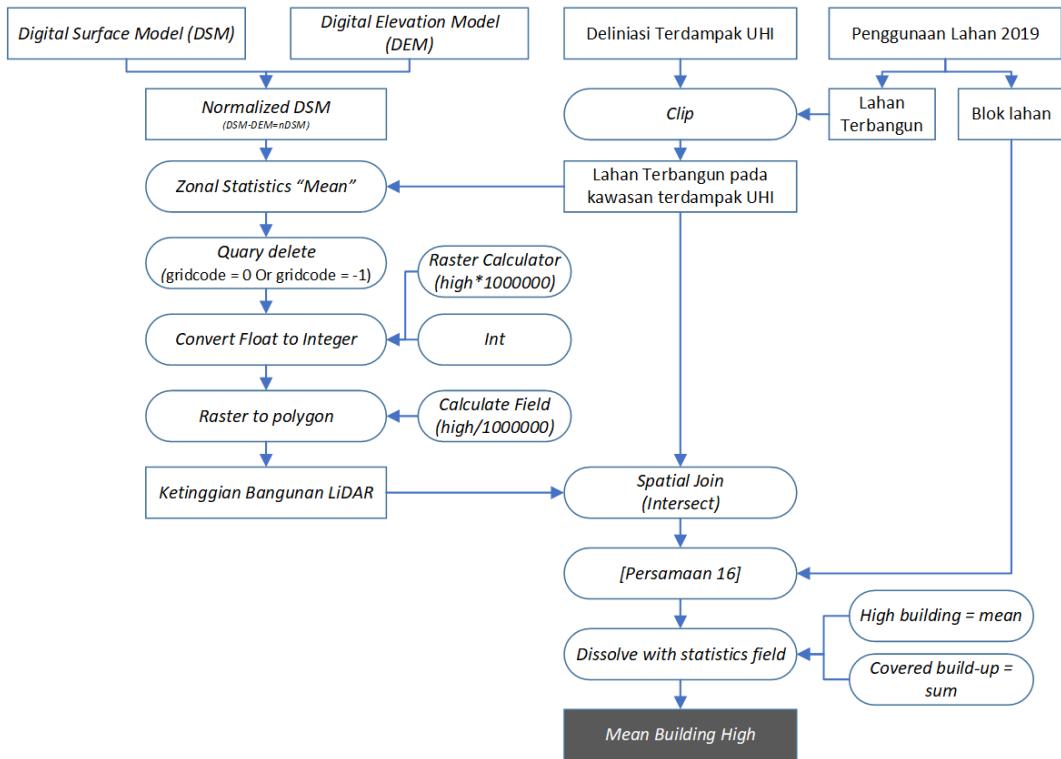
Untuk memperoleh rata-rata ketinggian bangunan kerangka diadaptasi dari Cai (2018). Rata-rata ketinggian bangunan adalah rata-rata tinggi bangunan dalam suatu bidang tanah/blok. Data ketinggian bangunan diperoleh dari nilai *normalized Digital Surface Model (nDSM)* melalui pengurangan antara DEM dan DSM dari data LiDAR. Karena klasifikasi LiDAR hanya berdasarkan ketinggian, maka untuk meningkatkan ketelitian klasifikasi bangunan digunakan data lahan terbangun dari penggunaan lahan tahun 2019. Data nDSM dan lahan terbangun ini nantinya digabungkan menggunakan *zonal statistics* dengan perhitungan *mean* agar diperoleh data ketinggian rata-rata tiap bangunan. Dalam diagram terdapat proses mengubah data dari *float* ke *integer* untuk mempertahankan bilangan desimal pada pengolahan data raster.

Peta ketinggian bangunan hasil LiDAR kemudian dilakukan *spasial join* dengan peta lahan terbangun agar proyeksi bangunan sudah memiliki nilai ketinggian. Tahap terakhir untuk menghitung mean building digunakan formula sebagai berikut:

$$MH = \frac{\sum_{i=1}^N c_i H_i}{\sum_{i=1}^N c_i} \dots \text{Persamaan (16)}$$

$c_i$  adalah area tertutup bangunan,

$H_i$  adalah tinggi bangunan



Gambar 3.14. Bagan alir proses pengolahan *mean building high*

Sumber: Peneliti, 2020

### 3. Floor Area Ratio (FAR)

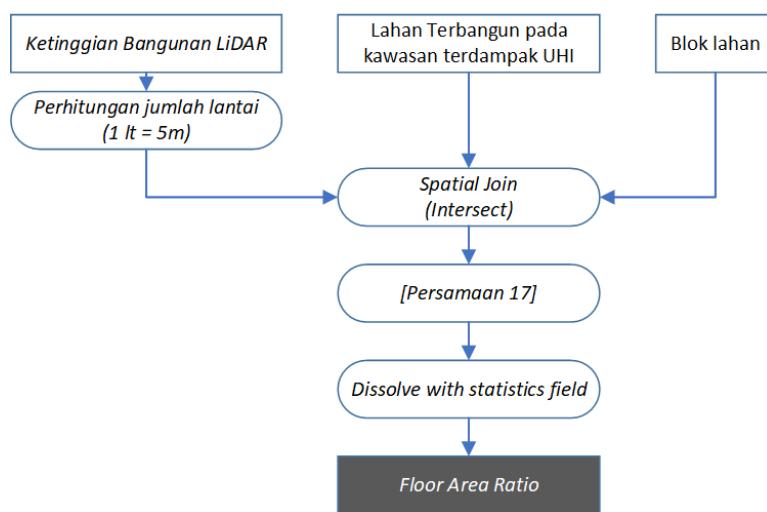
Untuk memperoleh rasio luas lantai kerangka pengolahan diadaptasi dari Cai (2018). Data diperoleh dari ketinggian bangunan yang telah diperoleh dari tahap sebelumnya pada citra LiDAR yang kemudian dikalkulasi dengan asumsi 1 lt 5 meter, untuk memperoleh jumlah lantai bangunan. Data lain yang digunakan adalah lahan terbangun pada kawasan terdampak UHI dan blok lahan. Selanjutnya menggunakan fitur spatial join pada ArcGIS dan persamaan 17 dihasilkan nilai rata-rata ketinggian bangunan.

$$FAR = \frac{\sum_{i=1}^N C_i F_i}{C_L} \dots \text{Persamaan (17)}$$

$C_i$  adalah area tertutup bangunan,

$F_i$  adalah jumlah lantai bangunan,

$C_L$  adalah area sebidang tanah

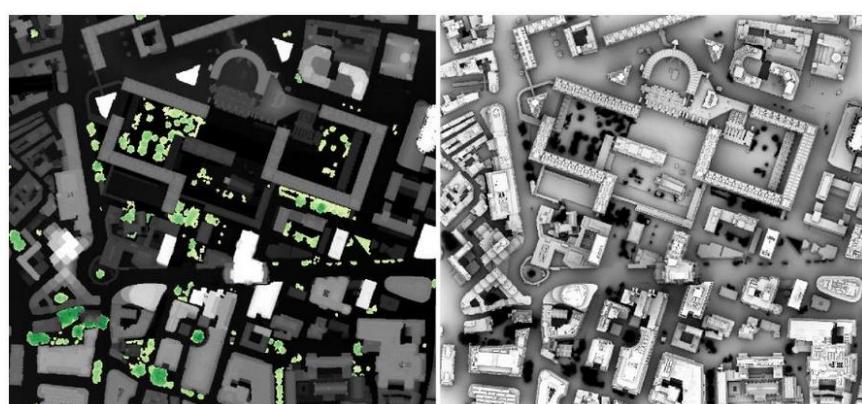


Gambar 3.15. Bagan alir proses pengolahan *floor area ratio*

Sumber: Peneliti, 2020

#### 4. *Sky View Factor (SVF)*

Untuk memperoleh *sky view factor* kerangka pengolahan diadaptasi dari Cai (2018). *Sky view factor* adalah rasio antara radiasi yang diterima oleh permukaan planar dan seluruh lingkungan radiasi hemisfer. *Sky view factor* merupakan bentuk 3D dari rasio H/W dari *canyon/koridor* terhadap ruang bebas langit. Pada pengolahan *sky view factor* nilai *normalized Digital Surface Model* (*nDSM*) dibagi berdasarkan grid yang telah dirumuskan pada sasaran pertama menggunakan ArcGIS. Hal ini dikarenakan perhitungan menggunakan plugin *sky view factor calculator* pada QGis terbatas pada 4.000.000 pixel. Sedangkan data *nDSM* yang digunakan pada wilayah terdampak UHI mencapai 147.547.624 pixel. Karena besarnya ukuran tersebut pembagian berdasarkan tile dataset digunakan dalam variabel ini. Output dari *calculator* berupa nilai rentang *sky view factor* setiap pixel.



(b)

(b)

Gambar 3.16. Contoh hasil estimasi *sky view factor* (a) *ground dan building DSM (grayscale)*, *DSM dilapisi dengan kanopi DSM (kuning ke hijau)*, (b) *SVF yang dihasilkan*  
Sumber: UMEP, 2020

Bangunan dalam hal ini seharusnya memiliki SVF 1 karena bukan zona hemisphere, sehingga tidak dapat dilakukan pengamatan (Dirksen et al., 2019). Namun karena hasil kalkulasi masih menghitung SVF atas bangunan maka perlu dilakukan kalkulasi dalam menghilangkan nilai tersebut. Dilakukan filtering menggunakan ArcGis untuk memperoleh nilai SVF pada area *boundary layer* dengan menghilangkan nilai SVF (diubah menjadi 1) atas bangunan. Formula dalam menghitung *sky view factor* sebagai berikut:

$$SVF = 1 - \sum_{i=1}^N \sin^2 \beta_i \left( \frac{\alpha_i}{360^\circ} \right) \dots \text{Persamaan (18)}$$

N : jumlah total elemen sudut hambatan di lingkungan hemisfer;

$\alpha_i, \beta_i$  : masing-masing mencerminkan sudut elevasi dan azimut dari elemen sudut i (Lindberg (2010))

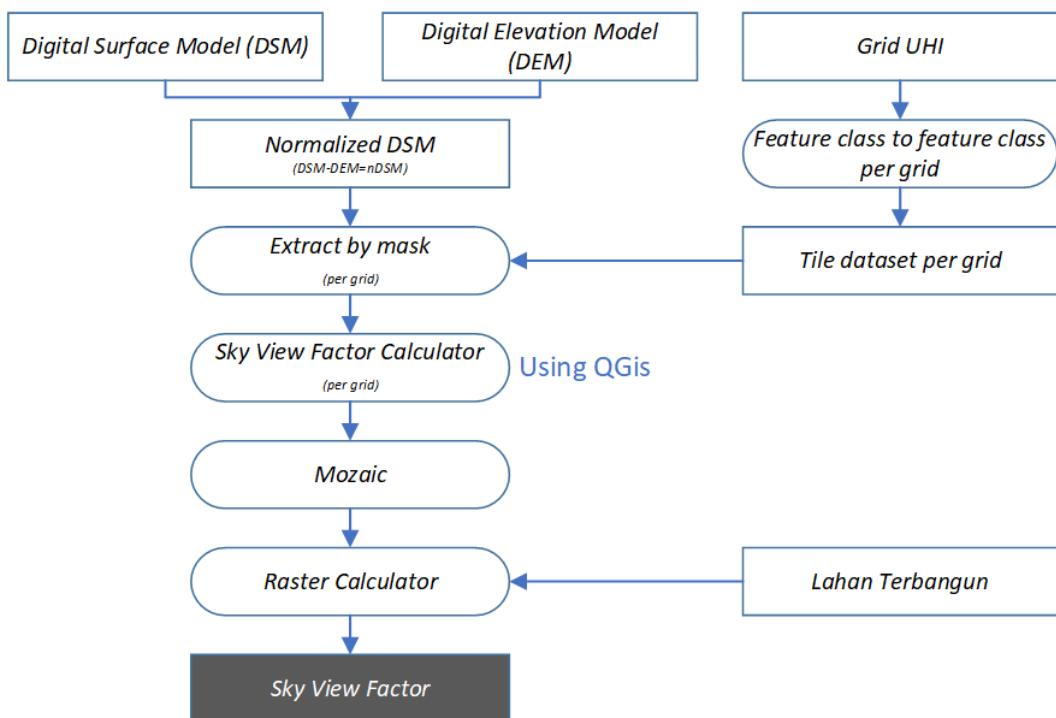
Karena ArcGIS menggunakan formula *phyton* untuk melakukan analisis spasial, maka formula untuk mengubah nilai SVF pada atap bangunan hasil estimasi adalah

- a. **Erase SVF building** : SetNull(~IsNull("terbangun")),"SkyViewFactor mask.img")

.....Persamaan (19)

- b. **Input value SVF on building:** Con( IsNull("erase svf.tif"),0,"erase svf.tif") + Con( IsNull(Con("SkyViewFactor mask.img" + "terbangun" <10, 10, "SkyViewFactor mask.img")), 0, Con("SkyViewFactor mask.img" + "terbangun" <10, 10, "SkyViewFactor mask.img"))")

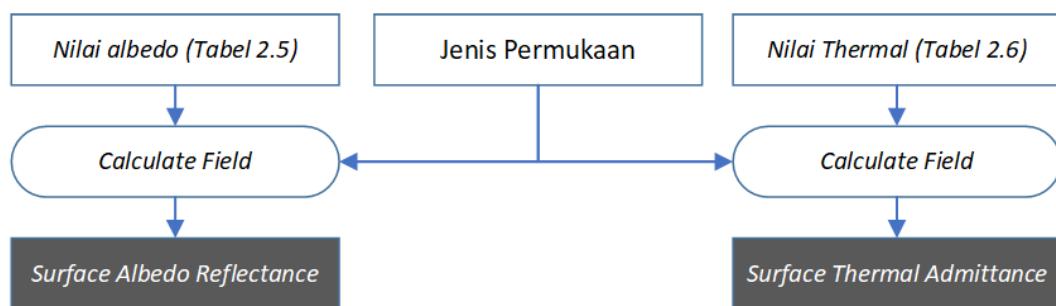
.....Persamaan (20)



Gambar 3.17. Bagan alir proses pengolahan *sky view factor*  
Sumber: Peneliti, 2020

### 3.5.2.3. Analisis *Urban Material*

Nilai *urban material* diperoleh melalui klasifikasi jenis permukaan dari aerial imagery LiDAR dan berdasarkan tinjauan literature pada tabel (2.5) dan tabel (2.6) tentang nilai *albedo* dan nilai *thermal admittance*.



Gambar 3.18. Bagan alir proses pengolahan *urban material*  
Sumber: Peneliti, 2020

#### 1. Surface Albedo Reflectance

Surface *albedo reflectance* merupakan banyaknya nilai panas matahari yang dipantulkan oleh jenis permukaan. Tingkat banyaknya panas yang dipantulkan sangat dipengaruhi oleh warna permukaan, dan bahan permukaan (**tabel 2.5**).

Kemudian dari jenis permukaan dan tabel nilai albedo dilakukan calculate field menggunakan ArcGIS untuk mengisi nilai masing-masing permukaan.

## 2. Surface Thermal Admittance

Surface *thermal admittance* merupakan banyaknya nilai panas matahari yang diserap oleh jenis permukaan. Tingkat banyaknya panas yang diserap sangat dipengaruhi oleh warna permukaan, dan bahan permukaan (**tabel 2.6**). Kemudian dari jenis permukaan dan tabel nilai *thermal admittance* dilakukan *calculate field* menggunakan ArcGIS untuk mengisi nilai masing-masing permukaan.

### 3.5.3. Menganalisis variabel penyusun *urban configuration* yang mempengaruhi *urban heat island*

### **3.5.3.1.Menentukan Sampel**

Data sampel akan digunakan untuk menentukan besaran ukuran variabel UHI (dependen) dan sisasanya digunakan sebagai kalibrasi model (ESRI, 2020b). Dari data raster LST citra Landsat ukuran 30x30m diubah kedalam point menggunakan polygon to point, hingga menghasilkan 64.000 titik populasi. Perlu diperhatikan bahwa Semakin banyak titik pengamatan yang digunakan akan menunjukkan kredibilitas analisis penelitian (Sugiyono, 2008). Maka metode pengambilan sampel ini didasarkan pada sampel size kalkulator melalui [www.raosoft.com](http://www.raosoft.com). Sampel calculator ini tepat digunakan karena mampu memberikan ukuran data sampel dengan populasi yang sangat besar. Metode sampel yang digunakan mempertimbangkan ukuran error dari citra Landsat dan tingkat kesalahan yang paling umum digunakan dalam penelitian ( $\alpha$ ) sebesar 0.05 (Hill, 1998). Pertimbangan penggunaan sample dengan ukuran yang besar ditunjang dari Roscoe (1975) yang dikutip Uma Sekaran (2006), Edward (2015), Isaac and Michael (1995) dan Bartlett (2001). Perhitungan sample digunakan persamaan sebagai berikut, dengan tingkat kepercayaan 0,5 dan margin error 1%:

$$X = Z \left( \frac{c}{100} \right)^2 r(100 - r)$$

$$n = N \left( \frac{x}{(N-1)E^2 + X} \right)$$

$$E = \text{Sqrt}\left[\frac{(N-n)x}{n(N-1)}\right] \quad \dots \dots \dots \text{ (Persamaan 21)}$$

N: ukuran populasi,

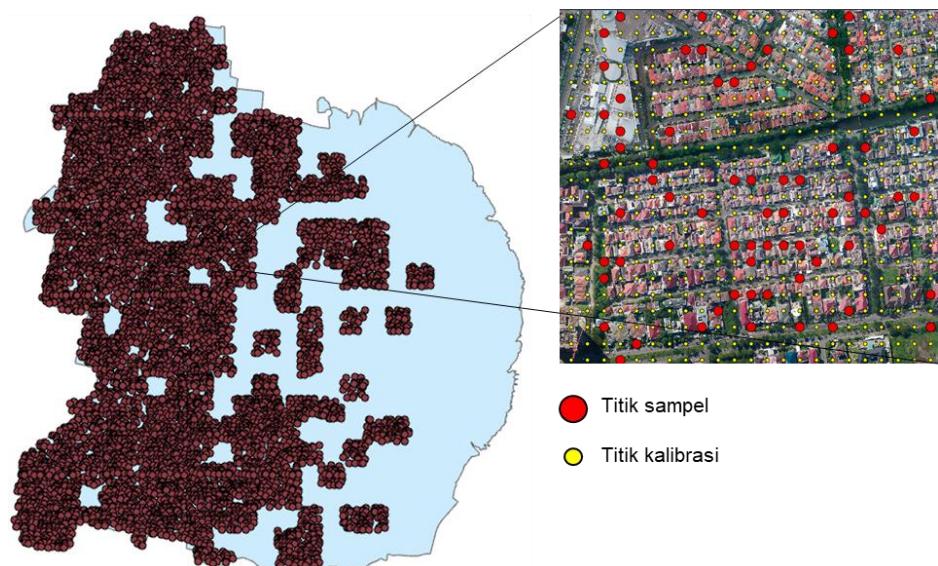
n: ukuran sampel

r: sebagian kecil dari respons yang diminati,

Z (c / 100): adalah nilai kritis untuk tingkat kepercayaan c.

E: margin error

Dari perhitungan sampel tersebut dihasilkan **8366** titik sampel dari 64000 populasi. Kemudian dilakukan create random sampel dengan fitur ArcGIS dihasilkan peta titik sampel dan peta titik validasi sebagai berikut:

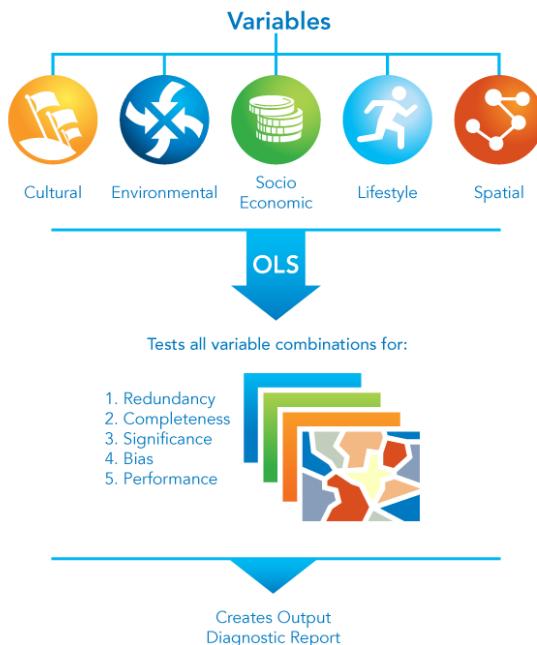


Gambar 3.19. Sampel regresi spasial

Sumber: [www.raosoft.com](http://www.raosoft.com) Esri (2020d)Esri (2020d)

### 3.5.3.2. Menyusun model regresi

Tahap pertama, untuk mengetahui variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap urban heat island maka digunakan analisis stepwise. Analisis stepwise dilakukan menggunakan toolbox exploratory regression pada ArcGIS. Sistem kerja exploratory regression ini adalah mengevaluasi semua kemungkinan kombinasi variabel penjelas calon input, mencari model OLS yang paling menjelaskan variabel dependen dalam konteks kriteria yang ditentukan pengguna (ESRI, 2020a).



Gambar 3.20. Illustrasi analisis *stepwise* menggunakan *exploratory regression*

Sumber: Esri (2020d)

Analisis regresi *Ordinary Least Square (OLS)* digunakan untuk memperoleh sub-variabel mana yang mempengaruhi UHI. Regresi digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara dua atau lebih atribut fitur (Mitchell, 2005). Sub-variabel yang paling berpengaruh menjadi penentu terjadinya peningkatan maupun penurunan suhu permukaan. OLS merupakan analisis regresi mengenai ketergantungan satu variabel dependen (terikat) dengan satu atau lebih variabel independen (variabel bebas), dengan tujuan untuk mengestimasi dan atau memprediksi rata-rata populasi atau nilai rata-rata variabel dependen berdasarkan nilai variabel independen yang diketahui (Craven, 2011). Variabel y (variabel dependen) adalah nilai UHI, sedangkan, variabel x (variabel independen) adalah faktor-faktor *urban configuration*. Analisis OLS dilakukan dengan bantuan ArcGIS

Tabel 3.7. Tabel variabel depen (Y) dan independen (X) *urban configuration*

No	Variabel Independen / Dependend	Variabel
1	Y	Distribusi UHI
2	X1	<i>Urban green space</i>
3	X2	<i>Urban water space</i>
4	X3	<i>Building Density (BD)</i>
5	X4	<i>Mean Building High (MH)</i>
6	X5	<i>Floor Area Ratio (FAR)</i>
7	X6	<i>Sky View Factor (SVF)</i>

8	X7	<i>Surface Albedo Radiance</i>
9	X8	<i>Surface Thermal Admittance</i>

Sumber: Peneliti, 2020

Secara sederhana metode *Ordinary Least Square (OLS)* jika memiliki hubungan linier dapat diekspresikan pada formula berikut (**Persamaan 22**). Semakin linear semakin tegak lurus hubungan antara variabel tersebut.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n + \varepsilon \dots \dots \dots \text{ (Persamaan 22)}$$

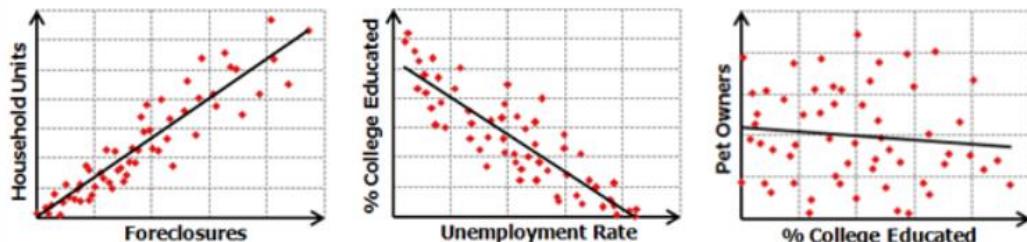
*Y* : Dependent variable

$\beta_0, \beta_1, \dots$  : Coefficients

$X_1, X_2, \dots$  : Explanatory variables

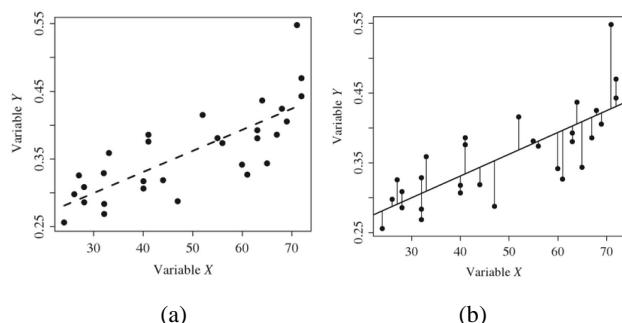
$\varepsilon$  : Random error

Tanda (+/-) yang terkait dengan koefisien (satu untuk setiap variabel penjelas) memberi tahu Anda apakah hubungannya positif atau negatif. Jika Anda memodelkan pencurian perumahan dan mendapatkan koefisien negatif untuk variabel Pendapatan, misalnya, itu berarti bahwa ketika pendapatan rata-rata di lingkungan meningkat, jumlah pencurian perumahan turun.



Gambar 3.21. Scatterplots: hubungan positif, hubungan negatif, dan kasus dua variabel tidak terkait

Sumber: Esri (2020d)



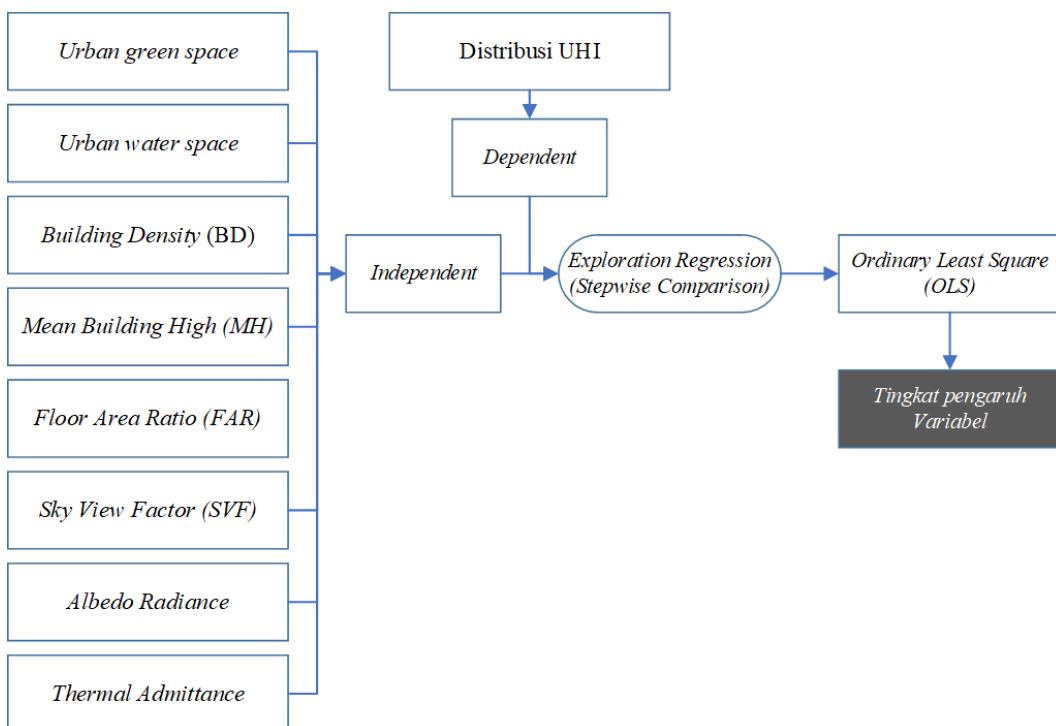
Gambar 3.22. (a) Garis regresi *Least Square*, (b) model residual regresi OLS

Sumber: Craven, 2011

OLS digunakan karena tidak diperlukannya titik prediktor. Pada penelitian telah diperoleh nilai variabel suhu permukaan (Y) hasil pengolahan citra satelit

(Saefuddin, 2011). Didalam model regresi terdapat 2 jenis hubungan terhadap variabel independen. Hubungan dikatakan positif apabila variabel memiliki pengaruh linier dengan variabel dependen, negatif apabila variabel memiliki pengaruh yang berlawanan dengan variabel dependen (Esri, 2020d). Selain itu hasil dari OLS juga akan diperoleh kererangan diagnosis sebagai bentuk uji validitas model, dengan hasil sebagai berikut

- a. Koefisien: Merupakan kekuatan dan jenis hubungan antara masing-masing variabel penjelas dan variabel dependen.
- b. Probabilitas dan Robust Probabilitas (Robust\_Pr): Asterisk (\*) menunjukkan koefisien yang signifikan secara statistik ( $p < 0,01$ ); jika Koenker (BP) Statistik signifikan secara statistik, gunakan kolom Robust Probability (Robust\_Pr) untuk menentukan signifikansi koefisien.
- c. Variance Inflation Factor (VIF): Nilai Variance Inflation Factor (VIF) yang besar ( $> 7,5$ ) menunjukkan redundansi di antara variabel penjelas.
- d. Kriteria Informasi R-Squared dan Akaike (AICc): Ukuran kecocokan / kinerja model.
- e. Gabungan F dan Wald Statistics: Asterisk (\*) menunjukkan signifikansi keseluruhan model ( $p < 0,01$ ); jika Statistik Koenker (BP) adalah signifikan secara statistik, gunakan Statistik Wald untuk menentukan signifikansi keseluruhan model.
- f. Statistik Koenker (BP): Ketika tes ini signifikan secara statistik ( $p < 0,01$ ), hubungan yang dimodelkan tidak konsisten (baik karena non-stasioneritas atau heteroskedastisitas). Anda harus mengandalkan Robust Probabilities (Robust\_Pr) untuk menentukan signifikansi koefisien dan pada Statistik Wald untuk menentukan signifikansi keseluruhan model.
- g. Jarque-Bera Statistik: Ketika tes ini signifikan secara statistik ( $p < 0,01$ ) prediksi model bias (residu tidak normal didistribusikan), sehingga tidak ada variabel kunci dalam model. Disisi lain spatial autocorrelation juga Z-Score harus berpola random.



Gambar 3.23. Bagan alir proses pembobotan variabel *urban configuration*

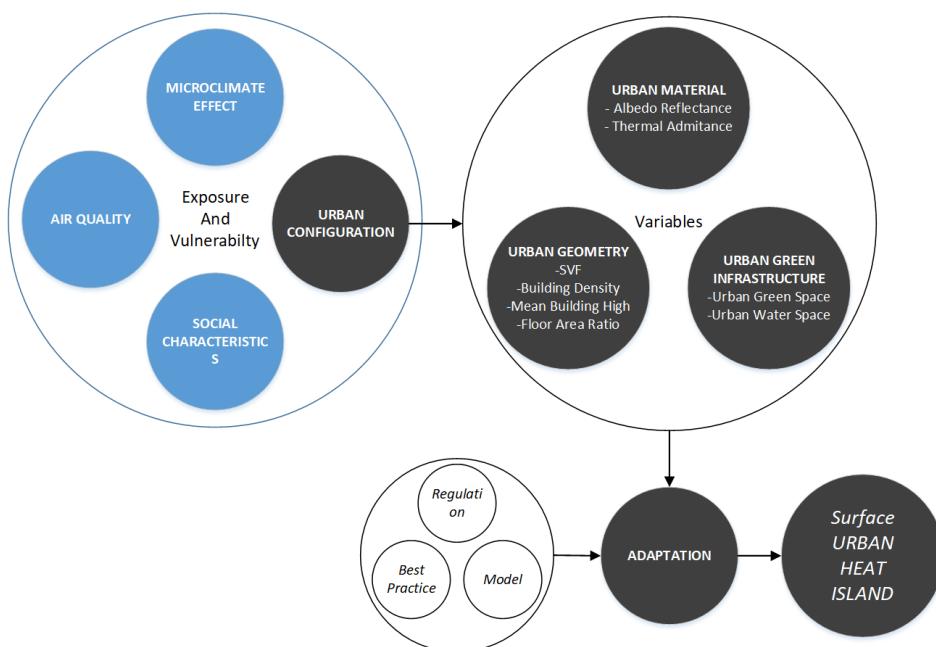
Sumber: Peneliti, 2020

### 3.5.4. Merumuskan konsep adaptasi UHI berdasarkan klasifikasi *urban configuration*

Adaptasi UHI dibagi berdasarkan karakteristik *urban configuration* di kawasan Surabaya Timur. Pembagian kategori mengacu pada **tabel 2.10.** terkait klasifikasi *urban climate zone* (UCZ) berdasarkan *urban configuration*. Variabel yang digunakan dalam membagi karakteristik tersebut adalah jenis penggunaan lahan, *sky view factor* dan kepadatan bangunan (P. R. Oke, 2006). Pembagian strategi adaptasi didasarkan pada grid UHI yang telah dirumuskan pada pembahasan populasi dan sampel. Secara komposisi, *urban configuration* dalam menjawab penelitian ini merupakan salah satu variabel *exposure and vulnerability* terhadap UHI.

Berdasarkan kategorisasi perkotaan dilakukan analisis secara deskriptif kualitatif melalui *gap analysis* sederhana dalam merumuskan konsep adaptasi pada masing masing kategori. *Gap analysis* merupakan suatu metode pengukuran untuk mengetahui kesenjangan (*gap*) antara kondisi suatu variabel dengan harapan terhadap variabel tersebut (Wahyuni, 2014). Pertimbangan *best practice*, kebijakan dan penelitian terkait dijadikan sebagai referensi pustaka. Konsep adaptasi

dipertimbangkan berdasarkan bobot karakteristik *green infrastruktur*, *urban material*, dan *urban geometrik* hasil sasaran ketiga. Kemudian dilanjutkan melakukan *trial and error* pendekatan yang paling relevan dan optimal untuk diterapkan. *Trial and error* adalah pemilihan dan pengujian berdasarkan referensi untuk mengukur seberapa efektif penerapan adaptasi yang digunakan. Merujuk acuan dari UN Habitat III point 79 yang menjelaskan diperlukannya adaptasi melalui penurunan suhu sebesar 1,5°C. Selain itu akan dipertimbangkan juga berdasarkan *trend* perubahan suhu permukaan selama 20 tahun dan bobot kontribusi varibel *urban configuration* terhadap UHI hasil regresi. Selanjutnya strategi yang telah dirumuskan dijabarkan melalui matrik pentahapan, struktur dan sektor penanggung jawab sebagai upaya peneliti menjabarkan skema implementasi adaptasi UHI



Gambar 3.24. Skema perumusan konsep adaptasi  
Sumber: Peneliti, 2020 (dikembangkan dari (Richardson, 2007 #277@ @author-year))

### 3.6. Tahapan Penelitian

#### 3.6.1. Perumusan Masalah

Tahap ini terdiri atas identifikasi masalah, yakni adanya fenomena UHI namun kebijakan yang mengakomodasi masih banyak berorientasi pada iklim lingkungan khususnya penanganan UHI

### **3.6.2. Studi Pustaka**

Merupakan tahap tinjauan dari berbagai literatur terkait landasan teori yang digunakan dalam penelitian. Mulai dari definisi, proses, karakteristik, hingga faktor yang mempengaruhi UHI. Sumber pustaka berasal dari buku, jurnal, thesis, prosiding, undang-undang, serta website

### **3.6.3. Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan melalui survei sekunder. Kelengkapan dan keakuratan data sangat mempengaruhi oleh proses analisis dan hasil penelitian. Sehingga pengumpulan data yang dilakukan harus memiliki validitas yang tinggi.

### **3.6.4. Analisa Data**

Tahap ini merupakan tahap pembahasan dari seluruh sasaran yang telah dirumuskan dalam penelitian. Hasil analisis nantinya adalah sebagai dasar penarikan kesimpulan penelitian.

### **3.6.5. Kesimpulan**

Tahap ini merupakan tahap terakhir sekaligus merupakan jawaban dari penelitian. Penarikan kesimpulan berdasarkan atas hasil analisa data. Kesimpulan penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait konsep manajemen perkotaan dalam upaya adaptasi UHI secara implementatif

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Gambaran Umum Wilayah Studi**

Perkembangan lahan Kota Surabaya saat ini memiliki kecenderungan tumbuh kearah Surabaya Timur (Arifah, 2018). Diindikasikan oleh pembangunan tren *highrise building* sebagai kawasan komersial dan hunian. Hal ini berdampak pada peningkat fenomena UHI (*Urban Heat Island*). Kondisi gambaran umum wilayah studi yang erat kaitannya terhadap UHI dijelaskan sebagai berikut.

##### **4.1.1. Wilayah Administasi Surabaya Timur**

Secara geografis, wilayah Surabaya Timur terletak pada koordinat  $112^{\circ} 44' 32.6''$  BT -  $112^{\circ} 50' 48.3''$  BT dan  $7^{\circ} 14' 6.4''$  LS -  $7^{\circ} 20' 36.8''$  LS. Memiliki luas wilayah sebesar 9746 Ha. Merupakan dataran rendah dengan ketinggian antara 0-7m diatas permukaan laut dan kemiringan kurang dari 3 persen.

Tabel 4.1. Pembagian Administrasi Wilayah Surabaya Timur

No	Kecamatan	Kelurahan	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )
1	Tambaksari	Dukuh Setro, Gading, Kapas Madya Baru, Pacar Keling, Pacar Kembang, Plosok, Rangkah, Tambaksari	8,84
2	Gubeng	Airlangga, Barata Jaya, Gubeng, Kertajaya, Mojo, Pucangsewu	7,94
3	Rungkut	Kali Rungkut, Kedung Baruk, Medokan Ayu, Penjaringan Sari, Rungkut Kidul, Wonorejo	22,51
4	Tenggilis Mejoyo	Kendangsari, Kutisari, Panjang Jiwo, Tenggilis Mejoyo	5,82
5	Gunung Anyar	Gunung Anyar, Gunung Anyar Tambak, Rungkut Menanggal, Rungkut Tengah	9,97
6	Sukolilo	Gebang Putih, Keputih, Klampis Ngasem, Medokan Semampir, Menur Pumpungan, Nginden Jangkungan, Semolowaru	28,78
7	Mulyorejo	Dukuh Sutorejo, Kalijudan, Kalisari, Kejawon Putih Tambak, Manyar Sabrangsan, Mulyorejo	13,60
Total			97,46

*Sumber: RTRW Kota Surabaya 2019-2039*

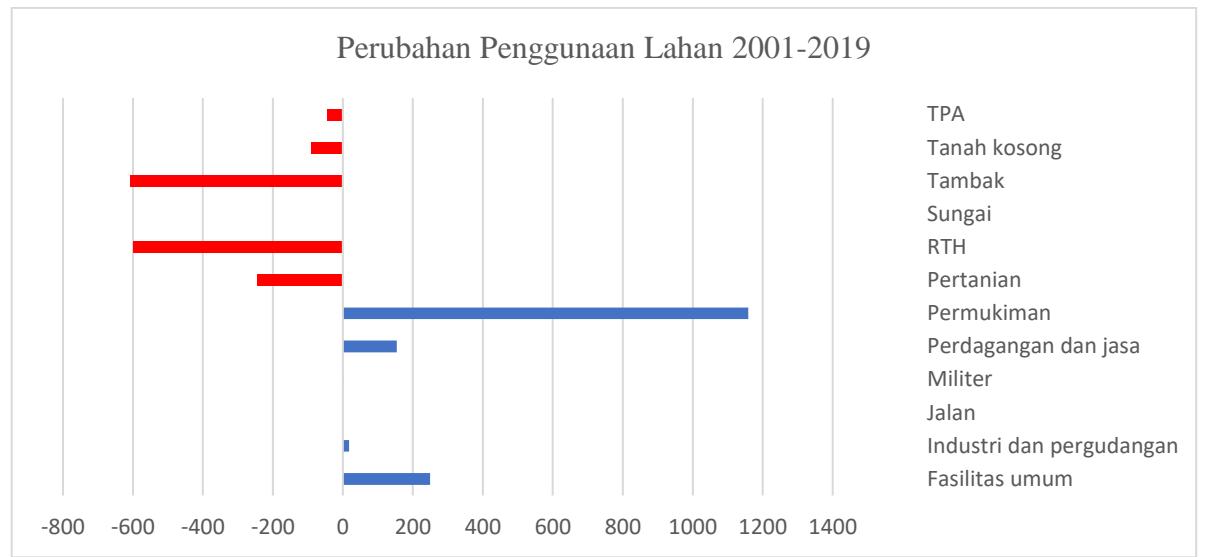
#### **4.1.2. Perubahan penggunaan lahan tahun 2001-2019 Kawasan Surabaya Timur**

Hingga tahun 2019 penggunaan lahan di Wilayah Surabaya Timur didominasi oleh penggunaan lahan sebagai permukiman yaitu sekitar 3.917,15 Ha atau 40,18 % dari total luas wilayah Surabaya Timur. Sedangkan penggunaan lahan sebagai RTH seluas 783,06 Ha atau 8,03 % dari total luas wilayah Surabaya Timur. Penggunaan lahan lainnya yang terdapat di wilayah Surabaya Timur yaitu industri dan pergudangan, fasilitas umum, jalan, area militer, perdagangan dan jasa, pertanian, sungai, tambak, dan tanah kosong. Hasil pengamatan pada GIS terjadi perubahan lahan permukiman yang signifikan sekitar 1159 Ha. Sedangkan lahan tambak dan RTH cenderung paling mudah mengalami alih fungsi lahan. Dapat disimpulkan bahwa semua lahan terbangun mengalami perkembangan termasuk industri, perdagangan dan fasilitas umum. Namun permukiman memiliki pengaruh paling besar terhadap alih fungsi lahan tambak dan RTH. Umumnya lahan ini tersebar pada sisi timur kawasan Surabaya Timur. Berikut luasan dari perubahan penggunaan lahan yang terdapat di wilayah Surabaya Timur.

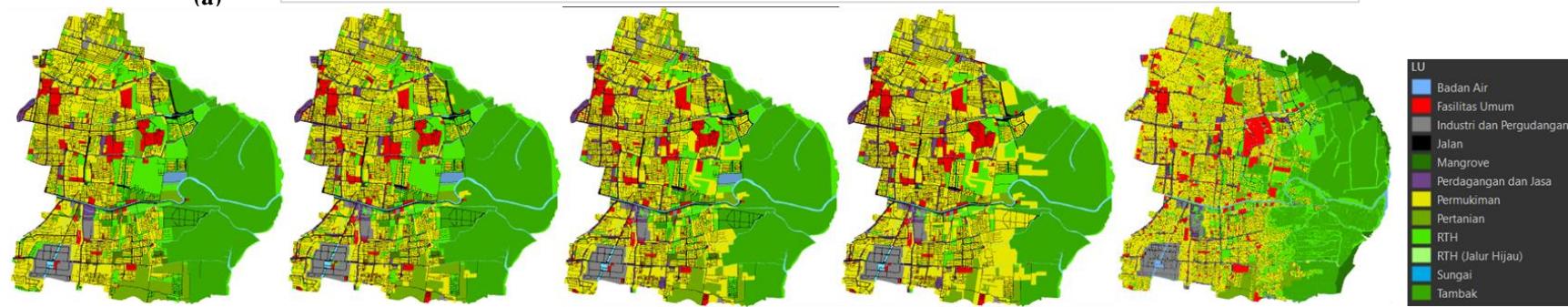
Tabel 4.2. Perubahan penggunaan lahan 2001-2019 kawasan Surabaya Timur

No	Penggunaan Lahan	2001	2006	2011	2016	2019	Perubahan Luas (Ha)
1	Fasilitas umum	381.979	466.283	467.248	505.484	631.515	249.536
2	Industri dan pergudangan	286.802	319.396	325.731	329.706	304.2147	17.4127
3	Jalan	1214.85	1214.85	1214.85	1214.85	1214.85	0
4	Militer	1.466	2.566	2.566	2.566	2.566	1.1
5	Perdagangan dan jasa	168.895	288.495	303.526	313.097	322.8045	153.9095
6	Permukiman	2878.11	2908.48	3234.68	3943.93	4037.212	1159.102
7	Pertanian	461.427	409.416	308.761	215.659	215.659	-245.768
8	RTH	1317.57	1162.67	964.902	719.698	719.698	-597.872
9	Sungai	199.751	199.751	199.751	199.751	199.751	0
10	Tambak	2743.86	2710.56	2677.14	2339.58	2136.05	-607.81
11	Tanah kosong	91.377	60.898	44.209	2.14	2.14	-89.237
12	TPA	43.096	43.096	43.096	0	0	-43.096

Sumber: RTRW Kota Surabaya, A. S. Jatayu, Cahyono (2018)



(a)



(b)

Gambar 4.1. Perubahan Lahan 2001-2019 di Kawasan Surabaya timur

Sumber: RTRW Kota Surabaya 2019-2039, A. S. Jatayu, Cahyono (2018)

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

#### **4.1.3. Rencana Tata Ruang Terkait**

Pada pengelolaan iklim *lokalscale* di Kawasan Surabaya Timur dapat merujuk pada dokumen Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) yang dibagi menurut unit pengembangan (UP) dan Rencana Tata Ruang Wilayah (Surabaya). Kawasan Surabaya Timur melingkupi 3 UP, diantaranya RDTRK UP Kertajaya, RDTRK UP Rungkut, RDTRK UP Darmahusada. Dari dokumen tersebut dapat diamati pada arahan pengembangan, bagaimana perencanaan yang ada dikaitkan dalam mengakomodasi rumusan adaptasi UHI. Bentuk manajemen perkotaan dapat dilakukan secara *top down*, melalui pengamatan kebijakan yang berlaku (Archer et al., 2014).

##### **4.1.3.1.RTRW Kota Surabaya**

Beberapa point utama ketentuan pengendalian yang dapat diiterasi dari RTRW Kota Surabaya terkait adaptasi UHI adalah:

1. Zonasi untuk pusat kegiatan nasional, pelayanan kota, dan sub pusat pelayanan kota berupa: Pemanfaatan ruang untuk bangunan vertikal dengan intensitas yang tinggi disertai penyediaan ruang terbuka hijau secara proporsional dan sesuai dengan kebutuhan.
2. Zonasi untuk prasarana jaringan jalan bebas hambatan, jalan tol, dan arteri: Pemanfaatan ruang di sekitar jalan untuk kawasan sempadan berupa Ruang Terbuka Hijau.
3. Pemanfaatan ruang di sepanjang sisi jalur kereta api untuk ruang pengawasan jalur kereta api berupa ruang terbuka hijau.
4. Penyediaan sistem peresapan air di sekitar kawasan jaringan sempadan sumber daya air.
5. Adanya zona hijau pada area sempadan sungai dan sempadan pantai

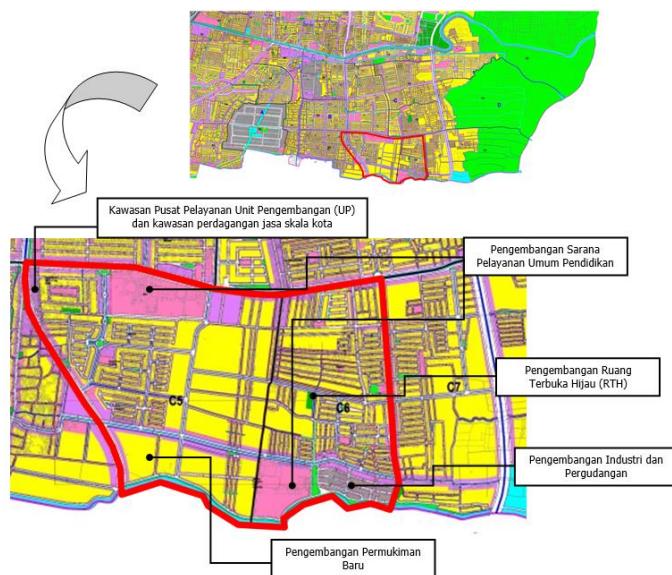
Dalam rangka mencapai ketersediaan ruang hijau kota yang kemudian akan meningkatkan mutu lingkungan hidup perkotaan, maka jenis insentif yang potensial adalah insentif berupa penetapan peraturan yang jelas mengenai penyediaan ruang hijau kota. Insentif berupa subsidi dari pemerintah bagi pengadaan ruang hijau kota oleh swasta. Sedangkan jenis disinsentif yang potensial adalah penetapan hukum yang jelas bagi pelanggaran pemanfaatan lahan yang telah ditetapkan sebagai ruang

hijau kota. Disinsentif berupa pengenaan pajak yang lebih tinggi pada lahan-lahan yang dialokasikan bagi ruang hijau kota.

#### **4.1.3.2.RDTRK UP Rungkut**

Beberapa point utama ketentuan pengendalian yang dapat diiterasi dari RDTRK UP Rungkut terkait adaptasi UHI adalah:

1. Penambahan RTH Publik dan Privat minimum 30% dari luas kawasan
  - Penyediaan dan peningkatan kualitas dan kuantitas RTH di kawasan perumahan serta penyediaan RTH publik minimal 7% pada zona perumahan.
  - Penyediaan taman di setiap kelurahan di UP I Rungkut
  - Penyediaan RTH publik minimal 10% pada zona industri
  - Penyediaan dan perawatan jalur hijau sepanjang jalan arteri, kolektor, lokal dan jalan lingkungan
2. Optimalisasi fungsi Waduk/Bozem Wonorejo serta penghijauan pada kawasan sempadan waduk/bozem
3. Penetapan kawasan sempadan pantai
4. Penetapan sempadan sungai pada seluruh UP I Rungkut yang dilewati sungai dengan jarak minimal 3 meter dari bibir sungai melalui penghijauan
5. Perlindungan kawasan sepanjang sempadan SUTT/SUTET melalui penghijauan
6. Pengembangan yang diprioritaskan pada Sub UP 1-C
7. Penataan intensitas bangunan dan tata bangunan pada kawasan perdagangan dan Jasa, permukiman dan industri
8. Penyediaan taman untuk ruang publik yang ditata dengan tata hijau minimum 80%, perk殷asan 20%
9. Pada koridor jalan MERR dilakukan pengaturan intensitas bangunan di sekitar jalan MERR (KDB,KLB dan ketinggian bangunan) sesuai peraturan KKOP, penyediaan jalur pejalan kaki sepanjang koridor jalan MERR, penataan Garis Sempadan Bangunan (GSB) dan Penyediaan jalur hijau (RTH)
10. Pengembangan RTH skala lingkungan perumahan



Gambar 4.2. Arahan pengembangan Sub UP Prioritas Sub UP I-C (Blok I-C5 dan Blok I-C6)

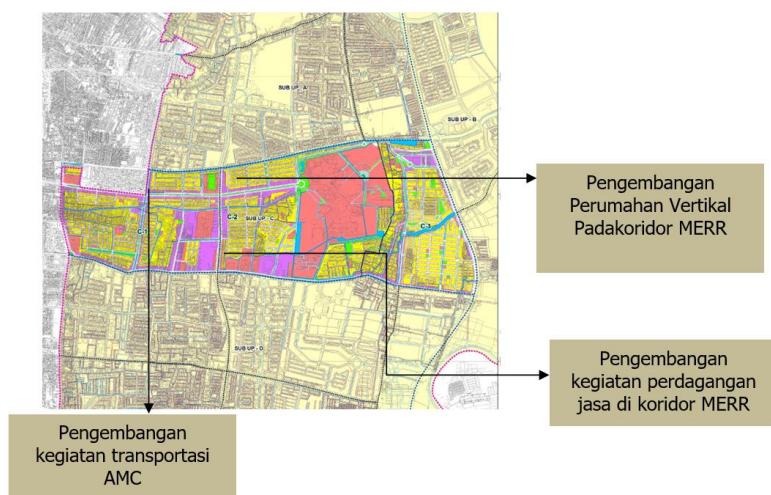
Sumber: RDTRK UP Rungkut 2019-2039

#### 4.1.3.3.RDTRK UP Kertajaya

Beberapa point utama ketentuan pengendalian yang dapat diiterasi dari RDTRK UP Kertajaya terkait adaptasi UHI adalah:

1. Penambahan RTH Publik dan Privat minimum 30% dari luas kawasan
  - Penyediaan dan peningkatan kualitas dan kuantitas RTH di zona perumahan
  - Penyediaan RTH publik minimal 7% pada kawasan perumahan
  - Penyediaan RTH publik minimal 10% pada zona industri
  - Penyediaan taman di setiap kelurahan di UP II Kertajaya
  - Penyediaan dan perawatan jalur hijau sepanjang jalan arteri, kolektor, lokal dan lingkungan
  - Pengembangan fungsi RTH sebagai buffer zone industri
2. Optimalisasi fungsi waduk/bozem, dan penghijauan pada kawasan sempadan
3. Penetapan kawasan sempadan pantai dan hutan mangrove
4. Penetapan sempadan sungai pada seluruh UP II Kertajaya serta penghijauan
5. Perlindungan kawasan sepanjang sempadan SUTT/SUTET
6. Pengembangan yang diprioritaskan pada Sub UP II-C1

- Penataan intensitas bangunan dan tata bangunan pada kawasan perdagangan dan jasa, permukiman, serta sarana pelayanan umum
- Penyediaan taman untuk ruang publik
- Penataan jalur hijau
- Pada koridor jalan AMC dilakukan pengaturan IPR (KDB,KLB dan ketinggian bangunan) sesuai peraturan KKOP dan Penyediaan jalur hijau (RTH)
- Pengembangan RTH skala lingkungan perumahan



Gambar 4.3. Arahan pengembangan Sub UP Prioritas Sub UP Prioritas UP II- C (Blok II-C1)  
Sumber: RDTRK UP Kertajaya 2019-2039

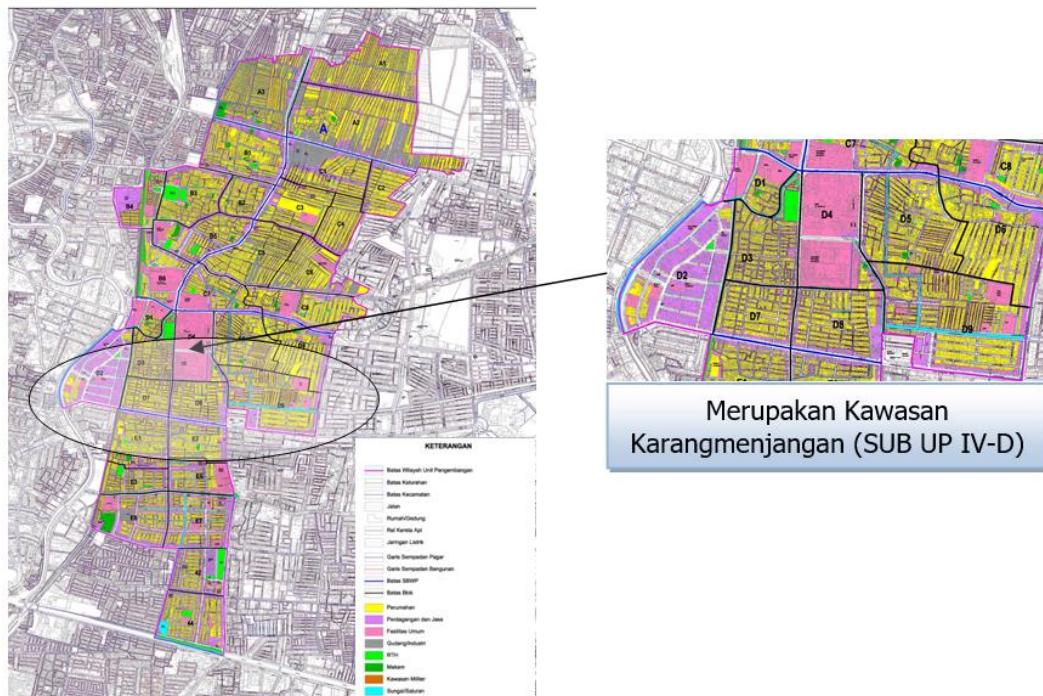


Gambar 4.4. Konsep pengaturan dimensi bangunan  
Sumber: RDTRK UP Kertajaya 2019-2039

## **2. RDTRK UP Darmahusada**

Beberapa point utama ketentuan pengendalian yang dapat diiterasi dari RDTRK UP Darmahusada terkait adaptasi UHI adalah:

2. Penambahan RTH Publik dan Privat minimum 30% dari luas kawasan
  - Penyediaan dan peningkatan kualitas dan kuantitas RTH di zona perumahan
  - Penyediaan RTH publik minimal 7% pada kawasan perumahan
  - Penyediaan RTH publik minimal 10% pada zona industri
  - Penyediaan taman di setiap kelurahan di UP IV Darmahusada
  - Penyediaan dan perawatan jalur hijau sepanjang jalan arteri, kolektor, lokal dan lingkungan
  - Pengembangan fungsi RTH sebagai buffer zone industri
3. Optimalisasi fungsi waduk/bozem, dan penghijauan pada kawasan sempadan
4. Penetapan kawasan sempadan pantai dan hutan mangrove
5. Penetapan sempadan sungai pada seluruh UP IV Darmahusada serta penghijauan
6. Perlindungan kawasan sepanjang sempadan SUTT/SUTET
7. Pengembangan yang diprioritaskan pada Sub UP IV-D
  - Penataan intensitas bangunan dan tata bangunan pada kawasan perdagangan dan jasa, permukiman, serta sarana pelayanan umum
  - Penyediaan taman untuk ruang publik dan penataan jalur hijau
  - Pengembangan dan penataan RTH sarana pelayanan umum Kesehatan dan pendidikan skala regional



Gambar 4.5. Arah pengembangan Sub UP Prioritas UP IV-D (Blok IV-D1, Blok IV-D2, Blok IV-D3, Blok IV-D4)

Sumber: RDTRK UP Darmahusada 2019-2039

#### 4.2. Pola distribusi *urban heat island* secara *spatial temporal*

##### 4.2.1. Memodelkan suhu permukaan

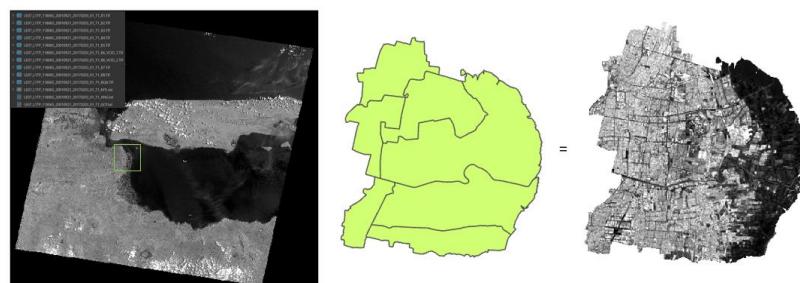
Keutamaan pengamatan secara temporal mampu memberikan gambaran keberagam perubahan data secara berkala (X. Liu et al., 2020). Karena penelitian bersifat *spatial temporal*, data series landsat yang digunakan juga pada perekaman bulan yang sama/berdekatan. Kriteria data citra yang diambil yaitu memiliki awan <10% dan diambil pada siang hari (Kikon, 2016; Suhua, 2019).

Tabel 4.3. Band Thermal masing masing Landsat

No	Data Tahun	Jenis Citra Landsat	Tanggal Perekaman	Band
1	2001	Landsat 7 ETM+ C1-level 1	09/21/2001	Band 6VCID1, Band 6VCID2, Band 3 (Red), Band 4 (NIR)
2	2006	Landsat 7 ETM+ C1-level 1	10/05/2006	
3	2011	Landsat 7 ETM+ C1-level 1	09/01/2011	
4	2016	Landsat 8 OIL TIRS C1-level 1	09/22/2016	Band 10, Band 11, Band 4 (Red), Band 5 (NIR)
5	2019	Landsat 8 OIL TIRS C1-level 1	10/01/2019	

Pemodelan pada citra landsat 7 ETM+ akan diperoleh suhu permukaan (LST) tahun 2001, 2006 dan 2011, dan pada landsat 8 akan diperoleh suhu permukaan tahun 2016 dan 2019. Data citra yang terdiri dari berbagai band dilakukan koreksi geometrik agar posisinya sesuai dengan kawasan Surabaya

Timur. Koreksi geometrik (*ortorektifikasi*) dilakukan dengan mengacu pada aerial *imagery* LiDAR Kota Surabaya. Termasuk melalukan koreksi data *scan line error* (*SLC-off*) yang ada pada Landsat 7 ETM. Karena citra landsat yang digunakan adalah landsat 7 dan 8 maka secara geometrik data citra tersebut sudah memiliki kecocokan terhadap posisi permukaan bumi. Sehingga tidak dilakukan pergeseran geometri posisi citra. Karena data diperoleh berupa potongan grid *path and row* pembagian dunia maka citra dipotong sesuai batas wilayah Surabaya Timur menggunakan fitur “*extract by mask*” pada ArcGIS (Young, 2011).



Gambar 4.6. Extract by mask citra Landsat berdasarkan batas administrasi Surabaya Timur

#### **4.2.1.1.Suhu Permukaan Satelit (*Sattelite Brightness Temperature*)**

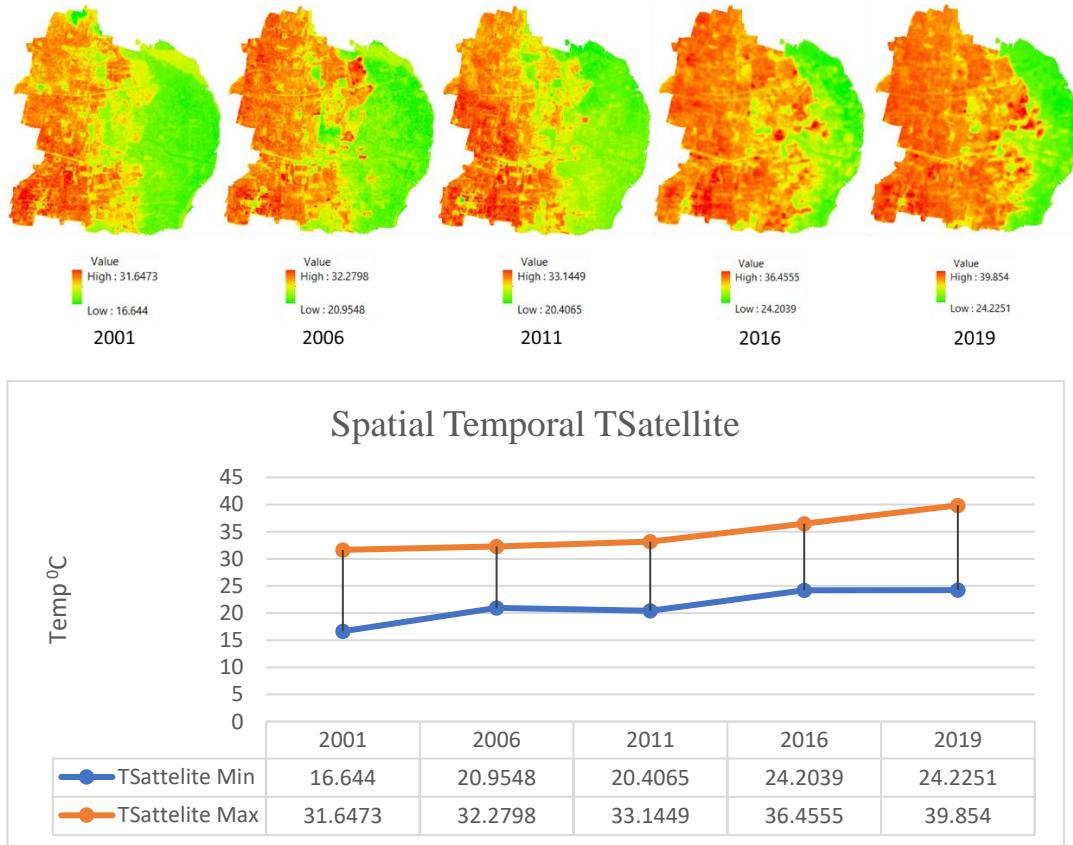
Metode untuk mendapatkan estimasi suhu permukaan satelit digunakan band thermal pada masing masing landsat. Band 6 VCID1 dan band 6 VCID2 untuk Landsat 7, dan Band 10 dan Band 11 untuk Landsat 8. Selanjutnya mengoreksi kejelasan citra melalui perhitungan koreksi *radiometric* untuk memperoleh *Spectral Radiance* (radiasi dari object ke sensor) [persamaan 1], agar efek bias karena atmosphere bisa dikurangi. Konsep ini adalah mengubah DN (*digital number*) kedalam TOA (*Top of atmosphere*) *radiance*. Dilanjutkan dengan konversi nilai spectral radiance ke dalam nilai T (*Satellite Brightness Temperature*) [persamaan 3]. Perhitungan formula berikut dilakukan dengan *raster calculator* pada ArcGIS.

$L\lambda = M_{local} + A_l$  ..... Persamaan (1)

$$T = \left( \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{K_2} + 1 \right)} \right) - 273,15 \dots \text{Persamaan (3)}$$

Hasil perhitungan di atas akan menghasilkan peta nilai *TSatellite* pada Band 6VCID1, 6VCID2, Band 10 dan Band 11. Untuk mengetahui rata-rata nilai *T* dilakukan dengan tools “*Cell Statistic*” dengan opsi *mean*. Secara temporal suhu rata-rata permukaan kawasan Surabaya Timur tahun 2001-2019 dari satelit terlihat mengalami peningkatan sekitar  $1\text{-}3^{\circ}\text{C}$  setiap 5 tahun sekali. Angka suhu pada

pengamatan satelite ini telah menunjukkan bahwa Surabaya Timur merupakan salah satu daerah yang menunjukkan pertumbuhan suhu cukup tinggi dibandingkan kawasan Surabaya lainnya (Zulkarnain, 2016).

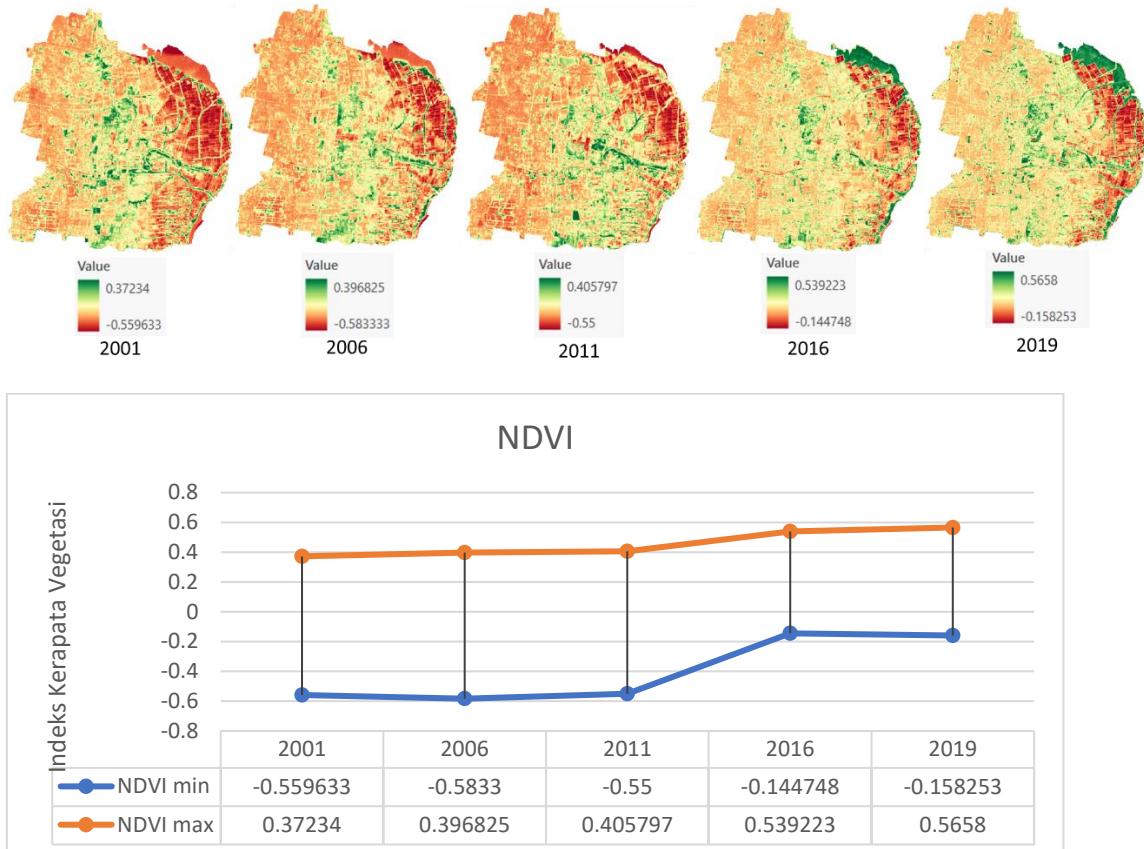


Gambar 4.7. Nilai spatial temporal Temperature Satellite

#### 4.2.1.2. Emisivitas Permukaan (*Land Surface Emisivitas*)

Selanjutnya mengkoreksi kejelasan citra melalui perhitungan koreksi radiometric untuk memperoleh ToA Planetary Reflectance [persamaan 2]. Karena band berupa gambaran langsung permukaan bumi sehingga DN (Digital Number) diubah menjadi reflectance tanpa memperhatikan sudut arah matahari. LSE (*Land Surface Emisivitas*) digunakan untuk mengetahui kemampuan permukaan dalam memancarkan energi thermal yang dimilikinya. Dalam tahap ini pendekatan yang digunakan berdasarkan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Perhitungan NDVI menggunakan band 3 (Red) dan band 4 (NIR) untuk landsat 7 dan band 4 (Red) dan band 5 (NIR) untuk Landsat 8 [persamaan 4]. Nilai koreksi dan perhitungan NDVI dilakukan dengan menggunakan *raster calculator* dari formulasi berikut:

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \dots \text{Persamaan (4)}$$

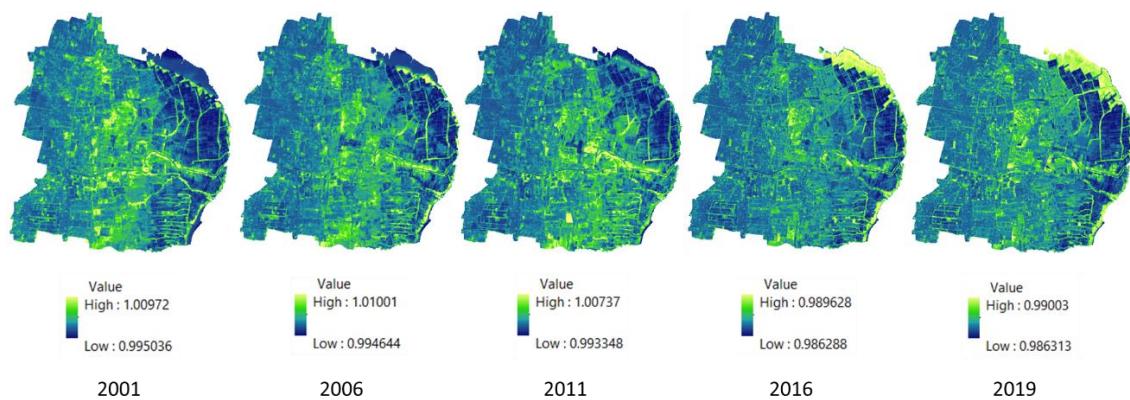


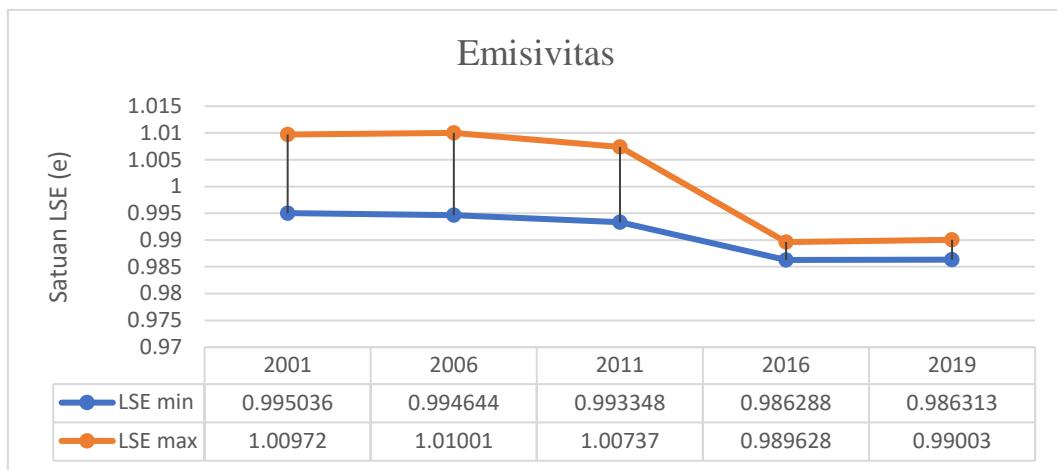
Gambar 4.8. *Spatial temporal NDVI*

Secara temporal hasil nilai NDVI/kerapatan vegetasi pada Kawasan Surabaya Timur mengalami peningkatan meskipun tidak cukup signifikan. Pada kawasan perkotaan dapat diamati bahwa vegetasi di kawasan Surabaya Timur semakin berkurang dari tahun 2001-2019, ditunjukkan dengan warna hijau. Disisi lain pada Pamurbaya (Pantai Timur Surabaya) terjadi penambahan batas garis pantai akibat sedimentasi mangrove ke arah laut. Sehingga terlihat penambahan kerapatan vegetasi pada area tersebut. Hal ini ditunjang karena adanya kebijakan dari pemerintah Kota Surabaya untuk menjadikan kawasan mangrove sebagai zona konservasi (RTRW Kota Surabaya, 2019-2039). Dari hasil NDVI akan digunakan dalam perhitungan Pv (*Proportion Vegetation*) menggunakan nilai NDVImax dan NDVImin masing masing tahun studi. Dilanjutkan menghitung nilai LSE (e) berdasarkan proporsi vegetasi (Pv) [Persamaan 5].

$$Pv = \left( \frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin} \right)^2$$

Hasil perhitungan di atas akan menghasilkan peta nilai *Driving LSE* (*e*). Secara temporal *emisivitas* permukaan Surabaya Timur berada pada nilai 1 (*high*) dan 0,9 (*low*) dengan karakteristik nilai NDVI yang mengalami peningkatan sekitar 0,2 tiap 5 tahun sekali. Semakin tinggi nilai LSE maka kesalahan estimasi semakin kecil (Tan, 2017). Apabila Nilai LSE sebesar 0,98 akan menyebabkan kesalahan suhu sebesar 0,73 Kelvin, nilai LSE lebih dari 1 berarti semakin akurat nilai energi yang dihasilkan. Indeks vegetasi dengan kerapatan tinggi memiliki nilai emisivitas tinggi mencapai 1,01 dan vegetasi dengan kerapatan lebih rendah memiliki nilai emisivitas 0,98. Nilai emisivitas pada objek lahan terbangun dan lahan terbuka mendekati kesamaan sekitar 0,96-0,98 dan lahan hijau cenderung berkisar 0,99-1 (Sekertekin & Physics, 2019). Sehingga melalui pengamatan distribusi LSE, lahan terbangun pada kawasan Suraabaya Timur memiliki kcenderungan cukup tinggi pada tahun 2016-2019. Sedangkan RTH mengalami penurunan cukup signifikan karena nilai antara 0,99-1 relatif sedikit (warna hijau).



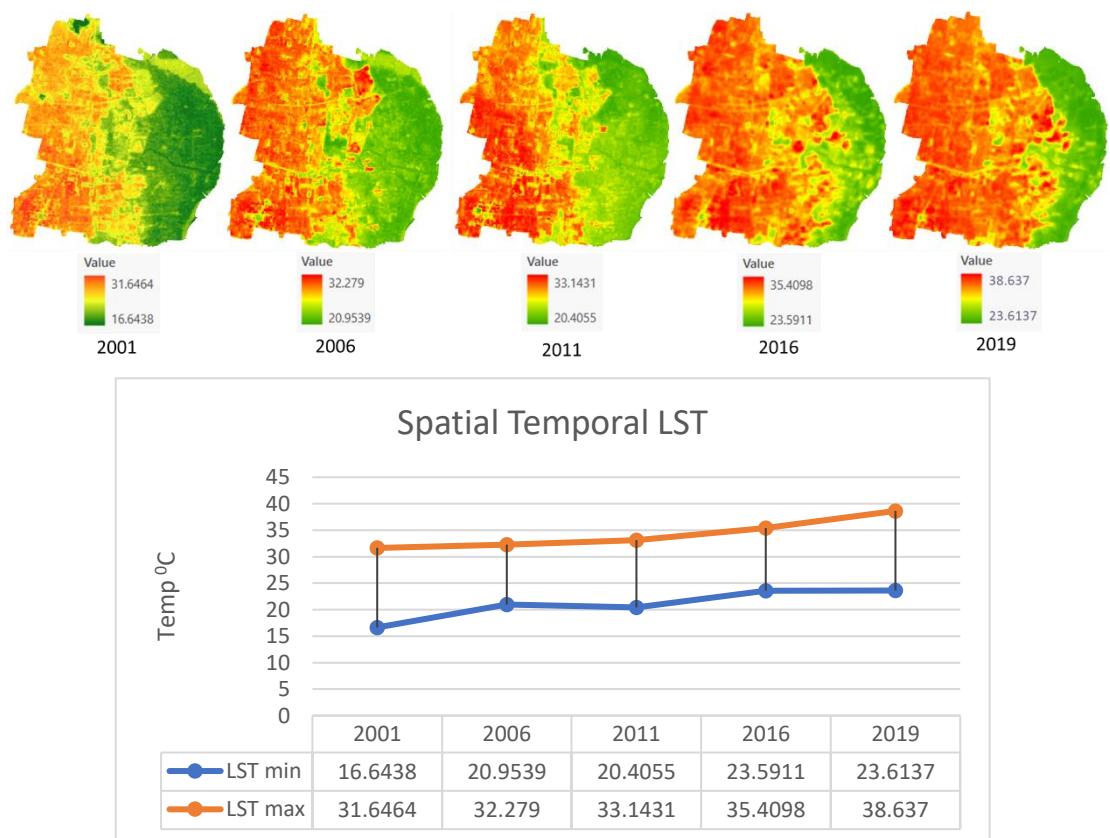


Gambar 4.9. *Spatial temporal Pv (Proportion Vegetation)*

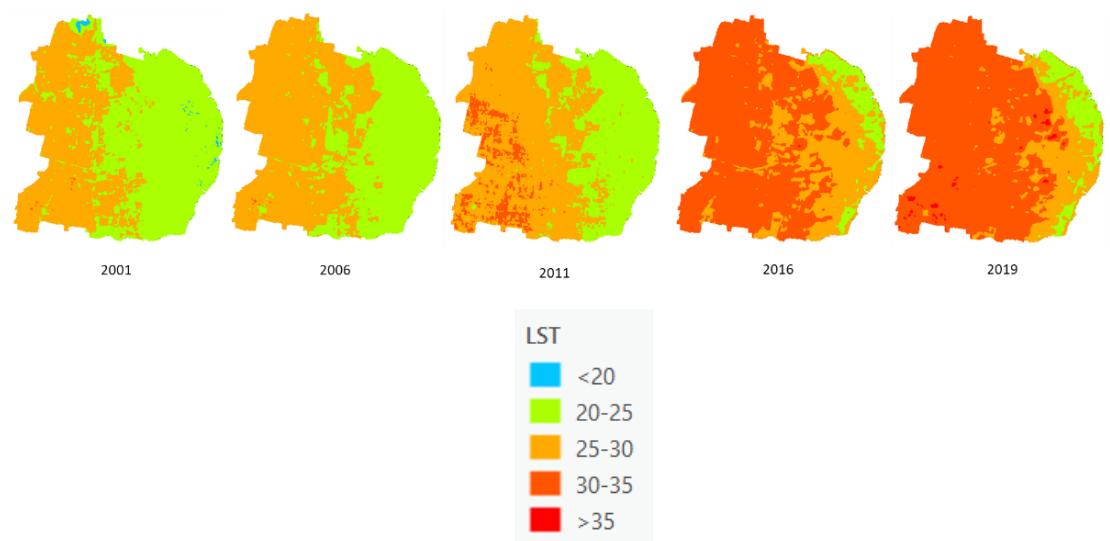
#### **4.2.1.3.Suhu permukaan (*Land Surface Temperature*)**

Setelah mendapatkan nilai di atas, langkah terakhir yaitu menentukan nilai LST (*Land Surface Temperature*) [Persamaan 6]. Apabila diawal telah diperoleh pengamatan suhu dari satelit (*TSatellite*), maka tahap ini akan mengkalkulasi suhu yang ada pada permukaan Surabaya Timur. Perhitungan dilakukan berdasarkan pertimbangan kemampuan permukaan dalam mengeluarkan energi/emisivitas (LSE).

$$LST = \frac{T}{1} + w * \left( \frac{T}{\rho} \right) * \ln(e) \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (6)}$$



Gambar 4.10. *Spatial temporal* Land Surface Temperature



Gambar 4.11. Pola Kelas Distribusi *Spatial temporal* Land Surface Temperature

Hasil menunjukkan peningkatan suhu permukaan secara temporal rata-rata sebesar  $2-5^{\circ}\text{C}$  selama 20 tahun. Pola LST memiliki peningkatan yang cenderung linier

naik, dengan peningkatan paling besar terjadi pada tahun 2016-2019 sekitar  $5,7^{\circ}\text{C}$ . Mengacu pada tabel klasifikasi LST, Surabaya timur pada tahun 2019 berada pada kategori *comfortable* ( $<20^{\circ}\text{C}$ ) hingga *hot* ( $>35^{\circ}\text{C}$ ) di kawasan terbangun. Apabila secara spasial distribusi suhu permukaan pada kelas  $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$  cenderung mengalami perluasan yang cukup signifikan pada tahun 2016. Hal serupa juga terjadi pada penelitian A. S. Jatayu, Cahyono (2018) dan Zulkarnain (2016). Pola peningkatan suhu pada umumnya dipengaruhi oleh pesatnya pertumbuhan lahan terbangun dan adanya indikasi pengurangan RTH (Suhua, 2019). Sehingga peneliti menilai ada 2 indikasi yang menyebabkan hal ini terjadi di kawasan Surabaya Timur. Hipotesa yang pertama dikarenakan perubahan satelit dari landsat 7 menjadi landsat 8 sehingga mengakibatkan sedikit perubahan pembacaan thermal. Hipotesa yang kedua adalah adanya perubahan penggunaan lahan yang cukup signifikan pada area tersebut.

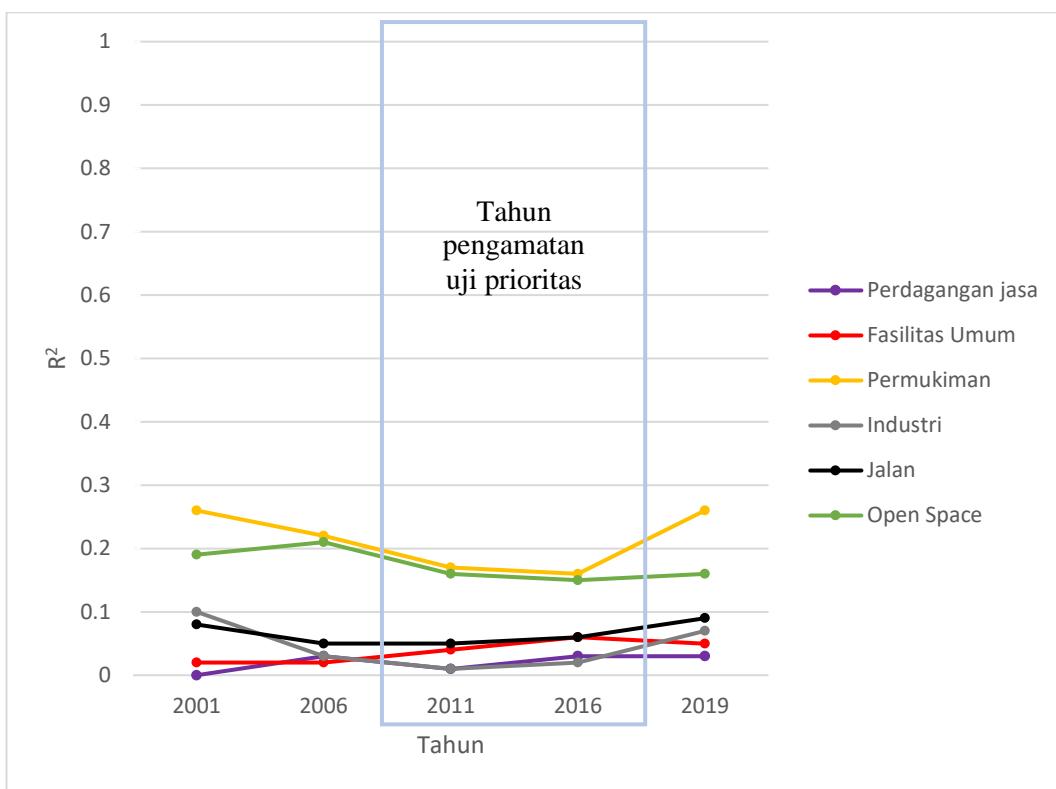
Merujuk dari data NASA dan USGS (2020a) hipotesa pertama merupakan bentuk perbaikan sensor landsat 7 dan pembaharuan sistem satelit melalui landsat 8. Apabila mengamati fenomena diatas tahun 2013, maka alternatif terbaik adalah menggunakan landsat 8 karena sudah tidak ada *scan line error (SLC-off)* dan sensor yang digunakan lebih terbarukan (Chastain, 2019). Pada hipotesa yang kedua terkait perubahan penggunaan lahan tahun 2001-2019 perlu dilakukan uji secara *bivariate relationship*. Pengujian ditujukan untuk memperoleh gambaran kondisi permukaan secara berkala serta pengaruhnya terhadap suhu permukaan (Xia, 2020).

#### 4.2.1.4. Validasi Suhu Permukaan (LST)

##### A. Pengujian *Bivariate Relationship* terhadap penggunaan lahan

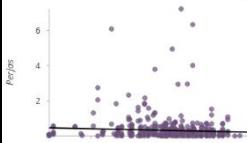
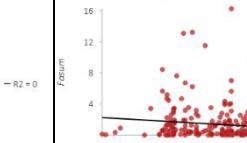
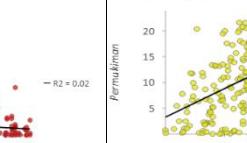
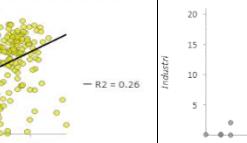
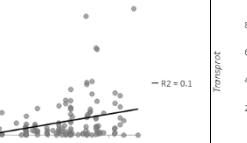
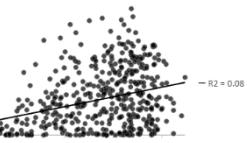
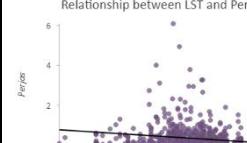
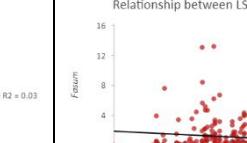
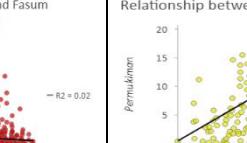
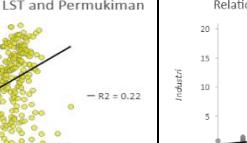
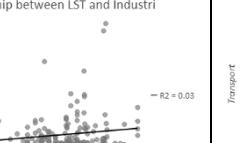
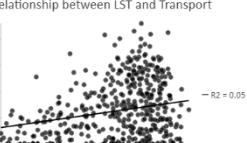
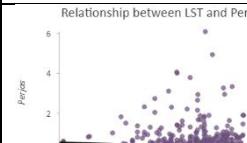
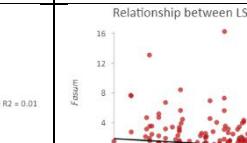
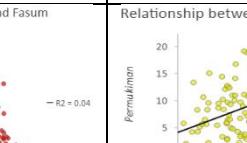
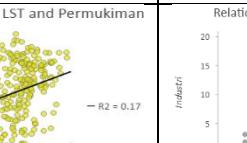
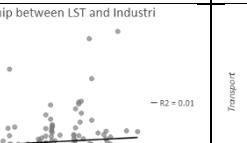
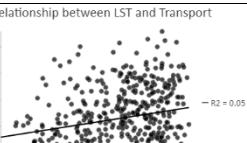
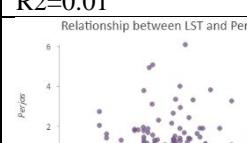
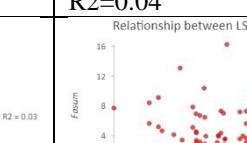
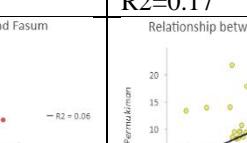
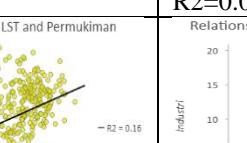
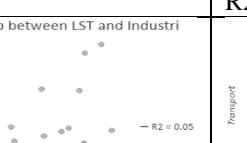
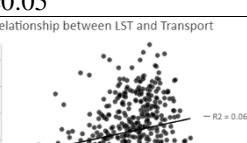
Pengujian yang pertama adalah mencari hubungan spasial perubahan suhu permukaan (LST) terhadap penggunaan lahan. Banyak pengujian hubungan spasial menggunakan *bivariate relationship* melalui ArcGIS (Shaker, 2019; Vgoot, 2003; Wicki, 2018; Xia, 2020). Perbandingan dilakukan pada setiap jenis penggunaan lahan dengan mengidentifikasi nilai regresi  $R^2$  (*RSquare*). Klasifikasi jenis penggunaan lahan meliputi permukiman, perdagangan dan jasa, industri, fasilitas umum, jaringan transportasi, serta peruntukan lainnya (baik berupa ruang terbuka

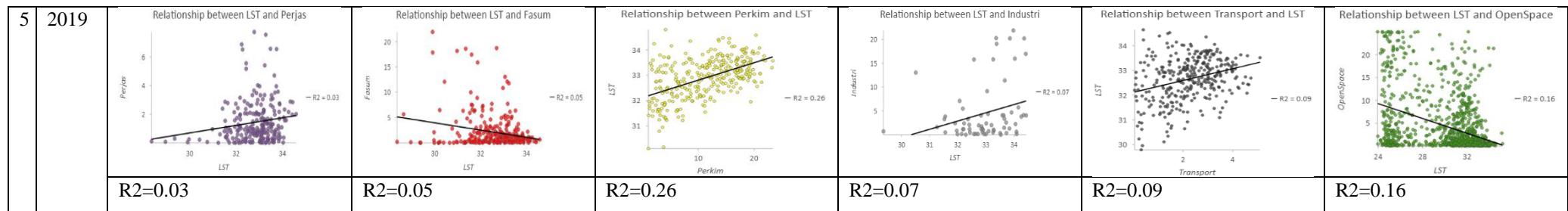
hijau dan badan air) (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018). Pada tahap ini pola luas perubahan lahan menjadi penentu dalam perubahan LST tahun 2001-2019.



Gambar 4.12. Perubahan nilai hubungan bivariate ( $R^2$ ) tiap tahun

**Tabel 4.4. Uji Bivariate Relationship antara penggunaan lahan terhadap LST**

No	Tahun	Scatter plot bivariate relationship					
		Perdagangan dan jasa	Fasilitas Umum	Permukiman	Industri	Jaringan Transportasi	Open Space
1	2001	Relationship between LST and Perjas 	Relationship between LST and Fasum 	Relationship between LST and Permukiman 	Relationship between LST and Industri 	Relationship between LST and Transport 	Relationship between LST and Openspace 
		R2=0	R2=0.02	R2=0.26	R2=0.1	R2=0.08	R2=0.19
2	2006	Relationship between LST and Perjas 	Relationship between LST and Fasum 	Relationship between LST and Permukiman 	Relationship between LST and Industri 	Relationship between LST and Transport 	Relationship between LST and OpenSpace 
		R2=0.03	R2=0.02	R2=0.22	R2=0.03	R2=0.05	R2=0.21
3	2011	Relationship between LST and Perjas 	Relationship between LST and Fasum 	Relationship between LST and Permukiman 	Relationship between LST and Industri 	Relationship between LST and Transport 	Relationship between LST and OpenSpace 
		R2=0.01	R2=0.04	R2=0.17	R2=0.01	R2=0.05	R2=0.16
4	2016	Relationship between LST and Perjas 	Relationship between LST and Fasum 	Relationship between LST and Permukiman 	Relationship between LST and Industri 	Relationship between LST and Transport 	Relationship between LST and OpenSpace 
		R2=0.03	R2=0.06	R2=0.16	R2=0.05	R2=0.06	R2=0.15

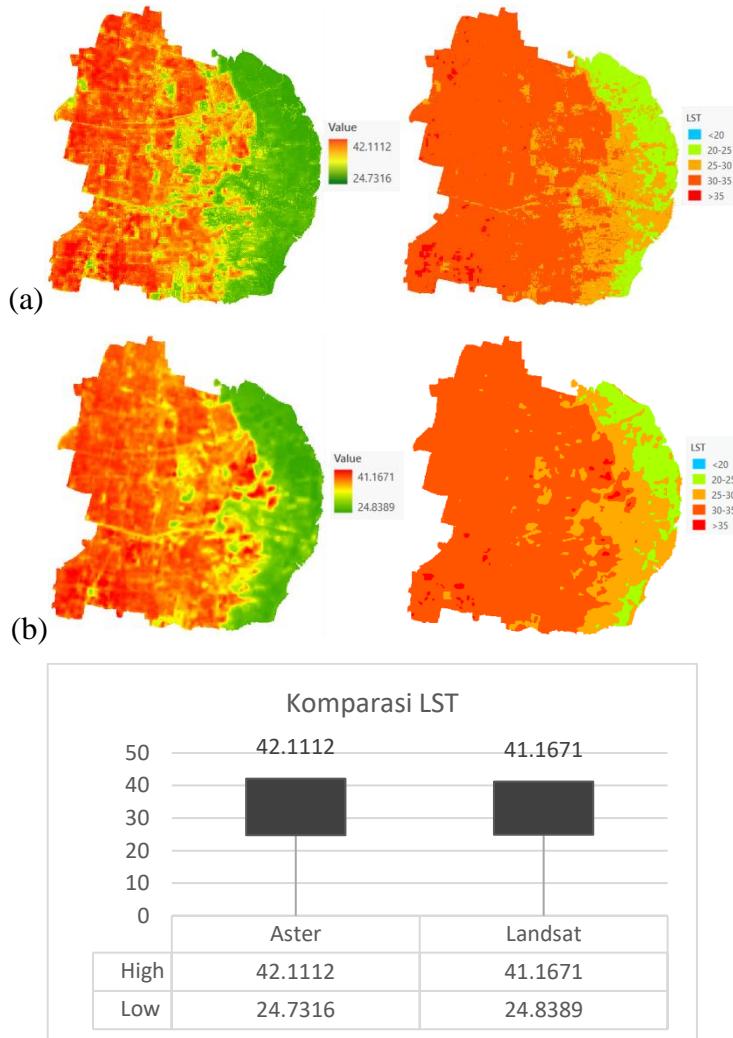


Dapat diamati dari nilai *uji bivariate* hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan suhu terdapat fluktuasi data yang relatif kecil pada tahun-tahun tertentu [gambar 4.8]. Pengambilan pada seluruh titik pixel suhu permukaan menunjukkan nilai R-square pada kawasan Surabaya timur memiliki hubungan yang rendah (Colton & Bower, 2002). Secara pola *scatter plot* [tabel 5.4] luas jenis penggunaan lahan memiliki hubungan yang bersifat positif dan negatif terhadap UHI. Penggunaan lahan yang memiliki hubungan bersifat positif adalah perumukiman, perdagangan dan jasa, industri dan jaringan transportasi. Berbeda dengan open space dan fasilitas umum yang memiliki hubungan negatif. Dalam hal ini dapat diterjemahkan bahwa lahan terbangun kecuali fasilitas umum mampu mempengaruhi peningkatan suhu, sedangkan *open space* dapat menekan kenaikan suhu tersebut.

Pada transisis tahun 2011 menuju ke 2016 nilai  $R^2$  masih menunjukkan pola linier. Sehingga hal ini membuktikan bahwa keadaan perubahan LST yang terjadi sudah sesuai dengan keadaan eksisting yang ada. Disimpulkan bahwa perubahan penggunaan lahan yang signifikan mempengaruhi peningkatan nilai suhu dan berdampak pada daerah sekitarnya. Melihat adanya fenomena ini tentunya perencanaan secara spasial guna menekan alih fungsi RTH sangat diperlukan. Mempertimbangkan penelitian dari Arifah (2018) bahwa kebutuhan akan RTH perlu dialokasikan berdasarkan prediksi pertumbuhan lahan terbangun yang cukup signifikan.

#### B. *Standardized cross-validation* terhadap pengolahan sattelite lain

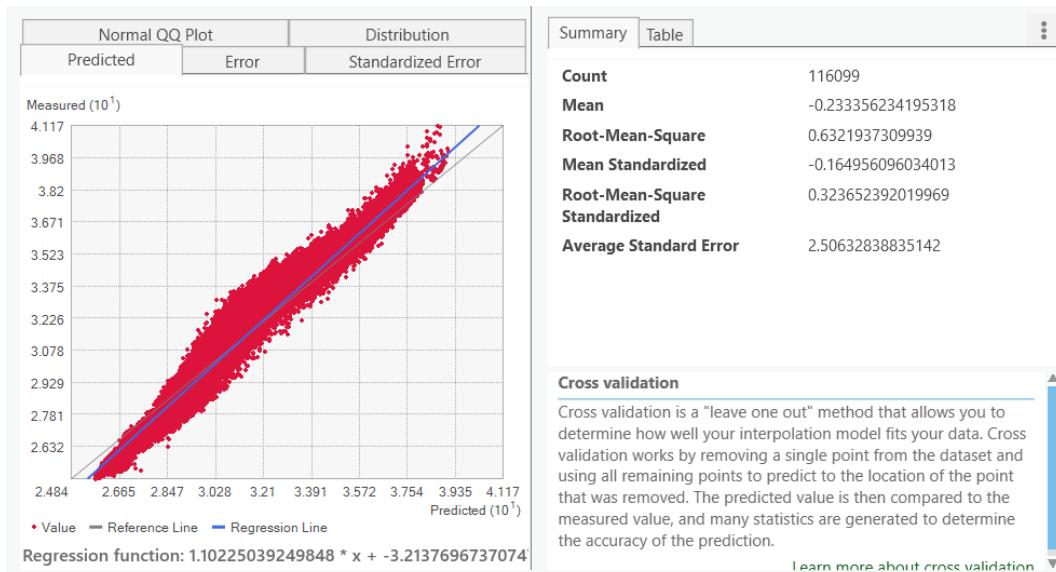
Pengolahan Citra ASTER digunakan band 2 (Red) dan band 3 (NIR), serta Band Thermal 10 dan 11. Estimasi *surface temperature* berdasarkan data *radiance* tahun 2019 dengan pendekatan hasil Citra ASTER berada pada angka suhu 24-42  $^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan *Surface Temperature radiance* Citra Landsat berada pada suhu 24-41  $^{\circ}\text{C}$ . Sehingga berdasarkan rentang nilai LST yang dihasilkan pada umumnya tidak jauh berbeda, hanya selisih 0,1-1 $^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 4.13. Komparasi hasil pengolahan *Land Surface Temperature* tahun 2019

(a) pengolahan Citra ASTER (b) pengolahan Citra Landsat

Secara spasial dapat dilakukan komparasi hasil melalui *cross validation* menggunakan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Tahapan pertama komparasi pengolahan LST kedalam RMSE adalah dengan mengubah Citra Landsat sebagai LST awal (terukur) kedalam bentuk point pada tiap piksel. Fitur yang digunakan adalah *raster to point* pada ArcGIS. Selanjutnya dari point LST Landsat tersebut diambil nilai LST validasi (*predicted*) dari Citra ASTER. Fitur yang digunakan adalah *extract value to point* pada ArcGIS. Setelah diperoleh kedua point yang mewakili nilai setiap LST ini dilakukan komparasi dengan fitur *Geostatistical Wizard* dengan metode *Geostatistical method Kriging/CoKriging*.



Gambar 4.14. Cross Validation RMSE pada LST Citra Landsat terhadap Citra ASTER

Validasi proses pengolahan antara Citra ASTER dengan Citra Landsat memiliki kesesuaian cukup tinggi, ditunjukkan dengan hasil RMSE = 0,63 dengan *total point cross validation* sebanyak 116099. Validasi dikatakan baik apabila RMSE <1 (Ahmadian, 2016). Sehingga dapat disimpulkan perhitungan LST dengan citra Landsat sudah valid karena berbanding lurus terhadap LST pada citra lainnya. Melalui pengamatan secara spasial, estimasi kesalahan terletak pada kemampuan membaca emisivitas permukaan melalui metode alogaritma klasifikasi permukaan lahan pada masing-masing citra (Tan, 2017). Selain itu pengujian ini juga membuktikan bahwa data hasil citra Landsat dan citra ASTER memang memiliki nilai suhu permukaan *radiance* yang hampir sama (Tempfli et al., 2009), dengan rata-rata standar erornya sekitar 2.5.

#### 4.2.1. Klasifikasi kawasan terdampak *Urban Heat Island (UHI)*

##### 4.2.1.1. Nilai Urban Heat Island (UHI)

Hasil estimasi suhu permukaan (LST) diolah lagi melalui operasi filtering. Operasi Filter yang digunakan adalah *neighbourhood filter* (NF) 3X3. Hal ini berarti nilai piksel suhu permukaan merepresentasikan nilai piksel itu sendiri terhadap suhu disekelilingnya sebanyak 9 pixel. Dihasilkan Tmean operasi filtering untuk setiap grid ukuran 500m<sup>2</sup> di kawasan Surabaya Timur. Statistik citra yang diperoleh, dimasukkan kedalam formula untuk menghitung ambang batas UHI

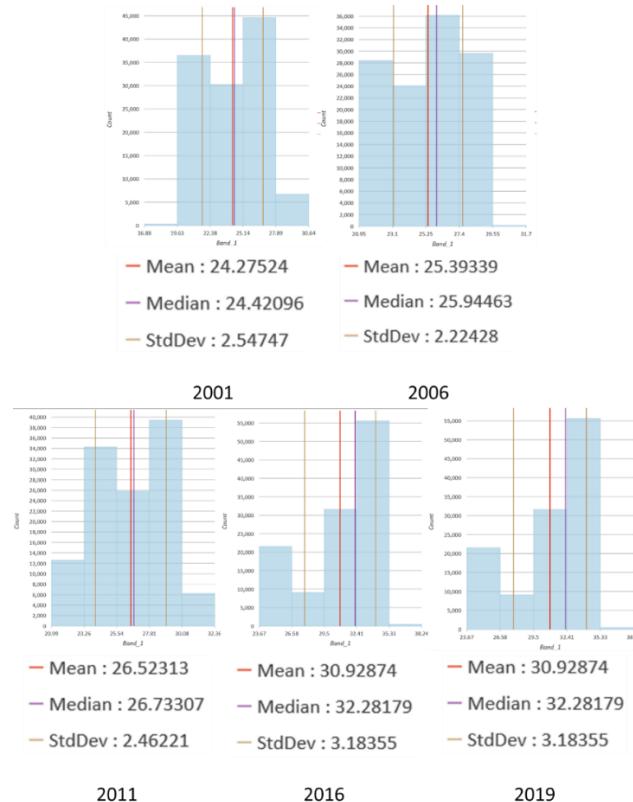
[Persamaan 8]. Kemudian dilanjutkan dalam menghitung nilai deviasi UHI yang terjadi pada kawasan penelitian [Persamaan 9]:

$$(\Delta \text{UHI} \text{ terdampak}) T > \mu 0,5 \alpha$$

$$(\Delta \text{UHI} \text{ tidak terdampak}) 0 < T \leq \mu 0,5 \alpha \dots \dots \dots \text{Persamaan (8)}$$

$$\text{Peta UHI} = \text{Tmean} - (\mu 0,5 \alpha) \dots \dots \dots \text{Persamaan (9)}$$

dimana  $\mu$  dan  $\alpha$  merupakan rerata dan standar deviasi dari suhu permukaan hasil pengolahan nilai rerata (Tmean)



Gambar 4.15. Nilai standard deviasi dan mean suhu secara temporal

Tabel 4.5. Perhitungan Deviasi dan Ambang batas UHI

No	tahun	StDev	Mean	Tmax	Tmin	Batas UHI	UHI	Luas (Ha)
1	2001	2,5474	24,2752	30,6412	16,8792	25,5489	-1,2737	4134,6
2	2006	2,2242	25,3933	31,7044	20,9539	26,5054	-1,1121	4603,32
3	2011	2,4622	26,5231	32,3571	20,9892	27,7542	-1,2311	4175,73
4	2016	2,5681	29,8872	35,2074	23,6225	31,17125	-1,2841	4468,95
5	2019	3,1835	30,9287	38,2387	23,6706	32,52045	-1,5917	4796,19

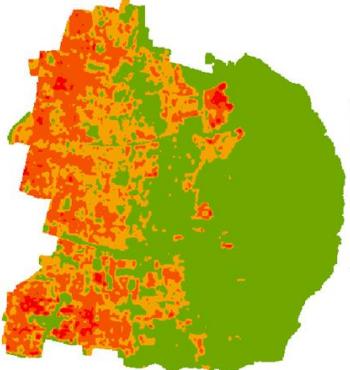
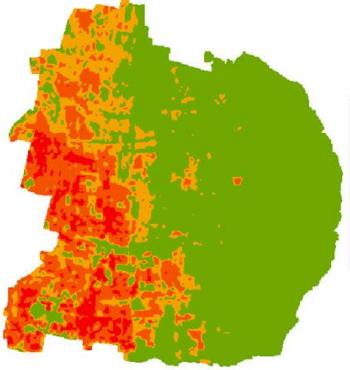
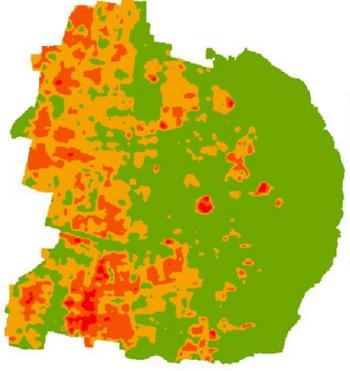
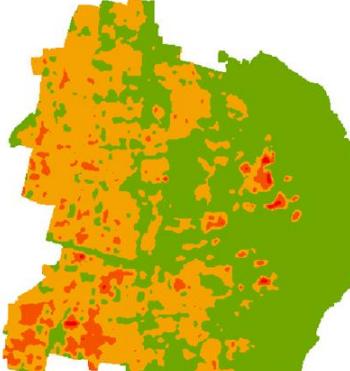
Hingga pada tahun 2019 kawasan Surabaya Timur memiliki deviasi UHI  $1,59^{\circ}\text{C}$  dibandingkan kawasan disekitarnya. Karakteristik kawasan terdampak UHI pada tahun 2001 adalah kawasan dengan nilai suhu diatas  $25,5^{\circ}\text{C}$ ; tahun 2006 untuk

kawasan diatas  $26,5^{\circ}\text{C}$ ; tahun 2011 untuk kawasan diatas  $27,7^{\circ}\text{C}$ ; tahun 2016 untuk kawasan diatas  $31,1^{\circ}\text{C}$  dan tahun 2019 untuk kawasan diatas  $32,5^{\circ}\text{C}$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan UHI sekitar  $0,3^{\circ}\text{C}$  dari tahun 2001-2019. Peningkatan terbesar terjadi pada tahun 2016-2019 sekitar  $0,31^{\circ}\text{C}$ , dan sempat mengalami penurunan pada tahun 2001-2006 sekitar  $0,16^{\circ}\text{C}$ . Dari sisi *landuse*, RTH pada tahun tersebut mengalami penurunan sekitar 200 Ha, dan pertumbuhan lahan terbangun sekitar 3985 Ha (A. S. Jatayu, Cahyono, 2018). Pola perubahan lahan ini tidak jauh berbeda apabila dibangkan dengan angka perubahan lahan pada tahun berikutnya. Sehingga argument adanya variabel lain yang mempengaruhi UHI dikawasan Surabaya Timur dapat dibangun.

Dilihat dari distribusi pola spasialnya, UHI yang terjadi memiliki kecenderungan perubahan dari arah pusat menuju ke timur dan selatan. Suhu di kawasan tersebut mengalami peningkatan karena terjadi perubahan lahan terbuka menjadi lahan terbangun. Disisi lain pengaruh adanya RTH di bagian timur dan selatan juga menurun berdasarkan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini mendukung penelitian Zulkarnain (2016) bahwa kerapatan vegetasi mampu mempengaruhi nilai suhu permukaan. Kondisi tersebut didukung oleh lokasi dari Surabaya Timur yang berbatasan dengan laut. Seperti pada studi oleh Jacobs et al. (2020) dimana pada kawasan yang dekat perairan akan memiliki intensitas suhu yang lebih rendah. Hal tersebut menjadi keunikan tersendiri dari kawasan studi seperti halnya dikota Melbourne dan New York mengalami penurunan UHI ke arah perairan (Y. Jamei et al., 2019; Shaker, 2019).

Tabel 4.6.Tabel Distribusi UHI di Surabaya Timur

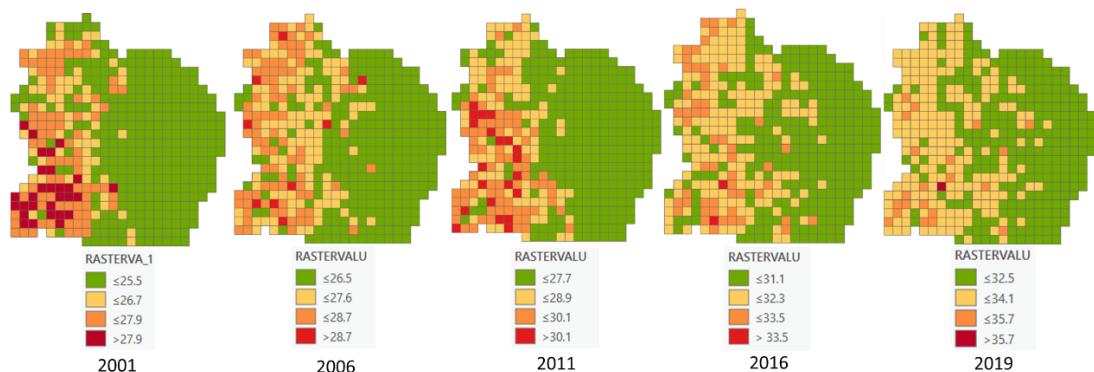
No	UHI Tahun	Peta	Keterangan
1	2001		<p>Nilai deviasi UHI pada tahun 2001 adalah <math>25,5^{\circ}\text{C}</math>. Ditunjukkan pada peta untuk rentang nilai diatas <math>25,5^{\circ}\text{C}</math> merupakan daerah terdampak UHI. Memiliki karakteristik terpusat berada di sisi Barat</p>

2	2006	 Value ≤ 26.5 ≤ 27.6 ≤ 28.7 > 28.7	Nilai deviasi UHI pada tahun 2006 adalah $26,5^{\circ}\text{C}$ . Ditunjukkan pada peta untuk rentang nilai diaatas $26,5^{\circ}\text{C}$ merupakan daerah terdampak UHI. Memiliki karakteristik menyebar dengan kecenderungan di barat
3	2011	 Value ≤ 27.7 ≤ 28.9 ≤ 30.1 	Nilai deviasi UHI pada tahun 2011 adalah $27,75^{\circ}\text{C}$ . Ditunjukkan pada peta untuk rentang nilai diaatas $27,75^{\circ}\text{C}$ merupakan daerah terdampak UHI. Memiliki karakteristik terpusat dengan kecenderungan di barat
4	2016	 Value ≤ 31.1 ≤ 32.3 ≤ 33.5 > 33.5	Nilai deviasi UHI pada tahun 2016 adalah $31,17^{\circ}\text{C}$ . Ditunjukkan pada peta untuk rentang nilai diaatas $31,17^{\circ}\text{C}$ merupakan daerah terdampak UHI. Memiliki karakteristik terpusat dengan kecenderungan di barat dan menyebar ke timur
5	2019	 Value ≤ 32.5 ≤ 34.1 ≤ 35.7 > 35.7	Nilai deviasi UHI pada tahun 2016 adalah $32,5^{\circ}\text{C}$ . Ditunjukkan pada peta untuk rentang nilai diaatas $32,5^{\circ}\text{C}$ merupakan daerah terdampak UHI. Memiliki karakterisnya terpusat dengan kecenderungan di barat dan menyebar ke timur

#### 4.2.1.2.Pola distribusi spasial temporal UHI

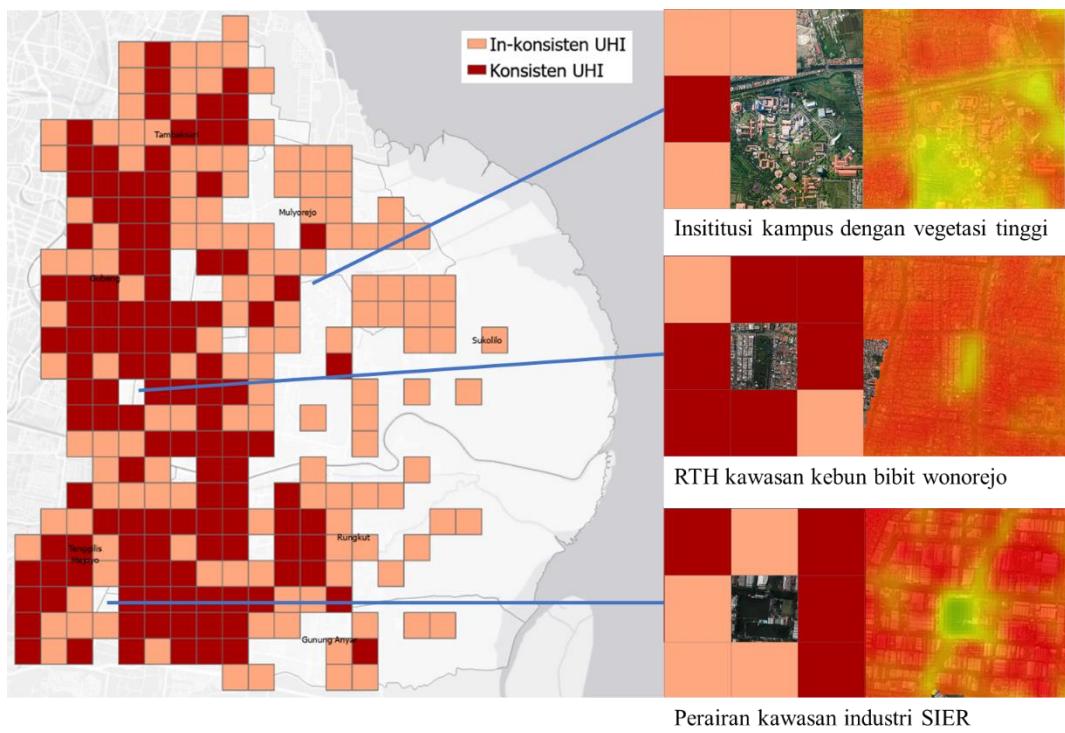
Tahap terakhir adalah mengidentifikasi pola distribusi UHI. Data terlebih dahulu diubah kedalam bentuk Grid menggunakan ArcGIS. Ukuran yang digunakan

sebesar 500m<sup>2</sup> (Alexander & Mills, 2014). Hal ini bertujuan untuk mempermudah dalam pembagian adaptasi pada analisis berikutnya.

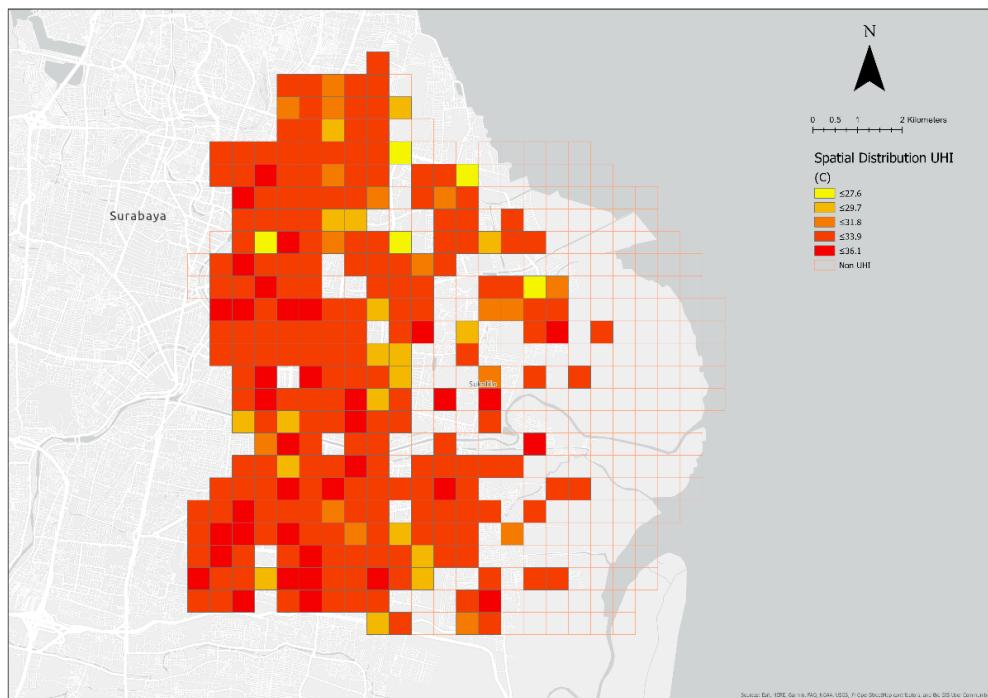


Gambar 4.16. Nilai *spatial temporal* distribusi UHI berdasarkan Grid 500m<sup>2</sup>

Secara *spatial temporal* dari tahun 2001-2019 terjadi deviasi zona terdampak UHI. Pada awalnya terdapat kawasan terdampak UHI pada tahun 2001, namun pada tahun 2006 kawasan tersebut justru tidak termasuk zona UHI, begitu seterusnya hingga tahun 2019. Ditunjukkan pada **Gambar 4.13**, terdapat 120 Grid yang konsisten mengalami UHI, dan 138 grid mengalami inkonsistensi UHI. Maka dengan adanya inkonsistensi suhu permukaan yang terjadi, pengamatan secara *spatial temporal* perlu diperhatikan. Teori penggunaan secara spasial temporal juga diterapkan pada penelitian UHI pada perkotaan lain untuk mengoptimalkan zona amatan dan fluktuasi yang terjadi (X. Liu et al., 2020). Selanjutnya dari distribusi UHI dari tahun 2001-2019 dilakukan penggabungan data spasial menggunakan fitur *update* pada ArcGIS. Tujuannya untuk memperoleh peta kawasan terdampak UHI dari tahun 2001-2019.



Gambar 4.17. Deviasi UHI selama tahun 2001-2019



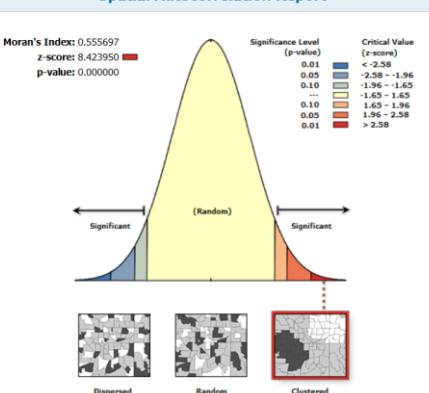
Gambar 4.18. Pola spasial distribusi UHI di Kawasan Surabaya Timur

Dapat diamati bahwa pada lokasi yang tidak mengalami UHI merupakan kawasan lahan terbangun, sedangkan kawasan dengan dominasi lahan terbuka baik perairan maupun ruang terbuka hijau cenderung tidak berpotensi terjadi UHI dari

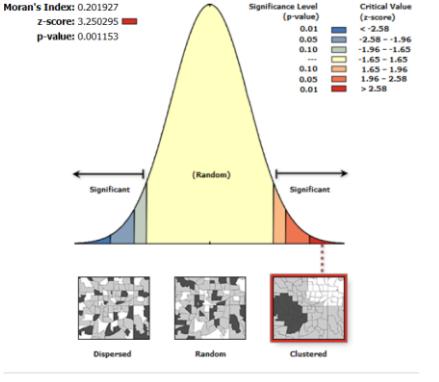
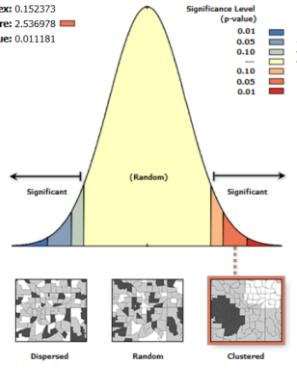
tahun 2001-2019. Beberapa peruntukan seperti fasilitas umum dan permukiman pada sisi timur Surabaya Timur juga masuk kategori Non-UHI karena kepadatan bangunan yang relatif rendah dan ditunjang vegetasi yang memadai.

Dari spatial temporal tersebut digunakan autokorelasi spasial untuk menentukan pola distribusi terbentuk (Esri, 2020d). Hasil analisa menunjukkan pola distribusi UHI memiliki karakteristik *Clustered*. Pola *cluster* tersebut hingga tahun 2019 cenderung semakin menurun. Nilai signifikansi (Z-score) pada tahun 2001 mencapai angka 8, namun tahun 2019 z-score hanya 2 dan nilai p yang sudah mencapai 0,011. Pada umunya nilai probabilita maksimal pada point ini adalah 0,01. Sehingga pada tahun sekarang pengamatan tingkat hubungan UHI hampir menjadi *cluster terdistribusi*. Singkatnya, nilai UHI tinggi dan rendah cenderung menggumpal dan membuat bentuk *cluster*. Aktivitas yang terpusat pada kawasan terdampak UHI perlu diberikan alternatif adaptasi guna memecah pemanasan suhu permukaan. Karena menurut Gago (2013) dengan memecah pusat panas dapat mengurangi intensitas UHI. Pola sebaran UHI di Kota Surabaya cenderung menarik ke Surabaya Pusat, dan semakin tersebar menuju kearah timur.

Tabel 4.7.Tabel Distribusi autokorelasi spasial UHI

No	Tahun	Spatial Autocorrelation Spatial Autocorrelation Report	Keterangan																								
1	2001	 <p>Moran's Index: 0.555697 z-score: 8.423950 p-value: 0.000000</p> <p>Significance Level (p-value)</p> <table> <tr><td>0.01</td><td>&lt; -2.58</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>-2.58 - -1.96</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>-1.96 - -1.65</td></tr> <tr><td>0.15</td><td>-1.65 - 1.65</td></tr> <tr><td>0.20</td><td>1.65 - 1.96</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>1.96 - 2.58</td></tr> <tr><td>0.30</td><td>&gt; 2.58</td></tr> </table> <p>Critical Value (z-score)</p> <p>Given the z-score of 8.42395, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.</p> <p>Global Moran's I Summary</p> <table> <tr><td>Moran's Index:</td><td>0.555697</td></tr> <tr><td>Expected Index:</td><td>-0.005848</td></tr> <tr><td>Variance:</td><td>0.004444</td></tr> <tr><td>z-score:</td><td>8.423950</td></tr> <tr><td>p-value:</td><td>0.000000</td></tr> </table>	0.01	< -2.58	0.05	-2.58 - -1.96	0.10	-1.96 - -1.65	0.15	-1.65 - 1.65	0.20	1.65 - 1.96	0.25	1.96 - 2.58	0.30	> 2.58	Moran's Index:	0.555697	Expected Index:	-0.005848	Variance:	0.004444	z-score:	8.423950	p-value:	0.000000	Nilai indeks morans I: 0.555697 Berada pada rentang $0 > I > 1$ yang menunjukkan adanya <i>autocorrelation</i> positif Uji Hipotesis ( $ZI = Z_{1-\alpha}$ ) $Z(I) = 8.423950 > Z_{0.9}$ $H_0$ diterima Signifikan level $<0.01$ Menunjukkan pola <i>tercluster</i>
0.01	< -2.58																										
0.05	-2.58 - -1.96																										
0.10	-1.96 - -1.65																										
0.15	-1.65 - 1.65																										
0.20	1.65 - 1.96																										
0.25	1.96 - 2.58																										
0.30	> 2.58																										
Moran's Index:	0.555697																										
Expected Index:	-0.005848																										
Variance:	0.004444																										
z-score:	8.423950																										
p-value:	0.000000																										

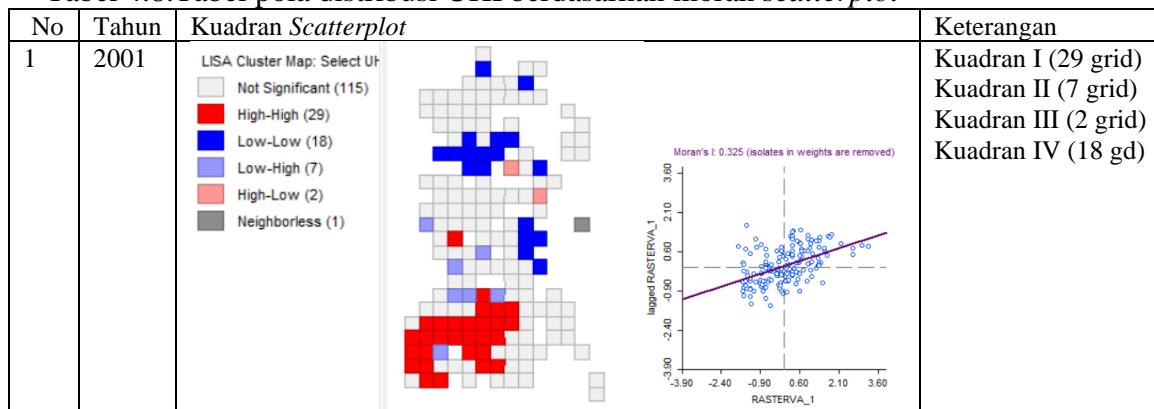
2	2006	<p><b>Spatial Autocorrelation Report</b></p> <p>Moran's Index: 0.208315 z-score: 3.522206 ■ p-value: 0.000428</p> <p>Given the z-score of 3.522206, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.</p> <p><b>Global Moran's I Summary</b></p> <table border="1"> <tr><td>Moran's Index:</td><td>0.208315</td></tr> <tr><td>Expected Index:</td><td>-0.004902</td></tr> <tr><td>Variance:</td><td>0.003664</td></tr> <tr><td>z-score:</td><td>3.522206</td></tr> <tr><td>p-value:</td><td>0.000428</td></tr> </table>	Moran's Index:	0.208315	Expected Index:	-0.004902	Variance:	0.003664	z-score:	3.522206	p-value:	0.000428	Nilai indeks morans I: 0.208315 Berada pada rentang $0 > I > 1$ yang menunjukkan adanya <i>autocorrelation</i> positif  Uji Hipotesis ( $ZI = Z_{1-\alpha}$ ) $Z(I) = 3.522206 > Z_{0.9}$ $H_0$ diterima  Signifikan level $< 0.01$ Menunjukkan pola tercluster
Moran's Index:	0.208315												
Expected Index:	-0.004902												
Variance:	0.003664												
z-score:	3.522206												
p-value:	0.000428												
3	2011	<p><b>Spatial Autocorrelation Report</b></p> <p>Moran's Index: 0.272728 z-score: 4.546935 ■ p-value: 0.000005</p> <p>Given the z-score of 4.546935, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.</p> <p><b>Global Moran's I Summary</b></p> <table border="1"> <tr><td>Moran's Index:</td><td>0.272728</td></tr> <tr><td>Expected Index:</td><td>-0.005319</td></tr> <tr><td>Variance:</td><td>0.003739</td></tr> <tr><td>z-score:</td><td>4.546935</td></tr> <tr><td>p-value:</td><td>0.000005</td></tr> </table>	Moran's Index:	0.272728	Expected Index:	-0.005319	Variance:	0.003739	z-score:	4.546935	p-value:	0.000005	Nilai indeks morans I: 0.272728 Berada pada rentang $0 > I > 1$ yang menunjukkan adanya <i>autocorrelation</i> positif  Uji Hipotesis ( $ZI = Z_{1-\alpha}$ ) $Z(I) = 4.546935 > Z_{0.9}$ $H_0$ diterima  Signifikan level $< 0.01$ Menunjukkan pola tercluster
Moran's Index:	0.272728												
Expected Index:	-0.005319												
Variance:	0.003739												
z-score:	4.546935												
p-value:	0.000005												

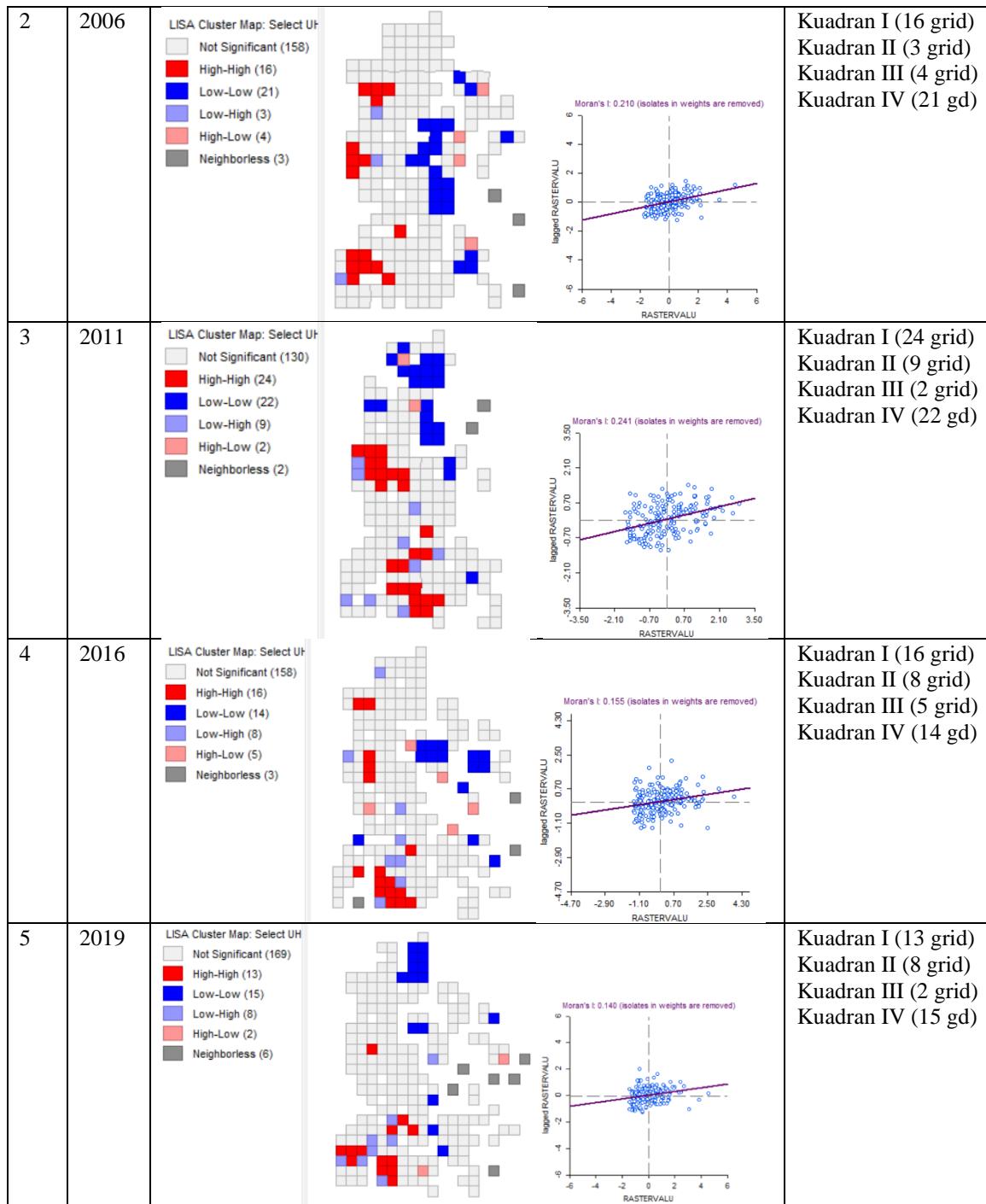
4	2016	<p><b>Spatial Autocorrelation Report</b></p>  <p>Moran's Index: 0.201927 z-score: 3.250295 p-value: 0.001153</p> <p>Significance Level (p-value): Critical Value (z-score)</p> <table border="1"> <tr><td>0.01</td><td>&lt; -2.58</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>-2.58 - -1.96</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>-1.96 - -1.65</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>-1.65 - -1.36</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>-1.36 - 1.96</td></tr> <tr><td>0.01</td><td>1.96 - 2.58</td></tr> </table> <p>(Random)</p> <p>Given the z-score of 3.250295, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.</p> <p><b>Global Moran's I Summary</b></p> <table border="1"> <tr><td>Moran's Index:</td><td>0.201927</td></tr> <tr><td>Expected Index:</td><td>-0.004926</td></tr> <tr><td>Variance:</td><td>0.004050</td></tr> <tr><td>z-score:</td><td>3.250295</td></tr> <tr><td>p-value:</td><td>0.001153</td></tr> </table>	0.01	< -2.58	0.05	-2.58 - -1.96	0.10	-1.96 - -1.65	0.10	-1.65 - -1.36	0.05	-1.36 - 1.96	0.01	1.96 - 2.58	Moran's Index:	0.201927	Expected Index:	-0.004926	Variance:	0.004050	z-score:	3.250295	p-value:	0.001153	Nilai indeks morans I: 0.201927 Berada pada rentang $0 > I > 1$ yang menunjukkan adanya <i>autocorrelation</i> positif  Uji Hipotesis ( $ZI = Z_{1-\alpha}$ ) $Z(I) = 3.250295 > Z_{0.9}$ $H_0$ diterima  Signifikan level $< 0.01$ Menunjukkan pola <i>tercluster</i>
0.01	< -2.58																								
0.05	-2.58 - -1.96																								
0.10	-1.96 - -1.65																								
0.10	-1.65 - -1.36																								
0.05	-1.36 - 1.96																								
0.01	1.96 - 2.58																								
Moran's Index:	0.201927																								
Expected Index:	-0.004926																								
Variance:	0.004050																								
z-score:	3.250295																								
p-value:	0.001153																								
5	2019	<p><b>Spatial Autocorrelation Report</b></p>  <p>Moran's Index: 0.152373 z-score: 2.536978 p-value: 0.011181</p> <p>Significance Level (p-value): Critical Value (z-score)</p> <table border="1"> <tr><td>0.01</td><td>&lt; -2.58</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>-2.58 - -1.96</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>-1.96 - -1.65</td></tr> <tr><td>0.10</td><td>-1.65 - -1.36</td></tr> <tr><td>0.05</td><td>-1.36 - 1.96</td></tr> <tr><td>0.01</td><td>1.96 - 2.58</td></tr> </table> <p>(Random)</p> <p>Given the z-score of 2.536978, there is a less than 5% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.</p> <p><b>Global Moran's I Summary</b></p> <table border="1"> <tr><td>Moran's Index:</td><td>0.152373</td></tr> <tr><td>Expected Index:</td><td>-0.004717</td></tr> <tr><td>Variance:</td><td>0.003834</td></tr> <tr><td>z-score:</td><td>2.536978</td></tr> <tr><td>p-value:</td><td>0.011181</td></tr> </table>	0.01	< -2.58	0.05	-2.58 - -1.96	0.10	-1.96 - -1.65	0.10	-1.65 - -1.36	0.05	-1.36 - 1.96	0.01	1.96 - 2.58	Moran's Index:	0.152373	Expected Index:	-0.004717	Variance:	0.003834	z-score:	2.536978	p-value:	0.011181	Nilai indeks morans I: 0.152373 Berada pada rentang $0 > I > 1$ yang menunjukkan adanya <i>autocorrelation</i> positif  Uji Hipotesis ( $ZI = Z_{1-\alpha}$ ) $Z(I) = 2.536978 > Z_{0.9}$ $H_0$ diterima  Signifikan level $< 0.01$ Menunjukkan pola <i>tercluster</i> namun ada kecenderungan hampir ke <i>random</i>
0.01	< -2.58																								
0.05	-2.58 - -1.96																								
0.10	-1.96 - -1.65																								
0.10	-1.65 - -1.36																								
0.05	-1.36 - 1.96																								
0.01	1.96 - 2.58																								
Moran's Index:	0.152373																								
Expected Index:	-0.004717																								
Variance:	0.003834																								
z-score:	2.536978																								
p-value:	0.011181																								

Tahap selanjutnya adalah mencari kuadran pada masing-masing tahun pengamatan. Akan digunakan moran *scatterplot* menggunakan software GeoDa pada analisis ini. Secara *spatial temporal* akan dilakukan identifikasi kuadran I, II, III, dan IV (Anselin, 1993). Hasil analisis membuktikan bahwa pola UHI setiap tahunnya mengalami inkonsistensi distribusi spasial. Meskipun secara pengamatan pada sisi barat Surabaya Timur merupakan daerah dengan UHI tinggi yang terkluster. Detailnya dibahas sebagai berikut:

1. Pada kuadran I, HH (*High-High*) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi. Dalam hal ini berarti wilayah dengan nilai UHI tinggi berdekatan dengan nilai UHI tinggi lainnya.
2. Pada kuadran II, LH (*Low-High*) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan rendah dikelilingi oleh daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi. Dalam hal ini berarti wilayah dengan nilai UHI rendah berdekatan dengan nilai UHI tinggi lainnya.
3. Pada kuadran III, LL (*Low-low*) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan rendah dikelilingi oleh daerah yang mempunyai nilai pengamatan rendah. Dalam hal ini berarti wilayah dengan nilai UHI rendah berdekatan dengan nilai UHI rendah lainnya.
4. Pada kuadran IV, HL (*High-Low*) menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai nilai pengamatan tinggi dikelilingi oleh daerah yang mempunyai nilai pengamatan rendah. Dalam hal ini berarti wilayah dengan nilai UHI tinggi berdekatan dengan nilai UHI rendah lainnya.
5. Grid yang tidak termasuk dalam kuadran-kuadran tersebut tidak memiliki signifikansi yang cukup besar dalam perhitungan autokorelasi spasial lokal. Atau bisa disebut tidak memiliki efek pada kawasan sekitarnya.

Tabel 4.8.Tabel pola distribusi UHI berdasarkan moran *scatterplot*



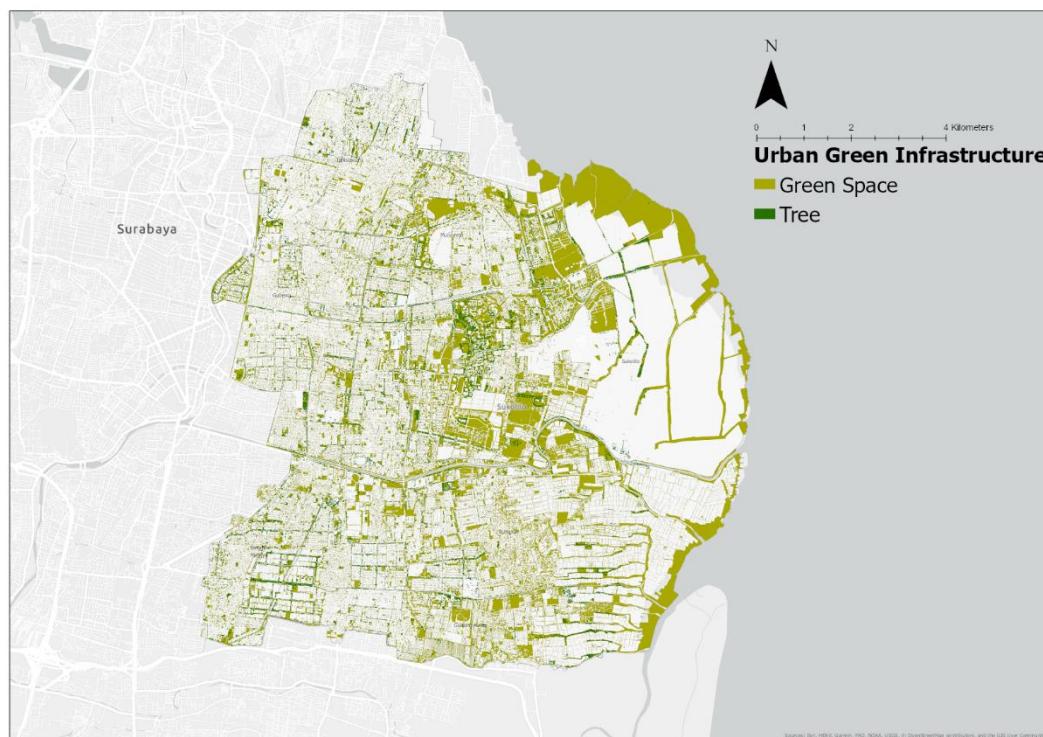


### **4.3. Analisis Karakteristik *Urban Configuration***

#### **4.3.1. *Urban Green Infrastructure***

##### **4.3.1.1. *Urban Greenspace***

*Urban greenspace* maupun ruang terbuka hijau di perkotaan pada umumnya mampu menurunkan intensitas suhu permukaan hingga 2°C. Sebaran *urban greenspace* diperoleh dari pengolahan pada data RDTRK UP Rungkut, UP Darmawangsa, UP Kertajaya dan masterplan RTH Kota Surabaya. Selain itu untuk menunjang kelengkapan data secara lengkap dilakukan pengolahan data dari *non ground* Citra LiDAR dan pengamatan lapangan. Dalam pembahasan *Urban Greenspace* akan diamati terkait sebaran pohon, green space, RTH Vertikal dan *rooftop garden*.



Gambar 4.19. Urban Greenspace Kawasan Surabaya Timur

Tabel 4.9. Sebaran *urban greenspace*

No	<i>Urban greenspace</i>	Luas (Ha)	Persentase terhadap luas wilayah	Suhu permukaan rata-rata (°C)
1	Permukaan tertutup Pohon	602,93	6.16%	33,7-24,3
2	<i>Open Green Space</i>	3.060,62	31.29%	33,2-23,7
3	RTH Vertikal	-	-	31-30,3
4	<i>Roofgarden</i>	-	-	

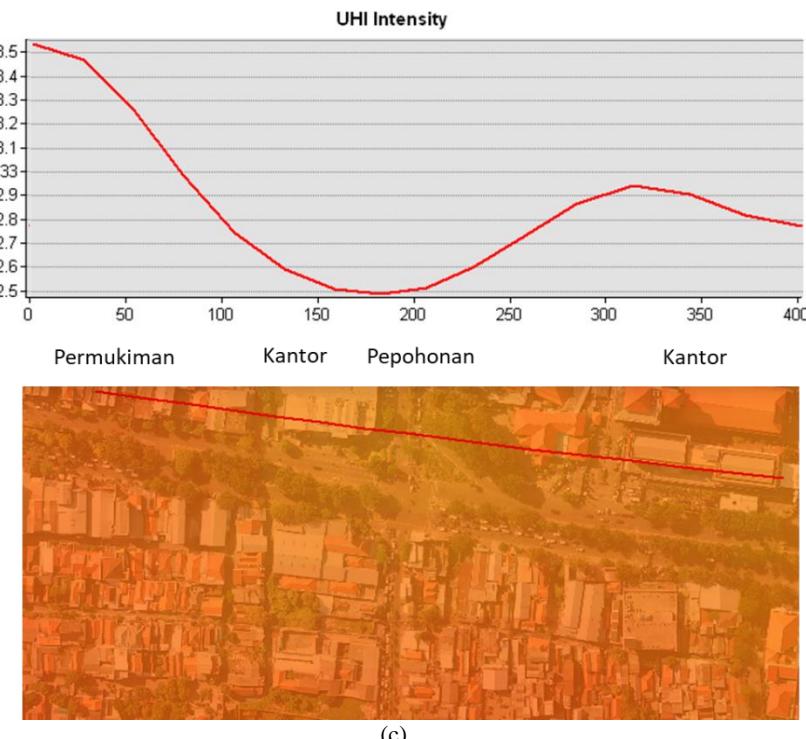
#### a. Karakteristik sebaran permukaan yang tertutup pohon

Pengamatan sebaran vegetasi/pohon dilakukan dengan pengolahan citra LiDAR. Sebaran pohon yang digunakan hanya pohon dengan ukuran besar dengan ketinggian 3-15m (Hooverter, 2012). Hal ini dikarenakan berdasarkan pengamatan UHI, pohon dengan ukuran kecil relatif tidak berdampak terhadap penurunan suhu skala lokal. Pohon di kawasan penelitian tersebar secara merata pada seluruh wilayah penelitian. Namun, pada sisi barat kawasan penelitian masih didominasi dengan ukuran pohon yang relatif kecil. Hampir semua ruas jalan utama memiliki jalur hijau yang dilengkapi dengan pohon peneduh. Hasil *overlay* menunjukkan pada kawasan dengan vegetasi tinggi memiliki suhu yang relative rendah dibandingkan sekitar. Vegetasi yang ada didominasi oleh jenis pohon trembesi dengan kondisi tanaman yang cukup terawat. Karena adanya maintenance oleh DKP (Dinas Kebersihan dan Pertamanan) Kota Surabaya. Namun pada ruas jalan lingkungan dan kawasan permukiman non formal pohon dengan ukuran besar masih jarang ditemukan.



(a)

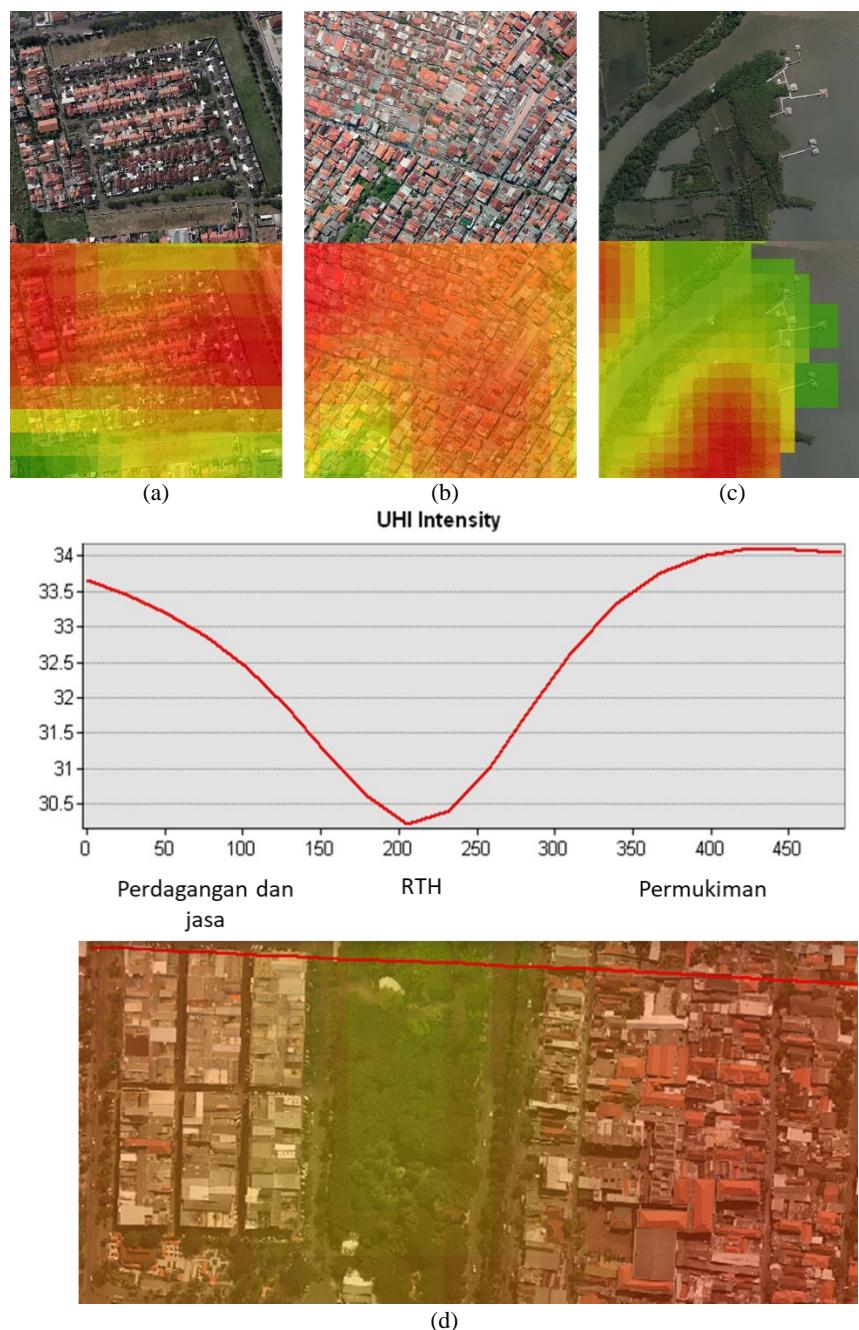
(b)



Gambar 4.20. Vegetasi (a)kawasan Graha ITS (b)Koridor jalan kertajaya dan efek suhu (c) *Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap pepohonan  
Sumber: Pengolahan Citra LiDAR

### b. Karakteristik sebaran *green open space*

*Green open space* pada wilayah penelitian sangat beragam, mulai dari jalur hijau/*green path* berupa sempadan dan median jalan, taman, lapangan olah raga, perkebunan, hingga kawasan mangrove. *Green open space* di sisi timur didominasi oleh semak belukar, padang rumput dan mangrove yang cukup luas, tidak heran kawasan ini memiliki suhu yang relatif rendah. Pada perumahan formal masih banyak ditemukan area terbuka hijau yang memang diperuntukan untuk memenuhi kebutuhan SNI penyediaan perumahan. Namun pada sektor non formal jarang ditemukan ruang terbuka hijau yang bersifat publik. *Open space* yang ada hanya berupa lahan kosong. Dilihat dari polanya, apabila sempadan sungai memiliki ruang terbuka bebas maka pengaruh cakupan penurunan suhu lebih luas. Namun apabila terdapat hambatan seperti bangunan, efek penurunan suhu yang terjadi hanya terjadi pada daerah permukaan air sungai.

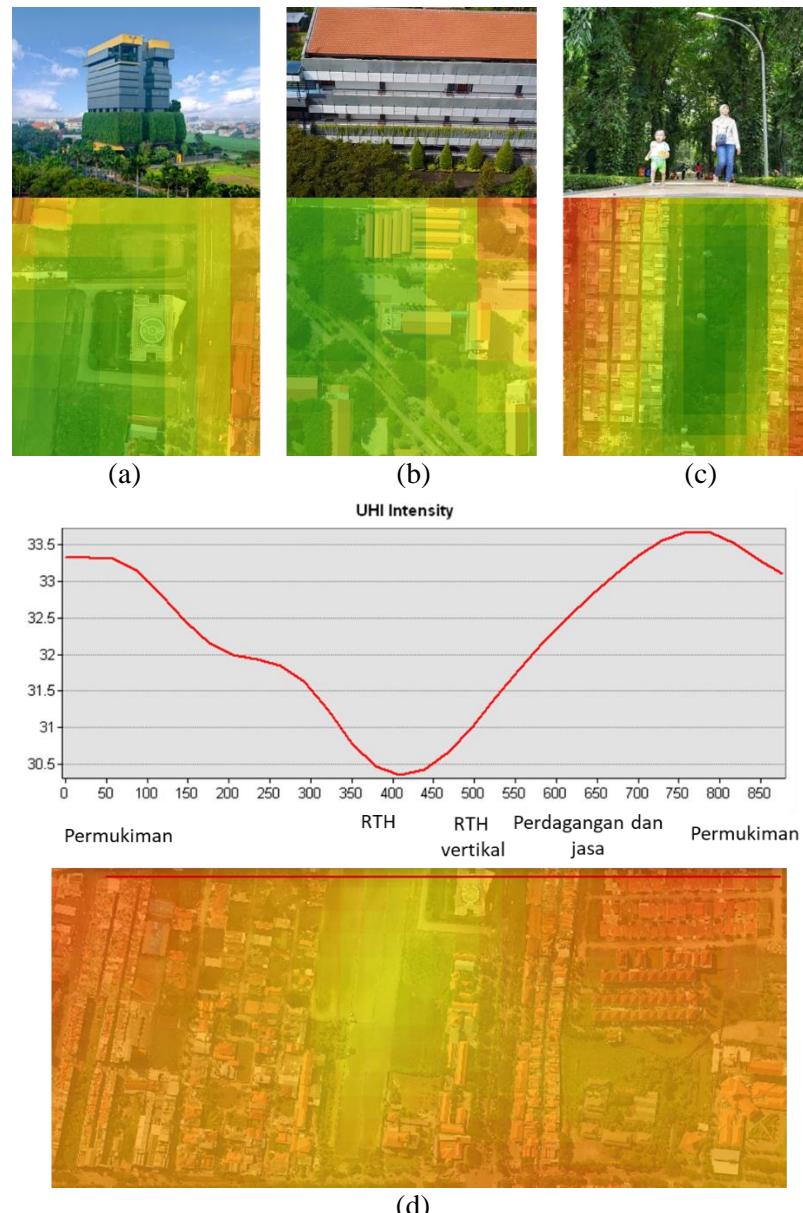


Gambar 4.21. (a)perumahan formal (b)perumahan non formal (c)mangrove wonorejo (d)*Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap RTH  
Sumber: *Imagery citra LiDAR*

### c. Karakteristik sebaran RTH Vertikal

RTH vertikal dalam skala besar tidak ditemukan pada wilayah penelitian. Hanya terdapat pada beberapa fasilitas umum seperti kampus, kantor dan pada area taman seperti kebun bibit. Bangunan yang menggunakan RTH vertikal diantaranya Esa Sampoerna Center, ITS, UBA YAYA dan Unair. Meskipun tidak menutupi seluruh bangunan, konsep *green building* ini sangat dibutuhkan dalam menghadapi

tantangan perubahan iklim kedepannya mengingat kepadatan bangunan yang terus bertambah (Herath, 2018). Melalui pengamatan komparasi kantor esa sampoerna memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan galaxy mall sekitar  $1^{\circ}\text{C}$ . Dapat diasumsikan bahwa RTH vertikal juga mempengaruhi suhu permukaan.



Gambar 4.22. RTH vertikal (a)Kantor Esa Sampoerna (b)Gedung PWK ITS (c)taman flora (d)  
*Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap RTH Vertikal

Sumber: [www.esasampoerna.com](http://www.esasampoerna.com), foto udara PWK ITS dan [Surabaya.go.id](http://Surabaya.go.id)

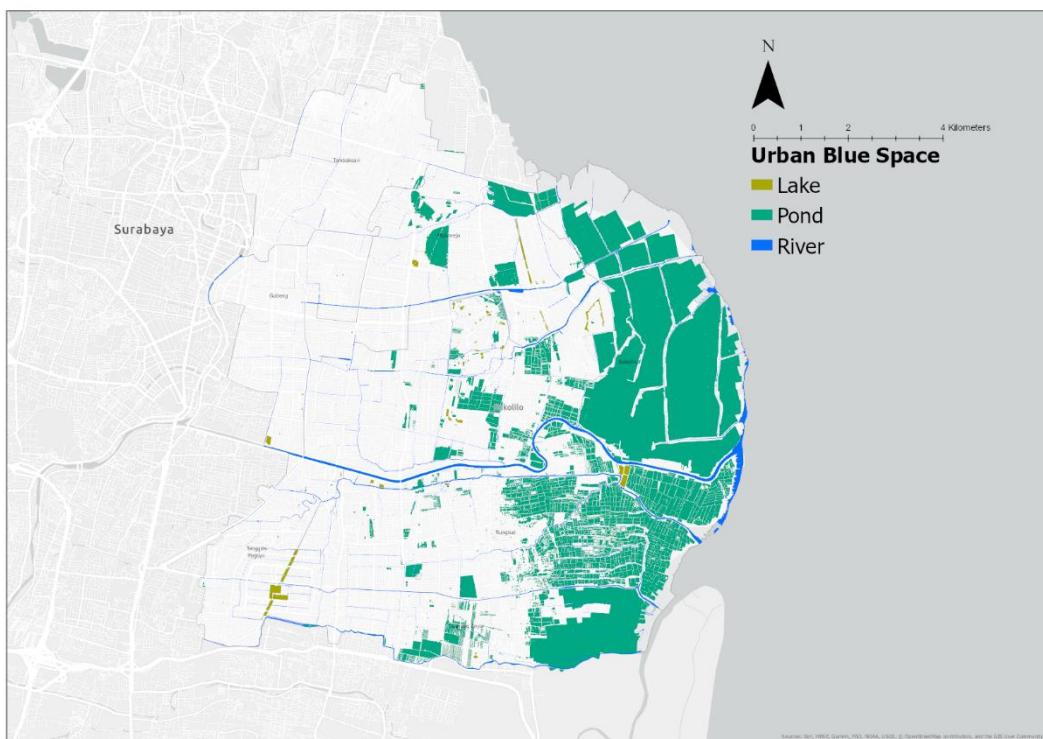
#### d. Karakteristik sebaran *rooftop garden*

Melalui pengamatan lapangan dan citra tidak ditemukan *rooftop garden* dalam skala lokal. Jenis *rooftop garden* yang dapat diamati pada skala ini adalah

*intensive green roof*, yang mana merupakan penghijauan atap secara konvensional melalui media tanah hingga mampu ditanami pepohonan, dapat berupa taman maupun perkebunan. Jenis atap kawasan studi masih didominasi genteng dari tanah liat pada kawasan permukiman, seng pada kawasan industri dan sisanya berupa atap beton. Menimbang kebutuhan lahan yang semakin tinggi, pemanfaatan *rooftop garden* akan menjadi alternatif skenario infrastruktur hijau di masa mendatang (EPA, 2012b). Hal tersebut ditunjangan oleh pendapat dari dinas PRKPCKTR (Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang) dalam upaya strategi pemenuhan kebutuhan RTH sebesar 30% kota Surabaya.

#### 4.3.1.2. *Urban water space*

*Urban water space* maupun badan air di perkotaan pada umumnya mampu menurunkan intensitas suhu permukaan hingga 1-3°C. Sebaran *urban bluespace* diperoleh dari pengolahan data RDTRK UP Rungkut, UP Darmawangsa, UP Kertajaya dan masterplan RTH Kota Surabaya. Selain itu untuk menunjang kelengkapan data secara lengkap dilakukan pengamatan dari aerial imagery Citra LiDAR. Dalam pembahasan *urban water space* akan diamati terkait sebaran kolam, sungai/drainase dan perairan lainnya (pertanian tambak).



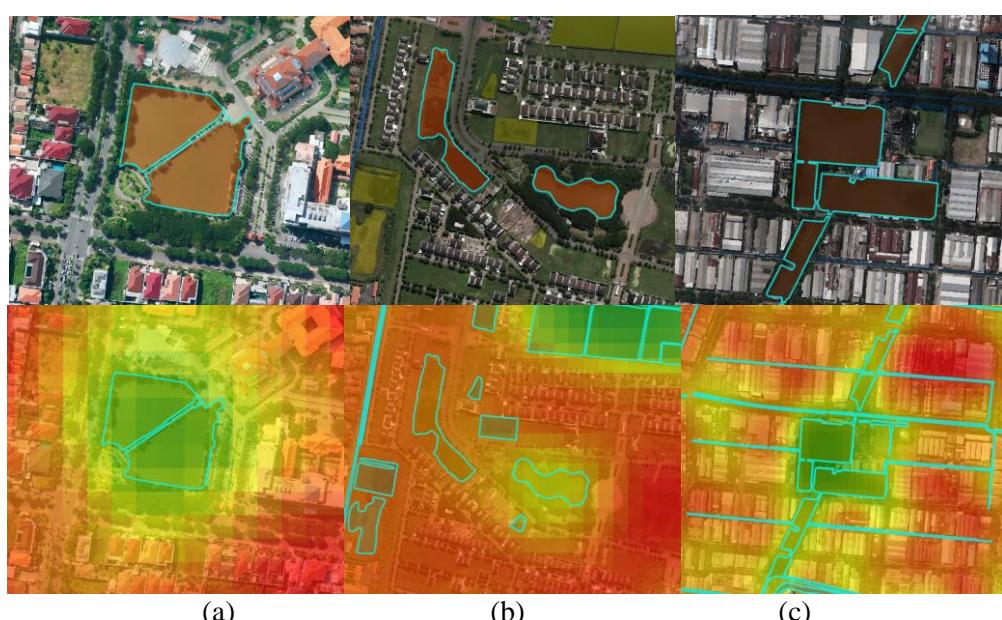
Gambar 4.23. *Urban Waterspace* Kawasan Surabaya Timur

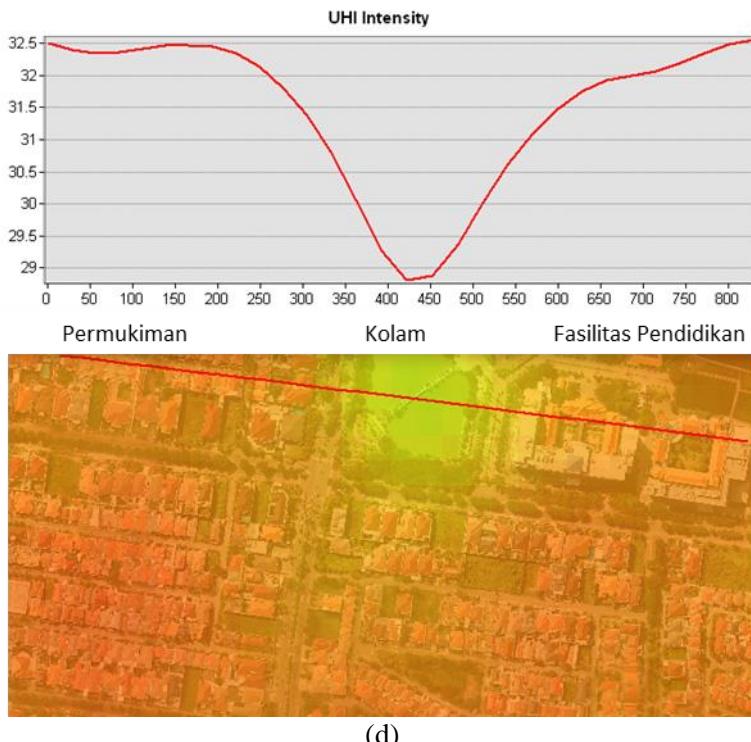
Tabel 4.10. Sebaran *urban waterspace*

No	<i>Urban greenspace</i>	Luas (Ha)	Persentase terhadap luas wilayah	Suhu permukaan rata-rata (°C)
1	Kolam	42,17	0.43 %	31,3-27,3
2	Pertanian Tambak	2637,91	26.96 %	33,7-23,8
3	Sungai	266,43	2.72 %	31,8-24,5

#### a. Karakteristik sebaran kolam

Persebaran *urban water space* berupa kolam maupun waduk kecil ini umumnya terdapat pada kawasan industri, permukiman formal dan fasilitas pendidikan. Kolam pada kawasan industri sier berada tepat dipusat kawasan industri, lokasi yang strategis mampu menurunkan suhu kawasan sekitar. Pada sektor permukiman formal terletak dibeberapa blok kawasan. Pada fasilitas pendidikan terletak pada ITS, UNAIR, UBAYA dan UPN. Pada umumnya fungsi kolam yang ada di kawasan tersebut sebagai resapan alami dalam mitigasi banjir, menjadi tempat rekreasi, ekositem perairan dan secara tidak langsung mampu menurunkan intensitas suhu. Hanya 0,43% luas kolam terhadap kawasan Surabaya timur. Mempertimbangkan pentingnya kolam terhadap lingkungan, angka tersebut dapat menjadi pertimbangan dalam pemenuhan kebutuhan dimasa mendatang. Apabila diamati dengan overlay suhu permukaan yang terjadi, pada area kolam terjadi penurunan intensitas suhu (Victoria, 2017).





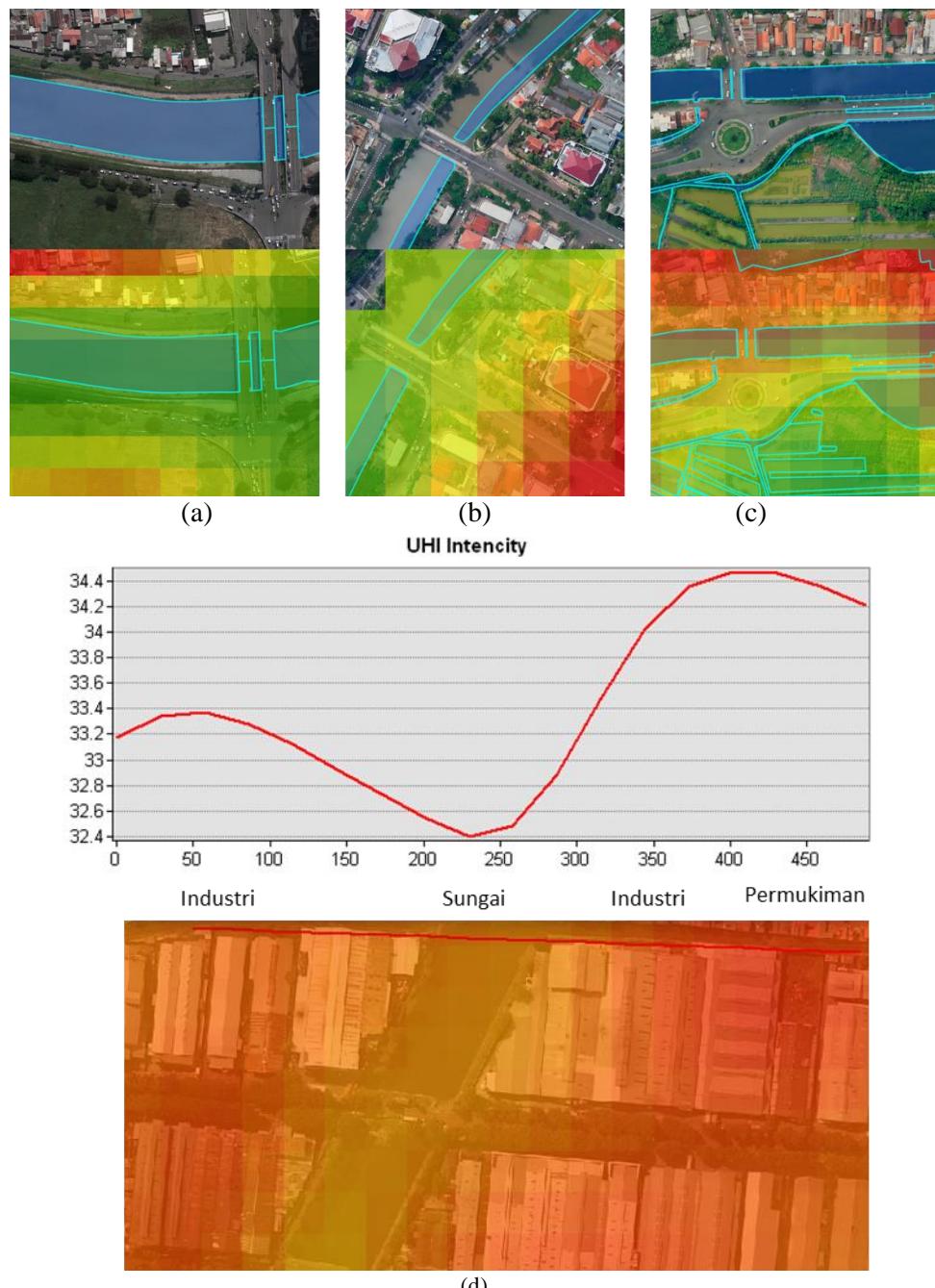
(d)

Gambar 4.24. Kolam (a)UNAIR kampus C (b)Perumahan formal (c)Kawasan SIER (d)*Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap kolam

Sumber: LiDAR, RDTRK UP Kertajaya dan Masterplan RTH Kota Surabaya

### b. Karakteristik sebaran sungai

Terdapat 2 sungai besar di kawasan Surabaya Timur, sungai wonokromo yang membentang dari Ngagel hingga Wonorejo dan sungai Kalimas di perbatasan Surabaya Pusat. Pola aliran air yang ada pada sungai wonokromo sebagai anak sungai kalimas tidak begitu deras karena faktor kelerengan kota Surabaya. Kondisinya tanggul dan sempadan sungai sangat dilestarikan sehingga mengoptimalkan manfaat dari adanya sungai itu sendiri. Tak jarang sungai ini masih dimanfaatkan penduduk sekitar sebagai jalur transportasi air menuju ke daerah wonorejo. Pada hulu sungai banyak dimanfaatkan penduduk untuk tambak keramba jarring apung. Selain itu terdapat juga sungai lokal dan drainase primer hingga tersier yang menuju ke arah laut di sebelah timur kota Surabaya. Suhu disekitar kawasan sungai umumnya memiliki intensitas yang lebih rendah dari kawasan sekitarnya. Sehingga, eksistensi sungai dan pola disekitarnya sangat diperlukan dalam menjaga suhu tetap rendah (Victoria, 2017).

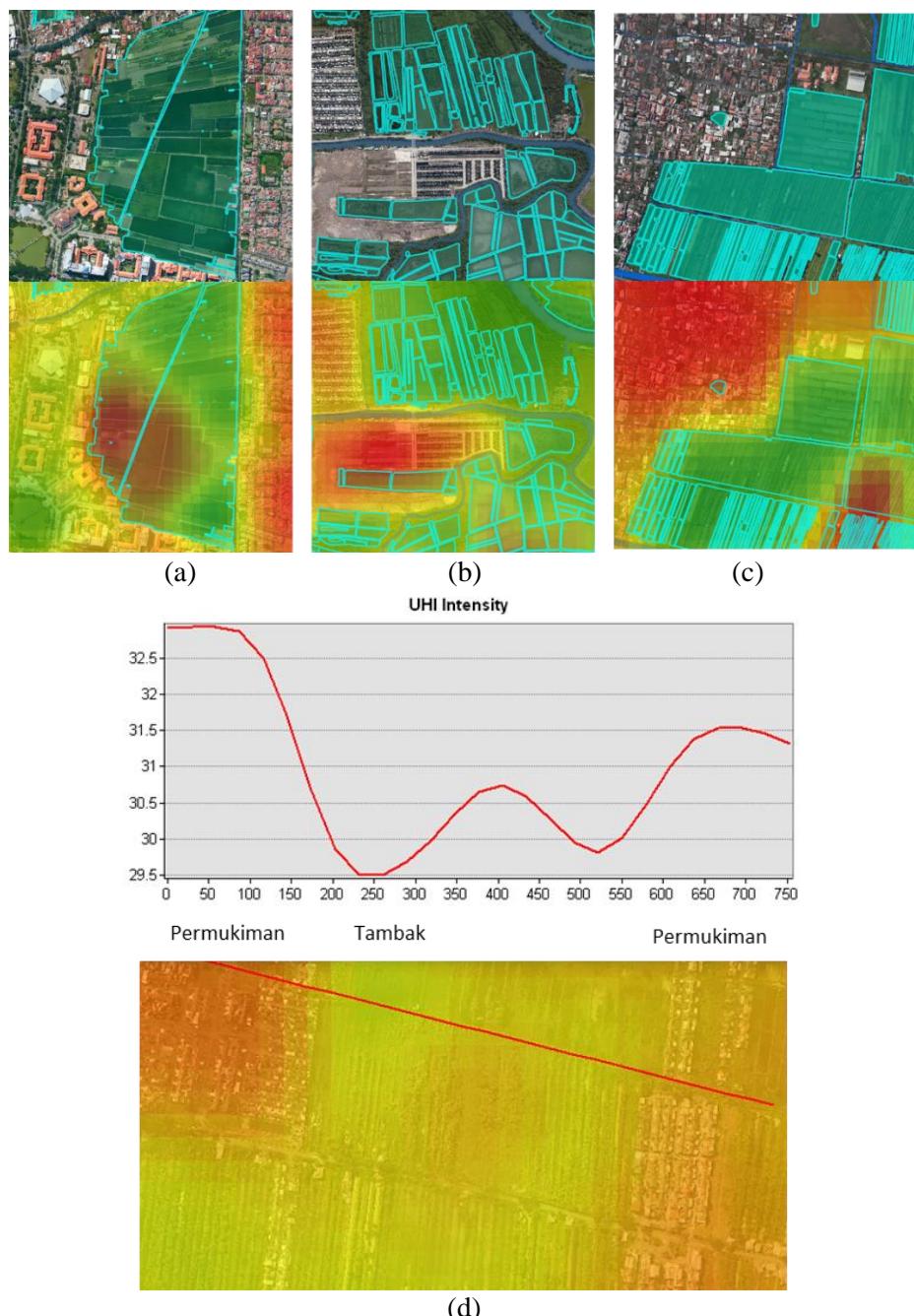


Gambar 4.25. (a) Sungai Wonokromo (b) Sungai Kali Mas (c) Sungai di bundaran ITS (d) *Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap sungai  
Sumber: LiDAR, RDTRK UP dan Masterplan RTH Kota Surabaya

### c. Karakteristik sebaran pertanian tambak

Tambak sebagai badan air di Surabaya Timur juga mampu menurunkan intensitas suhu permukaan. Jenis tambak yang dijumpai adalah tambak bandeng, tambak udang dan tambak budidaya kepiting air tawar. Sekitar 26.96% lahan didominasi oleh peruntukan lahan tambak. Tak jarang produksi tambak menjadi

salah satu sektor basis di kawasan ini (BPS, 2019). Namun saat ini kondisi kelestarian tambak semakin terintervensi oleh pesatnya perkembangan lahan terbangun yang mengarah ke timur. Mulai dari adanya pembangunan jalan merr beberapa tahun lalu, perkembangan permukiman formal dan adanya rencana pembangunan JLLT (Jalur lingkar luar timur) yang saat ini sudah tahap pembebasan lahan.



Gambar 4.26. Tambak (a)kampus UNAIR (b)didaerah wonokromo (c)kawasan permukiman di rungut (d)  
*Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap tambak  
 Sumber: LiDAR, RDTRK UP dan Masterplan RTH Kota Surabaya

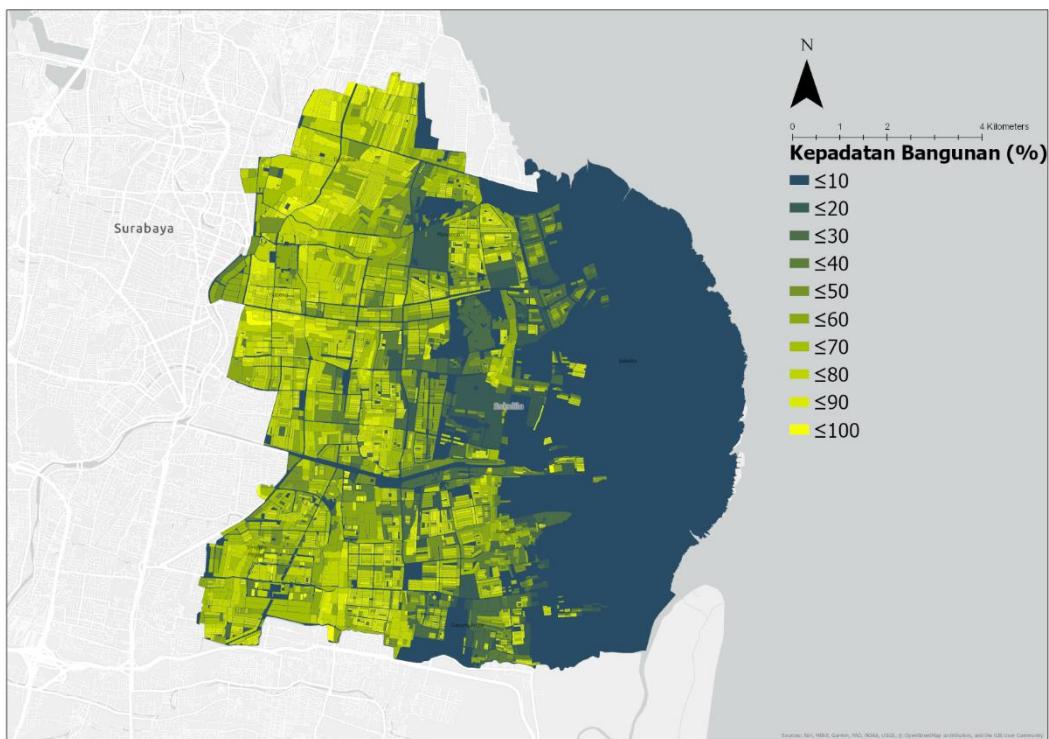
### **4.3.2. Urban Geometry**

#### **4.3.2.1. Building Density (BD)**

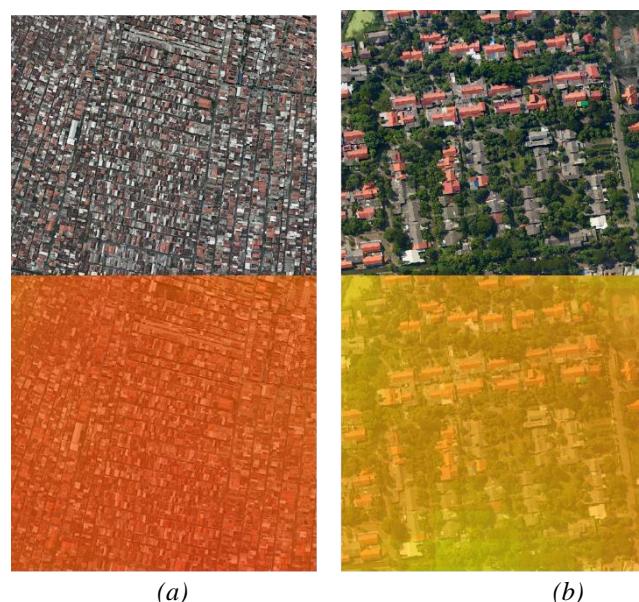
*Building density (BD)* atau kepadatan bangunan merupakan persentase permukaan lahan yang tertutup bangunan dalam satu bidang tanah. Data spasial bangunan diperoleh dari dokumen RDTR pada kawasan studi dan dialakukan update data melalui *digitation on screen* pada *aerial imagery* LiDAR. Dalam proses perhitungan kepadatan bangunan digunakan raster calculator pada ArcGIS [persamaan 10]. Perlu menjadi catatan, konsep diadaptasi dari Cai (2018) maka kepadatan bangunan dibagi berdasarkan blok lahan terbang. Sehingga pada jalan tidak ada nilai kepadatan bangunan. Kondisi kepadatan bangunan di Surabaya Timur cukup tinggi disisi barat, utara dan selatan. Umumnya didominasi oleh permukiman dan industri. Di sisi Timur kepadatan semakin berkurang karena merupakan daerah tambak, rawa dan konservasi mangrove. Berdasarkan overlay dengan UHI, kepadatan bangunan tinggi memiliki intensitas lebih tinggi dibandingkan lahan dengan kepadatan bangunan yang lebih rendah. Meskipun bukan merupakan angka akurat, namun kondisi tersebut mendukung pengujian Alobaydi (2016) bahwa kepadatan bangunan mampu menurunkan suhu sekitar 0,9-1,1°C.

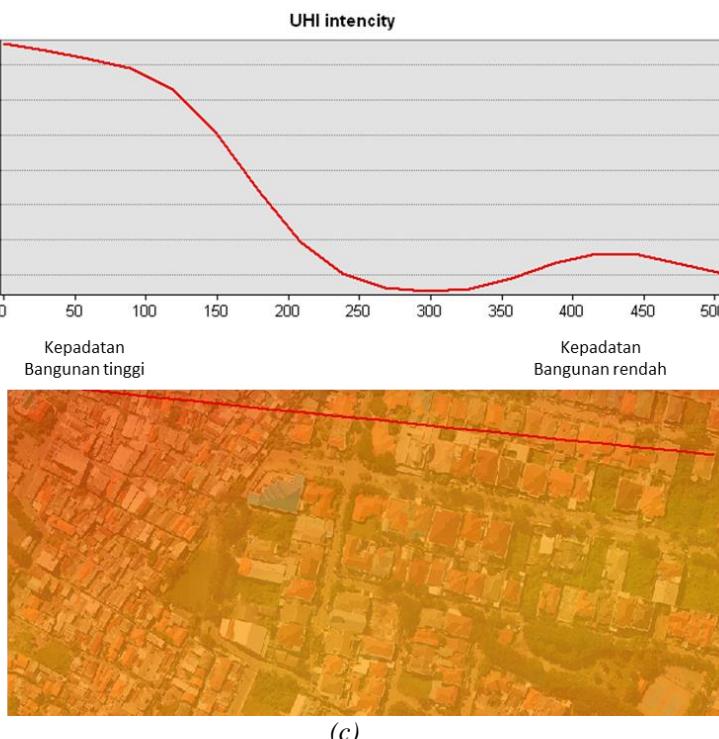
Tabel 4.11. Persentase kepadatan bangunan terhadap suhu permukaan rata-rata

No	Persentase Kepadatan Bangunan (%)	Luas (Ha)	Rata-rata LST
1	≤10	2609	32,7-23,6
2	20	1901	33,4-29,8
3	30	10241	32,7-29,8
4	40	10316	34,4-30,3
5	50	21725	33,9-30,9
6	60	45646	35-31,4
7	70	91363	34-31,8
8	80	58452	34,1-32,3
9	90	10393	34,3-32,9
10	100	2000	34,7-33



Gambar 4.27. Persentase Kepadatan Bangunan Kawasan Surabaya Timur





(c)

Gambar 4.28. Perbandingan kepadatan bangunan

(a)permukiman non formal (b)permukiman formal (c) *Profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap kepadatan

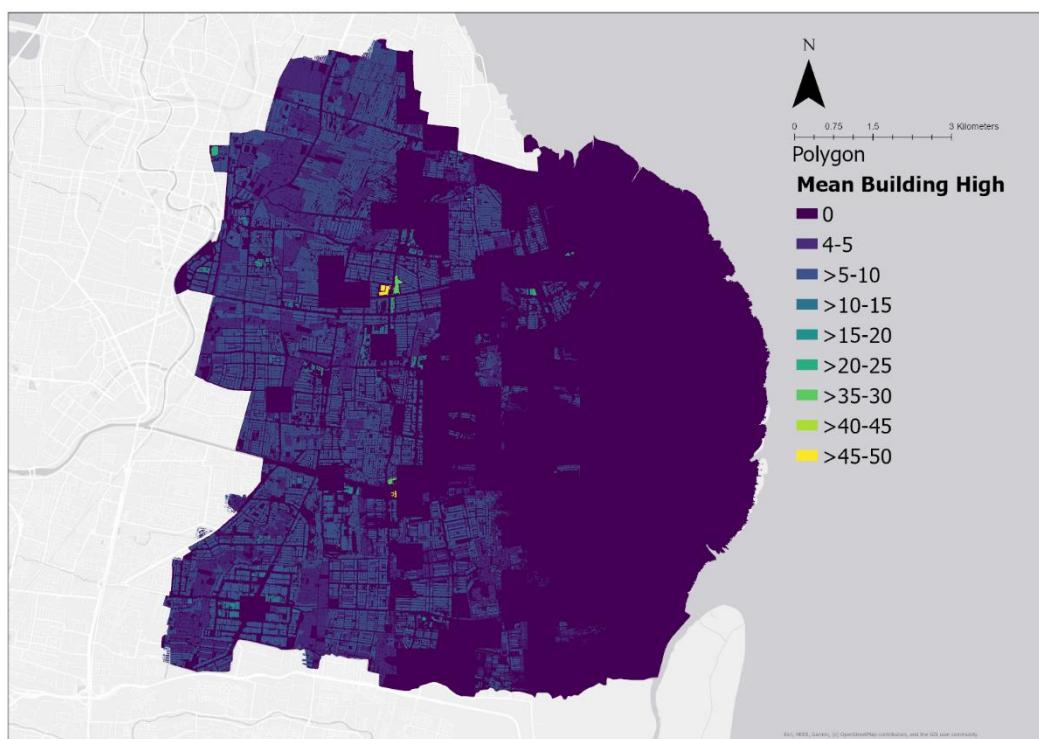
Sumber: LiDAR, RDTRK UP

#### 4.3.2.2. Mean Building High (MH)

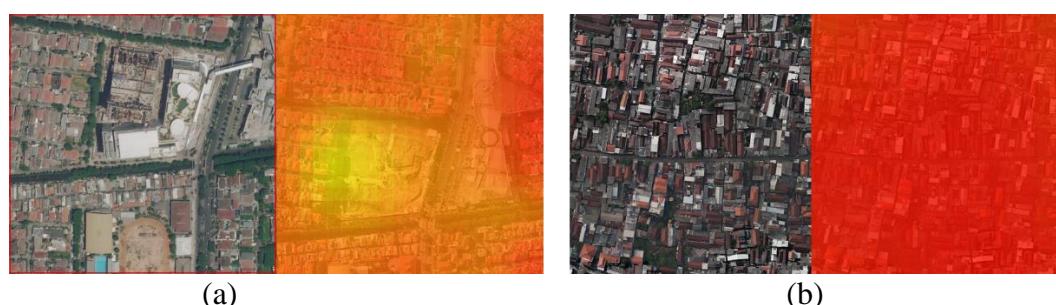
Dalam menghitung ketinggian rata-rata bangunan digunakan **persamaan 11** menggunakan raster calculator pada ArcGIS. Melalui pengamatan pada data *non ground* citra LiDAR untuk *mean building high* paling tinggi terletak di kawasan pusat CBD *galaxy mall*, dengan ketinggian sekitar 50m. Sedangkan paling rendah berada pada area permukiman formal maupun non formal sekitar 4-5m. Penelitian Janesonia (2019) menunjukkan bahwa ketinggian bangunan di Surabaya berpengaruh terhadap suhu permukaan. Dari sisi perancangan, ketinggian bangunan baik *high rise*, *mid rise* hingga *low rise* juga berpengaruh terhadap kelembapan udara dan kecepatan angin (Janesonia, 2019). Masing-masing dari klasifikasi ketinggian bagunan ini nantinya juga perlu memiliki konsep adaptasi yang berbeda beda (Wonorahardjo et al., 2020). Dari kondisi eksisting, bangunan yang termasuk kategori *high rise* justru memiliki suhu yang lebih rendah dari pada *low rise*. Hal ini dikarenakan *high rise* memiliki kepadatan bangunan yang lebih rendah, dan menyediakan area terbuka yang cukup baik untuk penghawaan. Bangunan tinggi di kawasan studi juga belum bersifat terpusat, masih tersebar di beberapa lokasi.

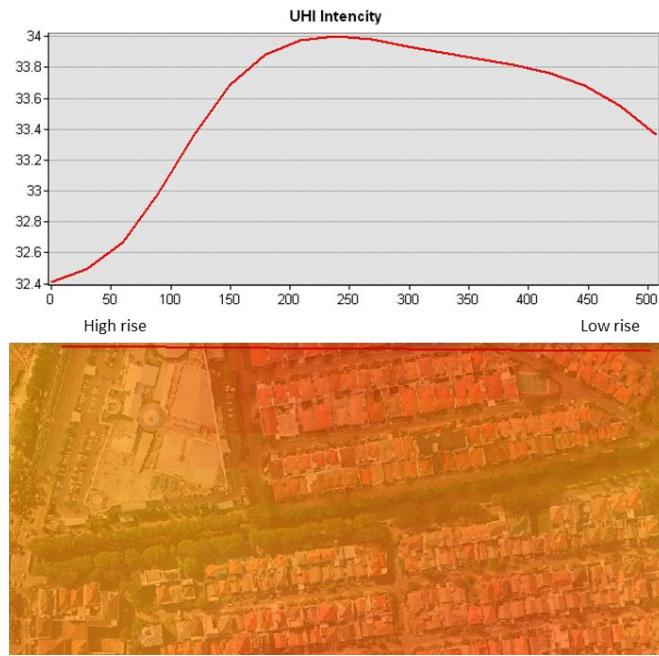
Tabel 4.12. Ketinggian bangunan terhadap suhu permukaan rata-rata

No	Rata-rata ketinggian bangunan	Asumsi jumlah lantai	Luas (Ha)	Rata-rata LST (°C)
1	0	0 (area terbuka)	677.7761	$\pm 36-23$
2	<5	1 lantai	3913.756	$\pm 34$
3	<10	2 lantai	14159.21	$\pm 33$
4	<15	3 lantai	909.8415	$\pm 31$
5	<20	4 lantai	151.292	$\pm 32$
6	<25	5 lantai	133.0367	$\pm 33$
7	<30	6 lantai	62.79226	$\pm 34$
8	<35	7 lantai	0	0
9	<40	8 lantai	0	0
10	<45	9 lantai	45.7049	$\pm 32$
11	<50	10 lantai	93.84153	$\pm 30$



Gambar 4.29. Nilai mean building high Kawasan Surabaya Timur





(c)

Gambar 4.30. Perbandingan mean building high (a) bangunan tinggi (b)bangunan rendah (c)  
*profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap rata-rata ketinggian

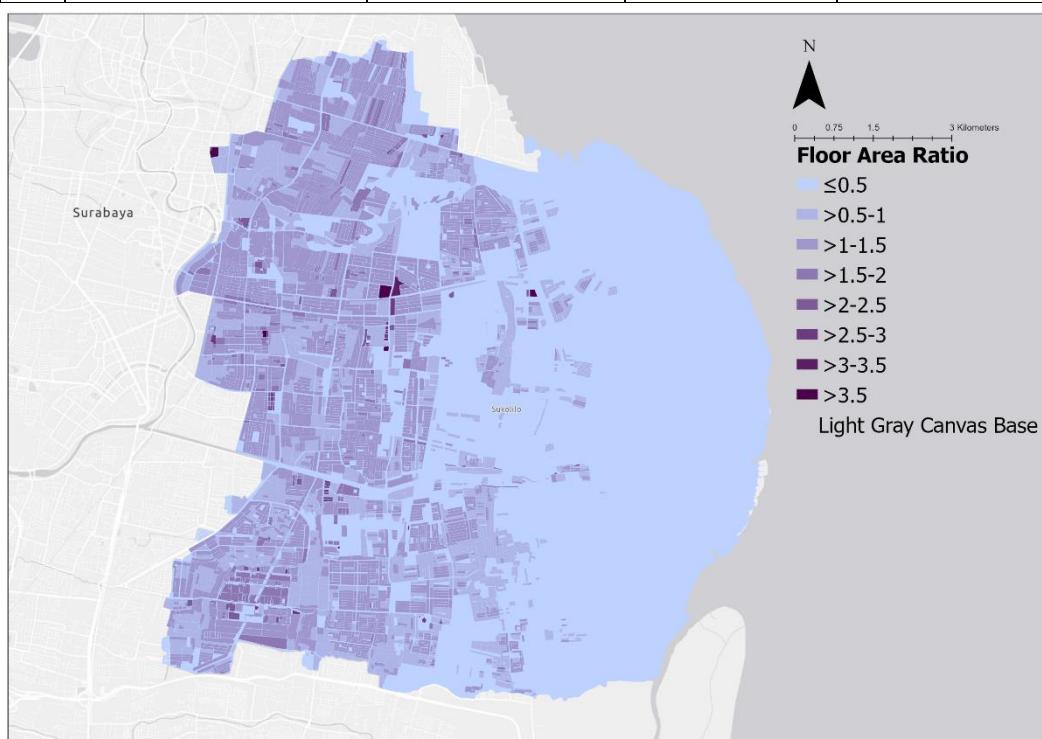
Sumber: LiDAR, RDTRK UP

#### 4.3.2.3.Floor Area Ration (FAR)

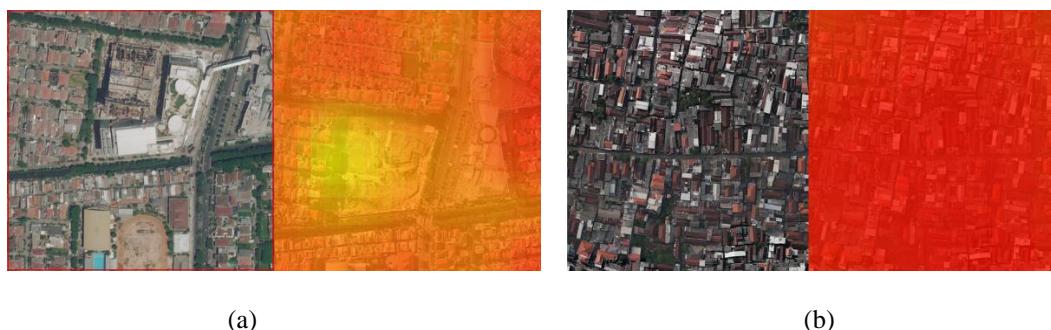
Rasio dari luas total lantai dalam suatu bidang tanah dihitung dengan persamaan (17). Melalui pengamatan pada data non ground citra LiDAR untuk *floor area ratio* paling tinggi terletak di kawasan pusat CBD galaxy mall, dengan rasio lantai sekitar 3,5. Sedangkan paling rendah berada pada area permukiman formal maupun non formal sekitar 0.5-1. Penelitian Cai (2018) menunjukkan bahwa semakin tinggi lantai bangunan dan area yang tertutup bangunan maka akan berpengaruh terhadap suhu permukaan. Prinsip dari floor area ration hampir sama dengan dengan mean building high, namun tetap mempertimbangkan jumlah lantai (Janesonia, 2019). Dari kondisi eksisting, bangunan yang memiliki floor area ratio tinggi cenderung memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan bangunan dengan floor area ratio rendah. Hal ini dikarenakan pada kawasan studi blok bangunan tinggi memiliki area terbuka yang cukup luas dibandingkan bangunan dengan jumlah lantai lebih sedikit. Namun secara pengamatan hal ini sedikit bertentangan dengan pendapat Cai (2018) dan Oke (2006) karena nilai floor area ratio tidak linier terhadap suhu permukaan.

Tabel 4.13. *Floor area ratio* terhadap suhu permukaan rata-rata

No	<i>Floor area ratio</i>	Asumsi jumlah lantai	Luas (Ha)	Rata-rata LST ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	<0.5	0 (area terbuka)	6230.77	$\pm 31$
2	<1	>1 lantai	1627.48	$\pm 34$
3	<1.5	>3 lantai	2378.523	$\pm 33$
4	<2	>6 lantai	197.99	$\pm 31$
5	<2.5	>8 lantai	26.74	$\pm 34$
6	<3	>10 lantai	13.41	$\pm 33$
7	<3.5	>14 lantai	4.82	$\pm 33$
8	>3.5	>23 lantai	11.20	$\pm 31$

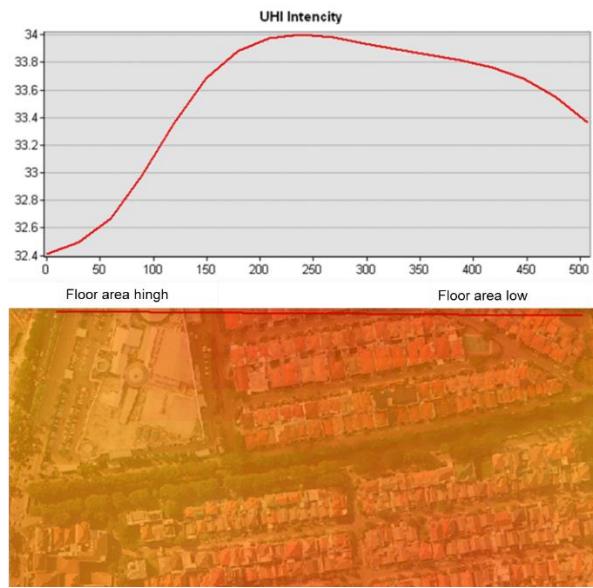


Gambar 4.31. Nilai *floor area ratio* kawasan Surabaya Timur



(a)

(b)



(c)

Gambar 4.32. Perbandingan *floor area ratio/FAR* (a) FAR pada bangunan tinggi (b) FAR bangunan rendah (c) *profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap FAR

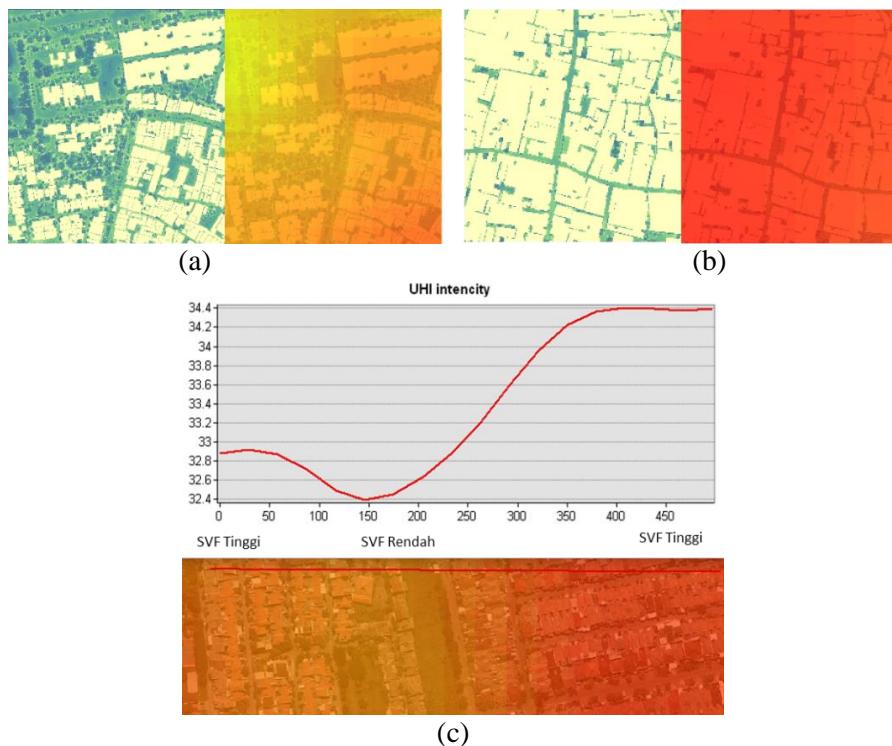
Sumber: LiDAR, RDTRK UP

#### 4.3.2.4. *Sky View Factor (SVF)*

*Sky view factor (SVF)* adalah bentuk 3D pada rasio tinggi bangunan terhadap lebar jalan. Lingkungan pengamatan SVF dapat diamati pada *boundary layer* atau area manusia untuk beraktivitas (Venhari, 2019). Dalam menghitung SVF digunakan plugin *sky view factor calculator* pada QGis dengan mengacu pada **persamaan 12**. Nilai SVF pada atap bangunan hasil simulasi perlu diubah menjadi 1 karena bukan zona aktivitas manusia (Dirksen et al., 2019). Proses pengubahan dilakukan dengan **persamaan 13** dan **persamaan 14** menggunakan bahasa pemograman *phyton* pada ArcGIS.

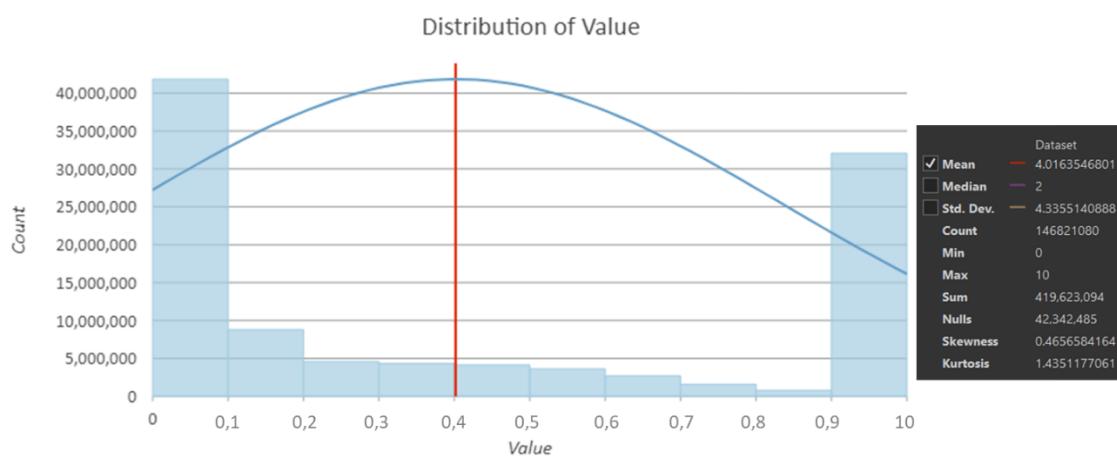
Nilai SVF pada kawasan penelitian berada antara 0-1. Dimana untuk nilai 1 umumnya pada koridor jalan yang sempit, dimana bangunan sekitarnya memiliki kerapatan yang cukup tinggi. Sedangkan SVF semakin berkurang mendekati 0 apabila berada di kawasan ruang terbuka atau koridor jalan yang lebar. Hal tersebut berlaku juga pada bangunan yang memiliki sempadan cukup lebar. Rata-tara SVF di Surabaya Timur berada pada nilai 0,4. Hal ini menunjukkan bahwa secara general bentuk perkotaan dari kawasan studi adalah *medium rise and density* (P. R. Oke, 2006). Hasil overlay antara SVF dengan suhu permukaan secara general menunjukkan bahwa kawasan dengan sky view factor rendah memiliki intensitas

yang cukup rendah. Pada bangunan rendah dengan kepadatan tinggi akan mengakibatkan SVF menjadi tinggi dan nilai suhu juga relatif tinggi. Disisi lain bangunan tinggi yang menyebabkan tingginya nilai SVF juga cenderung memiliki suhu tinggi. Fakta ini mendukung penelitian Yuan and Chen (2011) dimana bahwa bangunan dengan ketinggian sedang dan memiliki kepadatan sedang cukup efektif menekan intensitas suhu permukaan.



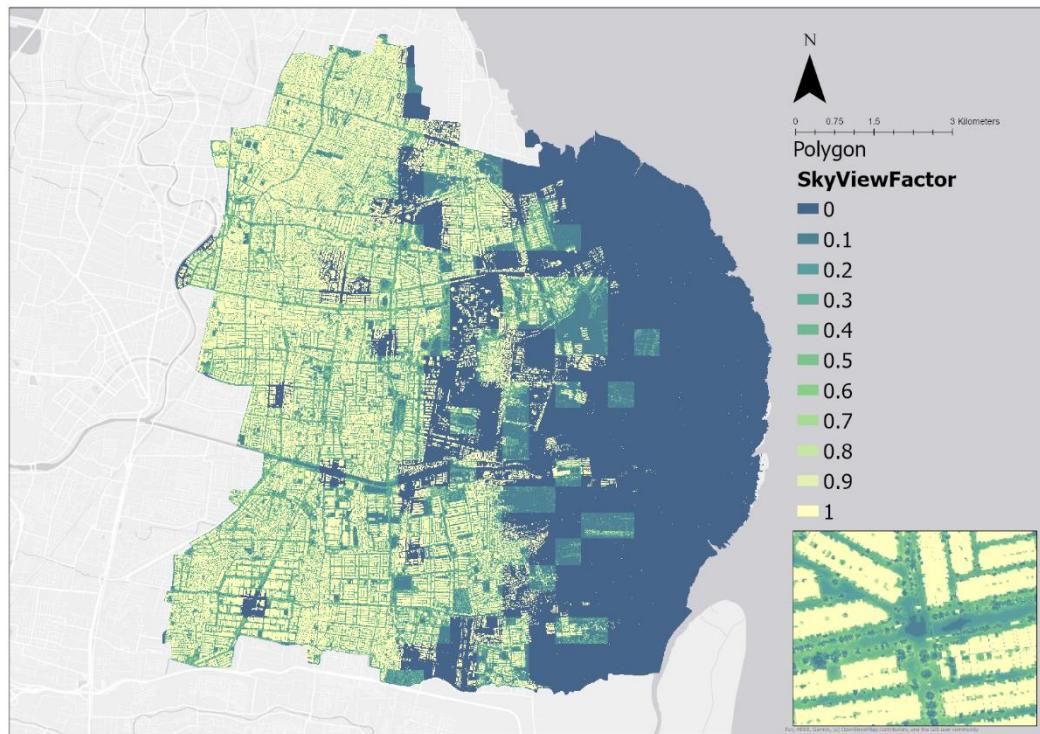
Gambar 4.33. Perbandingan sky view factor (a)kerapatan bangunan rendah (b)kerapatan tinggi (c) profile graph intensitas suhu permukaan terhadap SVF

Sumber: LiDAR, RDTRK UP



\*data berupa raster, count dalam gambar memiliki satuan pixel (1 pixel=1x1m, 5.000.000 pixel = 500 Ha)

Gambar 4.34. Tabel distribusi jumlah nilai sky view factor

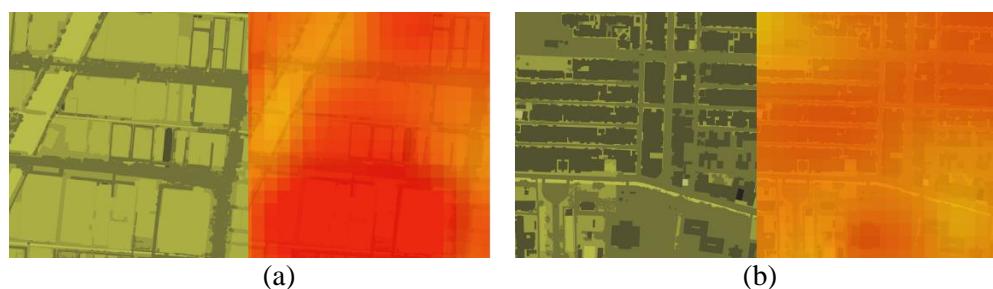


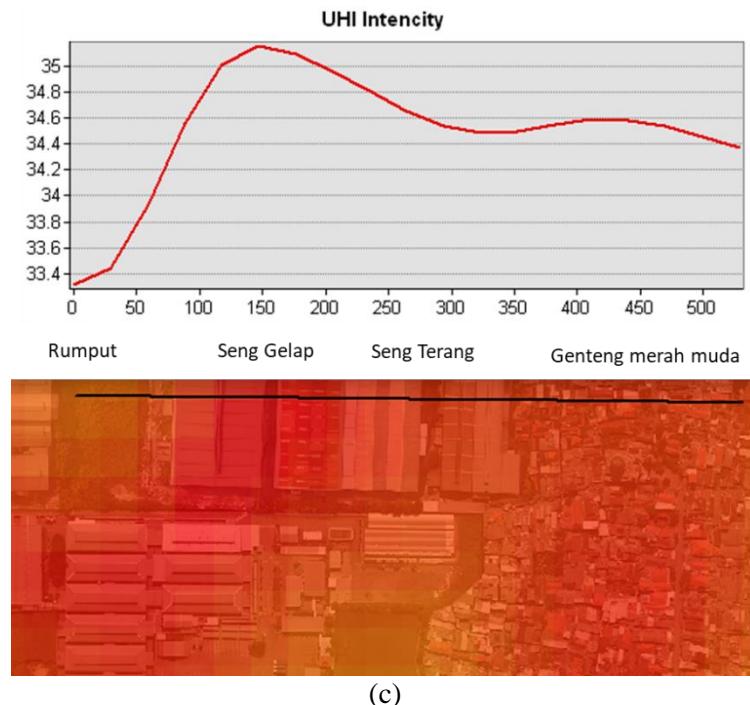
Gambar 4.35. Nilai *sky view factor* Kawasan Surabaya Timur

#### 4.3.3. *Urban Material*

##### 4.3.3.1. *Surface Albedo Radianc*e

Daerah perkotaan biasanya memiliki bahan permukaan, seperti atap dan paving, yang memiliki albedo lebih rendah daripada yang di daerah pedesaan. Akibatnya, lingkungan yang dibangun umumnya kurang memantulkan dan menyerap lebih banyak energi matahari. Panas yang diserap ini meningkatkan suhu permukaan. Beberapa penelitian telah mengukur kemampuan peningkatan albedo untuk adaptasi UHI dan mengurangi penggunaan energi pendingin. Nilai albedo pada kawasan studi berada pada rentang 0-0,85. Pada albedo rendah umumnya memiliki intensitas suhu permukaan yang lebih tinggi dari pada pada albedo permukaan tinggi (Hove et al., 2011).

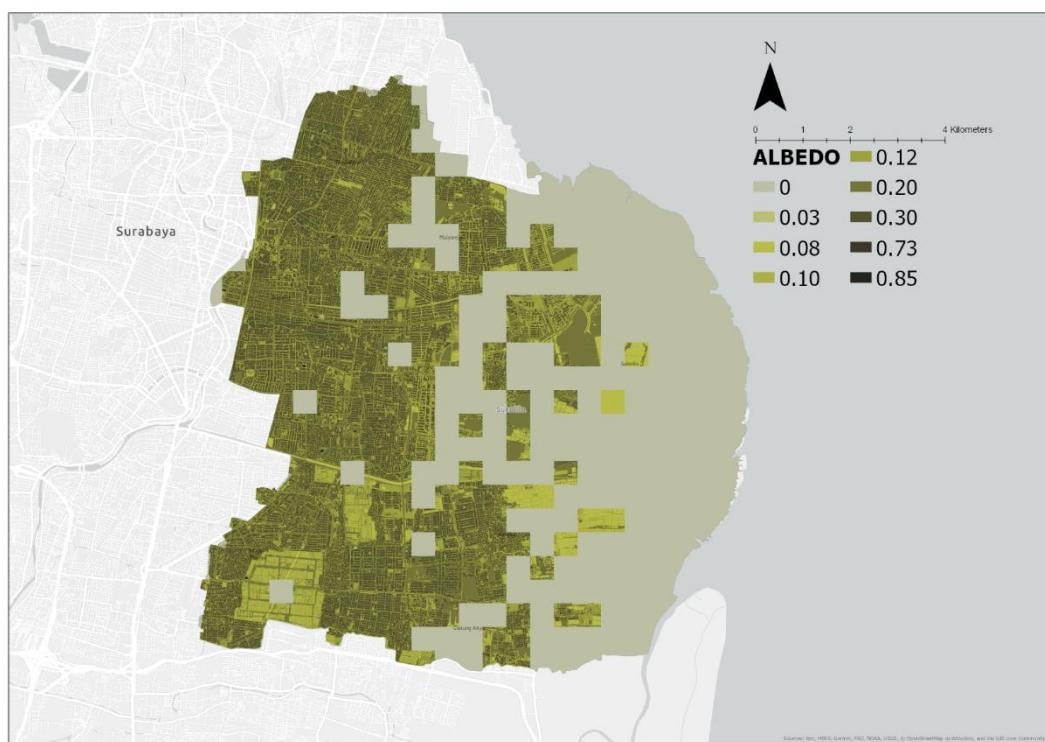




(c)

Gambar 4.36. Perbandingan albedo (a)permukaan dari seng (b)permukaan dari genteng (c)*profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap jenis permukaan

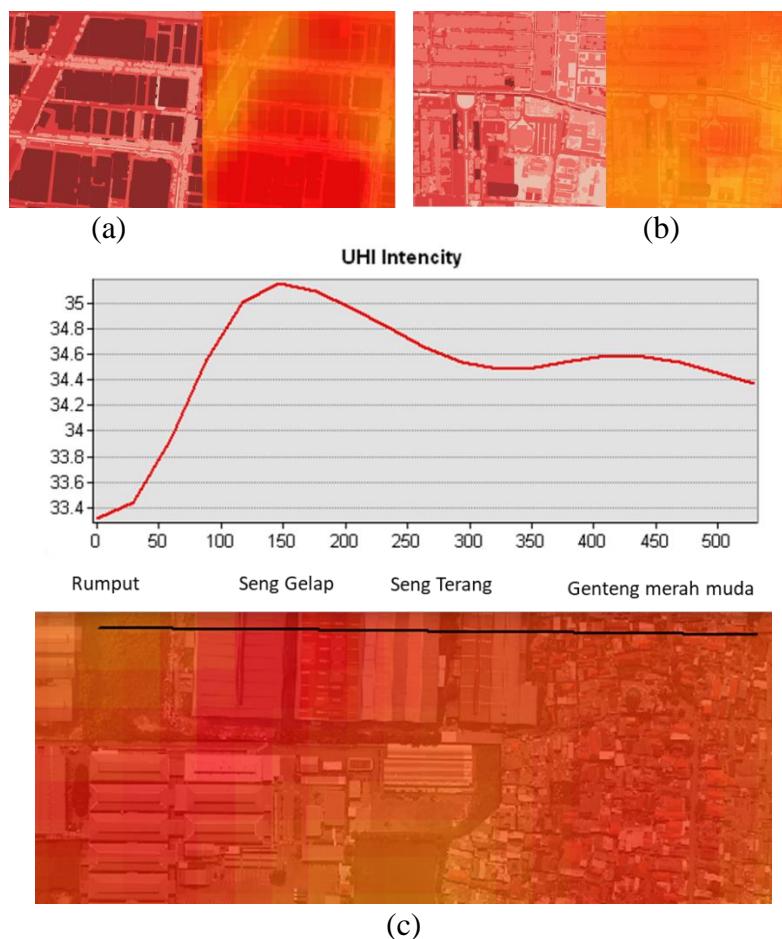
Sumber: LiDAR, RDTRK UP



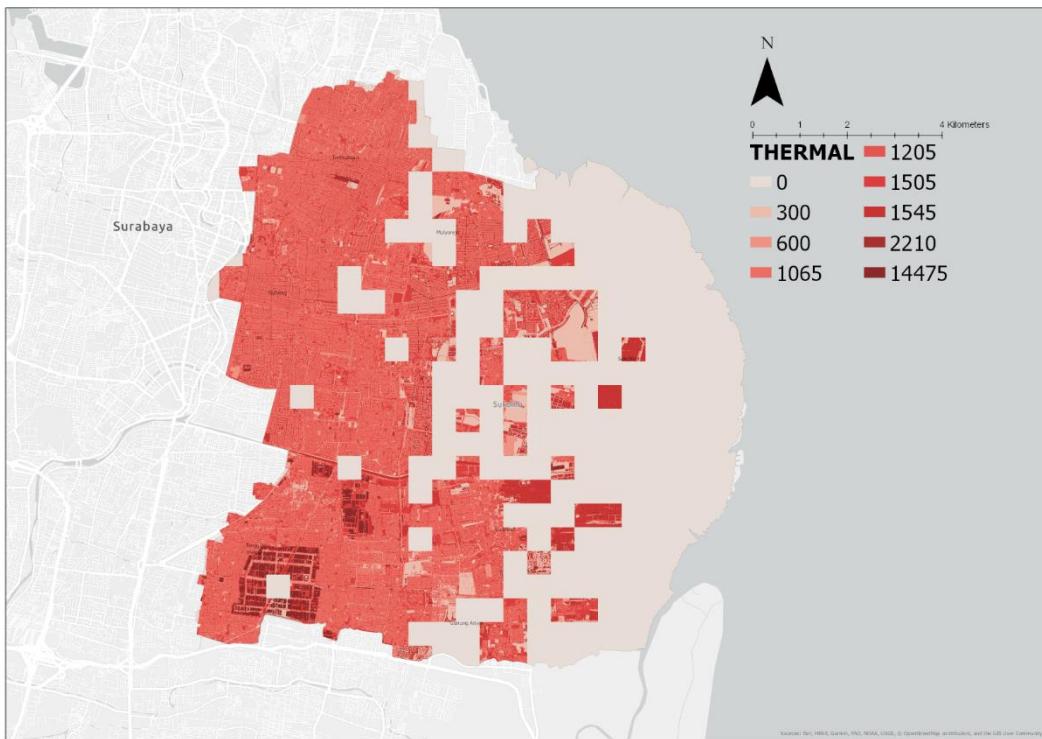
Gambar 4.37. Klasifikasi nilai Albedo Kawasan terdampak UHI

#### 4.3.3.2. Surface Thermal Admittance

Perilaku termal permukaan perkotaan memainkan peran penting dalam perkembangan UHI. Perilaku ini sangat ditentukan oleh kepadatan, kapasitas panas spesifik, konduktivitas termal, dan koefisien penerimaan termal dari bahan yang digunakan (Hove et al., 2011). Kapasitas panas ( $C_p$  dalam  $J \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) mengacu pada kemampuan material untuk menyimpan panas, sedangkan konduktivitas termal ( $k$  dalam) adalah kemampuannya untuk melakukan panas. Banyak bahan bangunan, seperti baja dan batu, memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi daripada bahan pedesaan, seperti tanah kering dan pasir. Pusat kota dapat menyerap dan menyimpan dua kali jumlah panas dibandingkan dengan lingkungan sub-urban di siang hari. Hasil dari overlay dengan suhu permukaan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan suhu pada permukaan dengan sifat thermal admittance yang tinggi, seperti seng pada kawasan industri.



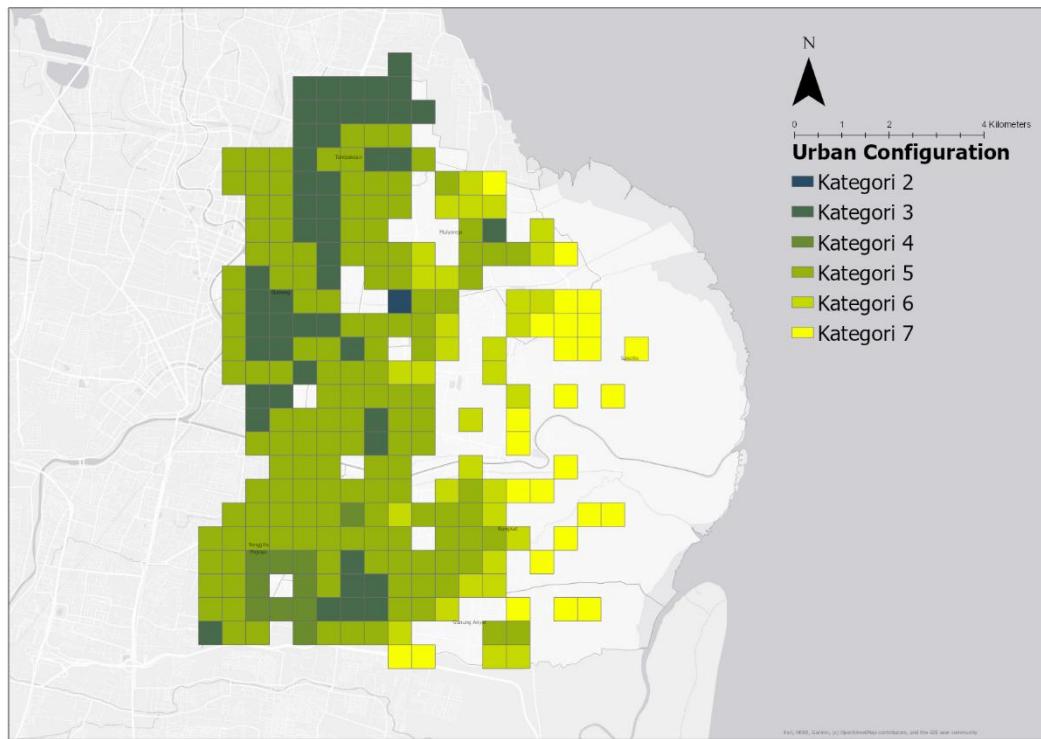
Gambar 4.38. Perbandingan thermal admittance (a)permukaan dari seng (b)permukaan dari genteng dan rumput (c)*profile graph* intensitas suhu permukaan terhadap jenis permukaan  
Sumber: LiDAR, RDTRK UP



Gambar 4.39. Klasifikasi nilai *Thermal Admittance* Kawasan terdampak UHI

#### 4.3.4. Klasifikasi *urban configuration*

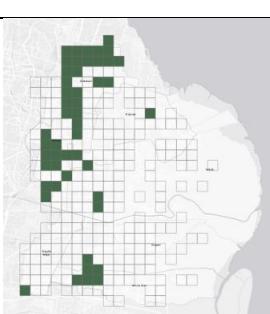
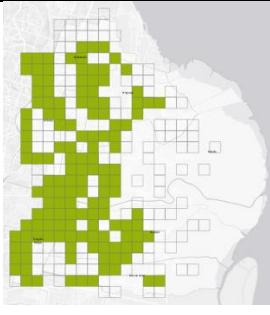
Klasifikasi *urban configuration* merujuk pada **tabel 2.10**, yang merupakan hasil dari penelitian Oke (2006) dan Watskin (2002). Kriteria klasifikasi *urban configuration* didasarkan pada jenis penggunaan lahan, *sky view factor* dan kerapatan bangunan. Ketiga variabel tersebut akan membentuk 7 kategori konfigurasi perkotaan yang mewakili peningkatan urbanisasi secara vertikal dan horizontal (Hove et al., 2011). Hasil klasifikasi *urban configuration* di kawasan Surabaya Timur ditunjukan dengan peta berikut.

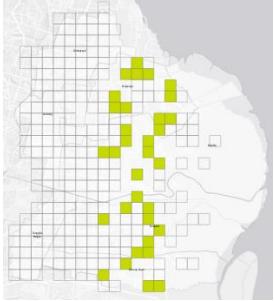
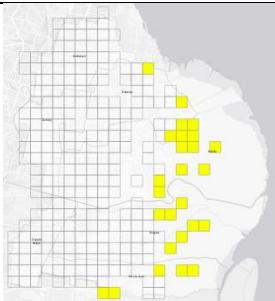


Gambar 4.40. Klasifikasi *urban configuration* di kawasan Surabaya Timur

Keterangan warna pada peta *urban configuration* menunjukkan rentang klasifikasi. Apabila mendekati warna biru maka *urban configuration* semakin tinggi (*urban*), sedangkan mendekati warna hijau maka *urban configuration* semakin rendah (*sub-urban*). Hasil *Urban configuration* di kawasan Surabaya Timur menunjukan kawasan tersebut berada pada kategori 2,3,4,5,6,7. Tidak terdapat kategori 1 karena urbanisasi di Surabaya Timur belum memenuhi standar “downtown” (P. R. Oke, 2006). Klasifikasi *urban configuration* didominasi oleh kategori 5 sebanyak 139 grid, yang tersebar hampir di seluruh wilayah terdampak UHI. Hanya 1 grid yang terkласifikasi pada kategori 2, yaitu kawasan pengembangan perdagangan dan jasa. Kategori 6 dan 7 merupakan kawasan yang memiliki pertumbuhan relatif cepat dibandingkan kategori lainnya. Melalui pengamatan penggunaan lahan 2001-2019 alih fungsi lahan hijau menjadi area terbangun massive terjadi pada kawasan ini. Dibangunnya jalan MERR dan isu rencana JLLT (Jalur lingkar luar timur) menjadi faktor pendorong dalam hal ini (Arifah, 2018). Pembahasan detail terkait kategori *urban configuration* akan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.14.Tabel Klasifikasi *Urban Configuration*

No	Klasifikasi	Total jumlah grid	Kondisi eksiting	Persebaran
1	Kategori 2	1	<p>Perkotaan kawasan pengembangan CBD (Central business distric). Zona ini merupakan kawasan prioritas pengembangan dalam RDTRK UP Kertajaya tahun 2019-2039.</p> <p><b>Penggunaan Lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdagangan dan jasa (galaxy mall) dan permukiman</li> </ul> <p><b>Kepadatan bangunan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 85% dari total kawasan</li> </ul> <p><b>Sky view factor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.4 – 0.8 area langit bebas hambatan</li> </ul>	
2	Kategori 3	49	<p>Perkotaan pada area urban dengan kepadatan menengah yang sangat padat</p> <p><b>Penggunaan Lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukiman dan perdangan jasa pada koridor jalan utama</li> </ul> <p><b>Kepadatan bangunan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 70-85% dari total kawasan</li> </ul> <p><b>Sky view factor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.3 – 0.4 area langit bebas hambatan</li> </ul>	
3	Kategori 4	10	<p>Perkotaan dengan kepadatan rendah atau sedang yang sangat berkembang dengan bangunan rendah besar dan parkir beraspal.</p> <p><b>Penggunaan Lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Industri, gudang</li> </ul> <p><b>Kepadatan bangunan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 70-79% dari total kawasan</li> </ul> <p><b>Sky view factor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.15-0.4 area langit bebas hambatan</li> </ul>	
4	Kategori 5	139	<p>Pembangunan sedang, kawasan transisi urban, kepadatan sendang dengan 1 atau 2 bangunan bertingkat.</p> <p><b>Penggunaan Lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdagangan dan jasa dan fasilitas umum skala lokal, permukiman kepadatan rendah-sedang</li> </ul> <p><b>Kepadatan bangunan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 40-69% dari total kawasan</li> </ul> <p><b>Sky view factor:</b></p>	

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.3-0.4 area langit bebas hambatan</li> </ul>	
5	Kategori 6	33	<p>Bangunan besar di lanskap terbuka dan permukiman pengembangan sedang</p> <p><b>Penggunaan Lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lahan kosong, semak belukar/rawa, permukiman kepadatan rendah, insitusi</li> </ul> <p><b>Kepadatan bangunan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 11-38% dari total kawasan</li> </ul> <p><b>Sky view factor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.2-0.4 area langit bebas hambatan</li> </ul>	
6	Kategori 7	26	<p>Perkembangan semi-rural,</p> <p><b>Penggunaan Lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tambak, lahan kosong, semak belukar/rawa, mangrove, permukiman kepadatan rendah</li> </ul> <p><b>Kepadatan bangunan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.2-9.8% dari total kawasan</li> </ul> <p><b>Sky view factor:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.15-0.35 area langit bebas hambatan</li> </ul>	

#### **4.4. Pengaruh *urban configuration* terhadap *urban heat island***

##### **4.4.1. Variabel *urban configuration* yang mempengaruhi *urban heat island***

Langkah pertama dilakukan adalah mengubah seluruh nilai variabel kedalam raster. Dikarenakan dalam regresi spasial data peta yang diperlukan berupa data raster. Hampir sebagian besar data penelitian pada sasaran 2 masih berupa *vector polygon*. Pada variabel *urban green space* dan *urban blue space* karena tidak terdistribusi pada seluruh wilayah penelitian perlu dibuat raster berbasis jarak. Fitur pada ArcGIS untuk membuat data raster berbasis jarak adalah *Euclidean Distance*. Hal ini bertujuan agar seluruh wilayah tercakupi nilai dari kedua variabel tersebut. Sedangkan variabel lainnya hanya diubah kedalam bentuk raster karena data sudah terdistribusi pada seluruh wilayah penelitian. Fitur pada ArcGIS untuk mengubah data *polygon* variabel menjadi data raster adalah *polygon to raster*. Ukuran peta yang dihasilkan terdiri dari 11634 kolom dan 12620 baris. Dengan kedetailan *cell size* 1x1m. Ukuran tersebut mengacu pada ketersediaan data LiDAR yang mampu mengolah hingga ukuran *cell size* tersebut.

Tabel 4.15.Tabel analisis variabel *urban configuration*

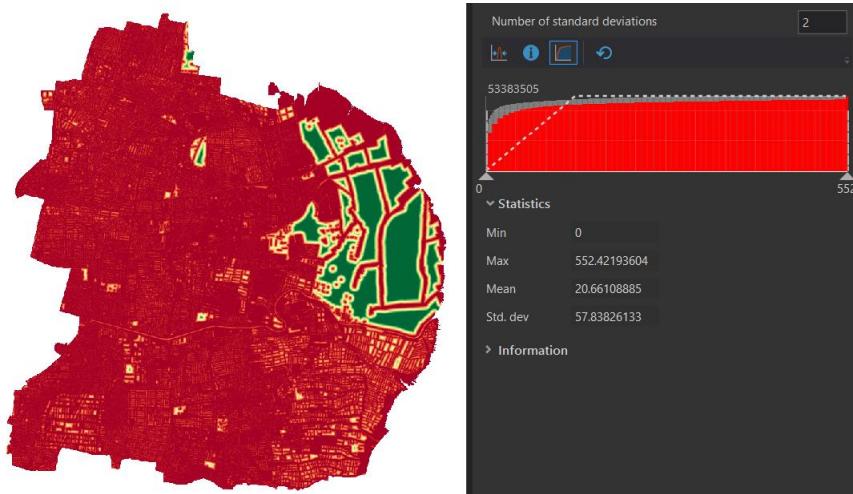
No	Variabel	Fitur Analisis
1	Peta Jarak terhadap <i>Urban Green space</i>	<i>Euclidean Distance</i>
2	Peta raster Jarak terhadap <i>Urban Blue space</i>	<i>Euclidean Distance</i>
3	Peta raster <i>Building Density (BD)</i>	<i>polygon to raster</i>
4	Peta raster <i>Mean Building High (MH)</i>	<i>polygon to raster</i>
5	Peta raster <i>Floor Area Ratio (FAR)</i>	<i>polygon to raster</i>
6	Peta raster <i>Sky View Factor (SVF)</i>	*
7	Peta raster sifat radiasi	<i>polygon to raster</i>
8	Peta raster sifat thermal	<i>polygon to raster</i>

\*tidak dilakukan analisis karena data peta sudah berupa raster

##### **4.4.5.1.Jarak terhadap *urban green space***

Nilai *urban green space* didapatkan dari perhitungan nilai jarak *urban green space* terhadap kondisi suhu permukaan. Apabila menjauhi *urban green space* akan memiliki pengaruh terhadap UHI seberapa besar, begitu pula sebaliknya. Dari

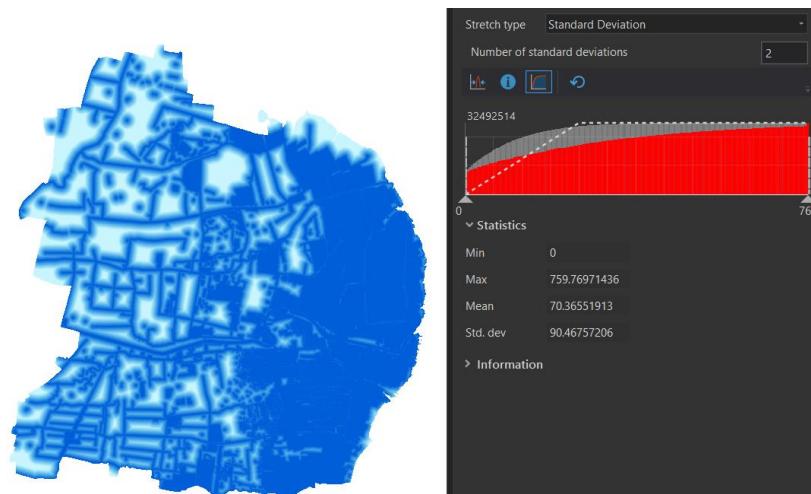
proses *Euclidean distance* dihasilkan jarak terjauh dari urban green space adalah 552m, dan rata-rata 20m dengan standar deviasi 57m.



Gambar 4.41. Jarak terhadap *urban green space*

#### 4.4.5.2. Jarak terhadap *urban water space*

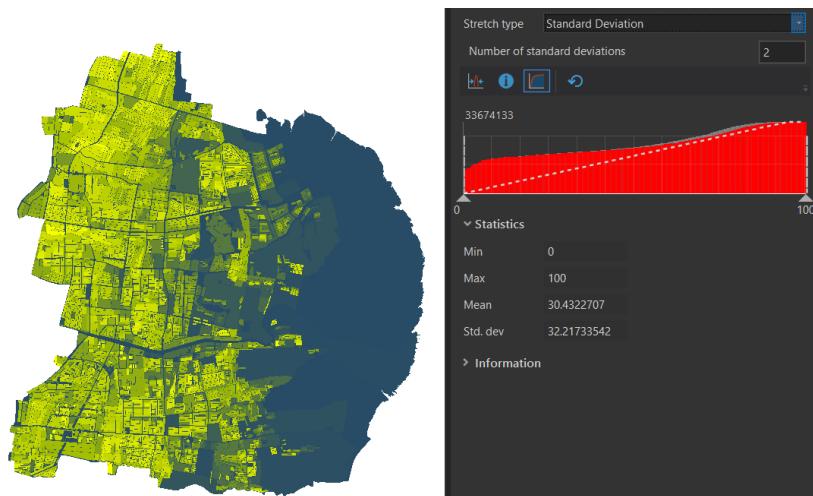
Nilai *urban water space* didapatkan dari perhitungan nilai jarak *urban water space* terhadap kondisi suhu permukaan. Apabila menjauhi *water space* akan memiliki pengaruh terhadap UHI seberapa besar, begitu pula sebaliknya. Dari proses *euclidean distance* dihasilkan jarak terjauh dari *urban water space* adalah 759 m, dan rata-rata 70 m dengan standar deviasi 90m



Gambar 4.42. Jarak terhadap *urban green space*

#### 4.4.5.3.Nilai persentase *building density* (*BD*)

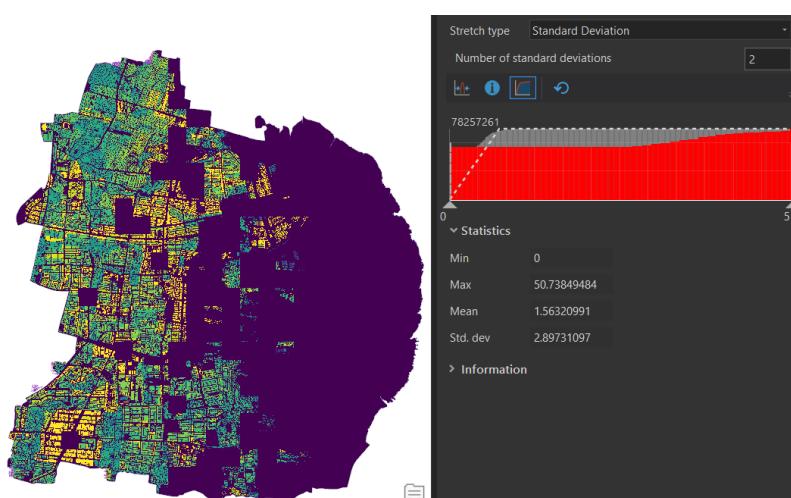
Terdapat indikasi semakin tinggi persentase kepadatan bangunan akan semakin mempengaruhi intensitas UHI, begitu pula sebaliknya. Dari proses *polygon to raster* dihasilkan peta persentase kepadatan dari 0-100% dengan rata-rata kepadatan 30% dan standar deviasi 32%



Gambar 4.43. Persentase *building density*

#### 4.4.5.4.Nilai klasifikasi *mean building high* (*MH*)

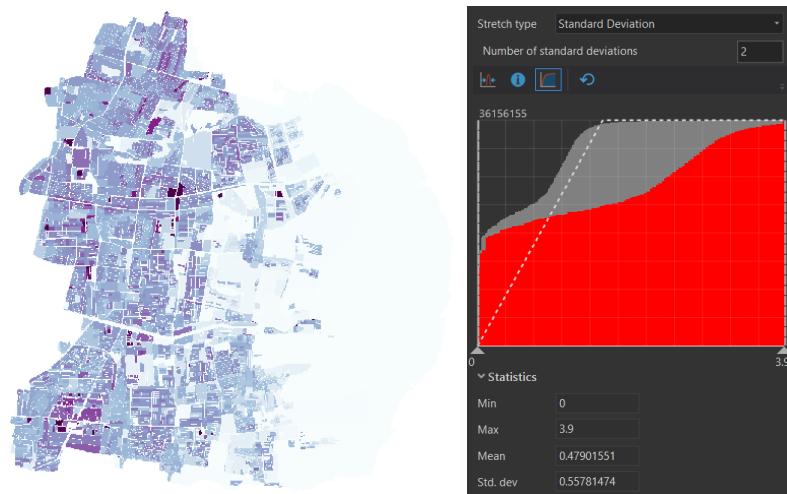
Meliteratur Cai (2018) variabel ini mampu menjadi pertimbangan dalam analisis UHI. Dari proses *polygon to raster* dihasilkan peta klasifikasi *mean building high* dengan ketinggian dari 0-111m dengan rata-rata ketinggian 30% dan standar deviasi 32%



Gambar 4.44. Klasifikasi *mean building high* (*MH*)

#### 4.4.5.5.Nilai klasifikasi *floor area ratio (FAR)*

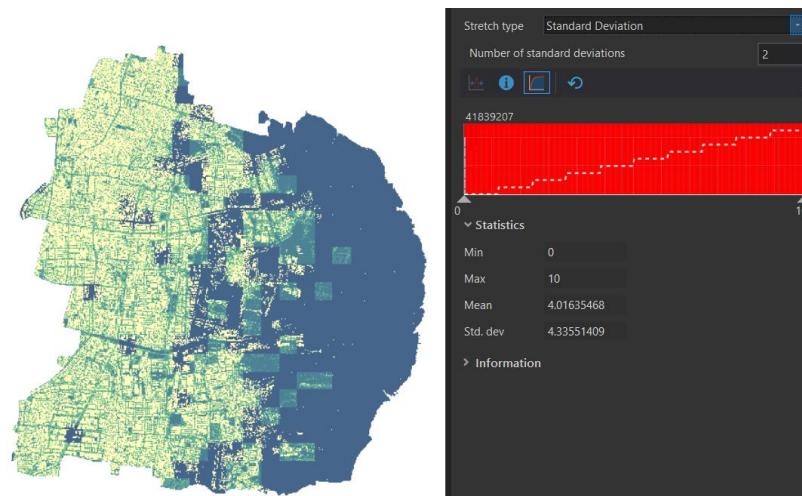
Meliteratur Cai (2018) variabel ini mampu menjadi pertimbangan dalam analisi UHI. Dari proses *polygon to raster* dihasilkan peta klasifikasi *floor area ratio* dengan ketinggian dari 0-3.9 dengan rata-rata rasio lantai 0.4 dan standar deviasi 0.55



Gambar 4.45. Klasifikasi *floor area ratio (FAR)*

#### 4.4.5.6.Nilai klasifikasi *sky view factor (SVF)*

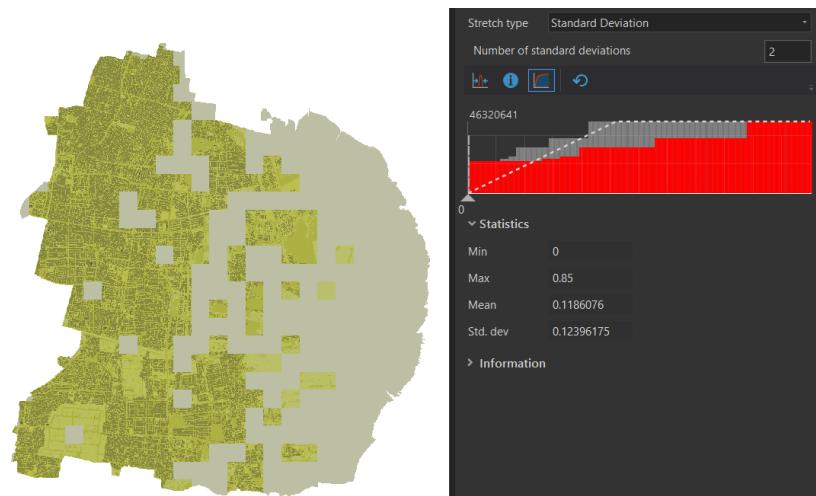
Dari proses klasifikasi di ArcGIS dihasilkan peta *sky view factor* dengan kategori 0-10 dengan rata-rata 4 dan standar deviasi 4 (satuan *sky view factor*).



Gambar 4.46. Klasifikasi *sky view factor (SVF)*

#### **4.4.5.7.Nilai Surface Albedo Radiance**

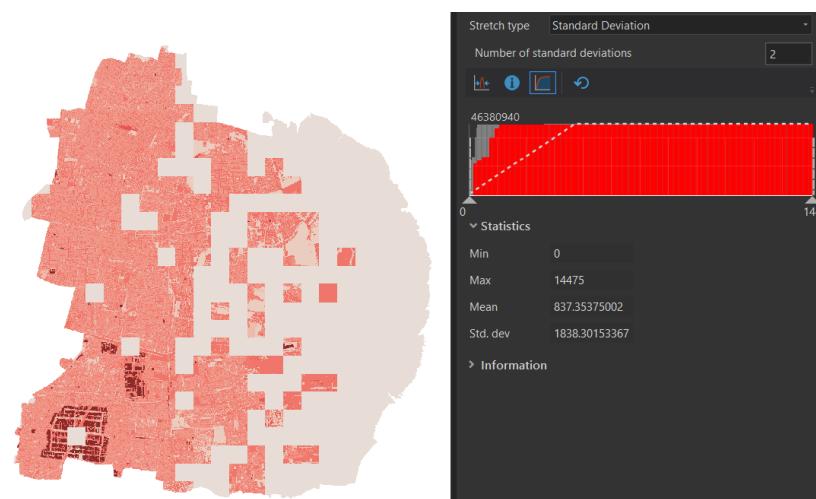
Nilai *surface albedo radiance* didapatkan dari konversi nilai albedo (pantulan panas) berdasarkan jenis permukaan. Semakin tinggi nilai albedo akan mempengaruhi intensitas UHI, begitu pula sebaliknya. Dari proses *polygon to raster* dihasilkan peta *nilai albedo* dengan kategori 0-0,85 dengan rata-rata 0,1 dan standar deviasi 0,1.



Gambar 4.47. Klasifikasi *surface albedo radiance*

#### **4.4.5.8.Nilai Surface Albedo Radiance**

Nilai *surface thermal admittance* didapatkan dari konversi nilai thermal (serapan panas) berdasarkan jenis permukaan. Dari proses *polygon to raster* dihasilkan peta *nilai thermal* dengan kategori 1-14475 dengan rata-rata 837 dan standar deviasi 1838.



Gambar 4.48. Klasifikasi *surface thermal admittance*

#### 4.4.5.9. Analisis Stepwise

Selanjutnya digunakan fitur toolbox *exploratory regression* pada ArcGIS untuk melakukan analisis *stepwise*. Analisis stepwise ini akan menghasilkan nilai signifikansi dari masing-masing varibel untuk memperoleh model regresi paling optimal. Hanya akan dibahas model dengan residual spatial autocoreelation (SA) paling tinggi, sedangkan informasi detail hasil *exploratory regression* terdapat di **lampiran 2**.

Tabel 4.16. Pengkodean variabel *urban configuration*

No	Variabel	Sub Variabel	Kode
1	<i>UHI</i>	<i>Surface Urban Heat Island</i>	Y (dependen)
2	<i>Urban Green Infrastructure</i>	Peta jarak terhadap <i>Urban Green space</i>	UG
		Peta jarak terhadap <i>Urban Blue space</i>	UB
3	<i>Urban Geometry</i>	Peta persentase <i>Building Density (BD)</i>	BD
		Peta persentase <i>Mean Building High (MH)</i>	MBH
		Peta nilai <i>Floor Area Ratio (FAR)</i>	FAR
		Peta nilai <i>Sky View Factor (SVF)</i>	SVF
4	<i>Urban Material</i>	Peta klasifikasi sifat radiasi permukaan	ALBEDO
		Peta klasifikasi sifat thermal permukaan	THERMAL

Tabel 4.17. Model stepwise yang paling signifikan

No	Spatial Autocorrelation (SA)	Adjusted R-Squared (AdjR2)	Akaike's Information Criterion (AICc)	Jarque-Bera p-value (Salih)	Koenker (BP) Statistic	Variance Inflation Factor (VIF)	Model
1	0.000000	0.292138	22627.2	0.0000	0.0000	2.9204	+BD***
							+SVF***
							-MBH***
							+UG***
							+UB***
							+THERMAL***
							-ALBEDO***
2	0.000000	0.292058	22629.1	0.0000	0.0000	3.5475	+BD***
							-FAR

							+SVF***
							-MBH***
							+UG***
							+UB***
							+THERMAL***
							-ALBEDO***
3	0.000000	0.290379	22648.00	0.0000	0.0000	3.4851	+BD***
							-FAR**
							+SVF***
							+UG***
							+UB***
							+THERMAL***
							-ALBEDO***

Ket:

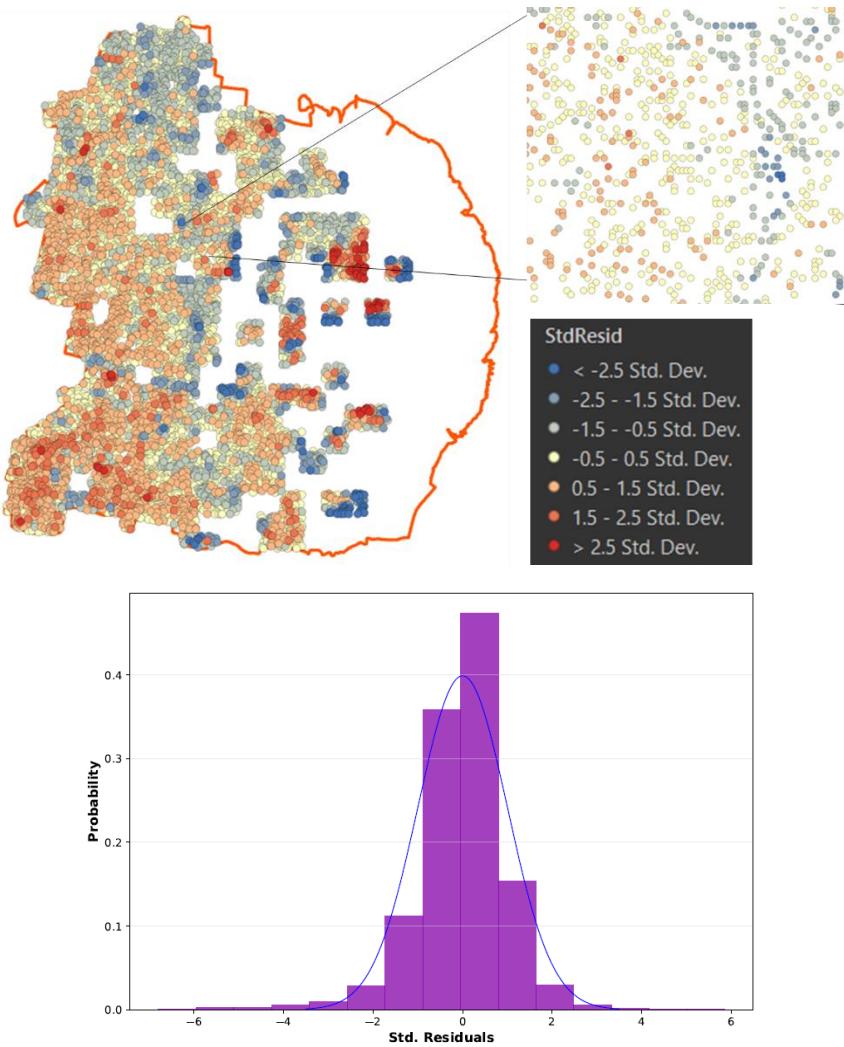
- Model Variable sign (+/-)
- Model Variable significance (\* = 0.10; \*\* = 0.05; \*\*\* = 0.01)

Dari hasil stepwise ditentukan bahwa model yang paling signifikan dengan nilai R2 (R-Squared) paling tinggi adalah **persamaan residual 1 (pertama)**. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variable yang digunakan dalam model regresi adalah ***building density (BD)*, *mean building high (MBH)*, *sky view factor (SVF)*, *urban green infrastructure (UG)*, *urban blue infrastructure (UB)*, *albedo reflectance (ALBEDO)* dan *thermal admittance (THERMAL)***. Dengan kata lain variabel yang dihilangkan adalah *floor area ratio (FAR)*.

#### 4.4.6. Model regresi spasial variabel *urban configuration*

Dalam menentukan tingkat pengaruh setiap variabel *urban configuration* terhadap UHI, digunakan analisis regresi spasial *Ordinary Least Squares (OLS)* dengan bantuan ArcGIS. Teknik analisis ini merupakan salah satu model regresi linier untuk menghasilkan prediksi atau memodelkan variabel dependen dalam hubungannya terhadap beberapa variabel penjelas. Input pada tahap ini terdiri dari data spasial variabel *urban configuration* yang berpengaruh hasil analisis stepwise dan nilai UHI pada sasaran 1. Hasil akhir dari analisis ini adalah model UHI berdasarkan variabel *urban configuration*.

Menentukan besar hubungan masing-masing variabel terhadap suhu permukaan pada kawasan terdampak UHI dengan menggunakan fitur *Extract Multi Values by Point*. Proses ekstraksi dilakukan pada seluruh variabel. Hasilnya adalah tabel model regresi masing-masing variabel terhadap UHI dan point sebaran standar residu. Point standar residu menunjukkan bahwa semakin mendekati nilai 0 maka titik tersebut semakin signifikan (Esri, 2020d). Dari peta standar residu, variabel kawasan penelitian signifikan secara statistic. Sebaliknya, apabila standar residu semakin jauh dari kurva normal maka model yang dihasilkan bias. Detailnya dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 4.49. Standar residu hasil regressi OLS

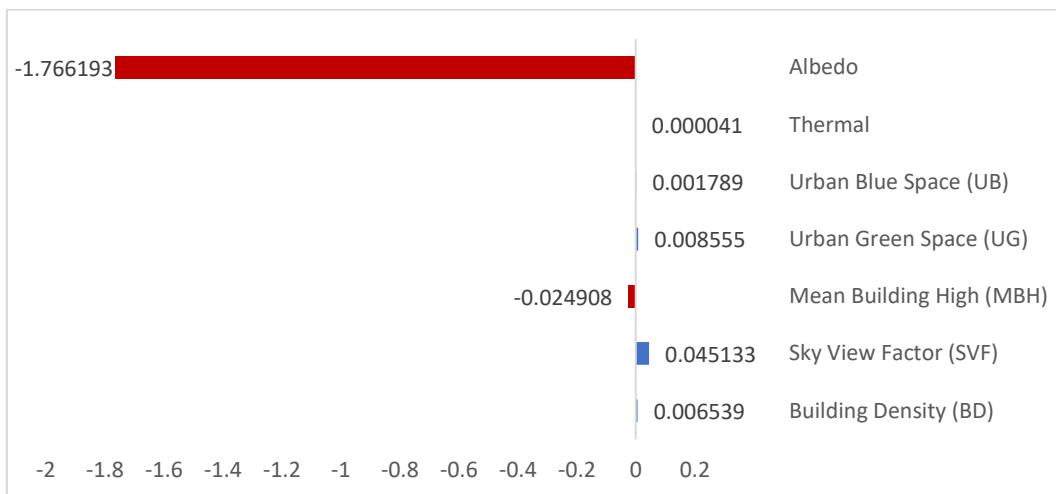
Variable	Coefficient [a]	StdError	t-Statistic	Probability [b]	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr [b]	VIF [c]
Intercept	32.476321	0.035901	904.618063	0.000000*	0.045098	720.132639	0.000000*	-----
BD	0.006539	0.000439	14.883179	0.000000*	0.000412	15.851648	0.000000*	1.806550
SVF	0.045133	0.004746	9.509312	0.000000*	0.004885	9.239591	0.000000*	2.920434
MBD	-0.024908	0.005064	-4.918472	0.000002*	0.004523	-5.507449	0.000000*	2.696343
URBANGREN	0.008555	0.000455	18.818430	0.000000*	0.000693	12.342575	0.000000*	1.091063
URBANBLUE	0.001789	0.000117	15.349501	0.000000*	0.000097	18.490252	0.000000*	1.133458
THERMAL	0.000041	0.000005	8.600384	0.000000*	0.000004	9.334086	0.000000*	1.141771
ALBEDO	-1.766193	0.068463	-25.797727	0.000000*	0.098118	-18.000661	0.000000*	1.262938

\* Tanda bintang di sebelah angka menunjukkan nilai-probability yang signifikan ( $p < 0,01$ ).

Gambar 4.50. Rangkuman hasil OLS

Rangkuman diatas menunjukkan hubungan antar variable dependen dan independen. Koefisien positif (+) berarti hubungan positif/linier, dan koefisien negatif (-) berarti hubungan negatif/berlawanan (Esri, 2020d). Nilai probabilitas pada masing masing variabel juga mengindikasikan signifikansi tinggi ( $p > 0,01$ ). Kemudian melalui persamaan OLS, hasil tersebut dikonotasikan sebagai berikut:

$$\text{UHI [Y]} = \mathbf{32.476321 + (0.006539 \times \text{Building Density (BD)}) + (0.045133 \times \text{Sky View Factor (SVF)}) - (0.024908 \times \text{Mean Building High (MBH)}) + (0.008555 \times \text{Urban Green Space (UG)}) + (0.001789 \times \text{Urban Blue Space (UB)}) + (0.000041 \times \text{Thermal}) - (1.766193 \times \text{Albedo})}$$



Gambar 4.51. Bobot masing-masing variabel urban configuration

Terdapat 7 variabel yang dilibatkan, 6 variabel memiliki hubungan positif, dan 1 variabel memiliki hubungan negatif yaitu *mean building high*. Berikut adalah penjelasan dari model matematis tersebut.

## **1. Konstanta**

Konstanta dari model matematis yang dihasilkan dalam OLS yaitu **32.476321**. Apabila seluruh faktor nilainya 0 atau dapat dikatakan tidak mengalami penambahan atau pengurangan nilai maka rata-rata UHI pada titik tersebut adalah **32.476321** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

## **2. Building density**

Variabel *building density* memiliki koefisien regresi **0.006539**. Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka penambahan 1% *building density* akan meningkatkan intensitas suhu sebesar **0.006539** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

## **3. Mean building high**

Variabel *building density* memiliki koefisien regresi **-0.024908**. Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka penambahan 1m *mean building high* akan menurunkan intensitas suhu sebesar **-0.024908** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ . Dikonversikan kedalam jumlah lantai maka setiap penambahan 1 lantai (5m) akan menurunkan 0,1  $^{\circ}\text{C}$ .

## **4. Sky view factor**

Variabel *SVF* memiliki koefisien regresi **0.045133**. Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka penambahan 0,1 *SVF* akan meningkatkan intensitas suhu sebesar **0.045133** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

## **5. Urban green space**

Variabel *urban green space* memiliki koefisien regresi **0.008555**. Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka penambahan 1 m jarak lahan terhadap *green space* akan meningkatkan intensitas suhu sebesar **0.008555** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

## **6. Urban water space**

Variabel *urban water space* memiliki koefisien regresi **0.001789**. Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka penambahan 1 m jarak lahan terhadap *water space* akan meningkatkan intensitas suhu sebesar **0.001789** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

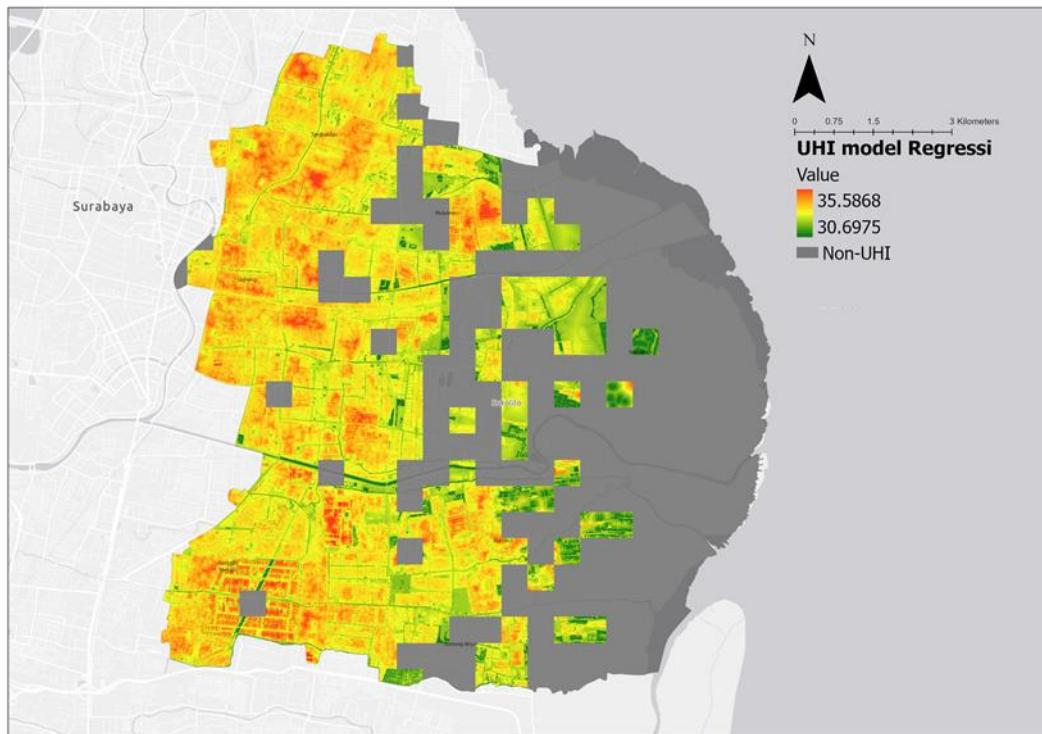
## **7. Surface thermal admittance**

Variabel *thermal admittance* memiliki koefisien regresi **0.000041**. Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka perubahan 1 nilai *thermal admittance* oleh jenis permukaan akan meningkatkan intensitas suhu sebesar **0.000041** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

## 8. Surface albedo radiance

Variabel *surface albedo radiance* memiliki koefisien regresi **-1.766193**.

Apabila tidak ada perubahan nilai pada faktor lainnya, maka penambahan 1 nilai *albedo radiance* oleh jenis permukaan akan menurunkan intensitas suhu sebesar **-1.766193** dalam  $^{\circ}\text{Celcius}$ .

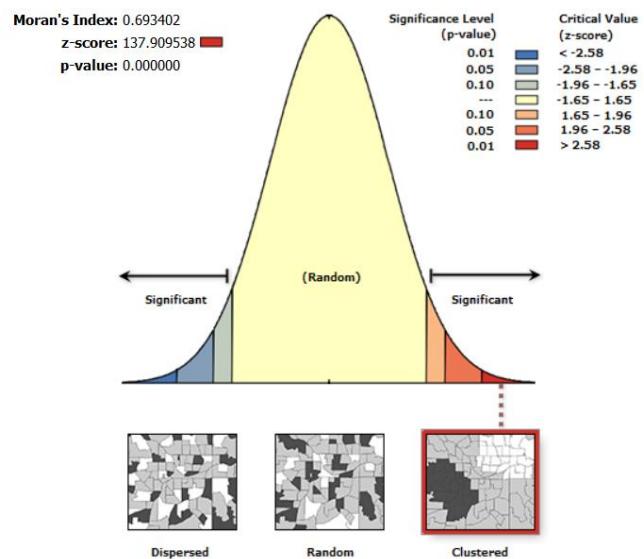


Gambar 4.52. Peta UHI hasil model regresi

Secara lebih detail dalam analisis OLS perlu diamati diagnosis hasil regresi. Tujuannya selain menyimpulkan hubungan variabel dalam penelitian, juga memberikan referensi dalam menemukan variabel kunci lainnya.

Input Features:	PT random sampel 8366	Dependent Variable:	UHI_2019
Number of Observations:	8366	Akaike's Information Criterion (AICc) [d]:	22627.234361
Multiple R-Squared [d]:	0.292731	Adjusted R-Squared [d]:	0.292138
Joint F-Statistic [e]:	494.182678	Prob(>F), (7,8358) degrees of freedom:	0.000000*
Joint Wald Statistic [e]:	2210.512829	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:	0.000000*
Koenker (BP) Statistic [f]:	1096.340439	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:	0.000000*
Jarque-Bera Statistic [g]:	9855.481060	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:	0.000000*

\* Tanda bintang di sebelah angka menunjukkan nilai-p yang signifikan ( $p < 0,01$ ).



Gambar 4.53. Diagnosis OLS

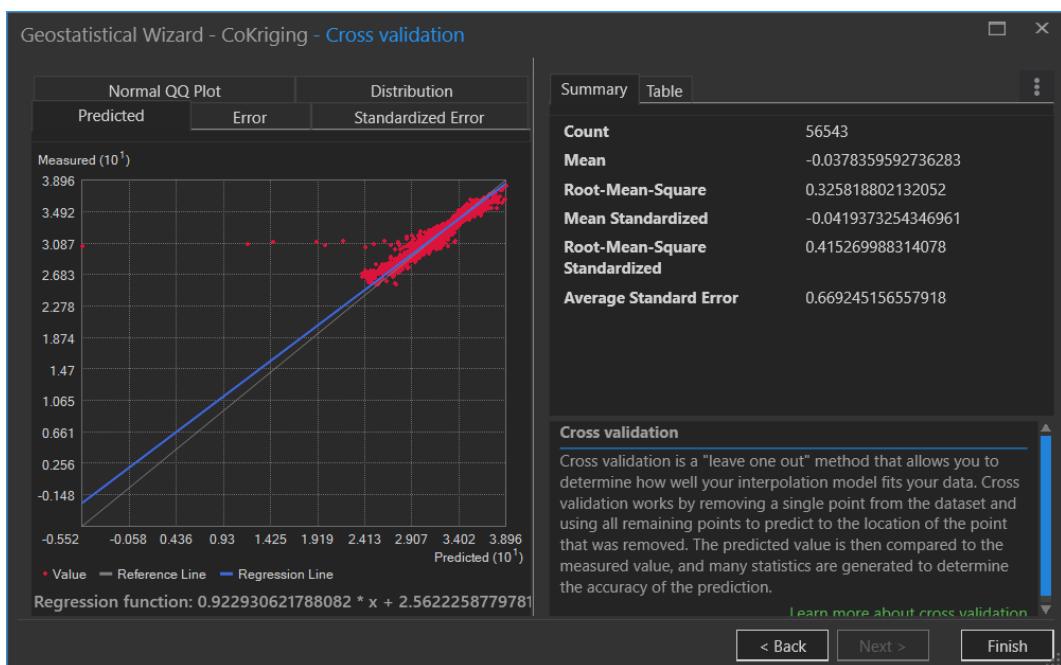
Interpretasi:

1. Nilai AICc sebesar 22627 merupakan nilai AICc terkecil dibandingkan dengan model regresi lain yang dapat dibagun dari varibel penelitian (**lampiran 2**). Sehingga merupakan model paling tepat untuk digunakan
2. Nilai Adjusted R-Square ( $R^2$ ) adalah 0,292138, atau 29%. Menunjukkan bahwa model ini menjelaskan **29%** dari hubungan terhadap UHI. Masih terdapat **71%** data yang masih menjadi variabel lain terhadap UHI. Dapat dimungkinkan bahwa *microclimate effect*, *social characteristics*, dan *air quality* menjadi varibel tersebut.
3. Uji tabel F (Join F-Statistics), uji *wald statistic*, dan uji koenker (BP) statistics sebesar 0.000000\*, menunjukkan bahwa menggunakan pendekatan chi-square persamaan regresi signifikan ( $p<0,01$ ). Hal ini dikarenakan dikarenakan data point yang *heteroskedastisitas* (sebanyak 8366 sampel). Sehingga dapat menjadi bahan rekomendasi dalam penelitian berikutnya.
4. Uji validitas *Jarque-bera statistic* memiliki nilai sangat signifikan sebesar 0.000000\*. Selain itu melalui *spatial autocorrelation* pada residual hasil regresi OLS ditunjukkan bahwa z-score yang dihasilkan sangat tinggi (137,9), sehingga memiliki pola spatial terkluster. Hal ini berarti dalam penelitian tidak ditemukan variabel kunci/variabel utama terkait UHI. Apabila tersedia variabel

kunci seharusnya uji *Jarque-bera statistic* tidak signifikan dan residu membentuk *spatial autocorrelation* random.

#### 4.4.2. Kalibrasi model regresi

Kalibrasi dilakukan dengan pendekatan cross validation melalui RMSE seperti metode pada tahap validasi suhu permukaan (LST). Menjadi input adalah nilai suhu permukaan hasil titik sampel model. Sedangkan prediktornya (kalibrasi) adalah suhu permukaan eksisting hasil pengolahan citra landsat dengan menggunakan titik non-sampel. Dengan pendekatan RMSE diperoleh nilai sebesar 0.32 (RMSE <1), hal ini menunjukkan bahwa model dapat diterima (Ahmadian, 2016).



Gambar 4.54. Uji kalibrasi model regresi

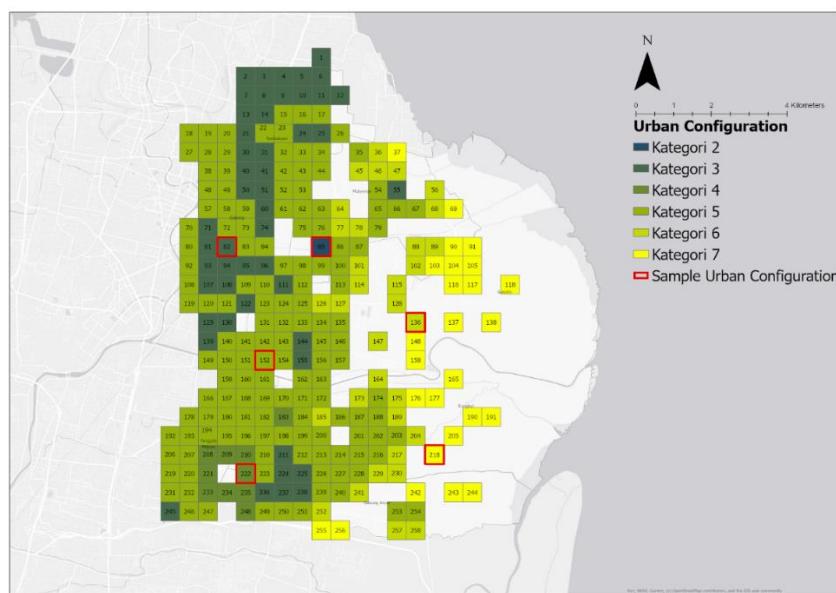
#### **4.5. Konsep adaptasi UHI**

#### **4.5.5. Memilih lokasi sampel pengamatan**

Sebelum merumuskan konsep adaptasi, terlebih dahulu dilakukan pemilihan lokasi sampel pengamatan pada setiap klasifikasi *urban configuration*. Pendekatan ini ditujukan agar penerapan konsep adaptasi mampu merepresentasikan kebutuhan masing-masing klasifikasi *urban configuration*. Asumsi pengamatan sample tersebut dikenal dengan istilah sensus, sehingga dapat menghemat waktu (Trust, 2020). Pengamatan dilakukan dengan menggunakan teknik *cluster random sampling* agar diperoleh lokasi sampel tanpa mengurangi peluang terambil masing-masing populasi secara terkluster. Grid ini menunjukkan lokasi sampel yang baik untuk dilakukan studi rinci. Daerah ini memiliki karakteristik yang sangat sesuai dengan kategori *urban configuration*. Baik dari kepadatan bangunan, *sky view factor* hingga jenis penggunaan lahan.

Tabel 4.18.Lokasi sampel setiap Klasifikasi *Urban Configuration*

No	Klasifikasi	Kode Grid	Building Density (%)	Sky View Factor	Mean UHI (°C)	Koordinat	
						X	Y
1	Kategori 2	34	85.5	0.8	31.8	696504.7169	9195232.279
2	Kategori 3	163	79	0.4	34.2	694004.7169	9195232.279
3	Kategori 4	222	70.2	0.4	33.8	694504.7169	9189232.279
4	Kategori 5	188	63.3	0.35	33.5	695004.7169	9192232.279
5	Kategori 6	27	11.9	0.3	31.2	699004.7169	9193232.279
6	Kategori 7	29	1.8	0.2	31.1	699504.7169	9189732.279



Gambar 4.55. Cluster random sampling urban configuration

#### **4.5.6. Merumuskan konsep adaptasi (*site analysis*)**

Dalam merumuskan konsep adaptasi digunakan pendekatan *gap analysis*. Pada bagian ini akan dilakukan identifikasi kondisi lapangan, peninjauan rencana tata ruang lokal, dan perumusan strategi adaptasi berdasarkan *review pustaka* secara komprehensif. Merujuk pada perumusan adaptasi UHI oleh Richardson (2007) metode seperti ini dinilai efektif dalam merumuskan kebijakan adaptasi UHI. Berikut akan dijelaskan pembahasan konsep adaptasi berdasarkan grid sampel setiap klasifikasi *urban configuration*. Untuk setiap area, akan disajikan diagram dan gambar yang menunjukkan tipe permukaan, deskripsi karakteristik fisik, dan visual yang menggambarkan bentuk bangunan yang dominan di daerah tersebut. Dalam tahap menyusun model berdasarkan hasil analisis sasaran yang pertama dalam kurun waktu 20 tahun kawasan Surabaya Timur mengalami peningkatan suhu  $2-5^{\circ}\text{C}$ . Maka dari hal tersebut disimpulkan bahwa setiap tahunnya terjadi penurunan suhu  $0,1-0,25^{\circ}\text{C}$ . Apabila diamati dari nilai regresi spasial dari variabel *urban configuration* maka variabel penelitian ini hanya mampu menjawab 30% dari keseluruhan konsep adaptasi. Sehingga dalam 20 tahun kedepan diperlukan upaya dalam meminimalisir suhu sebesar  $0,6-1,5^{\circ}\text{C}$ . Rentang ini menjadi acuan batasan dalam melakukan pengujian *trial and error* model konsep yang paling tepat. Jika diambil nilai tengah dari rentang tersebut, maka dilakukan pembatasan  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

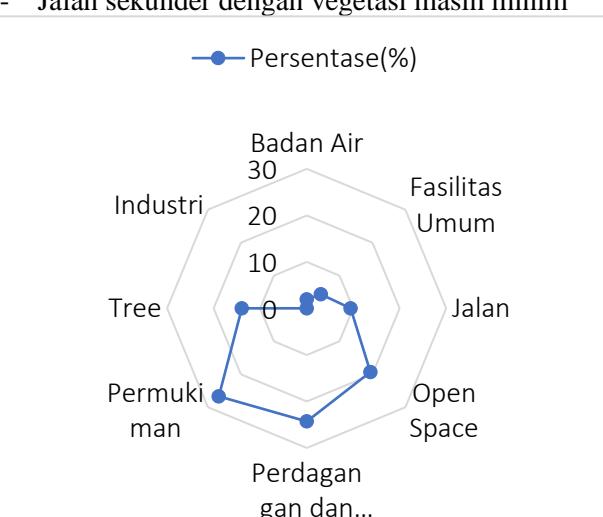
##### **4.5.6.1. Konsep adaptasi kategori 2 (Grid 34): Kawasan CBD Galaxy Mall**

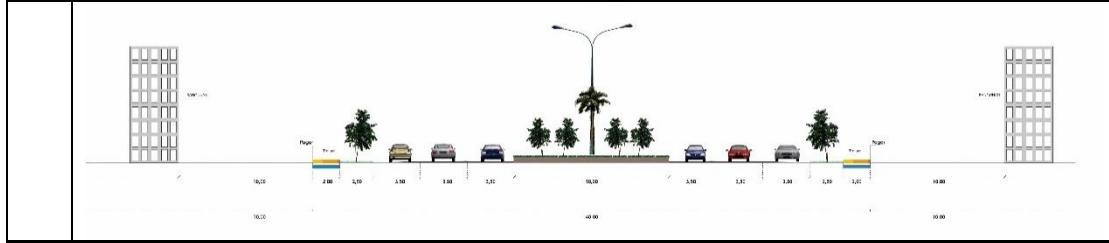
###### **4.5.6.1.1. Alternatif adaptasi relevan**

Dilakukan pembandingan antara kondisi eksisting, kebijakan lokal dan kondisi ideal berdasarkan teori alternatif adaptasi yang telah dirumuskan pada tinjauan pustaka. Agar diperoleh gap dan gambaran model konsep adaptasi yang paling optimal dalam mengatasi permasalahan UHI pada grid kategori 2.

Tabel 4.19.Gap analisis kategori 2

No	Keterangan
1	Kondisi Eksisting

		<p><b>Dominasi tutupan lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perdagangan dan jasa (mall, restoran, dan apartemen), dengan galaxy mall sebagai pusat CBD.</li> <li>- Fasilitas umum (perkantoran, peribadatan dan olah raga), dengan Koni sebagai sentral fasilitas olah raga</li> <li>- Permukiman (formal dan non-formal), dengan terdiri dari 1-3 lantai</li> <li>- Sungai, dengan vegetasi skala kecil-besar dan tidak terdistribusi secara merata</li> <li>- Jalan utama (Dr.Ir.H.Soekarno), dengan vegetasi skala kecil-sedang dan beberapa ruas tidak bervegetasi</li> <li>- Jalan sekunder dengan vegetasi masih minim</li> </ul>  <p><b>Intensitas suhu:</b> (Suhu rata-rata: 31,8 °C (Warm))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 30,1°C (kawasan parkir)</li> <li>- 31,4°C (kawasan perdagangan dan jasa)</li> <li>- 32,4°C (koridor sekitar jalan)</li> <li>- 33,4°C (kawasan permukiman)</li> </ul> <p><b>Karaktersitik <i>Urban Configuration</i>:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kepadatan Bangunan: 85.4 (tidak termasuk lapangan koni)</li> <li>- Sky View Factor: 0.8</li> <li>- Atap berupa genteng merah muda dan beton</li> </ul>
2	Rencana Tata Ruang	



### 3 Konsep adaptasi

- Strategi adaptasi berdasarkan prioritas bobot
- Mencerahkan warna permukaan, *cool pavement* dan *cool roof* [variabel: *albedo*]
  - Mengatur *urban skyline* [variabel: *mean building high*]
  - Mengatur hubungan antar bangunan [variabel: *sky view factor*]
  - Membatasi intensitas pemanfaatan ruang (IPR) melalui *incentive zoning* [variabel: *building density*]
  - Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi [variabel: *urban greenspace*]

	f. Meningkatkan kawasan perairan [variabel: <i>urban waterspace</i> ] g. Meningkatkan performa bangunan [variabel: <i>thermal mass</i> ]
--	---

#### A. Mencerahkan warna permukaan

Strategi adaptasi ini mampu mengoptimalkan banyaknya panas matahari yang dipantulkan oleh permukaan (*albedo reflectance*). Permukaan dengan warna putih dapat memantulkan 75% dari reflektan matahari (EPA, 2012b). Permukaan seperti ini mampu menurunkan angka suhu permukaan dibandingkan pada permukaan yang lebih gelap (Hove et al., 2011). Pendinginan permukaan dapat dioptimalkan melalui *cool roof*, *cool pavement*, dan *reflective pavement* (Mohajerani, 2017). Adaptasi ini sangat dipertimbangkan, mengingat pengubahan 1 nilai albedo mampu mempengaruhi  $2,1^{\circ}\text{C}$ , sekaligus sebagai urutan variabel paling mempengaruhi UHI.

Tabel 4.20. Konsep adaptasi pada variabel albedo

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Pelapisan atap dengan cat termokromik, pelapis <i>Phase Change Material (PCM)</i> , maupun cat putih/cerah biasa	Beton	Perdagangan dan jasa
		Seng, Asbes	Fasilitas umum
		Genteng	Permukiman
2	<i>Pevement/paving dilakukan pengecatan berwarna putih/cerah</i>	Paving Area parkir	Fasilitas umum, perdagangan dan jasa
		Paving lobby	
		Paving trotoar	
		Paving ruas jalan	Jalan Sekunder
3	<i>Reflectance pavement</i>	Kaca Gedung, kaca/ubin pada pekarangan	Perdagangan dan jasa

Sumber: review(Hoverter, 2012; Mohajerani, 2017; Junjing Yang et al., 2018).



Gambar 4.56. Mencerahkan warna permukaan

#### B. Mengatur *urban skyline*

Guna mengatur ketinggian bangunan pembatasan dilakukan melalui skenario *transfer development right* (TDR). TDR merupakan ketentuan untuk

menjaga karakter kawasan setempat dengan mengizinkan pemindahan hak membangun dari suatu persil dalam satu zona ke persil lainnya di zona yang sama atau di zona lain yang berdekatan secara terbatas. *Urban skyline* berupa penataan ketinggian bangunan dengan *aspect ratio* yang lebih kecil pada ujung koridor mempermudah angin untuk masuk kedalam kawasan (Janesonia, 2019). Meskipun tidak secara langsung berimplikasi terhadap suhu permukaan. Tapi model ini dapat menurunkan panas yang terakumulasi dari bahan permukaan (Kotharkar, 2016). Pada kategori 2, strategi ini tepat untuk diterapkan agar pada bangunan tinggi tidak mengganggu kondisi suhu bangunan disekitarnya. Strategi ini secara tidak langsung mampu menekan angka alih fungsi RTH karena kebutuhan akan lahan terbangun yang terus berkembang (Arifah, 2018).

Tabel 4.21. Konsep adaptasi pada variabel ketinggian bangunan

No	Strategi adaptasi	Konsep	Penggunaan lahan
1	Pengembangan bangunan vertikal melalui transfer development right (TDR)		Perdagangan dan jasa Fasilitas umum Permukiman

Sumber: review (Janesonia, 2019; Kementerian ATR/BPN, 2019)

### C. Membatasi hubungan antar bangunan

Hubungan antar bangunan akan berpengaruh terhadap interaksi *sky view factor*, baik bangunan kecil hingga besar. Angka *sky view factor* pada bangunan skala besar cukup tinggi, hampir mendekati 0.85. Untuk mengurangi angka tersebut dapat dilakukan dengan memberikan rongga antar bangunan/sempadan maupun

pemanfaatan sistem podium bangunan yang lebih luas. Permukaan 3D yang kompleks memungkinkan radiasi gelombang panas yang diterima permukaan bangunan akan dipantulkan oleh permukaan dari podium sehingga mengurangi panas pada area *boundary layer* (Dirksen et al., 2019). Pengembangan perkotaan yang tidak melawan pola sirkulasi angin juga menjadi pertimbangan dalam mengatur hubungan antar bangunan

Tabel 4.22. Konsep adaptasi pada variabel *sky view factor*

No	Strategi adaptasi	Skema	Ilustrasi
1	Hubungan antar bangunan besar.	Bangunan tinggi dengan ukuran podium yang lebih besar (maksimal 2 lantai)	
2	Hubungan antar bangunan kecil dan besar.	Pengembangan bangunan tinggi yang berbatasan dengan permukiman perlu memiliki jarak berupa ruang sempadan	
		Pembatasan pengembangan bangunan tinggi yang berbatasan langsung dengan persil bangunan permukiman di sisi belakang.	

Sumber: review(Chen et al., 2012; DPCKTR Kota Surabaya, 2019; Janesonia, 2019; Ratti, Raydan, & Steemers, 2003)

#### D. Membatasi Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR) melalui *incentive zoning*

Kepadatan bangunan yang tinggi dikawasan ini mengakibatkan panas perkotaan cenderung terperangkap geometri bangunan sehingga terakumulasi. Pembatasan IPR mampu menjadi alternatif guna menekan kepadatan bangunan. *Bonus zoning* atau *Zona Insentif* adalah TPZ yang memberikan izin kepada pengembang untuk meningkatkan intensitas pemanfaatan ruang (KDB, KLB, dll) melebihi aturan dasar, dengan imbalan (kompensasi) pengembang tersebut harus menyediakan sarana publik tertentu (Kementerian ATR/BPN, 2019). Fasilitas publik yang disediakan pengembang tersebut misalnya RTH, arcade atau plaza,

pengatapan ruang, ruang bagi pejalan/ pedestrian, Skema ini secara tidak langsung mampu meningkatkan area ruang terbuka yang dapat dimanfaatkan sebagai RTH dalam memenuhi kebutuhan dokumen perencanaan lokal. Setiap luas kavling dan jenis penggunaan lahan memiliki kebutuhan IPR yang berbeda (*Urban Land Use Planning System in Japan 2015*), berikut luasannya.

Tabel 4.23. Konsep adaptasi pada variabel kepadatan bangunan

No	Strategi adaptasi	Intensitas	Tata bangunan
1	Pembatasan IPR Central bisnis/ <i>superblock</i> (mixuse)/ pusat perbelanjaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>KDB maksimum: 80% berlaku untuk sistem blok</li> <li>KLB maksimum: 2 poin</li> <li>KTB maksimum: 65%</li> <li>KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 50 meter</li> <li>- Tinggi bangunan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan &gt;40m: 250m</li> <li>• Lebar jalan 21-40m: 200m</li> <li>• Lebar jalan 16-21m: 50m (mempertimbangkan rekom KKOP)</li> </ul> </li> <li>- Jumlah <i>podium max</i>: 2 lantai</li> </ul>
2	Pembatasan IPR fasilitas umum olah raga	<ul style="list-style-type: none"> <li>KDB maksimum: 50%</li> <li>KLB maksimum: 1,5 poin</li> <li>KTB maksimum: 65%</li> <li>KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 m atau bisa juga tanpa mempertimbangkan GSB</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 25 m</li> <li>- Jumlah <i>podium max</i>: 2 lantai</li> </ul>
3	Pembatasan IPR restoran	<ul style="list-style-type: none"> <li>KDB maksimum: 80%</li> <li>KLB maksimum: 2 poin</li> <li>KTB maksimum: 65%</li> <li>KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 m</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 20 m</li> <li>- Jumlah <i>podium max</i>: 1 lantai</li> </ul>
4	Permukiman	<ul style="list-style-type: none"> <li>KDB bangunan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan <math>\geq</math>6m: 70-80% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\geq</math>3-<math>\leq</math>6m: 80-90% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\leq</math>3: 100% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> </ul> </li> <li>KLB maksimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 70%: 1,4 poin</li> <li>• KDB 80%: 1,6 poin</li> <li>• KDB 90%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 100%: 2 poin</li> </ul> </li> <li>KTB maksimum: 65%</li> <li>KDH minimal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60-90%: 10%</li> <li>• KDB 100% : 0%</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• GSB minimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jalan 2-4m: 2m</li> <li>• Jalan &gt;4-6m: 3m</li> <li>• Jalan &gt;6m: &gt;3m</li> </ul> </li> <li>• Tinggi bangunan maksimum yang diizinkan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60% : jalan <math>\geq</math> 10m: 15 meter jalan &lt; 10 meter: 10m</li> <li>• KDB 70%-100%: 10m</li> </ul> </li> <li>• Jumlah <i>podium max</i>: 1 lantai</li> </ul>

Sumber : Review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039; Urban Land Use Planning System in Japan 2015*)

## E. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi

Tutupan permukaan lahan pada kategori 2 sebesar 20% tediri dari *open space* dan 13% berupa permukaan yang tertutup pohon skala sedang-besar. Apabila diakumulasi angka ini cukup dalam menjawab kebutuhan ruang terbuka hijau berdasarkan dokumen perencanaan. Dikarenakan terdapatnya pusat olah raga pada kawasan ini. Guna meminimalisir peningkatan suhu maka pemanfaatan ruang terbuka perlu dioptimalkan melalui peningkatan vegetasi. Beirkut urutan berdasarkan prioritas pengembangan RTH dalam strategi adaptasi UHI (Norton et al., 2015). Terdapatnya bangunan tinggi, menjadi pertimbangan diperlukannya adaptasi berupa RTH vertikal pada area yang berbatasan dengan bangunan rendah disekitarnya.

Tabel 4.24. Konsep adaptasi pada variabel *urban green space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengoptimalan <i>green pathway</i> (Hooverter, 2012)	Pohon dengan ketinggian 3-15m, dan berjarak 15m	Koridor jalan utama
		Jalur hijau 0,5m. Apabila tidak tersedia lahan, Pohon dikembangkan di dalam media pot dan perdu	Koridor jalan lokal
2	<i>green pavement</i> (Mohajerani, 2017)	<i>Porous</i> pavement pada area parkir dan halaman lobby	Perdagangan dan jasa
		<i>Porous</i> pavement pada trotoar yang mampu ditanami media rumput	Koridor jalan lokal
		Rumah besar > 500 m <sup>2</sup> : KDH 20% + 3 pohon	Permukiman
		Rumah besar 200m <sup>2</sup> -500m <sup>2</sup> , KDH 10% + 2 pohon	
		Rumah kecil <200 m <sup>2</sup> , KDH 10% + 1 pohon	
		Fasilitas umum KDB >70%-90%, KDH 10% + 2 pohon	Fasilitas umum
		Fasilitas umum dengan KDB < 70%, KDH 30% + 3 pohon	
3	<i>extensive</i> dan <i>intensive green roof</i> (EPA, 2020)	Intensive (tanaman herbal, sedum hingga pohon dewasa)	Perdagangan dan jasa
		Ekstensive (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Fasilitas umum
4	RTH Vertikal	Ekstensive (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Permukiman
			Koridor jalan lokal

## F. Meningkatkan kawasan perairan

Water space pada kategori 2 hanya terdapat sungai yang bermuara ke pantai utara Surabaya. Kondisi airnya mengalir cukup tenang karena topografinya yang relatif datar. Perlu adanya pengoptimalan pada sungai agar tidak terjadi pendangkalan dengan pengeringan berkala oleh pemerintah. Hal ini dikarenakan kondisi water space yang bergerak memiliki efektifitas sekitar 1°C dalam menurunkan suhu (Hove et al., 2011). Selain itu merujuk pada dokumen perencanaan, sungai perlu memiliki lebar sempadan minimal 3m dan dapat dimanfaatkan untuk jalur hijau.

Tabel 4.25. Konsep adaptasi pada variabel *urban water space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	<i>Pembebasan hambatan sempadan sungai</i>	Memanfaatkan sempadan sebagai RTH jalur hijau dengan lebar 3m 	Sungai
2	<i>Menggerakan air</i>	Mengembangkan urban blue infrastructure berupa air mancur 	Pusat CBD

Sumber: review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039*)

#### G. Meningkatkan performa bangunan dalam menurunkan thermal

Sama seperti adaptasi dari sisi albedo, material yang menjadi subject adaptasi thermal adalah atap, area berpaving, dan jalan. Bedanya implementasi strategi adaptasi ini ditekankan pada bangunan yang sedang membutuhkan maintenance dan bangunan baru. Mereka perlu meminimalisir penggunaan seng karena memiliki *thermal admittance* paling tinggi (14475) dibandingkan material yang lain. Meskipun pengaruhnya paling kecil (0,000041) dibandingkan variabel lainnya. Namun mengubah jenis material juga akan mengubah banyaknya albedo yang dipantulkan. Mengubah warna material menjadi lebih terang juga berpengaruh terhadap banyaknya panas yang diserap permukaan (Mohajerani, 2017).

Tabel 4.26. Strategi adaptasi *thermal*

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
----	-------------------	----------	------------------

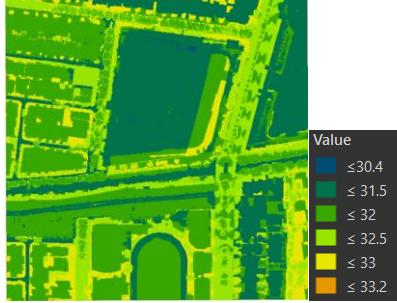
1	Meminimalisir penggunaan atap yang mampu menyerap panas berlebih* (Hove et al., 2011)	Seng, dapat diganti asbes	Fasilitas umum
		Genteng berwarna gelap dapat diganti warna terang	Permukiman
2	<i>Pervious Pavement and asphalt,</i> (tipe trotoar yang dapat memudahkan air terserap ke tanah* (Mohajerani, 2017 #264)	Paving yang dapat menyerap air	Fasilitas umum, perdagangan dan jasa
		Aspal yang dapat menyerap air	Koridor jalan lokal dan utama

\*alternatif adaptasi pada saat *maintenance* dan bangunan baru

#### 4.5.6.1.2. Model konsep adaptasi

Karakteristik kategori 2 yang didominasi oleh bangunan berskala besar, dengan kepadatan dan sky view factor tinggi menjadi pertimbangan dalam membangun model. Maka konsep yang dapat diterapkan sebagai berikut:

Tabel 4.27. Model konsep adaptasi kategori 2

No	Eksisting	Konsep Adaptasi	Ket
1	<b>Model Regresi</b>  Dominasi suhu: 32-33,5°C Suhu rata-rata: ±32,7°C	 Dominasi suhu: 31,5-32,5°C Suhu rata-rata: ±31,7°C.	Mengalami penurunan suhu ±1°C
2	Kondisi <i>urban material</i> (albedo-thermal) 		Pengecatan atap menjadi berwarna cerah (putih) ± 800% dari kondisi eksisting sangat diprioritaskan

	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Aspal</td><td>: 1,62 Ha</td></tr> <tr><td>Beton</td><td>: 8,73 Ha</td></tr> <tr><td>Genteng Abu-Abu</td><td>: 1,58 Ha</td></tr> <tr><td>Genteng Hijau</td><td>: 0,11 Ha</td></tr> <tr><td>Genteng Merah</td><td>: 5,38 Ha</td></tr> <tr><td>Genteng Putih</td><td>: 1,01 Ha</td></tr> <tr><td>Pepohonan</td><td>: 3,85 Ha</td></tr> <tr><td>Perairan</td><td>: 0,58 Ha</td></tr> <tr><td>Rumput Basah</td><td>: 0,69 Ha</td></tr> <tr><td>Rumput Kering</td><td>: 1,52 Ha</td></tr> <tr><td>Tanah</td><td>: 0,32 Ha</td></tr> </tbody> </table>	Aspal	: 1,62 Ha	Beton	: 8,73 Ha	Genteng Abu-Abu	: 1,58 Ha	Genteng Hijau	: 0,11 Ha	Genteng Merah	: 5,38 Ha	Genteng Putih	: 1,01 Ha	Pepohonan	: 3,85 Ha	Perairan	: 0,58 Ha	Rumput Basah	: 0,69 Ha	Rumput Kering	: 1,52 Ha	Tanah	: 0,32 Ha	<table border="1"> <tbody> <tr><td>Aspal</td><td>: 0,79 Ha</td></tr> <tr><td>Atap Reflektif</td><td>: 1,87 Ha</td></tr> <tr><td>Beton Warna Cerah</td><td>: 4,58 Ha</td></tr> <tr><td>Genteng/Atap Putih</td><td>: 8,67 Ha</td></tr> <tr><td>Instalasi Air</td><td>: 0,03 Ha</td></tr> <tr><td>Intensive Green Roof</td><td>: 0,59 Ha</td></tr> <tr><td>Jogging tract putih</td><td>: 0,32 Ha</td></tr> <tr><td>Pepohonan</td><td>: 6,07 Ha</td></tr> <tr><td>Perairan</td><td>: 5,84 Ha</td></tr> <tr><td>Rumput Basah</td><td>: 1,89 Ha</td></tr> </tbody> </table>	Aspal	: 0,79 Ha	Atap Reflektif	: 1,87 Ha	Beton Warna Cerah	: 4,58 Ha	Genteng/Atap Putih	: 8,67 Ha	Instalasi Air	: 0,03 Ha	Intensive Green Roof	: 0,59 Ha	Jogging tract putih	: 0,32 Ha	Pepohonan	: 6,07 Ha	Perairan	: 5,84 Ha	Rumput Basah	: 1,89 Ha	
Aspal	: 1,62 Ha																																												
Beton	: 8,73 Ha																																												
Genteng Abu-Abu	: 1,58 Ha																																												
Genteng Hijau	: 0,11 Ha																																												
Genteng Merah	: 5,38 Ha																																												
Genteng Putih	: 1,01 Ha																																												
Pepohonan	: 3,85 Ha																																												
Perairan	: 0,58 Ha																																												
Rumput Basah	: 0,69 Ha																																												
Rumput Kering	: 1,52 Ha																																												
Tanah	: 0,32 Ha																																												
Aspal	: 0,79 Ha																																												
Atap Reflektif	: 1,87 Ha																																												
Beton Warna Cerah	: 4,58 Ha																																												
Genteng/Atap Putih	: 8,67 Ha																																												
Instalasi Air	: 0,03 Ha																																												
Intensive Green Roof	: 0,59 Ha																																												
Jogging tract putih	: 0,32 Ha																																												
Pepohonan	: 6,07 Ha																																												
Perairan	: 5,84 Ha																																												
Rumput Basah	: 1,89 Ha																																												
3	Kondisi <i>urban green infrastructure</i> ( <i>green</i> dan <i>blue</i> space)		<i>One house one tree</i> , penanaman pohon sepanjang koridor, pembebasan area sempadan sungai dan instalasi air pada kawasan CBD																																										
4	Kondisi <i>urban geometry</i> (mean building high)		lokasi tersebut diberikan arahan pengembangan ketingian bangunan karena merupakan zona perdagangan dan jasa																																										

**Keterangan:**

1. Aspal mengalami pengurangan 49% karena permukaan sebagian besar ditutup oleh media vegetasi sedang-besar dengan tinggi 3-15 m yang tersebar bahu dan median jalan.
2. Beton mengalami pengurangan 51% dengan ditutup oleh media atap berwarna putih dan atap reflective (panel surya/kaca). Sisanya 18% seperti beton pada koridor jalan lingkungan dan pekarangan dilakukan pengecatan warna cerah (putih/kuning).

3. Pengecatan seluruh atap bangunan ( $\pm 34\%$  lahan) menjadi putih pada kawasan pengamatan. Hal ini setara mengembangkan 89% atap menjadi berwarna putih dari kondisi eksisting.
4. Atap reflective seperti kaca dan panel surya dapat diterapkan pada atap galaxy mall seluas 1,87 Ha ( $\pm 7,3\%$  lahan).
5. Pasir pada lapangan koni ( $\pm 1,2\%$  lahan) dapat diganti dengan material jogging track warna putih.
6. Meningkatkan intensitas pepohonan sebesar 2,2 Ha dilakukan melalui program *one house one tree*. Penanaman dilakukan juga pada sepanjang koridor jalan lokal dan lingkungan. Khusus pada kawasan perkampungan belakang koni dapat diberikan *vertical greening* dengan standar 2x2m pada sempadan jalan.
7. Pembebasan bangunan area sempadan sungai selebar 3m sesuai RDTRK UP Kertajaya, yang kemudian diganti dengan pepohonan. Serta membentuk instalasi badan air pada area CBD Galaxy mall
8. Berdasarkan RDTRK, terdapat 2 lokasi pengembangan perdagangan dan jasa. Pada lokasi di sisi utara dikembangkan rata-rata ketinggian bangunan hingga 15m dan pada sisi selatan dikembangkan rata-rata ketinggian bangunan hingga 40m. Konsep ini digunakan dalam menerapkan pengaturan keteraturan urban *skyline*



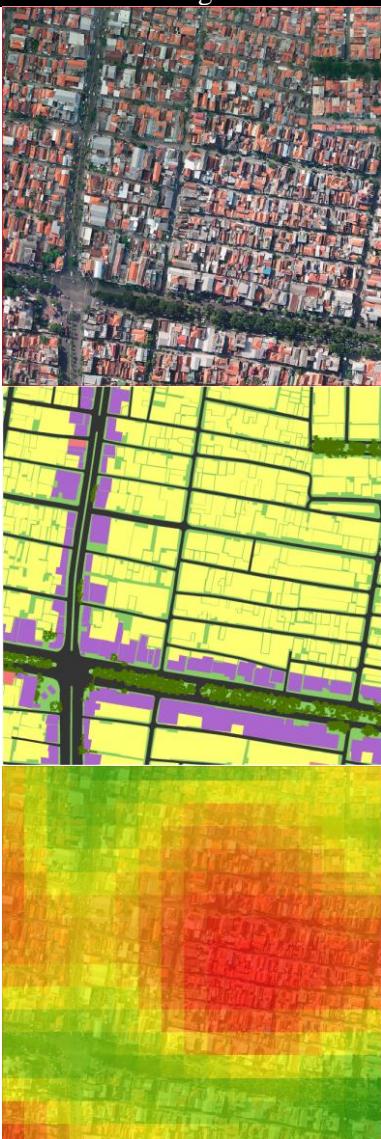
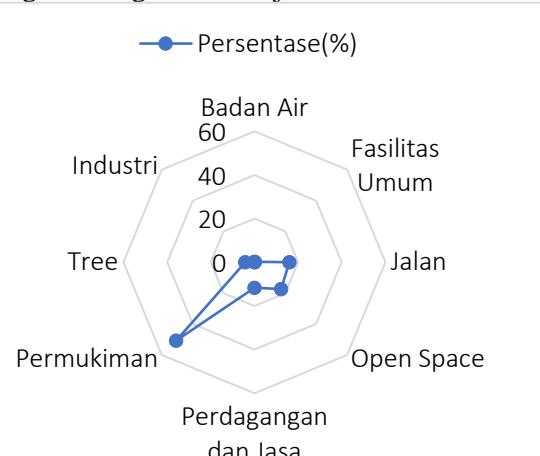
Gambar 4.57. Konsep adaptasi kategori 2 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan

#### 4.5.6.2. Konsep adaptasi kategori 3 (Grid 163): Koridor jalan kertajaya-dharmawangsa

##### 4.5.6.2.1. Alternatif adaptasi relevan

Adapun alternatif adaptasi yang dapat diterapkan pada kategori berdasarkan pertimbangan gap analisis pada kategori 3 sebagai berikut:

Tabel 4.28.Gap analisis kategori 3

No	Keterangan
1	<p><b>Kondisi Eksisting</b></p>  <p><b>Dominasi tutupan lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perdagangan dan jasa (tinggal, deret, dan ruko)</li> <li>- Fasilitas umum (peribadatan)</li> <li>- Permukiman (non-formal), terdiri dari 1-3 lantai</li> <li>- Jalan utama <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jl. Kertajaya: vegetasi skala besar pada median dan vegetasi skala sedang pada bahu jalan</li> <li>• Jl. Dharmawangsa: vegetasi tidak tersebar merata. Skala kecil pada median dan beberapa vegetasi skala besar pada bahu jalan</li> </ul> </li> <li>- Jalan lokal dengan vegetasi masih minim</li> <li>- Sungai di tengah median jalan</li> </ul>  <p><b>Intensitas suhu:</b> (Suhu rata-rata: 34,1 °C (Warm))</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 31°C (koridor jalan bervegetasi)</li> <li>- 32°C (kawasan fasilitas umum)</li> <li>- 33°C (kawasan perdagangan dan jasa)</li> <li>- 34°C (kawasan permukiman)</li> </ul> <p><b>Karaktersitik Urban Configuration:</b></p> <p>Kepadatan Bangunan: 79  Sky View Factor: 0.4  Atap berupa genteng merah muda dan abu-abu</p>
2	Rencana Tata Ruang





### 3 Konsep adaptasi

- Strategi adaptasi berdasarkan prioritas bobot
- Mencerahkan warna permukaan [variabel: *albedo*]
  - Mengatur *Urban Skyline* [variabel: *mean building high*]
  - Mengatur hubungan antar bangunan [variabel: *sky view factor*]
  - Membatasi intensitas pemanfaatan ruang (IPR) melalui *incentive zoning* [variabel: *building density*]
  - Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi [variabel: *urban greenspace*]
  - Mempertahankan kawasan sempadan sungai [variabel: *urban waterspace*]
  - Meningkatkan performa bangunan [variabel: *thermal mass*]

#### A. Mencerahkan warna permukaan

Karakteristik permukaan berupa genteng merah, asbes, seng dan aspal sangat dominan pada kawasan studi. Merujuk pada referensi pada pembahasan sebelumnya, *cool roof* dan *cool pavement* adalah *rules* model yang tepat untuk diterapkan. Hal ini sebagai upaya meminimalisir suhu permukaan pada lahan yang terbatas dan suhu permukaan yang cukup tinggi.

Tabel 4.29.Strategi adaptasi *albedo*

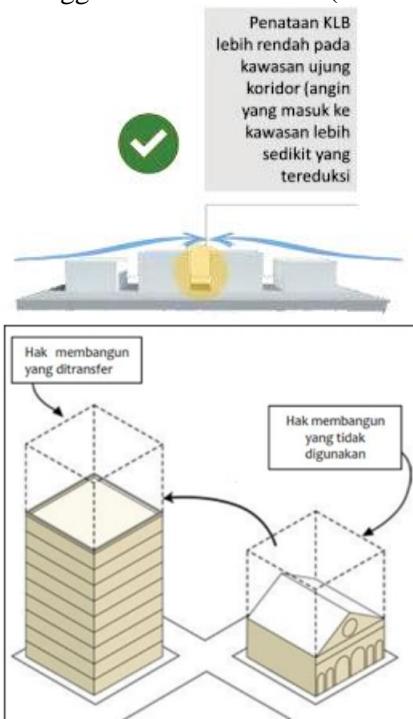
No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Pelapisan atap dengan cat termokromik, pelapis <i>Phase Change Material (PCM)</i> , maupun cat putih/cerah biasa	Seng/Beton	Perdagangan dan jasa
		Asbes	Fasilitas umum
		Genteng	Permukiman
2	<i>Pavement/paving</i> dilakukan pengecatan berwarna putih/cerah	Paving area parkir	Fasilitas umum, perdagangan dan jasa
		Paving trotoar	
		Paving ruas jalan lokal	Jalan Sekunder
3	<i>Reflective pavement</i>	Kaca, kramik	Fasilitas umum, perdagangan dan jasa

Sumber: review (Hooverter, 2012; Mohajerani, 2017; Junjing Yang et al., 2018).

#### B. Mengatur *urban skyline*

Karakteristik kawasan yang berupa perdagangan dan jasa pada koridor jalan menjadi pertimbangan diterapkannya *transfer development right* (TDR) pada kategori ini. Sehingga lingkungan aktivitas perdagangan dan permukiman tercipta keselarasan karena faktor ketinggian bangunan. Ketinggian kawasan studi berada pada rentang 5-30m.

Tabel 4.30.Strategi adaptasi ketinggian bangunan

No	Strategi adaptasi	Konsep	Penggunaan lahan
1	Pengembangan bangunan vertikal melalui transfer development right (TDR)	 <p>Pengaturan urban skyline, dengan batas ketinggian maksimal 250m (KKOP)</p> <p>Penataan KLB lebih rendah pada kawasan ujung koridor (angin yang masuk ke kawasan lebih sedikit yang tereduksi)</p>	Perdagangan dan jasa Fasilitas umum Permukiman

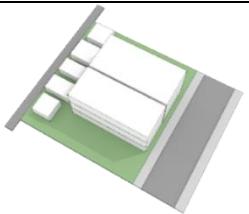
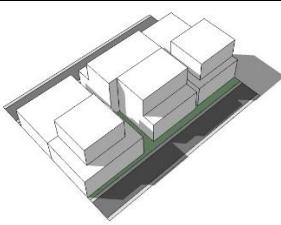
Sumber: review (Janesonia, 2019; Kementerian ATR/BPN, 2019)

### C. Membatasi hubungan antar bangunan

Hubungan antar bangunan akan berpengaruh terhadap interaksi *sky view factor* antar bangunan kecil hingga sedang. Angka *sky view factor* pada bangunan skala sedang sekitar 0.45. Pada umumnya suhu meningkat pada kawasan permukiman dengan kerapatan bangunan tinggi yang mempengaruhi *sky view factor*. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi angka tersebut adalah dengan memberikan rongga antar bangunan maupun pemanfaatan sistem podium bangunan yang lebih luas. Sehingga pada lantai 2 tersedia rongga rongga antar

bangunan yang cukup efektif mengurangi angka *sky view factor* (Yuan & Chen, 2011).

Tabel 4.31.Strategi adaptasi *sky view factor*

No	Strategi adaptasi	Skema	Illustrasi
1	Hubungan antar bangunan kecil dan sedang	Pembatasan pengembangan bangunan sedang yang berbatasan langsung dengan persil bangunan permukiman di sisi belakang.	
2	Hubungan antar bangunan kecil.	Pengembangan bangunan pada area permukiman dapat dilakukan vertikal dengan pertimbangan ukuran lantai dasar lebih besar, guna menyediakan ruang sirkulasi udara	

Sumber: review (Chen et al., 2012; DPCCTR Kota Surabaya, 2019)

#### D. Membatasi Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR) melalui *incentive zoning*

Tabel 4.32.Strategi adaptasi *kepadatan bangunan*

No	Strategi adaptasi	Intensitas	Tata bangunan
1	Pembatasan IPR perdagangan dan jasa (toko, dealer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 80% berlaku untuk sistem blok</li> <li>- KLB maksimum: 1,8 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 meter</li> <li>- Tinggi bangunan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan &gt;16m: 25m</li> <li>• Lebar jalan 6-16m: 15m</li> </ul> </li> <li>- Jumlah <i>podium max</i>: 1 lantai</li> </ul>
2	Pembatasan IPR jasa pengisian bahan bakar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 50%</li> <li>- KLB maksimum: 1 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 20 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 50 m</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 15m</li> <li>- Jumlah <i>podium max</i>: 1 lantai</li> </ul>
3	Pembatasan IPR fasilitas umum peribadatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 100%</li> <li>- KLB maksimum: 1,6 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 m atau bisa juga tanpa mempertimbangkan GSB</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 15 m</li> <li>- Jumlah <i>podium max</i>: 1 lantai</li> </ul>
4	Pembatasan IPR permukiman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB bangunan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan <math>\geq</math>6m: 70-80% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\geq</math>3-<math>\leq</math>6m: 80-90% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\leq</math>3: 100% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> </ul> </li> <li>- KLB maksimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60% : jalan <math>\geq</math> 10m: 15 meter jalan &lt; 10 meter: 10m</li> <li>• KDB 70%-100%: 10m</li> <li>• Jumlah <i>podium max</i>: 1 lantai</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jalan 2-4m: 2m</li> <li>• Jalan &gt;4-6m: 3m</li> <li>• Jalan &gt;6m: &gt;3m</li> </ul> </li> <li>- Tinggi bangunan maksimum yang diizinkan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60% : jalan <math>\geq</math> 10m: 15 meter jalan &lt; 10 meter: 10m</li> <li>• KDB 70%-100%: 10m</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 70%: 1,4 poin</li> <li>• KDB 80%: 1,6 poin</li> <li>• KDB 90%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 100%: 2 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60-90%: 10%</li> <li>• KDB 100% : 0%</li> </ul> </li> </ul>	
--	--	--

Sumber: review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039; Urban Land Use Planning System in Japan 2015*)

#### E. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi

Tutupan permukaan lahan pada kategori 3 sebesar 17% tediiri dari *open space* dan 4% berupa permukaan yang tertutup pohon skala sedang-besar. Apabila diakumulasi angka ini masih kurang dalam menjawab kebutuhan ruang terbuka hijau sebesar 30% berdasarkan dokumen perencanaan.

Tabel 4.33.Strategi adaptasi *urban green space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengoptimalan <i>green pathway</i> (Hooverter, 2012)	Pohon dengan ketinggian 3-15m, dan berjarak 15m	Koridor jalan utama
		Jalur hijau 0,5m. Apabila tidak tersedia lahan, pohon dikembangkan di dalam media pot dan perdu	Koridor jalan lokal
2	<i>green pavement</i> (Mohajerani, 2017)	<i>Porous pavement</i> pada area parkir	Perdagangan dan jasa
		<i>Porous pavement</i> pada trotoar yang mampu ditanami media rumput	Koridor jalan lokal
		Rumah besar > 500 m <sup>2</sup> : KDH 20% + 3 pohon	Permukiman
		Rumah besar 200m <sup>2</sup> -500m <sup>2</sup> , KDH 10% + 2 pohon	
		Rumah kecil <200 m <sup>2</sup> , KDH 10% + 1 pohon	
		Fasilitas umum KDB >70%-90%, KDH 10% + 2 pohon	Fasilitas umum
		Fasilitas umum dengan KDB < 70%, KDH 30% + 3 pohon	
3	<i>extensive</i> dan <i>intensive green roof</i> (EPA, 2020)	Intensive (tanaman herbal, sedum hingga pohon dewasa)	Perdagangan dan jasa
		Ekstensive (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Fasilitas umum
4	RTH Vertikal	Ekstensive (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Permukiman
			Koridor jalan lokal

#### F. Mempertahankan kawasan sempadan sungai

*Water space* pada kategori 3 hanya terdapat saluran air kecil yang berada pada median Jl.Kertajaya. Lokasinya yang berada di dua ruas jalan mampu meminimalisir aktivitas pembuangan sampah oleh masyarakat (Victoria, 2017). Kondisi perairannya mengalir cukup tenang karena topografinya yang relatif datar.

Tabel 4.34.Strategi adaptasi *urban water space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Peningkatan jalur hijau pada sempadan sungai	Memanfaatkan sempadan sebagai RTH jalur hijau	Sungai

Sumber: review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039*)

#### G. Meningkatkan performa bangunan dalam menurunkan thermal

Sama seperti adaptasi dari sisi albedo, material yang menjadi subject adaptasi thermal adalah atap, area berpaving, dan jalan. Strategi adaptasi berorientasi pada bangunan baru maupun dalam perbaikan. Penggunaan seng perlu diminimalisir karena memiliki thermal admittance paling tinggi (14475) dibandingkan material yang lain. Mengubah warna material menjadi lebih terang juga berpengaruh terhadap banyaknya panas yang diserap permukaan (Mohajerani, 2017).

Tabel 4.35.Strategi adaptasi *thermal admittance*

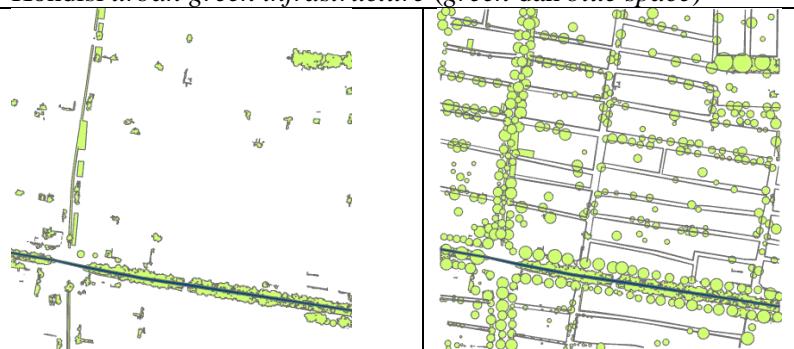
No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Meminimalisir penggunaan atap yang mampu menyerap panas berlebih* (Hove et al., 2011)	Seng, dapat diganti asbes	Perdagangan dan jasa
		Genteng berwarna gelap dapat diganti warna terang	Permukiman
2	<i>Pervious Pavement and asphalt</i> , (tipe trotoar yang dapat memudahkan air terserap ke tanah)* (Mohajerani, 2017)	Paving yang dapat menyerap air	Fasilitas umum, perdagangan dan jasa
		Aspal yang dapat menyerap air	Koridor jalan lokal

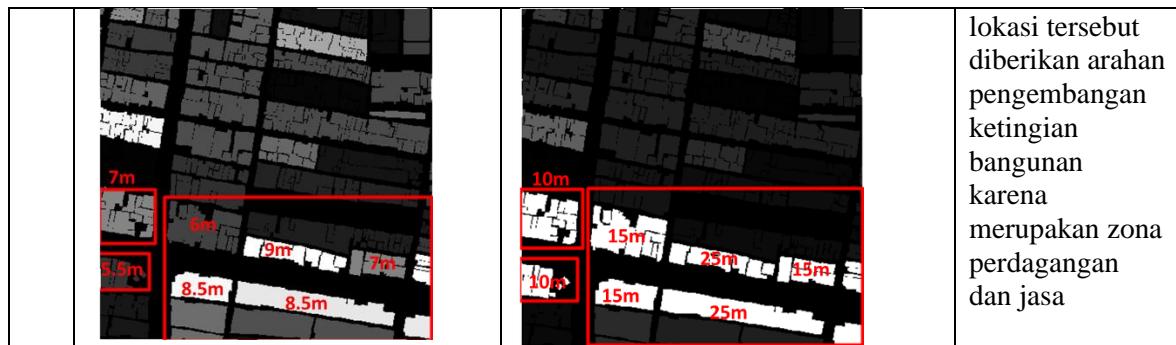
\*alternatif adaptasi

##### 4.5.6.2.2. Model konsep adaptasi

Karakteristik kategori 3 yang didominasi oleh bangunan berkepadatan tinggi sedikit berbeda dengan bangunan besar pada kategori 2. Maka konsep yang dapat diterapkan sebagai berikut

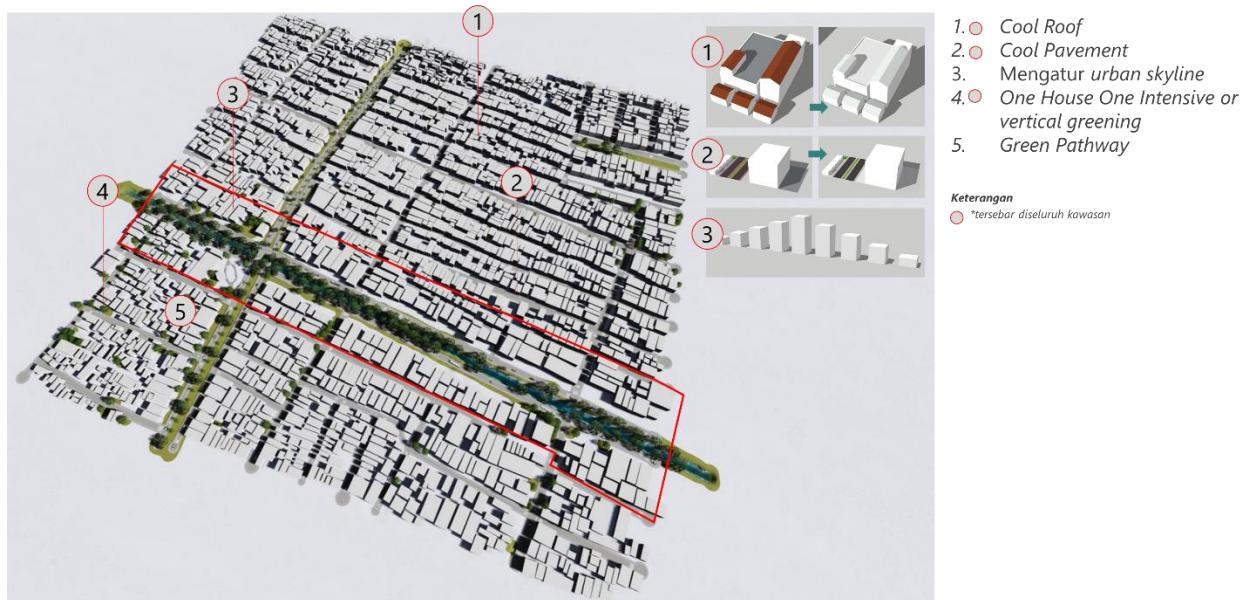
Tabel 4.36. Model konsep adaptasi kategori 3

No	Eksisting	Konsep Adaptasi	Ket																										
1	Model Regresi	 <p>Dominasi suhu: 33-34,5°C Suhu rata-rata: ±33,5°C</p> <p>Dominasi suhu: 31,5-32,5°C Suhu rata-rata: ±32°C.</p>	Mengalami penurunan suhu ±1,5°C																										
2	Kondisi urban material (albedo-thermal)	 <table border="1"> <tr> <td>Aspal Lama</td> <td>: 2,33 Ha</td> </tr> <tr> <td>Besi/seng</td> <td>: 0,73 Ha</td> </tr> <tr> <td>Beton</td> <td>: 4,15 Ha</td> </tr> <tr> <td>Genteng Abu-Abu</td> <td>: 7,28 Ha</td> </tr> <tr> <td>Genteng Merah</td> <td>: 7,15 Ha</td> </tr> <tr> <td>Genteng Putih</td> <td>: 0,46 Ha</td> </tr> <tr> <td>Jalan Beton</td> <td>: 1,57 Ha</td> </tr> <tr> <td>Pepohonan</td> <td>: 1,29 Ha</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>Aspal Lama</td> <td>: 1,3 Ha</td> </tr> <tr> <td>Genteng Putih</td> <td>: 13,37 Ha</td> </tr> <tr> <td>Pengecatan Beton</td> <td>: 3,51 Ha</td> </tr> <tr> <td>Pepohonan</td> <td>: 6,23 Ha</td> </tr> <tr> <td>White Paper Roof</td> <td>: 0,63 Ha</td> </tr> </table>	Aspal Lama	: 2,33 Ha	Besi/seng	: 0,73 Ha	Beton	: 4,15 Ha	Genteng Abu-Abu	: 7,28 Ha	Genteng Merah	: 7,15 Ha	Genteng Putih	: 0,46 Ha	Jalan Beton	: 1,57 Ha	Pepohonan	: 1,29 Ha	Aspal Lama	: 1,3 Ha	Genteng Putih	: 13,37 Ha	Pengecatan Beton	: 3,51 Ha	Pepohonan	: 6,23 Ha	White Paper Roof	: 0,63 Ha	Pengecatan atap menjadi berwarna cerah (putih) <b>100%</b> pada seluruh bangunan dan mencerahkan warna beton <b>100%</b>
Aspal Lama	: 2,33 Ha																												
Besi/seng	: 0,73 Ha																												
Beton	: 4,15 Ha																												
Genteng Abu-Abu	: 7,28 Ha																												
Genteng Merah	: 7,15 Ha																												
Genteng Putih	: 0,46 Ha																												
Jalan Beton	: 1,57 Ha																												
Pepohonan	: 1,29 Ha																												
Aspal Lama	: 1,3 Ha																												
Genteng Putih	: 13,37 Ha																												
Pengecatan Beton	: 3,51 Ha																												
Pepohonan	: 6,23 Ha																												
White Paper Roof	: 0,63 Ha																												
3	Kondisi urban green infrastructure (green dan blue space)		<i>One house one extensive or vertical greening, penambahan pohon sepanjang koridor</i>																										
4	Kondisi urban geometry (mean building high)																												



**Keterangan:**

1. Aspal hanya tersisa 5% karena permukaan sebagian besar ditutup oleh media vegetasi sedang-besar dengan tinggi 3-15 m yang tersebar bahu dan median jalan utama
2. Beton pada area trotoar dan pekarangan ( $\pm 14\%$  lahan) dicat berwarna cerah.
3. Pengecatan seluruh atap bangunan ( $\pm 34\%$  lahan) menjadi putih pada kawasan pengamatan. Hal ini setara mengembangkan 97% atap menjadi berwarna putih dari kondisi eksisting.
4. Mengganti material besi/seng yang sudah berkarat ( $\pm 2,5\%$  lahan) dengan jenis atap *white paper roof* atau asbes putih.
5. Meningkatkan intensitas pepohonan sebesar 4,3 Ha pada koridor jalan utama dan lingkungan. Menggalakkan program *one house one vertical greening* dengan ukuran standar 2x2 untuk permukiman non formal dan perdagangan jasa. Apabila bentuk bangunan memungkinkan *vertical greening* dapat diganti *extensive roof greening*
6. Berdasarkan RDTRK UP Darmawangsa, koridor kertajaya meruapakan kawasan pengembangan perdagangan dan jasa. Pada lokasi tersebut dapat dibentuk *urban skyline* yang berorientasi pada thermal. Pola yang dibentuk pada ujungnya memiliki rata-rata ketinggian 10m, dan pada tengahnya memiliki rata-rata tinggi 25 m.



Gambar 4.58. Konsep adaptasi kategori 3 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan

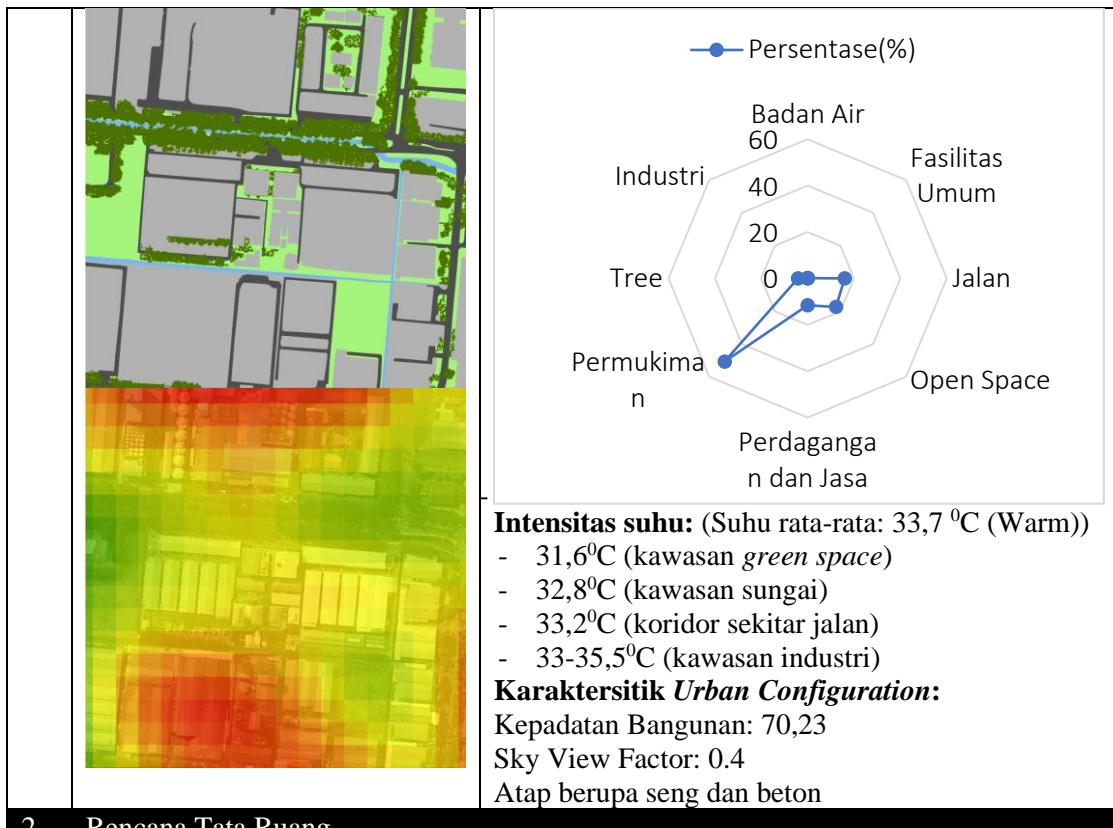
#### 4.5.6.3. Konsep adaptasi kategori 4 (Grid 222): Kawasan industri pergudangan SIER

##### 4.5.6.3.1. Alternatif adaptasi relevan

Adapun alternatif adaptasi yang dapat diterapkan pada kategori berdasarkan pertimbangan gap analisis pada kategori 4 sebagai berikut:

Tabel 4.37.Gap analisis kategori 4

No	Keterangan
1	<p><b>Kondisi Eksisting</b></p>  <p><b>Dominasi tutupan lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Industri dan pergudangan (kawasan industri SIER).</li> <li>- Sungai, dengan vegetasi skala kecil-besar.</li> <li>- Jalan utama (Jl.Rungkut Industri Raya), dengan vegetasi skala sedang-besar</li> <li>- Jalan sekunder dengan vegetasi sedang</li> </ul>



2 Rencana Tata Ruang



3	Konsep adaptasi	
	Strategi adaptasi berdasarkan prioritas bobot <ol style="list-style-type: none"> <li>Mencerahkan warna permukaan [variabel: <i>albedo</i>]</li> <li>Membatasi IPR dan pengembangan infrastruktur penunjang industri [variabel: <i>mean building high, sky view factor, building density</i>]</li> <li>Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi [variabel: <i>urban greenspace</i>]</li> <li>Mempertahankan eksistensi sungai dan waduk/bozem [variabel: <i>urban waterspace</i>]</li> <li>Meningkatkan performa bangunan [variabel: <i>thermal mass</i>]</li> </ol>	

#### A. Mencerahkan warna permukaan

Karakteristik permukaan kawasan industri didominasi oleh besi dan seng.

Merujuk pada referensi pembahasan sebelumnya, *cool roof* dan *cool pavement* adalah *rules* model yang tepat untuk diterapkan. Kawasan ini memiliki nilai suhu yang relatif panas karena sifat material bangunan industri. Perlu upaya terhadap material yang mampu meminimalisir suhu permukaan dengan banyaknya aktivitas kendaraan yang keluar masuk kawasan industri

Tabel 4.38. Strategi adaptasi *albedo*

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Pelapisan atap dengan cat termokromik, pelapis <i>Phase Change Material (PCM)</i> , maupun cat putih/cerah biasa	Seng Beton	Industri
2	<i>Pavement/paving</i> dilakukan pengecatan berwarna putih/cerah pada area yang minim aktivitas kendaraan	Paving trotoar Paving area kantor	

Sumber: review (Hooverter, 2012; Mohajerani, 2017; Junjing Yang et al., 2018).

#### B. Membatasi IPR dan pengembangan infrastruktur penunjang industri

Skema pembatasan ini ditujukan apabila akan dilakukan pengembangan industri. Secara history melalui pegamatan citra satellite, geometry bangunan pada kawasan industri sejak tahun 2001-2019 tidak banyak mengalami perubahan. Hubungan antar bangunan akan berpengaruh terhadap interaksi *sky view factor* antar bangunan industri. Pada umumnya suhu meningkat pada kawasan permukiman dengan kerapatan bangunan tinggi yang secara langsung juga mempengaruhi nilai *sky view factor*.

Tabel 4.39. Strategi adaptasi *mean building high, Sky view factor dan kepadatan bangunan*

No	Strategi adaptasi	Intensitas	Tata bangunan
1	Pembatasan IPR blok industri dan pergudangan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 60% berlaku untuk sistem blok</li> <li>- KLB maksimum: 1,8 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 4 meter</li> <li>- Tinggi bangunan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan &gt;21m: 25m</li> <li>• Lebar jalan 10-21m: 15m</li> </ul> </li> <li>Jumlah podium: 1 lantai</li> </ul> 

Sumber: review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039; Urban Land Use Planning System in Japan 2015*)

### C. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi

Tutupan permukaan lahan pada kategori 4 sebesar 14% tediri dari *open space* dan 13% berupa permukaan yang tertutup pohon skala sedang-besar. Apabila diakumulasi angka ini masih kurang dalam menjawab kebutuhan ruang terbuka hijau sebesar 30% berdasarkan dokumen perencanaan. Karena terbatasnya lahan, *urban planner* dan pengelola SIER perlu mengembangkan inovasi model *green space* dalam meminimalisir peningkatan suhu. Konsep model industri yang dapat ditawarkan adalah *smart-eco industrial park* (Maes et al., 2011).

Tabel 4.40. Strategi adaptasi *urban green space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengoptimalan <i>green pathway</i> (Hooverter, 2012)	Pohon dengan ketinggian 3-15m, dan berjarak 15m	Koridor jalan sekunder
		Jalur hijau 0,5m bisa melalui tamanan perdu dalam media pot	
2	<i>green pavement</i> (Mohajerani, 2017)	<i>Porous pavement</i> pada area parkir	Kantor pada kawasan industri

		<i>Porous</i> pavement pada trotoar yang mampu ditanami media rumput	
3	<i>extensive</i> dan <i>intensive green roof</i> (EPA, 2020)	Intensive (tanaman herbal, sedum hingga pohon dewasa)	Kantor pada kawasan industri
		Ekstensive (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Industri
4	RTH Vertikal	Ekstensive (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Kantor pada kawasan industri

#### D. Mempertahankan eksistensi sungai dan waduk/bozem

*Water space* pada kategori 4 terdiri dari sungai pada median Jl. Raya Rungkut Industri dan waduk/bozem. Kondisi perairan mengalir cukup tenang karena topografinya yang relatif datar. Merujuk pada dokumen perencanaan lokal, sungai perlu memiliki lebar sempadan minimal 4m dan dapat dimanfaatkan untuk jalur hijau. Sedangkan pada bozem/waduk dapat dikembangkan sebagai sarana rekreasi, dengan catatan permasalahan limbah B3 hasil pengolahan industri sudah diatasi dengan IPAL yang terpadu dan memadai (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Rungkut 2019-2039*).

Tabel 4.41. Strategi adaptasi *urban water space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Mempertahankan eksistensi sungai dan waduk/bozem	Manfaatkan sempadan sebagai RTH jalur hijau dengan lebar 4m	Sungai dan bozem/waduk

Sumber: review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039*)

#### E. Meningkatkan performa bangunan

Sama seperti adaptasi dari sisi albedo, material yang menjadi subject adaptasi thermal adalah atap, area berpaving, dan jalan. Pendekatan ini bukan lagi menjadi alternatif, dikarenakan pentingnya strategi ini mengingat salah satu isu strategis kawasan adalah minimnya lahan resapan namun diiringi dengan aktivitas kendaraan yang tinggi (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039*). Penggunaan seng perlu diminimalisir karena memiliki thermal admittance paling tinggi (14475) dibandingkan material yang lain. Mengubah warna material menjadi lebih terang juga berpengaruh terhadap banyaknya panas yang diserap permukaan (Mohajerani, 2017).

Tabel 4.42. Strategi adaptasi *thermal admittance*

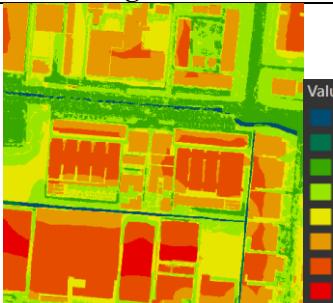
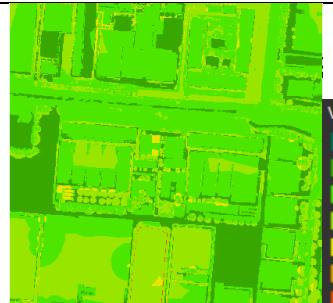
No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
----	-------------------	----------	------------------

1	Meminimalisir penggunaan atap yang mampu menyerap panas berlebih (Hove et al., 2011)	Seng, dapat diganti asbes atau dilapisi warna terang	Industri
		Beton dapat dilapisi warna terang atau penambahan vegetasi	Kantor industri
2	<i>Pervious Pavement</i> , (tipe trotoar yang dapat memudahkan air terserap ke tanah (Mohajerani, 2017 #264)	Paving yang dapat menyerap air	Industri

#### 4.5.6.3.1.1. Model konsep adaptasi

Karakteristik kategori 4 yang didominasi oleh kawasan industri dengan fungsi pergudangan berkepadatan sendang dan sangat berbeda dengan bangunan besar maupun kawasan padat pada kategori sebelumnya. Konsep yang dapat diterapkan sebagai berikut:

Tabel 4.43. Model konsep adaptasi kategori 4

No	Eksisting	Konsep Adaptasi	Ket
1	<b>Model Regresi</b>  Nilai suhu: 31,1-34,7°C Suhu rata-rata: ±33,3°C	 Dominasi suhu: 30,78-34,41°C Suhu rata-rata: ±32,27°C	Mengalami penurunan suhu ±1°C
2	<b>Kondisi urban material (albedo-thermal)</b> 		Pengecatan atap menjadi berwarna cerah (putih) 100% pada seluruh bangunan dan mencerahkan warna beton 100%

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspal Lama : 2,92 Ha</li> <li>Besi/seng: 11,26 Ha</li> <li>Beton: 5,7 6Ha</li> <li>Genteng Merah: 0,04 Ha</li> <li>Pepohonan: 3,64 Ha</li> <li>Perairan: 0,45 Ha</li> <li>Rumput Basah: 1,15 Ha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspal Lama: 2,34 Ha</li> <li>Besi/seng Putih: 11,26 Ha</li> <li>Beton Cerah: 2,91 Ha</li> <li>Extensive Green Roof: 0,09 Ha</li> <li>Genteng Putih</li> <li>Pepohonan: 5,82 Ha</li> <li>Perairan: 0,59 Ha</li> <li>Rumput Basah: 2 Ha</li> </ul>	
3	<i>Kondisi urban green infrastructure (green dan blue space)</i>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan pohon sepanjang koridor,</li> <li>- mengoptimalkan lahan terbuka sebagai bozem</li> <li>- <i>Extensive green roof</i></li> </ul>
4	<i>Kondisi urban geometry (mean building high)</i>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan <i>mean building high</i> ±1 lantai</li> </ul>

#### Keterangan:

1. Aspal berkurang 0,6 Ha karena permukaan sebagian besar ditutup oleh media vegetasi sedang-besar dengan tinggi 3-15 m yang tersebar bahu dan median jalan utama.
2. Beton pada area trotoar dan halaman Gedung industri (**±11%** lahan) dicat berwarna cerah.
3. Pengecatan seluruh atap bangunan (**±44,9%** lahan) menjadi putih pada kawasan pengamatan baik yang berupa besi/seng maupun genteng. Hal ini setara mengembangkan 100% atap berwarna putih dari kondisi eksisting. Material besi apabila sedang dalam perbaikan dapat diganti dengan *white paper roof* atau asbes putih.
4. Meningkatkan intensitas pepohonan dan vegetasi sebesar 2,2 Ha pada jalan utama dan sekunder, dikarenakan keterbatasan lahan

5. Memberikan *extensive green roof* 0,09 Ha pada gedung perkantoran yang ada di kawasan industri pergudangan.
6. Menciptakan area area bozem pada sisi timur dan selatan sebesar 0,59 Ha untuk membantu memberikan penghawaan alami serta kolam reasapan.
7. Apabila mengacu dokumen tata ruang, kawasan industri pergudangan SIER di masa mendatang tetap menjadi peruntukan kawasan industri. Namun berdasarkan kondisi lapangan sudah banyak terjadi alih fungsi menjadi perumahan. Sehingga kawasan ini dapat diarahkan untuk pengembangan vertikal ketika terjadi isu alih fungsi tersebut. Ketinggian bangunan dapat ditingkatkan 1 lantai dari ketinggian eksisting untuk membentuk *urban skyline*.



Gambar 4.59. Konsep adaptasi kategori 4 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan

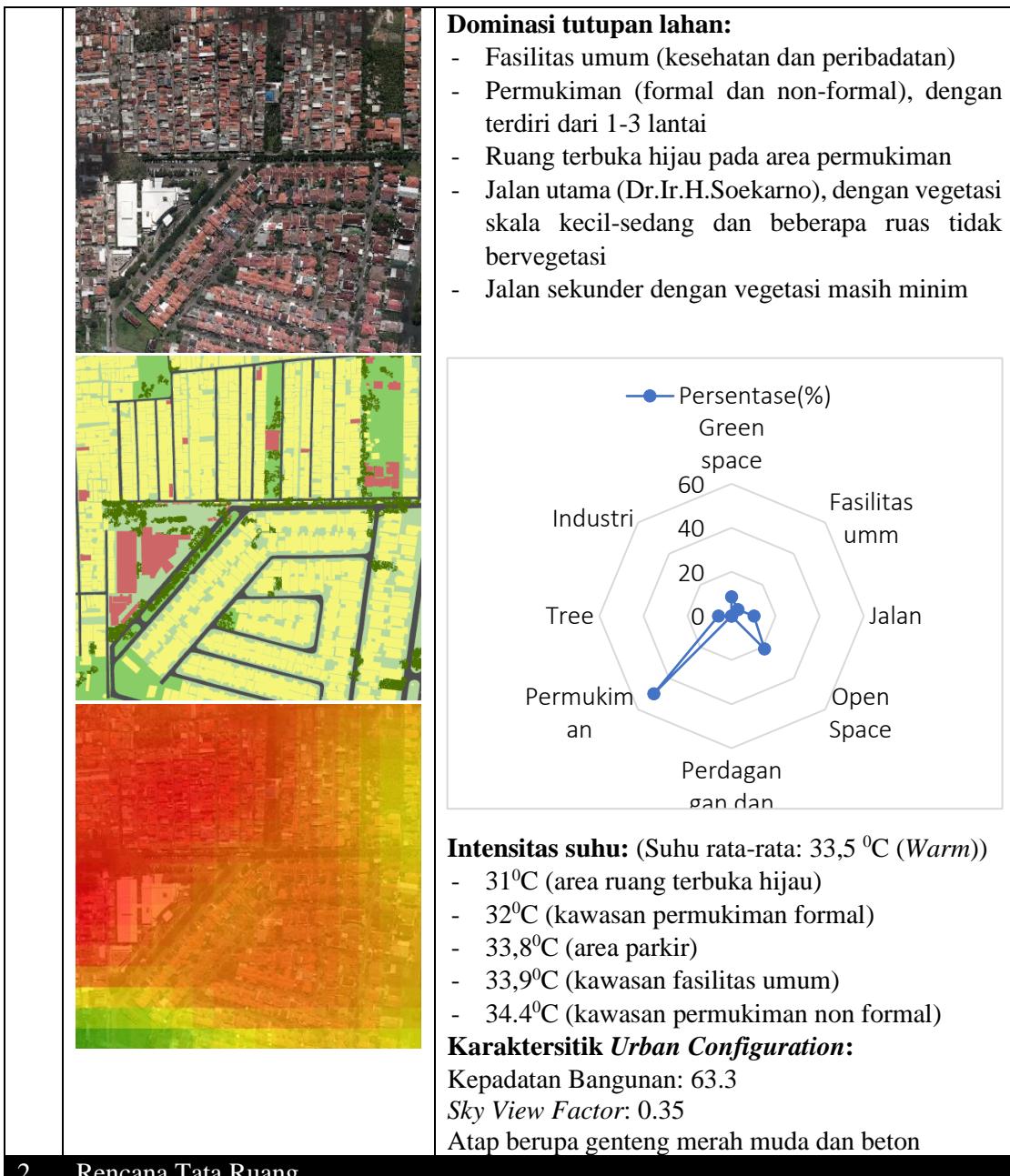
#### **4.5.6.4.Konsep adaptasi kategori 5 (Grid 118): Kawasan rumah sakit premier Surabaya dan permukiman**

##### **4.5.6.4.1. Alternatif adaptasi relevan**

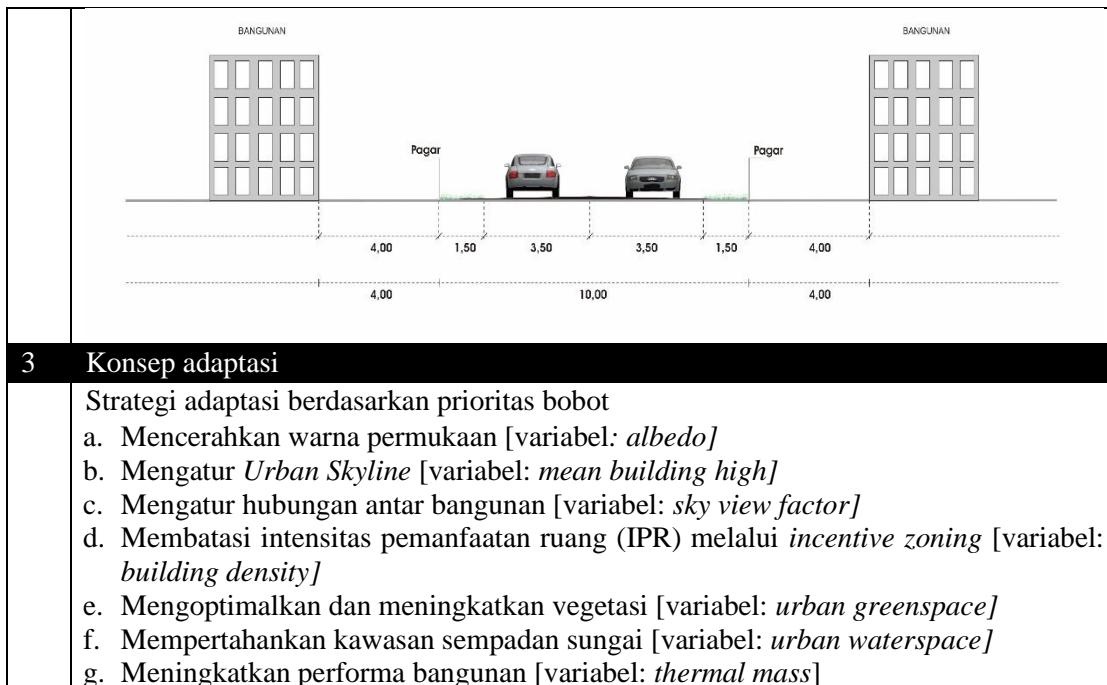
Adapun alternatif adaptasi yang dapat diterapkan pada kategori berdasarkan pertimbangan gap analisis pada kategori 5 sebagai berikut:

Tabel 4.44.Gap analisis kategori 5

No	Keterangan
1	Kondisi Eksisting







#### A. Mencerahkan warna permukaan

Karakteristik permukaan terdiri dari genteng merah, paving, aspal dan beton.

- b. Mengatur *Urban Skyline* [variabel: *mean building high*]
  - c. Mengatur hubungan antar bangunan [variabel: *sky view factor*]
  - d. Membatasi intensitas pemanfaatan ruang (IPR) melalui *incentive zoning* [variabel: *building density*]
  - e. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi [variabel: *urban greenspace*]
  - f. Mempertahankan kawasan sempadan sungai [variabel: *urban waterspace*]
  - g. Meningkatkan performa bangunan [variabel: *thermal mass*]

*Cool roof* dan *cool pavement* adalah *rules* model yang tepat untuk diterapkan. Perlu

upaya meminimalisir suhu permukaan yang cukup tinggi pada lahan yang terbatas khususnya di perumahan non-formal.

Tabel 4.45. Strategi adaptasi *albedo*

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Pelapisan atap dengan cat termokromik, pelapis <i>Phase Change Material (PCM)</i> , maupun cat putih/cerah biasa	Beton	Fasilitas umum
		Genteng	Permukiman
2	<i>Pevement/paving</i> dilakukan pengecatan berwarna putih/cerah	Paving Area parkir	Fasilitas umum
		Paving Trotoar	Jalan sekunder
		Paving Ruas jalan	

Sumber: review (Hoover, 2012; Mohajerani, 2017; Junjing Yang et al., 2018).

## B. Mengatur hubungan antar bangunan

Hubungan antar bangunan akan berpengaruh terhadap interaksi *sky view factor* antar bangunan kecil-sedang. Angka *sky view factor* pada bangunan skala kecil sekitar 0.35. Umumnya suhu meningkat pada kawasan permukiman non formal dengan kerapatan bangunan tinggi yang mempengaruhi *sky view factor*. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi angka tersebut adalah dengan

memberikan rongga antar bangunan maupun pemanfaatan sistem podium bangunan yang lebih luas. Hal tersebut telah diberlakukan pada perumahan formal dan terbukti memiliki suhu lebih rendah.

Tabel 4.46. Strategi adaptasi *Sky view factor*

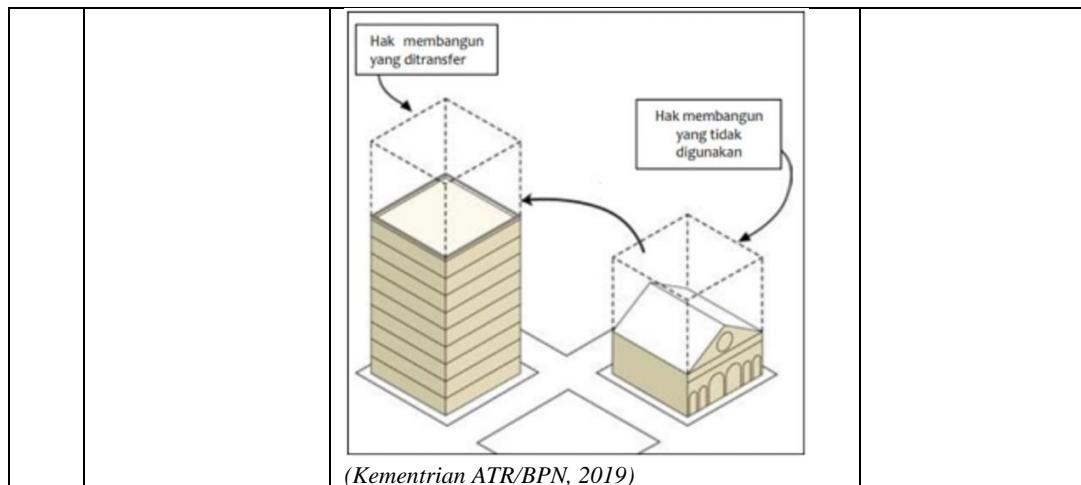
No	Strategi adaptasi	Skema	Illustrasi
1	Hubungan antar bangunan kecil dan sedang	Pembatasan pengembangan bangunan skala sedang yang berbatasan langsung dengan persil bangunan permukiman di sisi belakang.	
2	Hubungan antar bangunan kecil.	Pengembangan bangunan pada area permukiman dapat dilakukan vertikal dengan pertimbangan ukuran lantai dasar lebih besar, guna menyediakan ruang sirkulasi udara	

Sumber: Review (Chen et al., 2012; DPCKTR Kota Surabaya, 2019)

### C. Mengatur urban skyline

Tabel 4.47. Strategi adaptasi *building density*

No	Strategi adaptasi	Konsep	Penggunaan lahan
1	Pengembangan bangunan vertikal melalui transfer development right (TDR)	<p>Pengaturan urban skyline, dengan batas ketinggian maksimal 250m (KKOP)</p> <p>Penataan KLB lebih rendah pada kawasan ujung koridor (angin yang masuk ke kawasan lebih sedikit yang tereduksi)</p> <p>(Janesonia, 2019)</p>	Fasilitas umum Permukiman



**D. Pembatasan Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR) bangunan melalui *incentive zoning***

Kepadatan bangunan yang tinggi dikawasan ini mengakibatkan panas perkotaan cenderung terperangkap geometri bangunan sehingga terakumulasi. Skema pembatasan IPR secara tidak langsung mampu meningkatkan area ruang terbuka yang dapat dimanfaatkan sebagai RTH dalam memenuhi kebutuhan dokumen perencanaan lokal.

Tabel 4.48. Strategi adaptasi *building density*

No	Strategi adaptasi	Intensitas	Tata bangunan
1	Pembatasan IPR fasilitas umum kesehatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 50%</li> <li>- KLB maksimum: 3,5 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 m</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 35m</li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 3 lantai</li> </ul>
2	Pembatasan IPR Permukiman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB bangunan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan <math>\geq 6m</math>: 70-80% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\geq 3 - \leq 6m</math>: 80-90% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\leq 3</math>: 100% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> </ul> </li> <li>- KLB maksimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 70%: 1,4 poin</li> <li>• KDB 80%: 1,6 poin</li> <li>• KDB 90%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 100%: 2 poin</li> </ul> </li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Jalan 2-4m: 2m</li> <li>b. Jalan &gt;4-6m: 3m</li> <li>c. Jalan &gt;6m: &gt;3m</li> </ul> </li> <li>- Tinggi bangunan maksimum yang diizinkan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60% : jalan <math>\geq 10m</math>: 15 meter jalan <math>&lt; 10</math> meter: 10m</li> <li>• KDB 70%-100%: 10m</li> </ul> </li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDH minimal:</li> <li>• KDB 60-90%: 10%</li> <li>• KDB 100% : 0%</li> </ul>	
--	--	--

Sumber: Review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039; Urban Land Use Planning System in Japan 2015*)

#### E. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi

Tutupan permukaan lahan pada kategori 5 sebesar 8% tediri dari *green space*, dan 6% berupa permukaan yang tertutup pohon skala sedang-besar. Apabila diakumulasi angka ini belum cukup dalam menjawab kebutuhan ruang terbuka hijau berdasarkan dokumen perencanaan. Disisi lain masih tersedia 21% *open space* yang berupa perkaranan. Guna meminimalisir peningkatan suhu maka pemanfaatan *open space* perlu dioptimalkan melalui peningkatan vegetasi. Beirkut urutan berdasarkan prioritas pengembangan RTH dalam strategi adaptasi UHI (Norton et al., 2015).

Tabel 4.49. Strategi adaptasi *urban green space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengoptimalan <i>green pathway</i> (Hooverter, 2012)	Jalur hijau 0,5m. Apabila tidak tersedia lahan, pohon dapat dikembangkan di dalam media pot dan perdu	Koridor jalan lokal
2	<i>green pavement</i> (Mohajerani, 2017)	<i>Porous pavement</i> pada area parkir dan pekarangan	Fasilitas umum
		Fasilitas umum KDB >70%-90%, KDH 10% + 2 pohon	
		Fasilitas umum dengan KDB < 70%, KDH 30% + 3 pohon	
		<i>Porous pavement</i> pada trotoar yang mampu ditanami media rumput	Koridor jalan lokal
		Rumah besar > 500 m <sup>2</sup> : KDH 20% + 3 pohon	Permukiman
		Rumah besar 200m <sup>2</sup> -500m <sup>2</sup> , KDH 10% + 2 pohon	
		Rumah kecil <200 m <sup>2</sup> , KDH 10% + 1 pohon	
3	<i>extensive</i> dan <i>intensive green roof</i> (EPA, 2020)	<i>Intensive</i> (tanaman herbal, sedum hingga pohon dewasa)	Fasilitas umum
		<i>Ekstensif</i> (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	
4	RTH Vertikal	Ekstensif (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Permukiman Koridor jalan lokal

#### F. Mempertahankan kawasan sempadan sungai

*Water space* pada kategori 5 bersebelahan dengan Kali Jagir. Kondisi perairannya mengalir cukup tenang karena topografinya yang relatif datar. Perlu adanya pengoptimalan pada sungai agar tidak terjadi pendangkalan dengan pengeringan berkala oleh pemerintah. Saat ini kondisi sungai memiliki sempadan sekitar 3m yang dimanfaatkan untuk jalur hijau. Namun masih diperlukannya peningkatan intensitas vegetasi pada sempadan tersebut

Tabel 4.50. Strategi adaptasi *urban water space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	<i>Pengoptimalan sempadan sungai</i>	Peningkatan vegetasi maupun rumput pada area jalur hijau	Sungai



Sumber: review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039*)

#### G. Meningkatkan performa bangunan dalam menurunkan thermal

Mengubah warna material menjadi lebih terang juga berpengaruh terhadap banyaknya panas yang diserap permukaan (Mohajerani, 2017).

Tabel 4.51. Strategi adaptasi *thermal*

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Meminimalisir penggunaan atap yang mampu menyerap panas berlebih* (Hove et al., 2011)	Genteng berwarna gelap dapat dilapisi warna terang	Permukiman
2	<i>Pervious Pavement and asphalt</i> , (tipe trotoar yang dapat memudahkan air terserap ke tanah* (Mohajerani, 2017 #264)	Paving yang dapat menyerap air	Koridor jalan lokal dan permukiman
		Aspal yang dapat menyerap air	Fasilitas umum

\*menjadi alternatif adaptasi

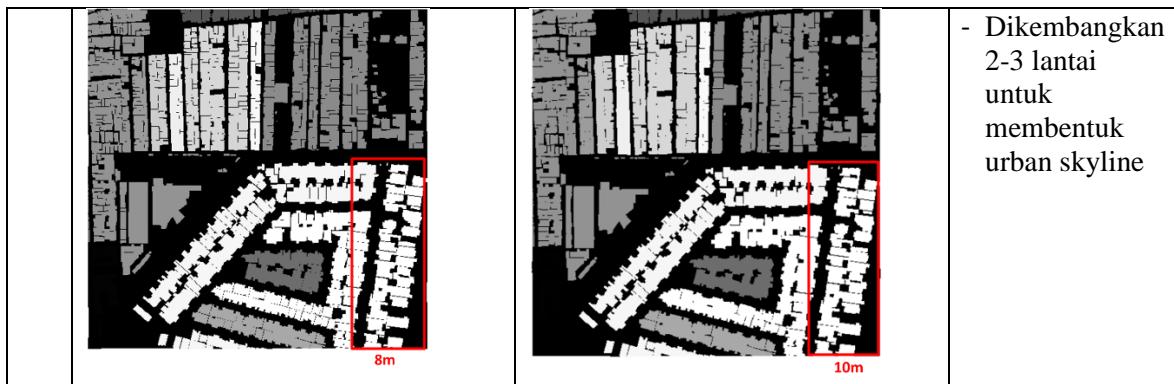
#### 4.5.6.4.2. Model konsep adaptasi

Karakteristik kategori 5 hampir seperti kategori 3 yang terdiri dari permukiman dan perdagangan jasa, namun kondisinya berkepadatan sedang. Konsep yang dapat diterapkan sebagai berikut:

Tabel 4.52. Model konsep adaptasi kategori 5

No	Eksisting	Konsep Adaptasi	Ket
----	-----------	-----------------	-----

1	<b>Model Regresi</b>	<p>Dominasi suhu: 32,4-33,5°C Suhu rata-rata: ±33,1°C</p> <p>Dominasi suhu: 31,4-32,1°C Suhu rata-rata: ±31,9°C.</p>	Mengalami penurunan suhu ±1,2°C
2	Kondisi urban material (albedo-thermal)	<p>Aspal Lama: 2,5 Ha Beton: 2,5 Ha Genteng Abu-Abu: 2,89 Ha Genteng Merah: 9,29 Ha Genteng Putih: 0,31 Ha Pepohonan: 1,88 Ha Rumput Basah: 4,33 Ha Tanah Kering: 0,24 Ha</p> <p>Aspal Lama: 1,73 Ha Beton Putih: 1,62 Ha Genteng/Atap Putih: 12,24 Ha Pepohonan: 7,78 Ha Rumput Basah</p>	Pengecatan atap menjadi berwarna cerah (putih) 100% pada seluruh bangunan dan mencerahkan warna beton 100%
3	Kondisi urban green infrastructure (green dan blue space)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>One House one tree</i> (permukiman formal),</li> <li>- <i>One house one vertical gardening</i> (permukiman non formal).</li> <li>- Meningkatkan vegetasi pada koridor menuju rumah sakit Premier.</li> </ul>
4	Kondisi urban geometry (mean building high)		



**Keterangan:**

1. Aspal berkurang 0,8 Ha karena permukaan sebagian besar ditutup oleh media vegetasi sedang-besar dengan tinggi 3-15 m yang tersebar bahu dan median jalan utama.
2. Beton pada area trotoar dan pekarangan ( $\pm 6,4\%$  lahan) dicat berwarna cerah.
3. Pengecatan seluruh atap bangunan ( $\pm 48,6\%$  lahan) menjadi putih pada kawasan pengamatan. Hal ini setara mengembangkan 98% atap menjadi warna putih dari kondisi eksisting.
4. Meningkatkan intensitas pepohonan sebesar 5,9 Ha pada jalan utama menuju kearah rumah sakit premier.
5. Menggalakan program *one house one tree* untuk permukiman formal, dan *one house one vertical greening* dengan ukuran standar 2x2m untuk permukiman non formal
6. Mengembangkan area perdagangan dan jasa menjadi 2-3 lantai, dengan tujuan membentuk rata-rata ketinggian bangunan hingga 10m. Lokasi yang ditandai tersebut (Jl. Nginden Intan Raya 1) merupakan kawasan pengembangan perdagangan dan jasa berdasarkan RDTRK UP Rungkut.



Gambar 4.60. Konsep adaptasi kategori 5 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan

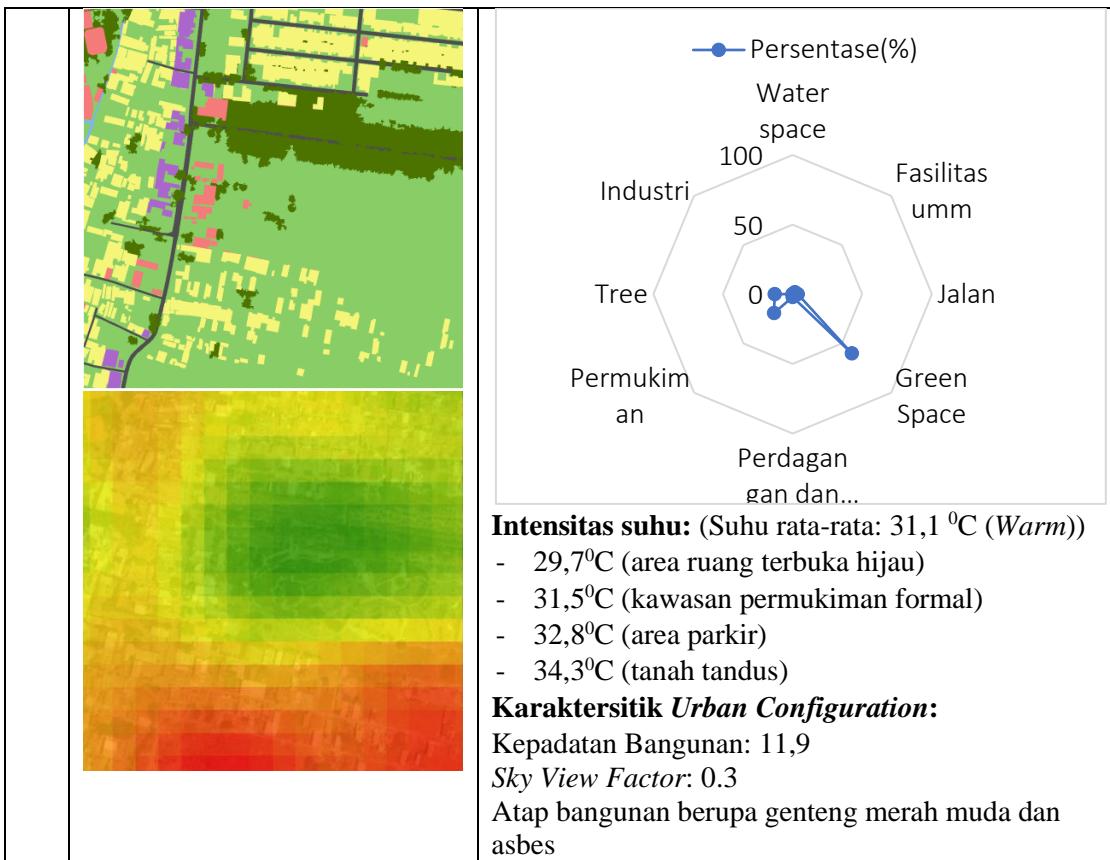
#### 4.5.6.5.Konsep adaptasi kategori 6 (Grid 27): Kawasan taman harmoni keputih

##### 4.5.6.5.1. Alternatif adaptasi relevan

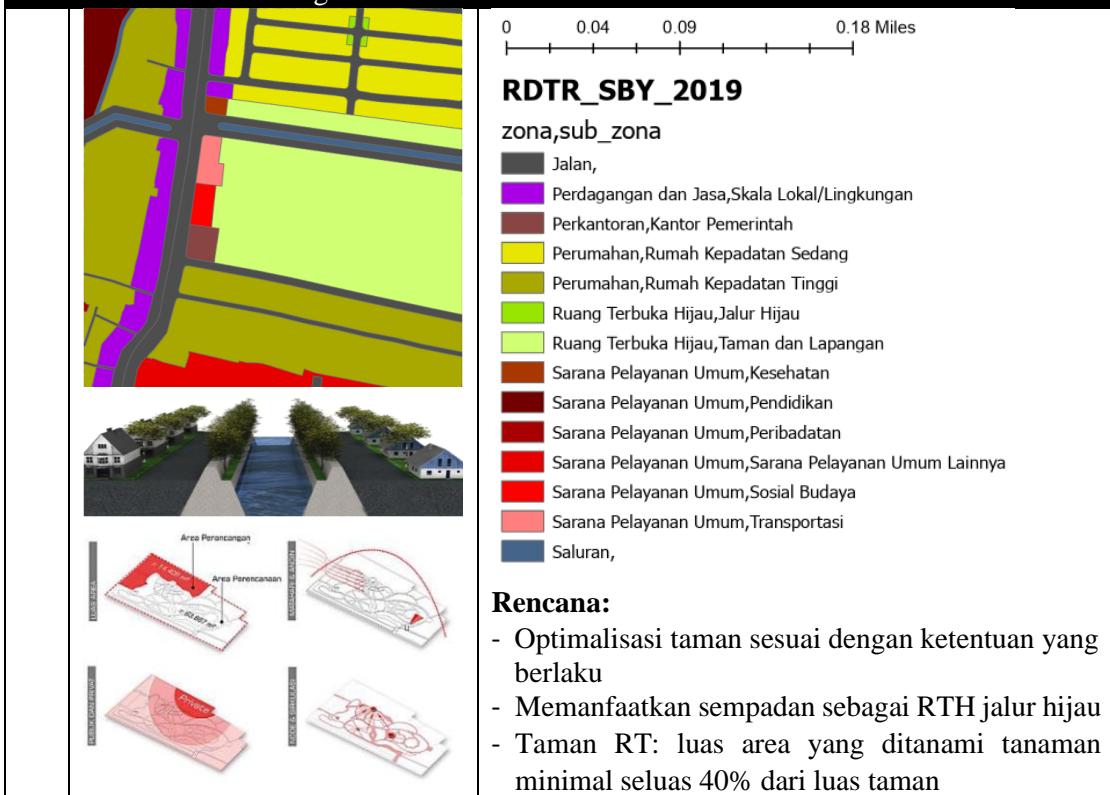
Adapun alternatif adaptasi yang dapat diterapkan pada kategori berdasarkan pertimbangan gap analisis pada kategori 6 sebagai berikut:

Tabel 4.53.Gap analisis kategori 6

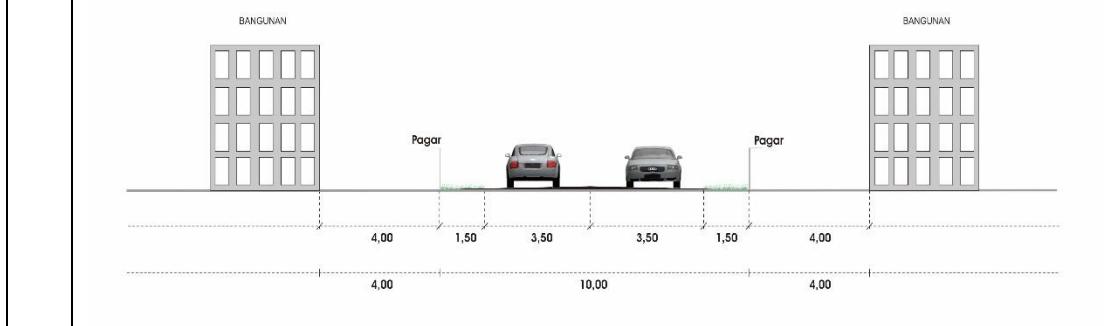
No	Keterangan
1	<p>Kondisi Eksisting</p> <p><b>Dominasi tutupan lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permukiman (formal dan non-formal), dengan terdiri dari 1-3 lantai</li> <li>- Ruang terbuka hijau berupa taman harmoni dan hutan bamboo</li> <li>- Fasilitas umum (peribadatan, kesehatan)</li> <li>- Perdagangan dan jasa (Hartomo)</li> <li>- Jalan utama (Jl.Keputih Tegal), dengan vegetasi minim dan berskala kecil</li> <li>- Jalan sekunder dengan vegetasi masih minim dan berskala kecil</li> </ul> 



2 Rencana Tata Ruang



 <p>(Wijaya, 2017)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempertahankan dan mengoptimalkan taman di kawasan perumahan formal dan kawasan perkampungan</li> <li>- Mengembangkan vegetasi sebagai jalur hijau di sepanjang jalan, sempadan saluran dengan lebar 0,5 m</li> <li>- Rumah besar <math>&gt; 500 \text{ m}^2</math>, minimal KDH 20% dengan jumlah pohon pelindung yang harus disediakan adalah 3 pohon ditambah dengan perdu, semak serta rumput</li> <li>- Rumah besar <math>200\text{m}^2-500\text{m}^2</math>, minimal KDH 10% dengan jumlah pohon pelindung yang harus disediakan adalah 2 pohon (+perdu, semak serta rumput)</li> <li>- Rumah kecil <math>&lt;200 \text{ m}^2</math>, minimal KDH 10% dengan jumlah pohon pelindung yang harus disediakan adalah 1 pohon (+perdu, semak serta rumput)</li> <li>- Fasilitas umum dengan KDB <math>&gt;70\%-90\%</math> perlu memiliki minimal 2 (dua) pohon kecil atau sedang</li> <li>- Fasilitas umum dengan KDB <math>&lt; 70\%</math>, berlaku seperti persyaratan pada RTH pekarangan rumah</li> <li>- Fasilitas kesehatan bisa mengoptimalkan lahan parkir pada bahu jalan</li> </ul> <p>(RDTRK UP Kertajaya, 2019)</p>
---	---



### 3 Konsep adaptasi

- Strategi adaptasi berdasarkan prioritas bobot
- Mencerahkan warna permukaan [variabel: *albedo*]
  - Mengatur *Urban Skyline* [variabel: *mean building high*]
  - Mengatur hubungan antar bangunan [variabel: *sky view factor*]
  - Membatasi intensitas pemanfaatan ruang (IPR) [variabel: *building density*]
  - Mengembangkan jalur hijau menuju taman dan mengoptimalkan vegetasi [variabel: *urban greenspace*]
  - Menciptakan kawasan perairan pada area taman [variabel: *urban waterspace*]
  - Meningkatkan performa bangunan [variabel: *thermal mass*]

#### A. Mencerahkan warna permukaan

Karakteristik perkerasan permukaan terdiri dari genteng merah, asbes, paving dan aspal. Merujuk pada referensi pada pembahasan sebelumnya, *cool roof*

dan *cool pavement* adalah *rules* model yang tepat untuk diterapkan. Perlu upaya meminimalisir suhu permukaan yang cukup tinggi pada perumahan non-formal karena direncanakan sebagai kawasan berkepadatan sedang. Lahan yang tergolong masih dalam tahap perkembangan *urban* perlu diantisipasi penggunaan material dengan warna gelap.

Tabel 4.54. Strategi adaptasi *albedo*

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Pelapisan atap dengan cat termokromik, pelapis <i>Phase Change Material (PCM)</i> , maupun cat putih biasa	Asbes	Fasilitas umum dan perdagangan jasa
		Genteng merah	Permukiman
2	<i>Pervement/paving</i> disiapkan berwarna putih	Paving jalan sekunder	Jalan
		Paving trotoar	

Sumber: Review (Hooverter, 2012; Mohajerani, 2017; Junjing Yang et al., 2018).

## B. Mengatur *Urban Skyline*

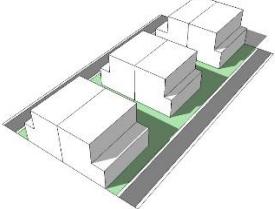
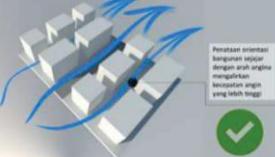
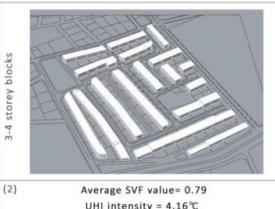
Tabel 4.55. Strategi adaptasi *building density*

No	Strategi adaptasi	Konsep	Penggunaan lahan
1	Pengembangan bangunan vertikal melalui transfer development right (TDR)	<p>Pengaturan <i>urban skyline</i>, dengan batas ketinggian maksimal 250m (KKOP)</p> <p>(Janesonia, 2019)</p> <p>(Kementrian ATR/BPN, 2019)</p>	permukiman

### C. Menetapkan hubungan antar bangunan

Hubungan antar bangunan akan berpengaruh terhadap interaksi *sky view factor* antar bangunan kecil. Angka *sky view factor* pada bangunan permukiman dengan kepadatan rendah berada sekitar 0,25-0,3. *Sky view factor* yang dihasilkan juga sangat beragam karena kawasan masih berupa sub-urban. Suhu meningkat pada daerah dengan pola persebaran bangunan tidak rapi, yakni pada kawasan permukiman non formal. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi angka tersebut adalah merencanakan bangunan baru agar dalam pembangunannya menggunakan kaidah keteraturan seperti bangunan permukiman formal.

Tabel 4.56. Strategi adaptasi *sky view factor*

No	Strategi adaptasi	Skema	Illustrasi
1	Hubungan antar bangunan kecil.	Pengembangan bangunan pada area permukiman dapat dilakukan vertikal dengan pertimbangan memiliki pola yang teratur. <i>(Chen et al., 2012; DPKTR Kota Surabaya, 2019)</i>	
2	Hubungan antar bangunan pertumbuhan baru	Grid secara rapi dan tetatur, memiliki sempadan      	  <p>Salvati et al. (2016)</p> <p><i>Sakar et al. (2019)</i></p>

### D. Pembatasan Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR) bangunan

Kepadatan bangunan yang rendah dikawasan ini di masa mendatang akan semakin padat, sesuai dengan arahan dokumen perencanaan. Pembatasan IPR perlu dipekuat agar pertumbuhan baru mampu menekan peningkatan suhu. Skema ini secara tidak langsung mampu meningkatkan area ruang terbuka yang dapat

dimanfaatkan sebagai RTH dalam memenuhi kebutuhan dokumentasi perencanaan lokal. Setiap luas kavling dan jenis penggunaan lahan memiliki kebutuhan IPR yang berbeda, berikut luasannya.

Tabel 4.57. Strategi adaptasi *building density*

No	Strategi adaptasi	Intensitas	Tata bangunan
1	Pembatasan IPR perdagangan dan jasa (Hartomo, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 80%</li> <li>- KLB maksimum: 1,8 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 meter</li> <li>- Tinggi bangunan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan 6-16m: 15m</li> </ul> </li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>
2	Pembatasan IPR fasilitas umum kesehatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 80%</li> <li>- KLB maksimum: 1,5 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 m</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 15 m</li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>
3	Pembatasan IPR permukiman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB bangunan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan <math>\geq 6m</math>: 70-80% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\geq 3 - 6m</math>: 80-90% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\leq 3</math>: 100% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> </ul> </li> <li>- KLB maksimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 70%: 1,4 poin</li> <li>• KDB 80%: 1,6 poin</li> <li>• KDB 90%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 100%: 2 poin</li> </ul> </li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60-90%: 10%</li> <li>• KDB 100% : 0%</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Jalan 2-4m: 2m</li> <li>b. Jalan <math>&gt;4-6m</math>: 3m</li> <li>c. Jalan <math>&gt;6m</math>: &gt;3m</li> </ul> </li> <li>- Tinggi bangunan maksimum yang diizinkan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60% : jalan <math>\geq 10m</math>: 15 meter jalan <math>&lt; 10</math> meter: 10m</li> <li>• KDB 70%-100%: 10m</li> </ul> </li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>

Sumber: Review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039; Urban Land Use Planning System in Japan 2015*)

#### E. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi

Tutupan permukaan lahan pada kategori 6 sebesar 60% terdiri dari *green space*, dan 12% berupa permukaan yang tertutup pohon skala kecil-sedang. Angka ini terbilang cukup tinggi karena merupakan kawasan sub-urban dengan pengembangan sebagai taman publik. Guna meminimalisir peningkatan suhu seiring perkembangan sub-urban maka pemanfaatan *open space* perlu dioptimalkan melalui peningkatan vegetasi. Umumnya suhu meningkat pada kawasan permukiman non formal dengan dominasi penutup permukaan tanah tandus.

Tabel 4.58. Strategi adaptasi *urban green space*

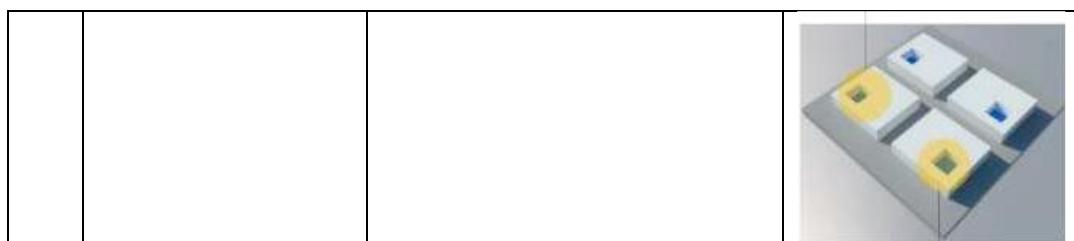
No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengoptimalan <i>green pathway</i> (Hooverter, 2012)	Jalur hijau 0,5m dengan orientasi menuju ke taman semakin tinggi kepadatannya. Apabila tidak tersedia lahan, pohon dapat dikembangkan di dalam media pot dan perdu	Koridor jalan lokal menuju ke arah taman
2	<i>green pavement</i> (Mohajerani, 2017)	<i>Porous</i> pavement pada area pekarangan	Fasilitas umum
		Fasilitas umum KDB >70%-90%, KDH 10% + 2 pohon	
		Fasilitas umum dengan KDB < 70%, KDH 30% + 3 pohon	
		<i>Porous</i> pavement pada trotoar yang mampu ditanami media rumput	
		Rumah besar > 500 m <sup>2</sup> : KDH 20% + 3 pohon	Permukiman
		Rumah besar 200m <sup>2</sup> -500m <sup>2</sup> , KDH 10% + 2 pohon	
3	<i>extensive green roof</i> (EPA, 2020)	Rumah kecil <200 m <sup>2</sup> , KDH 10% + 1 pohon	
		<i>Ekstensive</i> (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Fasilitas umum

#### F. Pengoptimalan kawasan sempadan sungai

*Water space* pada kategori 6 sangat minim, hanya tersedia saluran dengan lebar kurang lebih 1m. Perlu adanya pengoptimalan pada area taman berupa badan air agar menciptakan penghawaan lokal (Wijaya, 2017). Semakin kompleks penggunaan lahan pada kawasan tersebut berpengaruh terhadap efektifitas penekanan intensitas UHI (Alobaydi, 2016).

Tabel 4.59. Strategi adaptasi *urban water space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengembangan <i>waterspace</i>	Menciptakan area <i>waterspace</i> seperti kolam dan air mancur/air bergerak lainnya (Wijaya, 2017).	Taman
		Mengembangkan water space pada kavling bangunan (Janesonnia, 2019)	Permukiman



Gambar 4.61. Konsep perancangan kawasan taman harmoni  
Sumber: Wijaya, 2017

#### G. Meningkatkan performa bangunan dalam menurunkan thermal

Sama seperti adaptasi dari sisi albedo, material yang menjadi subject adaptasi thermal adalah atap dan jalan berpaving. Pada kategori yang cenderung berkembang ini pemilihan material seperti previous pavement dan aspal dapat menjadi solusi dalam menurunkan suhu dan penyerapan air. Menimbang kawasan ini memiliki tanah dengan kandungan air yang tinggi.

Tabel 4.60. Strategi adaptasi *thermal*

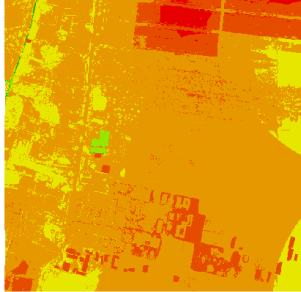
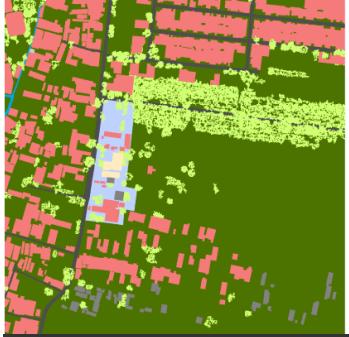
No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Meminimalisir penggunaan atap yang mampu menyerap panas berlebih (Hove et al., 2011)	Asbes dan genteng berwarna terang	Permukiman
2	<i>Pervious Pavement and asphalt</i> , (tipe trotoar yang dapat memudahkan air terserap ke tanah (Mohajerani, 2017 #264)	Paving yang dapat menyerap air	Koridor jalan lokal dan permukiman
		Aspal yang dapat menyerap air	

##### 4.5.6.5.2. Model konsep adaptasi

Karakteristik kategori 6 tidak seperti kategori kategori sebelumnya yang didominasi oleh lahan terbangun. Kategori ini merupakan konfigurasi perkotaan

yang saat ini sedang mengalami perkembangan paling pesat. Ailih fungsi dari lahan terbuka menjadi permukiman sangat *massive* terjadi pada kawasan ini. Konsep yang diadaptasi dari pola ruang dokumen RDTRK UP Kertajaya dapat diterapkan sebagai berikut:

Tabel 4.61. Model konsep adaptasi kategori 6

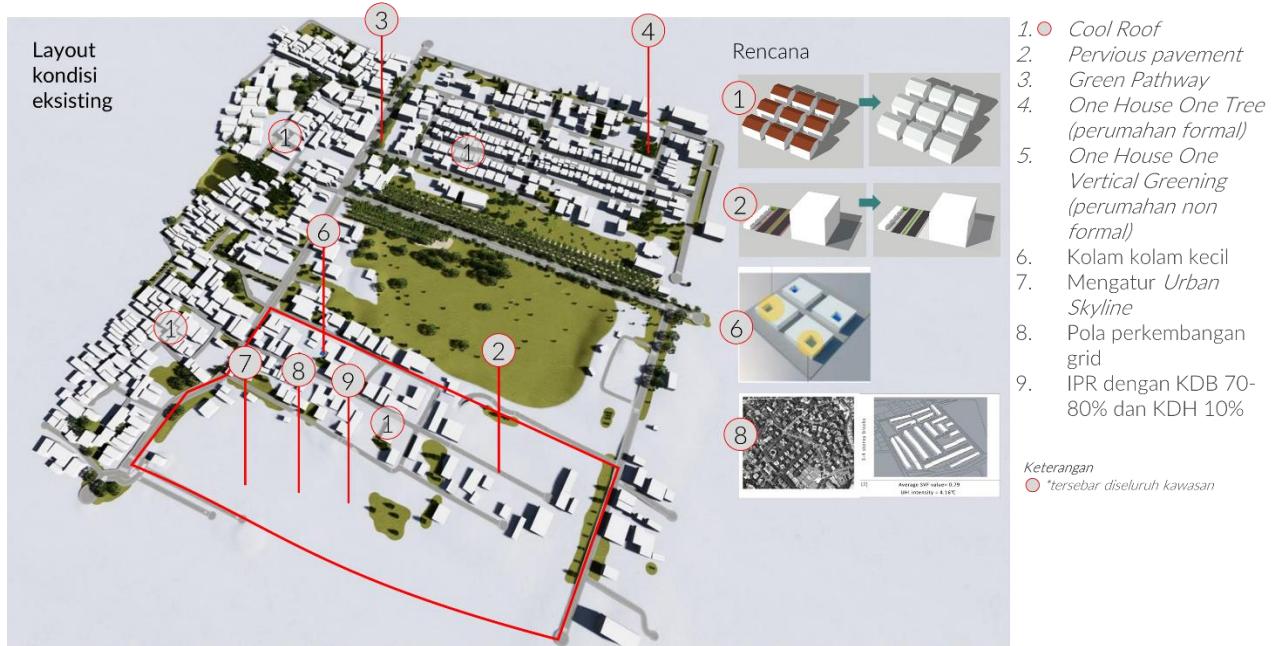
No	Eksisting	Konsep Adaptasi	Ket
1	<b>Model Regresi</b>  <p>Value</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>31.2</li> <li>≤ 31.5</li> <li>≤ 32</li> <li>≤ 32.5</li> <li>≤ 33</li> <li>≤ 33.5</li> <li>≤ 33.99</li> </ul> <p>Dominasi suhu: 32-33,5°C Suhu rata-rata: ±32,8°C</p>	 <p>Value</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>≤ 30.9</li> <li>≤ 31.5</li> <li>≤ 32</li> <li>≤ 32.5</li> <li>≤ 33</li> </ul> <p>Dominasi suhu: 31,5-32,5°C Suhu rata-rata: ±31,8°C.</p>	Mengalami penurunan suhu ±1°C
2	<b>Kondisi urban material (albedo-thermal)</b>  <p>Aspal Lama: 0.9 Ha Besi/seng: 0.003 Ha Beton: 0.54 Ha Genteng Abu-Abu: 0.32 Ha Genteng Merah: 5.4 Ha Genteng Putih/Gypsum: 0.07 Ha Pepohonan: 2.84 Ha Perairan: 0.03 Ha Rumput Basah</p>	 <p>Aspal Lama: 0.44 Ha Besi/seng Putih: 0.003 Ha Beton: 0.54 Ha Genteng Putih: 5.78 Ha Pepohonan: 5.67 Ha Perairan: 0.28 Ha Pervious Beton Cerah: 0.41 Ha Rumput Basah: 11.88 Ha</p>	Pengecatan atap menjadi berwarna cerah (putih) 100%, mengembangkan material <i>pervious</i> beton berwarna cerah pada lahan baru berkembang
3	<b>Kondisi urban green infrastructure (green dan blue space)</b>		

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- One House one tree</li> <li>- One house one vertical gardening.</li> <li>- Meningkatkan jalur hijau sebagai buffer menuju ke arah taman harmoni</li> </ul>
4	Kondisi urban geometry (mean building high)		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dikembangkan hingga 10m (2-3 lantai) pada kawasan pengembangan permukiman untuk membentuk urban skyline</li> </ul>
5	Kondisi urban geometry (sky view factor)		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membentuk pola grid pada lahan berkembang, dengan memperhatikan aturan GSB 3m</li> </ul>
6	Kondisi urban geometry (building density)		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempertahankan kepadatan lahan berkembang. Maksimal KDB 70-80%, dan KDH min 10%</li> </ul>

**Keterangan:**

1. Aspal berkurang 0,46 Ha karena permukaan sebagian besar ditutup oleh media vegetasi sedang-besar dengan tinggi 3-15 m yang tersebar bahu dan median jalan utama.

2. Pada lahan yang baru berkembang, jalan lingkungan ( **$\pm 1,6\%$**  lahan) dibuat *pervious pavement* dari bahan beton yang berwarna cerah. Selain menjadi alternatif dalam meminimalisir UHI, metode ini juga dapat menurunkan potensi banjir.
3. Pengecatan seluruh atap bangunan ( **$\pm 23\%$**  lahan) menjadi putih pada kawasan pengamatan. Hal ini setara mengembangkan 99% atap menjadi warna putih dari kondisi eksisting.
4. Meningkatkan intensitas permukaan tertutup pepohonan berupa *green path* sebesar 2,6 Ha pada buffer area (2km) dari pusat taman harmoni. Pengembangan melalui model buffer sebagai *green network* ini mengacu pada penelitian (C.Jhonson, 2015)
5. Menggalakan program *one house one tree* untuk permukiman formal. *One house one vertical greening* pada permukiman non formal khususnya pada area jalan utama.
6. Membangun kolam-kolam kecil berupa taman pada area permukiman baru, untuk menurunkan kondisi penghawaan.
7. Mengatur *urban skyline* pada lahan baru berkembang, dengan rata-rata ketinggian 10m (2 lantai).
8. Membentuk pola perkembangan lahan baru secara grid dengan memperhatikan aturan GSB 3m.
9. Mengembangkan lahan baru dengan kepadatan bangunan 70%, dengan intensitas KDB 70-80% dan KDH 10%.



Gambar 4.62. Konsep adaptasi kategori 6 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan

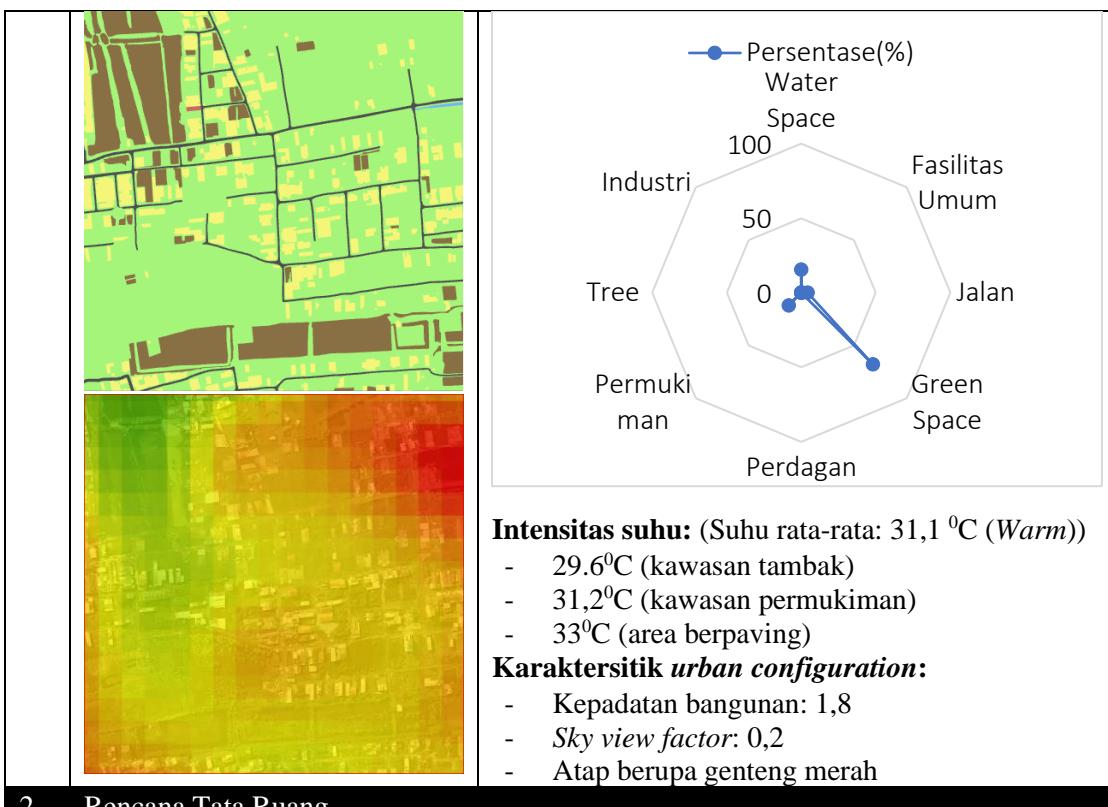
#### 4.5.6.6. Konsep adaptasi kategori 7 (Grid 29): Kawasan taman harmoni keputih

##### 4.5.6.6.1. Alternatif adaptasi relevan

Adapun alternatif adaptasi yang dapat diterapkan pada kategori berdasarkan pertimbangan gap analisis pada kategori 7 sebagai berikut:

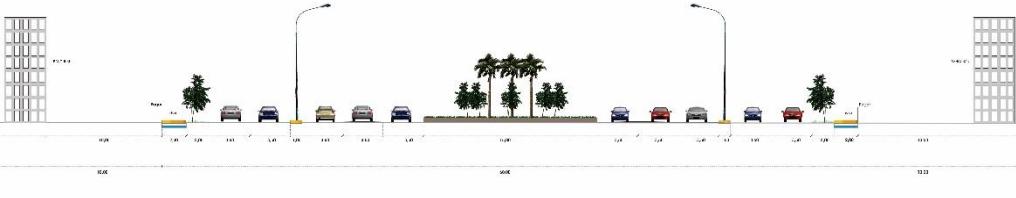
Tabel 4.62.Gap analisis kategori 7

No	Keterangan
1	<b>Kondisi Eksisting</b> <p><b>Dominasi tutupan lahan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permukiman (non-formal), dengan terdiri dari 1-3 lantai</li> <li>- Ruang terbuka hijau pada area permukiman</li> <li>- Jalan sekunder dengan vegetasi masih sangat minim</li> <li>- Tambak, dengan kondisi yang mulai mengering</li> </ul> 



2 Rencana Tata Ruang



		<p>disediakan adalah 3 pohon ditambah dengan perdu, semak serta rumput</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rumah besar <math>200\text{m}^2-500\text{m}^2</math>, minimal KDH 10% dengan jumlah pohon pelindung yang harus disediakan adalah 2 pohon (+perdu, semak serta rumput)</li> <li>- Rumah kecil <math>&lt;200 \text{ m}^2</math>, minimal KDH 10% dengan jumlah pohon pelindung yang harus disediakan adalah 1 pohon (+perdu, semak serta rumput)</li> <li>- Fasilitas umum dengan KDB <math>&gt;70\%-90\%</math> perlu memiliki minimal 2 (dua) pohon kecil atau sedang</li> <li>- Fasilitas umum dengan KDB <math>&lt; 70\%</math>, berlaku seperti persyaratan pada RTH pekarangan rumah</li> <li>- Fasilitas kesehatan bisa mengoptimalkan lahan parkir pada bahu jalan</li> </ul> <p>(RDTRK UP Kertajaya, 2019)</p>
		
3 Konsep adaptasi		
<p>Strategi adaptasi berdasarkan prioritas bobot</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Mempersiapkan warna cerah pada permukaan [variabel: <i>albedo</i>]</li> <li><i>Transfer development right (TDR)</i> [variabel: <i>mean building high</i>]</li> <li>Mengatur hubungan antar bangunan [variabel: <i>sky view factor</i>]</li> <li>Membatasi intensitas pemanfaatan ruang (IPR) [variabel: <i>building density</i>]</li> <li>Meningkatkan jalur hijau dan vegetasi [variabel: <i>urban greenspace</i>]</li> <li>Mempertahankan area resapan [variabel: <i>urban waterspace</i>]</li> <li>Meningkatkan performa bangunan [variabel: <i>thermal mass</i>]</li> </ol>		

#### A. Mencerahkan warna permukaan

Merujuk pada referensi pada pembahasan sebelumnya, *cool roof* dan *cool pavement* bisa diterapkan sebagai acuan pengembangan lahan yang akan terjadi. Intervensi pertumbuhan lahan dari adanya jalan JLLT perlu diimbangi dengan urban material yang tepat sasaran dan efisien. Maka pendekatan yang dapat diberikan adalah.

Tabel 4.63. Strategi adaptasi *mean building high*

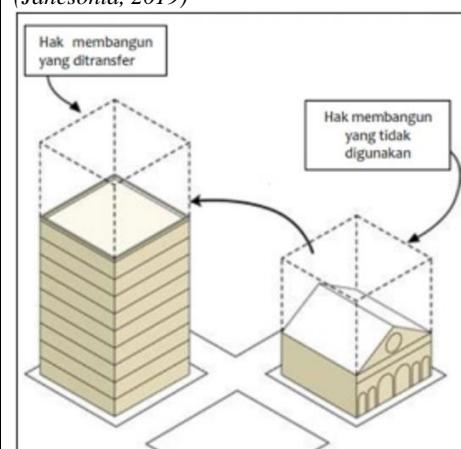
No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Pelapisan atap dengan cat termokromik, pelapis <i>Phase Change Material (PCM)</i> , maupun cat putih biasa	Genteng	Permukiman
2		Paving Area	Fasilitas umum

	<i>Pervement/paving</i> disiapkan berwarna putih	Paving Trotoar Paving Ruas jalan	Jalan sekunder
--	--	-------------------------------------	----------------

Sumber: Review (Hooverter, 2012; Mohajerani, 2017; Junjing Yang et al., 2018).

### b. Mengatur *urban skyline*

Tabel 4.64. Strategi adaptasi *mean building high*

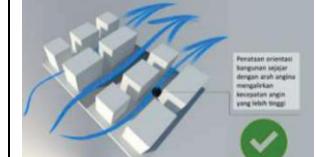
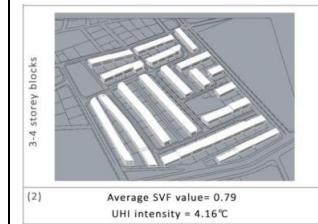
No	Strategi adaptasi	Konsep	Penggunaan lahan
1	Pengembangan bangunan vertikal melalui transfer development right (TDR)	<p>Pengaturan <i>urban skyline</i>, dengan batas ketinggian maksimal 250m (KKOP)</p>  <p>(Janesonia, 2019)</p>  <p>(Kementerian ATR/BPN, 2019)</p>	permukiman

### c. Menetapkan hubungan antar bangunan

Hubungan antar bangunan akan berpengaruh terhadap interaksi *sky view factor* antar bangunan kecil. Angka *sky view factor* pada bangunan skala kecil sekitar 0.2. *Sky view factor* yang pada daerah permukiman lebih tinggi dibandingkan pada area terbuka. Umumnya terjadi peningkatan suhu permukaan pada area tersebut.

Tabel 4.65. Strategi adaptasi *sky view factor*

No	Strategi adaptasi	Skema	Illustrasi
----	-------------------	-------	------------

1	Hubungan antar bangunan kecil.	Pengembangan bangunan pada area permukiman dapat dilakukan vertikal dengan pertimbangan memiliki pola yang teratur. <i>(Chen et al., 2012; DPCKTR Kota Surabaya, 2019)</i>	
3	Hubungan antar bangunan pertumbuhan baru	Grid secara rapi dan tetatur, memiliki sempadan        <i>(Sakar et al. (2019))</i>	  <i>(Salvati et al. (2016))</i>

#### d. Pembatasan Intensitas Pemanfaatan Ruang (IPR)

Kepadatan bangunan yang rendah dikawasan ini akan berubah menjadi kepadatan sedang di masa mendatang, sesuai dengan arahan dokumen perencanaan. Pembatasan IPR perlu dipekuat agar pertumbuhan baru mampu menekan peningkatan suhu. Setiap luas kavling dan jenis penggunaan lahan memiliki kebutuhan IPR yang berbeda, berikut luasannya.

Tabel 4.66. Strategi adaptasi *kepadatan bangunan*

No	Strategi adaptasi	Intensitas	Tata bangunan
1	Pembatasan IPR perdagangan dan jasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 80%</li> <li>- KLB maksimum: 1,8 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 meter</li> <li>- Tinggi bangunan: Lebar jalan 6-16m: 15m</li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>

2	Pembatasan IPR fasilitas umum	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB maksimum: 80%</li> <li>- KLB maksimum: 1,5 poin</li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: 10 %</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimal: 3 m</li> <li>- Tinggi bangunan maksimal: 15 m</li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>
3	Pembatasan IPR permukiman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- KDB bangunan <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebar jalan <math>\geq 6m</math>: 70-80% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\geq 3 - \leq 6m</math>: 80-90% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> <li>• Lebar jalan <math>\leq 3</math>: 100% (2 lantai) 60% (3 lantai)</li> </ul> </li> <li>- KLB maksimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 70%: 1,4 poin</li> <li>• KDB 80%: 1,6 poin</li> <li>• KDB 90%: 1,8 poin</li> <li>• KDB 100%: 2 poin</li> </ul> </li> <li>- KTB maksimum: 65%</li> <li>- KDH minimal: <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60-90%: 10%</li> <li>• KDB 100% : 0%</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GSB minimum: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Jalan <math>2-4m</math>: 2m</li> <li>b. Jalan <math>&gt;4-6m</math>: 3m</li> <li>c. Jalan <math>&gt;6m</math>: &gt;3m</li> </ul> </li> <li>- Tinggi bangunan maksimum yang diizinkan : <ul style="list-style-type: none"> <li>• KDB 60% : jalan <math>\geq 10m</math>: 15 meter jalan <math>&lt; 10m</math>: 10m</li> <li>• KDB 70%-100%: 10m</li> </ul> </li> <li>- Jumlah lantai <i>basement</i> maksimum: 1 lantai</li> </ul>

Sumber: Review (*Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039; Urban Land Use*

*Planning System in Japan 2015*)

#### d. Mengoptimalkan dan meningkatkan vegetasi

Tutupan permukaan lahan pada kategori 7 sebesar 67% tediri dari *green space*. Angka ini terbilang cukup tinggi karena merupakan kawasan sub-urban dengan dominasi lahan tambak. Guna meminimalisir peningkatan suhu karena adanya rencana pengembangan JLLT (jalur lingkar luar timur) Kota Surabaya maka pemanfaatan *open space* perlu dioptimalkan melalui peningkatan vegetasi. Umumnya suhu meningkat pada kawasan permukiman non formal dan lahan yang sedang disiapkan untuk pembangunan perumahan.

Tabel 4.67. Strategi adaptasi *urban green space*

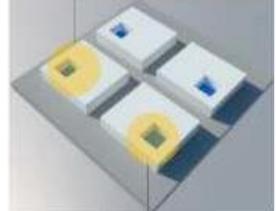
No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	Pengoptimalan <i>green pathway</i> (Hooverter, 2012)	Jalur hijau 0,5m. pohon dapat dikembangkan di dalam media pot dan perdu	Koridor jalan lokal
		Pohon dengan ketinggian 3-15m, dan berjarak 15m	Koridor jalan sekunder
2	<i>green pavement</i> (Mohajerani, 2017)	<i>Porous pavement</i> pada area pekarangan	Fasilitas umum
		Fasilitas umum KDB $>70\%-90\%$ , KDH 10% + 2 pohon	

		Fasilitas umum dengan KDB < 70%, KDH 30% + 3 pohon	
		Porous pavement pada trotoar yang mampu ditanami media rumput	Koridor jalan lokal
		Rumah besar > 500 m <sup>2</sup> : KDH 20% + 3 pohon	Permukiman
		Rumah besar 200m <sup>2</sup> -500m <sup>2</sup> , KDH 10% + 2 pohon	
		Rumah kecil <200 m <sup>2</sup> , KDH 10% + 1 pohon	
3	<i>extensive green roof</i> (EPA, 2020)	<i>Ekstensive</i> (sedum (tanaman bunga keras), herbal dan tanaman merambat)	Fasilitas umum

**e. Mempertahankan area resapan**

*Water space* pada kategori 6 sangat minim, hanya tersedia saluran dengan lebar kurang lebih 1m. Perlu dipertahankan adanya badan air berupa tambak dibagian sisi timur kawasan perkotaan. Selain itu, karena lahan ini merupakan daerah resapan maka untuk mengurangi resiko adanya banjir, perlu diciptakan kolam-kolam resapan air pada area permukiman. Semakin kompleks penggunaan lahan pada kawasan tersebut berpengaruh terhadap efektifitas penekanan intensitas UHI (Alobaydi, 2016).

Tabel 4.68. Strategi adaptasi *urban water space*

No	Strategi adaptasi	Keterangan	Penggunaan lahan
1	<i>Mempertahankan area resapan</i>	Membangun kolam-kolam resapan pada area ruang terbuka	Permukiman
		Mempertahankan area tambak dengan jalur hijau	Tambak
2	Pengembangan waterspace	Mengembangkan water space pada kavling bangunan (Janesonia, 2019)	Permukiman 

**f. Meningkatkan performa bangunan dalam menurunkan thermal**

Sama seperti adaptasi dari sisi albedo, material yang menjadi subject adaptasi thermal adalah atap dan jalan berpaving. Pada kategori yang cenderung berkembang ini pemilihan material seperti previous pavement dan aspal dapat

menjadi solusi dalam menurunkan suhu dan penyerapan air. Menimbang kawasan ini memiliki tanah dengan kandungan air yang tinggi.

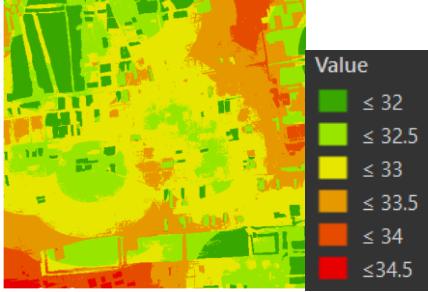
Tabel 4.69. Strategi adaptasi *thermal*

No	Strategi adaptasi	Material	Penggunaan lahan
1	Meminimalisir penggunaan atap yang mampu menyerap panas berlebih (Hove et al., 2011)	Asbes dan genteng berwarna terang	Permukiman
2	<i>Pervious Pavement and asphalt</i> , (tipe trotoar yang dapat memudahkan air terserap ke tanah (Mohajerani, 2017 #264)	Paving yang dapat menyerap air	Koridor jalan lokal dan permukiman
		Aspal yang dapat menyerap air	

#### 4.5.6.6.2. Model konsep adaptasi

Karakteristik kategori 7 hampir berdekatan dengan kategori 6. Perbedaannya merupakan kategori konfigurasi perkotaan yang direncanakan terjadi perkembangan yang pesat di masa mendatang. Akan terjadi alih fungsi dari lahan terbuka menjadi permukiman di masa mendatang. Konsep yang diadaptasi dari dokumen perencanaan RDTRK UP Rungkut dapat diterapkan sebagai berikut:

Tabel 4.70. Model konsep adaptasi kategori 7

No	Eksisting	Konsep Adaptasi	Ket
1	<b>Model Regresi</b>  Dominasi suhu: 31-34,5°C Suhu rata-rata: ±32,6°C	 Dominasi suhu: 31-33°C Suhu rata-rata: ±31,6°C	Mengalami penurunan suhu ±1°C
2	<b>Kondisi urban material (albedo-thermal)</b> 		Bangunan baru perlu memiliki atap putih, atau sekitar 70% lahan memiliki atap putih. Pengembangan material jalan lingkungan <i>pervious</i> beton

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspal Lama: 1 Ha</li> <li>Genteng Abu-Abu: 0.01 Ha</li> <li>Genteng Merah: 2.06 Ha</li> <li>Genteng Putih: 0.71 Ha</li> <li>Pepohonan: 0.2 Ha</li> <li>Perairan: 5 Ha</li> <li>Rumput Basah: 15.8 Ha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aspal Baru: 1.1 Ha</li> <li>Aspal Lama: 0.9 Ha</li> <li>Genteng Abu-Abu: 0.01 Ha</li> <li>Genteng Merah: 2.06 Ha</li> <li>Genteng Putih: 6.29 Ha</li> <li>Pepohonan: 5.14 Ha</li> <li>Perairan: 1 Ha</li> <li>Pervious Beton: 0.75 Ha</li> <li>Rumput Basah: 7.85 Ha</li> </ul>	cerah ( <b>0,75 Ha</b> ) pada lahan baru berkembang
3	Kondisi <i>urban green infrastructure</i> ( <i>green</i> dan <i>blue</i> space)		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>One House one tree</i></li> <li>- Membangun green path way pada jalan utama (JLLT)</li> </ul>
4	Kondisi <i>urban geometry</i> ( <i>mean building high</i> )		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dikembangkan 15m pada koridor jalan utama, 10 m pada layer transisi dan 5 pada layer permukiman untuk membentuk <i>urban skyline</i></li> </ul>
5	Kondisi <i>urban geometry</i> ( <i>sky view factor</i> )		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membentuk pola grid pada lahan berkembang, dengan memperhatikan aturan GSB 3m</li> </ul>
6	Kondisi <i>urban geometry</i> ( <i>building density</i> )		



**Keterangan:**

1. Aspal baru bertambah 1,1 Ha karena pembangunan JLLT.
2. Pada jalan lingkungan yang baru dibangun, seluas 0,75 Ha (**±2,9%**) lahan dibuat *pervious pavement* dari bahan beton yang berwarna cerah. Metode ini untuk mempertahankan kapabilitas kawasan sebagai area resapan.
3. Diperkirakan akan terdapat 6,3 Ha (**±25%** lahan) area bangunan baru, pada bangunan tersebut dapat disiapkan model atap/genteng menjadi warna putih. Tanpa mengintervensi bangunan eksisting.
4. Meningkatkan intensitas permukaan tertutup pepohonan berupa *green path* sebesar 5,14 Ha.
5. Menggalakan program *one house one tree* maupun area RTH untuk permukiman formal dengan total luas 7,85 Ha (31% lahan).
6. Mempertahankan beberapa lokasi perairan (5 titik lokasi) untuk difungsikan juga sebagai area resapan.
7. Mengembangkan prinsip *urban skyline* mulai dari daerah jalan utama setinggi 15m, hingga pada daerah permukiman 5m.
8. Membentuk pola perkembangan lahan baru secara grid dengan memperhatikan aturan GSB 3m.
9. Mengembangkan lahan baru dengan kepadatan bangunan 60%, dengan intensitas KDB 60-80% dan KDH min 10%.



Gambar 4.63. Konsep adaptasi kategori 7 berdasarkan layout kondisi eksisting kawasan

Dari pembahasan analisis konsep yang telah dirumuskan diatas, dapat diidentifikasi bahwa kondisi *urban configuration* menentukan konsep adaptasi yang diterapkan. Pada kategori 2 hingga 7, pada umumnya konsep adaptasi yang tepat adalah *cool roof* dengan ditunjang vegetasi melalui program *one house one tree*, maupun *one house one vertical greening* pada kawasan padat. Istilah kedua konsep dalam mengatasi suhu permukaan tersebut dikenal dengan istilah *white and green city* (Lloyd, 1997; Junjing Yang et al., 2018). Selain itu menerapkan pengembangan ketinggian bangunan yang berorientasi pada *urban skyline* juga efektif untuk meminimalisir peningkatan suhu. Menurut Janesonia (2019) ketinggian bangunan yang semakin rendah pada ujung blok akan meminimalisir peningkatan suhu. Hal tersebut terjadi karena suhu tidak terperangkap oleh geometry bangunan dan sirkulasi udara yang baik.

Pada kategori 4 sebagai kawasan industri pendekatan yang digunakan sedikit berbeda. Karena dominasi bangunan difungsikan sebagai gudang maka pengoptimalan hanya dapat dilakukan melalui *cool roof* dan peningkatan RTH pada area perkantoran dan koridor jalan. Untuk *urban geometry*, pendekatan yang digunakan bukan berdasarkan dokumen perencanaan. Menimbang kondisi

eksisting saat ini telah terjadi alih fungsi dari pergudangan menjadi perumahan. Sehingga ketika terjadi pengembangan perumahan, kawasan tersebut dapat ditingkatkan ketinggiannya 1 lantai sesuai kaidah urban *skyline*.

Pendekatan pada kategori 6 dan 7 juga sedikit berbeda. Hal ini dikarenakan 2 kategori tersebut merupakan kawasan pertumbuhan lahan terbangun di Surabaya Timur. Pada kategori 6 merupakan kawasan yang saat ini dengan mengalami pertumbuhan lahan terbangun. Sedangkan kategori 7 merupakan kawasan yang diproyeksikan pada masa mendatang akan mengalami pertumbuhan yang cukup pesat karena faktor pendorong alih fungsi lahan. Kategori 6 dan 7 dapat diterapkan pendekatan berupa pembentukan kawasan berpola grid dengan sempadan 3 m antar bangunan. Tujuannya agar tercipta sirkulasi udara panas yang cukup baik. Pada kategori 7 tidak perlu mengubah kondisi lahan eksisting eksisting namun perlu menyiapkan *cool roof* dan *cool pavement* pada lahan yang akan berkembang.

Dari penjabaran tersebut dapat diketahui bahwa pada kategori 2,3,4, dan 5 diperlukan adaptasi suhu yang efisien dalam mengatasi permasalahan kepadatan bangunan (Liang, 2020). Sedangkan pada kategori 6 dan 7 perlu dipertimbangkan *infill development* berbasis grid pada lahan kosong agar mampu meminimalisir pertumbuhan suhu di masa mendatang. Merujuk penelitian Salvati et al. (2016) mempertegas bahwa pola bentuk morfologi kota yang efektif dalam meminimalisir suhu adalah pola grid dan menjaga jarak antara bangunan. Sehingga nilai *sky view factor* dapat terdistribusi secara merata (Ratti, Raydan, & Steemers, 2003).

#### **4.5.7. Matriks pentahapan dan struktur adaptasi UHI**

Hasil dari analisis konsep, masing-masing kategori memiliki pendekatan adaptasi yang berbeda berda. Mulai dari kepadatan tinggi hingga kawasan suburban dengan bangunan berkepadatan rendah. Didukung dari penelitian Alobaydi (2016) menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang semakin *compact* dapat menekan intensitas UHI. Maka pengembangan antara *urban material* dan *green infrastructure* dapat menjadi solusi bagi perkotaan berkepadatan tinggi. Sedangkan pengaturan *urban geometri* melalui regulasi dapat menekan kepadatan tinggi baik

secara vertikal maupun horizontal. Pengalokasian ruang sempadan antar bangunan menjadi faktor pendukung dalam hal ini. Berikut matrik pentahapan dan struktur adaptasi UHI pada masing masing klasifikasi *urban configuration*.

Tabel 4.71.Matriks skema pentahapan UHI

No	Klasifikasi	Skema adaptasi	Timeframe			Jangka Panjang
			Jangka Pendek	Jangka Menengah		
1	Kategori 2	Cool Roof ( $\pm 34\%$ )				
2		Cool Pavement (18%)				
3		Reflective pavement ( $\pm 7,3\%$ )				
4		Mengatur Urban Skyline (7 » 25m dan 24»40m)				
5		White jogging track material				
6		one house one tree (23%)				
7		Vertical greening (2x2m)				
8		Pembebasan lahan sempadan sungai (3m)				
9		Instalasi badan air (100m <sup>2</sup> )				
1	Kategori 3	Cool roof (52%)				
2		Cool Pavement (14%)				
3		White paper roof (2,5%)				
4		Green Pathway (10%)				
5		Mengatur Urban Skyline (10-25 m)				
6		One house one vertical / extensive greening (14%)				
1	Kategori 4	Cool Roof (44,9%) > White paper roof (ketika ada perbaikan)				
2		Cool Pavement (11%)				
3		Green Pathway (23,3%)				
4		Extensive green roof (0,3%)				
5		Bozem (0,05%)				
6		Mengatur Urban skyline +1 lantai				
1	Kategori 5	Cool roof (48,6%)				
2		Cool Pavement (6,4%)				
3		Green pathway (8%)				
4		One house one tree (perumahan formal) (10%)				
5		One house one vertical greening (perumahan non formal) (12%)				
6		Mengatur urban skyline 2-3 lantai				

Klasifikasi Adaptasi Klimatik							
No	Kategori	Metode Adaptasi					
		1	2	3	4	5	6
1	Kategori 6	Cool roof (23%)					
2		Pervious Pavement (1,6%)					
3		Green pathway (12%)					
4		One house one tree (perumahan formal) (8%)					
5		One house one vertical greening (perumahan non formal di jalan utama) (2%)					
6		Mengatur urban skyline 2 lantai					
7		Membentuk pola grid (GSB >3m)					
8		Kepadatan bangunan baru 70% (KDB 70-80% dan KDH 10%)					
9		Membangun kolam kecil (1,1%)					
1	Kategori 7	Cool roof (25%)					
2		Pervious Pavement (2,9%)					
3		Green pathway (20%)					
4		One house one tree (31%)					
5		Mengatur urban skyline 1-3 lantai (5-15m)					
6		Membentuk pola grid (GSB >3m)					
7		Kepadatan bangunan baru 60% (KDB 60-80% dan KDH 10%)					
8		Mempertahankan 5 kolam kecil (3,9%)					

#### Keterangan

● \*adaptasi diterapkan pada saat lahan sudah berkembang

Dalam kurun waktu jangka pendek konsep adaptasi yang berorientasi pada *urban green infrastructure* dan *urban material* merupakan metode yang paling mudah untuk diterapkan. Didukung penelitian Richardson (2007) bahwa *urban green* dan *cool material* dianggap efektif karena permasalahan keterbatasan lahan. Untuk kurun waktu jangka menengah, konsep adaptasi melalui penggantian material dengan albedo rendah dengan material ber albedo lebih tinggi. Metode ini dapat dilakukan pada saat dilakukan perbaikan material banguna, seperti mengganti seng yang sudah berkarat dengan *white paper roof* (Hove et al., 2011). Selain itu estimasi pada jangka menengah pengalokasian instalasi air dan pengoptimalan sungai juga cukup relevan untuk direncanakan. Hal ini sesuai pada penelitian Jacobs et al. (2020) bahwa aliran air memiliki efek pendinginan yang lebih besar daripada air biasa. Terakhir pada jangka panjang, manajemen *urban geometry*

menjadi adaptasi yang dapat diterapkan melalui pengaturan *sky view factor*, dan pola morfologi secara grid (Ratti, Raydan, Steemers, et al., 2003).

## PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian adalah:

1. Fenomena UHI di kawasan Surabaya Timur memiliki deviasi  $1,59^{\circ}\text{C}$  dibandingkan kawasan disekitarnya, dengan peningkatan  $0,3^{\circ}\text{C}$  selama 20 tahun terakhir. Dilihat dari pola distribusi spasialnya, perubahan UHI mengalami inkonsistensi setiap 5 tahun sekali. Sehingga penelitian ini mendukung temuan X. Liu et al. (2020), dimana pengamatan secara *spatial temporal* sangat diperlukan untuk menjawab *fluktuasi* perubahan suhu yang terjadi dan mengamati pusat-pusat pertumbuhannya. Diketahui bahwa pola distribusi suhu permukaan secara *cluster* tertinggi berada pada kawasan industri SIER dan sekitarnya.
2. Karakteristik *urban configuration* di kawasan Surabaya Timur terdiri dari kategori 2, 3, 4, 5, 6, dan 7. Perbedaan kategori ini dipengaruhi oleh kepadatan bangunan, *sky view factor* dan jenis permukaan lahan. Gambaran klasifikasi ini juga memberikan informasi distribusi perkotaan di Surabaya Timur. Kategori ke-5 atau perkotaan kepadatan sedang sangat mendominasi di kawasan penelitian. Sedangkan pada kategori-6 dan 7 merupakan daerah yang paling sering mengalami inkonsistensi nilai UHI. Hal ini dikarenakan pertumbuhan lahan terbangun yang *massive* terjadi pada kategori tersebut. Sehingga, kondisi *urban configuration* menjadi pertimbangan dalam merumuskan adaptasi.
3. Variabel yang mempengaruhi UHI diantaranya *urban greenspace (UG)*, *urban blue space (UB)*, *building density (BD)*, *mean building high (MBH)*, *sky view factor (SVF)*, *albedo radiance* dan *thermal admittance*. *Albedo* menjadi variabel dengan tingkat pengaruh yang paling tinggi (**1.77**) terhadap UHI, sedangkan *thermal* merupakan variabel dengan pengaruh paling kecil (**0.000041**). Hasil *regresi* menunjukkan bahwa variabel penelitian memiliki nilai signifikansi tinggi ( $p<0,01$ ). Namun nilai  $R^2$  (*R-square*) hanya 29%, sisanya dipengaruhi oleh variabel lain. Dimungkinan

71% faktor yang mempengaruhi UHI diakibatkan oleh *microclimate effect*, *social characteristics*, dan *air quality*.

4. Konsep adaptasi UHI pada kategori 2,3,4, dan 5 perlu mempertimbangkan kepadatan bangunan dan *sky view factor*. Karena lahan yang terbatas maka penerapan cool roof, cool pavement, reflective roof, green pathway, one house one vertical greening hingga pengembangan bangunan vertical sesuai prinsip *urban skyline* menjadi alternatif dalam meminimalisir UHI. Sedangkan pada kateg 6 dan 7 perlu dipertimbangkan *infill development* berbasis grid pada lahan kosong dan bangunan vertikal sesuai prinsip *urban skyline*. Sehingga nilai *sky view factor* terdistribusi secara merata.

## 5.2 Saran

Saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini adalah:

1. Pada prinsipnya UHI dibedakan menjadi meso, lokal dan makro. Karena batasan penelitian adalah skala lokal, maka diperlukan penelitian bersifat meso/mikro untuk lebih mendetailkan teknis dalam adaptasi UHI. Khususnya pada kawasan dengan nilai autokorelasi kuadaran I (*high-high*). Dimana lokasi ini memiliki nilai UHI yang cukup tinggi dengan dikelilingi nilai UHI yang cukup tinggi disekitarnya. Ketika menganalisa pada skala yang lebih kecil (mikro), maka LST yang digunakan juga harus memiliki ukuran raster yang cukup detail. Point ini nanti dapat menjadi rekomendasi bagi penelitian bidang perancangan kota.
2. Melihat dari skala penelitian yang masih cukup luas maka perlu dialokasikan lokasi prioritas dalam adaptasi UHI. Lokasi prioritas adaptasi dapat menekan peningkatan UHI hingga kawasan sekitarnya (Richardson, 2007). Sehingga *treatment* dapat diberlakukan secara berluang untuk memecah pemusatan suhu.
3. Apabila kasusnya bukan adaptasi melainkan lebih ke mitigasi maka, perlu dilakukan eksplorasi variabel lain yang mendukung. Mengingat  $R^2$  regresi hanya 29%, maka dalam memenuhi 71% sisanya diperlukan penambahan variabel pada pengembangan penelitian berikutnya. Dalam hal ini misalnya

adalah *urban function*, dengan variablenya terdiri dari emisi dan aktivitas manusia.

4. Secara teori semua penelitian dapat dilakukan validasi lapangan. Sehingga perlu dipertimbangkan penerapan validasi *in-situ* dalam melengkapi kekurangan penelitian ini. Hal ini dikarenakan adanya isu permasalahan *pandemic global* menjadi batasan penelitian saat ini.
5. Perlu dilakukan simulasi uji sensitivitas berdasarkan *cost benefit analysis* pada masing-masing konsep adaptasi. Pengujian ini ditujukan untuk mengestimasi manfaat dan biaya terhadap perubahan parameter-parameter variabel secara optimal. Hal ini ditujukan untuk mengetahui skenario baik ukuran maupun model yang tepat dalam implementasi adaptasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrams, M. H., Simon; Ramachandran, Bhaskar. (2002). ASTER user handbook. *J Pasadena, CA: Jet Propulsion Laboratory*, 45-54.
- Abreu-Harbich, L. V. L., Lucila C; Matzarakis, Andreas. (2014). Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *J Theoretical applied climatology*, 115(1-2), 333-340.
- Adger, W. N. A., Nigel W; Tompkins, Emma L (2005). Successful adaptation to climate change across scales. *J Global environmental change*, 15(2), 77-86.
- Afiq, W. A., CS Nor; Saqr, KM (2012). Effects of buildings aspect ratio, wind speed and wind direction on flow structure and pollutant dispersion in symmetric street canyons: a review. *J International Journal of Mechanical Materials Engineering*, 7(2), 158-165.
- Agathangelidis, I. C., Constantinos; Santamouris, Mat. (2019). Integrating Urban Form, Function, and Energy Fluxes in a Heat Exposure Indicator in View of Intra-Urban Heat Island Assessment and Climate Change Adaptation. *J Climate*, 7(6), 75.
- Ahmadian, A. S. (2016). Chapter 8 - Design Model Development and Analysis. In A. Sharif Ahmadian (Ed.), *Numerical Models for Submerged Breakwaters* (pp. 127-143). Boston: Butterworth-Heinemann.
- Aktas, Y. D. S., Jenny; Carruthers, David; Hunt, Julian. (2017). A sensitivity study relating to neighbourhood-scale fast local urban climate modelling within the built environment. *J Procedia engineering*, 198, 589-599.
- Alexander, P. J., & Mills, G. J. A. (2014). Local climate classification and Dublin's urban heat island. 5(4), 755-774.
- Alobaydi, D. B., Mohammed A; Obeidat, Bushra. (2016). The impact of urban form configuration on the urban heat island: the case study of Baghdad, Iraq. *J Procedia engineering*, 145, 820-827.
- Archer, D., Almansi, F., DiGregorio, M., Roberts, D., Sharma, D., Syam, D. J. C., & Development. (2014). Moving towards inclusive urban adaptation: approaches to integrating community-based adaptation to climate change at city and national scale. 6(4), 345-356.
- Arifah, N. C., Susetyo (2018). Penentuan Prioritas Ruang Terbuka Hijau berdasarkan Efek Urban Heat Island di Wilayah Surabaya Timur. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 7.
- Arnfield, A. J. J. I. J. o. C. a. J. o. t. R. M. S. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. 23(1), 1-26.
- Avner, P. R., Jun; Hallegatte, Stephane. (2014). *Carbon price efficiency: Lock-in and path dependence in urban forms and transport infrastructure*: The World Bank.
- Benza, M. W., John R; Stow, Douglas A; Lopez-Carr, David; Clarke, Keith C. (2016). A pattern-based definition of urban context using remote sensing and GIS. *J Remote sensing of environment*, 183, 250-264.

- Biesbroek, G. R. S., Rob J Van der Knaap, Wim GM (2009). The mitigation–adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *J Habitat international*, 33(3), 230-237.
- C.Jhonson. (2015). Green Network: A Solution to the Urban Heat Island Effect. In W. F. F.-E. C.A. Brebbia (Ed.), *The Sustainable City X* (Vol. 194). WIT Transaction on Ecology and the Environtment: WIT Press.
- Cai, Z. H., Guifeng; Chen, Mingchun. (2018). Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature? *J Sustainable cities society*, 39, 487-498.
- Campbell, S. R., Tomas A; White, Christopher J; Johnston, Fay H (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *J Health Place*, 53, 210-218.
- Cao, C., Li, XH; Zhang, M; Liu, SD; Xu, JP. (2017). Correlation Analysis of the Urban Heat Island Effect and Its Impact Factors in China. *J Huanjing kexue*, 38(10), 3987-3997.
- Chastain, R. H., Ian; Goldstein, Joshua; Finco, Mark; Tenneson, Karis. (2019). Empirical cross sensor comparison of Sentinel-2A and 2B MSI, Landsat-8 OLI, and Landsat-7 ETM+ top of atmosphere spectral characteristics over the conterminous United States. *J Remote sensing of environment*, 221, 274-285.
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., & He, Z. J. I. J. o. C. (2012). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. 32(1), 121-136.
- Colton, J., & Bower, K. M. (2002). Some Misconceptions About R-Square. 3.
- Coutts, A. M., Harris, R. J., Phan, T., Livesley, S. J., Williams, N. S. G., & Tapper, N. J. (2016). Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning. *Remote Sensing of Environment*, 186, 637-651.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.007>
- Craven, B. I., Sardar MN. (2011). *Ordinary least-squares regression*: Sage Publications.
- De, B. M., Mahua. (2018). Optimisation of canyon orientation and aspect ratio in warm-humid climate: Case of Rajarhat Newtown, India. *J Urban Climate*, 24, 887-920.
- Dionysius S, B., Bangun Mulyo Sukotjo., Udiana Wahyu D. (2013). Analisa Relasi Perubahan Tutupan Lahan dan Suhu Permukaan Tanah Di Kota Surabaya Menggunakan Citra Satelit Multispektral Tahun 1994 – 2012. *Jurnal Teknik Geomatika, Pomits Vol. 2*.
- Dirksen, M., Ronda, R., Theeuwes, N., & Pagani, G. J. U. C. (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. 30, 100498.
- DPCKTR Kota Surabaya. (2019). *Rencana Tata Bangunan dan Lingkungan (RTBL) Koridor Jl.Tunjungan Kota Surabaya*.
- Duan, S.-B., Li, Z.-L., & Leng, P. (2017). A framework for the retrieval of all-weather land surface temperature at a high spatial resolution from polar-orbiting thermal infrared and passive microwave data. *J Remote sensing of environment*, 195, 107-117.

- Duan, S.-B., Li, Z.-L., Li, H., Götsche, F.-M., Wu, H., Zhao, W., . . . Coll, C. J. R. s. o. e. (2019). Validation of Collection 6 MODIS land surface temperature product using in situ measurements. *225*, 16-29.
- Duan, S.-B., Li, Z.-L., Wu, H., Leng, P., Gao, M., Wang, C. J. I. j. o. a. e. o., & geoinformation. (2018). Radiance-based validation of land surface temperature products derived from Collection 6 MODIS thermal infrared data. *70*, 84-92.
- EPA. (2008). Learn About Urban Heat Island.
- EPA. (2012a). *Heat Island Compendium*. <https://www.epa.gov>: United States Environmental Protection Agency.
- EPA. (2012b). *Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies- Urban Heat Island Basics*. Retrieved from
- EPA. (2020). Using Green Roofs to Reduce Heat Islands. Retrieved from <https://www.epa.gov/heat-islands/using-green-roofs-reduce-heat-islands>
- Ermida, S. L., Trigo, I. F., DaCamara, C. C., Götsche, F. M., Olesen, F. S., & Hulley, G. J. R. S. o. E. (2014). Validation of remotely sensed surface temperature over an oak woodland landscape—The problem of viewing and illumination geometries. *148*, 16-27.
- Esri. (2016a). How Filter works.
- Esri. (2016b). Performing cross-validation and validation. *Cross Validation*.
- ESRI. (2020a). Exploratory Regression (Spatial Statistics). *Modeling Spatial Relationships toolset*.
- ESRI. (2020b). Ordinary Least Squares (OLS) (Spatial Statistics). *Modeling Spatial Relationships toolset*.
- ESRI. (2020c). R-squared. Retrieved from <https://support.esri.com/en/other-resources/gis-dictionary/term/c3af308e-dca3-488a-9990-e538e671e57e>
- Esri. (2020d). Regression analysis basics. *Modeling Spatial Relationships toolset concepts*. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/regression-analysis-basics.htm>
- ESRI. (2020e). What is Lidar data and where can I download it? Retrieved from [https://www.usgs.gov/faqs/what-lidar-data-and-where-can-i-download-it?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-lidar-data-and-where-can-i-download-it?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products)
- ESRI. (2020f). What is lidar data? Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/what-is-lidar-data-.htm>
- Fan, J.-s. Z., Lin. (2018). Impact of urbanization and real estate investment on carbon emissions: Evidence from China's provincial regions. *Journal of Cleaner Production*.
- Fawzi, N. I. J. M. I. G. (2017). Mengukur Urban Heat Island Menggunakan Penginderaan Jauh, Kasus Di Kota Yogyakarta. *19*(2), 195-206.
- Flynn, L., Wright, R., Garbeil, H., Harris, A., Pilger, E. J. A. i. E. M., & Modelling. (2002). A global thermal alert system using MODIS: initial results from 2000–2001. *1*(1), 37-69.
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., Ordóñez, J. . (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *25*, 749–758. doi:doi:10.1016/j.rser.2013.05.057

- Garschagen, M. (2014). *Risky change? Vulnerability and adaptation between climate change and transformation dynamics in Can Tho City, Vietnam* (Vol. 15): Stuttgart: Steiner.
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. USA: Earthscan.
- Gartland, L. (2010). Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. *Routledge*.
- Gomis-Cebolla, J. J., Juan Carlos; Sobrino, José Antonio. (2018). LST retrieval algorithm adapted to the Amazon evergreen forests using MODIS data. *J Remote sensing of environment*, 204, 401-411.
- Göttsche, F.-M. O., Folke-Sören; Bork-Unkelbach, Annika. (2013). Validation of land surface temperature derived from MSG/SEVIRI with in situ measurements at Gobabeb, Namibia. *J International Journal of Remote Sensing Earth Sciences*, 34(9-10), 3069-3083.
- Govil, H. G., Subhanil; Dey, Anindita; Gill, Neetu. (2019). Seasonal evaluation of downscaled land surface temperature: A case study in a humid tropical city. *J Heliyon*, 5(6), e01923.
- Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods*: John Wiley & Sons.
- Guha, S. G., Himanshu; Dey, Anindita; Gill, Neetu. (2018). Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy. *J European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 667-678.
- Guillevic, P., Göttsche, F., Nickeson, J., Hulley, G., Ghent, D., Yu, Y., . . . Remedios, J. J. B. P. f. S.-D. L. P. V. (2017). Land surface temperature product validation best practice protocol. Version 1.0. 60.
- Guo, G., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., Liu, X., Zhang, X. J. L., & Planning, U. (2015). Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. 135, 1-10.
- Hall, L. J. K. S. F. J. (2014). Managing climate risks to well-being and the economy. *J Adaptation Sub Committee Progress Report*.
- Hamin, E. M., & Gurran, N. J. H. i. (2009). Urban form and climate change: Balancing adaptation and mitigation in the US and Australia. 33(3), 238-245.
- Hang, J. S., Mats; Li, Yuguo; Claesson, Leif (2010). Flow mechanisms and flow capacity in idealized long-street city models. *J Building environment*, 45(4), 1042-1053.
- Hartomo, K. D. J. T. (2006). Implementasi Metode Interpolasi Linear Untuk Pembesaran Resolusi Citra. 11(3).
- Herath, H. H., RU; Jayasinghe, GY. (2018). Evaluation of green infrastructure effects on tropical Sri Lankan urban context as an urban heat island adaptation strategy. *J Urban Forestry Urban Greening*, 29, 212-222.
- Hermawan, E. J. J. C. W. E. (2015). Fenomena Urban Heat Island (UHI) Pada Beberapa Kota Besar di Indonesia Sebagai Salah Satu Dampak Perubahan Lingkungan Global. 7(1), 33-45.
- Hove, L. W. A. V., Steeneveld;, G. J., Jacobs;, C. M. J., Heusinkvled;, B. G., Elbers;, J. A., E.J.Moors;, & Holtslag, A. A. M. (2011). *Eksploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch Cities*. Retrieved from
- Hooverter, S. P. (2012). Adapting to urban heat: a tool kit for local governments. *J Georgetown Climate Center*.

- Howard, L. (1833). *THE CLIMATE OF LONDON*: International Association for Urban Climate.
- Howard, L. (1833). *The Climate of London: Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places around It*. Retrieved from London.:
- Hulley, G. C., & Hook, S. J. (2012). A radiance-based method for estimating uncertainties in the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) land surface temperature product. *J Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D20).
- Huong, H. T. L. P., Assela. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *J Hydrology Earth System Sciences*, 17(1), 379-394.
- IPCC. (2019). *Climate Change and Land*. Retrieved from Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA:
- Jacobs, C., Klok, L., Bruse, M., Cortesão, J., Lenzholzer, S., & Kluck, J. J. U. C. (2020). Are urban water bodies really cooling? , 32, 100607.
- Jamei, Y., Rajagopalan, P., & Sun, Q. C. J. S. o. t. T. E. (2019). Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne, Australia. 659, 1335-1351.
- Jamei, Y. R., Priyadarsini; Sun, Qian Chayn. (2019). Spatial structure of surface urban heat island and its relationship with vegetation and built-up areas in Melbourne, Australia. *J Science of The Total Environment*, 659, 1335-1351.
- Jandaghian, Z. B., Umberto. (2020). Analysis of the cooling effects of higher albedo surfaces during heat waves coupling the Weather Research and Forecasting model with building energy models. *J Energy buildings*, 207, 109627.
- Janesonia, K. I. (2019). *Kajian Penyusunan Prinsip Perancangan dari Aspek Kenyamanan Thermal pada Iklim lembab tropis, Studi Kasus: Kota Surabaya pada Tipe Area Highrise Building, Midrise Building dan Lowrise Building*. (S2 Kenyamanan Kermal, Highrise Building, Midrise Building, Lowrise Building), Insitut Teknologi Bandung, Perpustakaan Digital ITB. Retrieved from <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/40933> (25616003)
- Jatayu, A. (2018). *Analisis Autokorelasi spasial pada tingkat kriminalitas provinsi jawa timur menggunakan indeks morans*. Retrieved from [www.scribd.com:](http://www.scribd.com/)
- Jatayu, A. S., Cahyono. (2018). Analisis Perubahan Temperatur Permukaan Wilayah Surabaya Timur Tahun 2001-2016 Menggunakan Citra LANDSAT. *J Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 78-82.
- Jatmiko, R. H. (2016). *Penggunaan Citra Saluran Inframerah Termal untuk Studi Perubahan Liputan Lahan dan Suhu sebagai Indikator Perubahan Iklim Perkotaan di Yogyakarta*. Universitas Gadjah Mada,
- Kato, S., Yamaguchi, Y. (2005). Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM + data: separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from. *Remote Sens. Environ*, 99, 44–54.
- Kementrian ATR/BPN. (2019). *Analisi Teknik Peraturan Zonasi*. Direktorat Jenderal Tata Ruang

- Kikon, N. S., Prafull; Singh, Sudhir Kumar; Vyas, Anjana. (2016). Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data. *J Sustainable Cities Society*, 22, 19-28.
- Ko, W. H., Schiavon, S., Zhang, H., Graham, L., Brager, G., Mauss, I., . . . Environment. (2020). The Impact of a View from a Window on Thermal Comfort, Emotion, and Cognitive Performance. 106779.
- Kotharkar, R. S., Meenal. (2016). Land use, land cover, and population density impact on the formation of canopy urban heat islands through traverse survey in the Nagpur urban area, India. *J Journal of Urban Planning Development*, 142(1), 04015003.
- Kurniati, A. C. N., Villa; Sulistyarso, Haryo. (2015). *Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Urban Heat Island Di Surabaya, Indonesia*. Paper presented at the SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Kurniati, A. C. N., Villa; Sulistyarso, Haryo. (2016). Factors influencing urban heat island in Surabaya, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, 1. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.07.006>
- Kurniati, A. C. N., Villa; Sulistyarso, Haryo. (2017). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Urban Heat Island Di Surabaya, Indonesia. *Jurnal Prosiding SENATEK*, 1(B), 1036-1045.
- Larsen, L. (2015). Urban climate and adaptation strategies. *J Frontiers in Ecology the Environment*, 13(9), 486-492.
- Lau, K. K.-L., Ren, C., Shi, Y., Zheng, V., Yim, S., & Lai, D. (2015). *Determining the optimal size of local climate zones for spatial mapping in high-density cities*. Paper presented at the Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, Toulouse, France.
- Liang, Z. W., Shuyao; Wang, Yueyao; Wei, Feili; Huang, Jiao; Shen, Jiashu; Li, Shuangcheng. (2020). The relationship between urban form and heat island intensity along the urban development gradients. *J Science of The Total Environment*, 708, 135011.
- Lima Alves, E. D., & Lopes, A. J. A. (2017). The urban heat island effect and the role of vegetation to address the negative impacts of local climate changes in a small Brazilian City. 8(2), 18.
- Lindberg, F. G., CSB. (2010). Continuous sky view factor maps from high resolution urban digital elevation models. *J Climate Research*, 42(3), 177-183.
- Liu, J. G., & Mason, P. J. (2013). *Essential image processing and GIS for remote sensing*: John Wiley & Sons.
- Liu, X., Zhou, Y., Yue, W., Li, X., Liu, Y., & Lu, D. J. J. o. C. P. (2020). Spatiotemporal patterns of summer urban heat island in Beijing, China using an improved land surface temperature. 257, 120529.
- Lloyd, A. H. R. J. J. R. H. A. A. C. (1997). *Paint the Town White—and Green*. Retrieved from MIT Technology Review:  
<https://www.technologyreview.com/1997/02/01/237344/paint-the-town-white-and-green/>

- Lo, C. Q., Dale A. (2003). Land-use and land-cover change, urban heat island phenomenon, and health implications. *J Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 69(9), 1053-1063.
- Lobaccaro, G. A., Juan A. (2015). Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *J Urban Climate*, 14, 251-267.
- Lovell, S. T. T., John R. (2013). Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *J Landscape ecology*, 28(8), 1447-1463.
- Luval, J. Q., DA; Rickman, DL; MG Estes, Jr., (2015). Urban Heat Islands. *National Space Science and Technology Center*.
- Ma, Y. K., Yaoqiu; Huang; Ningsheng. (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. *J International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation*, 12(2), 110-118.
- Macarof, P., & Florian, S. (2017). Comparasion of NDBI and NDVI as Indicators of Surface Urban Heat Island Effect in Landsat 8 Imagery: A Case Study of Iasi. *Present Environment and Sustainable Development*, 11. doi:10.1515/pesd-2017-0032
- Macintyre, H., Heaviside, C., Taylor, J., Picetti, R., Symonds, P., Cai, X.-M., & Vardoulakis, S. J. S. o. t. t. e. (2018). Assessing urban population vulnerability and environmental risks across an urban area during heatwaves—Implications for health protection. 610, 678-690.
- Madlener, R., & Sunak, Y. (2011). mpacts of Urbanization on Urban Structures and Energy Demand: What Can We Learn for Urban Energy Planning and Urbanization Management? *Sustainable Cities and Society*, 45-53.
- Maes, T., Van Eetvelde, G., De Ras, E., Block, C., Pisman, A., Verhofstede, B., . . . Reviews, S. E. (2011). Energy management on industrial parks in Flanders. 15(4), 1988-2005.
- Markham, B. S., James; Morfitt, Ron. (2015). Landsat-8 sensor characterization and calibration. In: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Martin;, M., & Götsche, F. M. (2016). *Satellite LST validation report*. Retrieved from <http://www.globtemperature.info>: <http://www.globtemperature.info/index.php/public-documentation/deliverables-1>
- Miller, H. (2016). Landsat Imagery: A Unique Resource from USGS [https://www.usgs.gov/centers/fort/science/landsat-imagery-unique-resource?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/fort/science/landsat-imagery-unique-resource?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)
- Ministri of Land Infrastructure and Transport Japan. (2015). *Urban Land Use Planning System in Japan*. Retrieved from [https://www.slideshare.net/fukuslide/001050453?from\\_action=save](https://www.slideshare.net/fukuslide/001050453?from_action=save)
- Mitchell, A. (2005). The ESRI Guide to GIS Analysis (Volume 2). Redlands. In: CA: Esri Press.
- Mohajerani, A. B., Jason; Jeffrey-Bailey, Tristan. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *J Journal of Environmental Management*, 197, 522-538.

- Mohammed, Y. S., Aws. (2018). *Effect of urban geometry and green area on the formation of the urban heat island in Baghdad city*. Paper presented at the MATEC Web of Conferences.
- Moriyama, M., & Tanaka, T. J. J. H. I. I. I. (2012). The mitigation of UHI intensity through an improved land-use plan in the urban central area: Application to Osaka City, Japan. *7*, 65-71.
- Moyer, A. N., & Hawkins, T. W. (2017). River effects on the heat island of a small urban area. *J Urban Climate*, *21*, 262-277.
- Muniz-Gäal, L. P. P., Cláudia Cotrim; de Carvalho, Marcius Fabius Henriques; Mota, Lia Toledo Moreira. (2020). Urban geometry and the microclimate of street canyons in tropical climate. *J Building and Environment*, *169*, 106547.
- Musco, F. (2016). *Counteracting Urban Heat Island Effects in a Global Climate Change Scenario*: Springer International Publishing.
- NASA. (2000). Measuring Vegetation (NDVI & EVI). *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. Retrieved from [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)
- Naumann-Stiftung, F. (2016). *Perkotaan dan Perubahan Iklim*. Scribd.com.
- Ngie, A. A., Khaled; Ahmed, Fethi; Darwish, Ahmed; Ahmed, Mahmoud J. (2014). Assessment of urban heat island using satellite remotely sensed imagery: a review. *South African Geographical Journal*, *96*(2), 198-214.
- NOAA. (2020). What is lidar? Retrieved from <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- Norton, B., Coutts, A., Livesley, S., Harris, R., Hunter, A., & Williams, N. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, *134*, 127–138.  
doi:10.1016/j.landurbplan.2014.10.018
- Novananda, E. S., Rulli Pratiwi. (2015). Persebaran Spasial Produksi Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dari Penggunaan Lahan Permukiman di Kawasan Perkotaan Gresik Bagian Timur. *J Jurnal Teknik ITS*, *4*(1), C11-C16.
- Noviyanti, E. (2016). *Konsep Manajemen UHI (Urban Heat Island) di Kawasan CBD Kota Surabaya (UP. Tunjungan)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
- Nurse, L., McLean, R., Agard, J., Briguglio, L., Duvat-Magnan, V., Pelesikoti, N., . . . Webb, A. (2014). Small islands. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects, VR Barros et al., Eds. In: Cambridge University Press.
- O'Malley, C. P., Poorang; Farr, Eric RP; Pomponi, Francesco. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *J Sustainable cities society*, *19*, 222-235.
- Oke, P. R. (2006). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *J Energy buildings*, *11*(1-3), 103-113.
- Oke, T. R. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In *Wind climate in cities* (pp. 81-107): Springer.

- Oke, T. R. (1997). Urban climate and global environmental change. 273-287.
- Ouyang, X., Chen, D., Duan, S.-B., Lei, Y., Dou, Y., & Hu, G. (2017). Validation and analysis of long-term AATSR land surface temperature product in the Heihe River Basin, China. *J Remote sensing of environment*, 9(2), 152.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle, C., Bréon, F.-M., Nan, H., Zhou, L., Myneni, R.B. (2012). Surface urban heat island across 419 global big cities. 46, 696–703.
- Pigliautile, I. C., Marta; Pisello, Anna Laura; Pérez, Gabriel; Cabeza, Luisa F. (2020). Inter-building assessment of urban heat island mitigation strategies: Field tests and numerical modelling in a simplified-geometry experimental set-up. *J Renewable Energy*, 147, 1663-1675.
- Prasasti, I., & Sari, N. M. (2017). THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL CONDITION CHANGES ON DISTRIBUTION OF URBAN HEAT ISLAND IN JAKARTA BASED ON REMOTE SENSING DATA. *J International Journal of Remote Sensing Earth Sciences*, 12(1), 27-40.
- Prasasti, I. P., Sari NM; Febrianti, Nur. (2015). Analisis Perubahan Sebaran Pulau Panas Perkotaan (Urban Heat Island) di Wilayah DKI Jakarta dan Hubungannya dengan Perubahan Lahan, Kondisi Vegetasi, dan Perkembangan Kawasan Terbangun Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *J Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX. IPB-Bogor*, 378-386.
- Pratiwi, S. N. (2018). a Review of Material Cover Features for Mitigating Urban Heat Island. *J International Journal on Livable Space*, 3(2), 71-80.
- Qi, J. D., Lan, Lim, Samsung. (2020). Ontology-based knowledge representation of urban heat island mitigation strategies. *J Sustainable cities society*, 52, 101875.
- Qin, Y. (2015a). A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *J Renewable sustainable energy reviews*, 52, 445-459.
- Qin, Y. (2015b). Urban canyon albedo and its implication on the use of reflective cool pavements. *J Energy buildings*, 96, 86-94.
- Rajasekar, U. W., Qihao (2009). Urban heat island monitoring and analysis using a non-parametric model: A case study of Indianapolis. *J ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, 64(1), 86-96.
- Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J. A., . . . Weng, Q. J. L. (2017). A review on remote sensing of urban heat and cool islands. 6(2), 38.
- Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *J Energy buildings*, 35(1), 49-59.
- Ratti, C., Raydan, D., Steemers, K. J. E., & buildings. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. 35(1), 49-59.
- Reder, A. R., Guido; Mercogliano, Paola; Castellari, Sergio. (2018). Parametric investigation of Urban Heat Island dynamics through TEB 1D model for a case study: Assessment of adaptation measures. *J Sustainable cities society*, 39, 662-673.
- Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Darmahusada 2019-2039.*

- Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Kertajaya 2019-2039.*
- Rencana Detail Tata Ruang Kota (RDTRK) UP Rungkut 2019-2039.*
- Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Surabaya 2019-2039.*
- Revi, A. D. E. S. F. A.-D. J. C.-M. R. B. R. K. M. P. D. C. R. a. W. S. (2014). *Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.* . Retrieved from Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA:
- Richardson, C. F. C. J. L. J. O. G. (2007). *Urban heat islands: A Climate change adaptation strategy for Montreal.* Retrieved from Services des infrastructures, transport et environnement of the City of Montreal:
- Roman, K. K. O. B., Timothy; Alvey, Jedediah B; Woo, OhJin. (2016). Simulating the effects of cool roof and PCM (phase change materials) based roof to mitigate UHI (urban heat island) in prominent US cities. *J Energy buildings*, 96, 103-117.
- Rushayati, S. B. P., Lilik Budi; Puspaningsih, Nining; Rachmawati, Eva. (2016). Adaptation strategy toward urban heat island at tropical urban area. *J Procedia Environmental Sciences*, 33, 221-229.
- Saaroni, H. A., Jorge Humberto; Hiemstra, JA; Pearlmutter, D. (2018). Urban Green Infrastructure as a tool for urban heat mitigation: Survey of research methodologies and findings across different climatic regions. *J Urban Climate*, 24, 94-110.
- Saefuddin, A. S., Nur Andi; Achsani, Noer Azam (2011). Comparisson between Ordinary Linear Regression and Geographically Weighted Regression: With Application to Indonesian Poverty Data. *J European Journal of Scientific Research*, 57(2), 275-285.
- Sakar, B., Çalışkan, O. J. I. I. J. o. A., & Planning. (2019). Design for Mitigating Urban Heat Island: Proposal of a Parametric Model. 7, 158-181.
- Salih, M. M. J., Oday Zakariya; Hassoon, Khalid I; Abdalkadhum, Aysar Jameel. (2018). Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT-8 Thermal Infrared Sensor Data and Validation with Infrared Thermometer Camera. *J International Journal of Engineering Technology*, 7(4.20), 608-612.
- Salvati, A., Cecere, C., & Coch, H. (2016). *Microclimatic response of urban form in the Mediterranean context.* Paper presented at the City as Org. New Vis. Urban Life, 22nd ISUF Int. Conf.-1, U+ D Edition, Rome.
- Sangadji, E. M. (2010). Metodologi Penelitian Pendekatan Praktis dalam Penelitian.
- Santoso, S. d. M. (2009). *Business Forecasting Metode Peramalan Bisnis Masa Kini dengan Minitab dan SPSS*: Elex Media Komputindo.
- Satterthwaite, D. H., Saleemul; Pelling, Mark; Reid, Hannah; Lankao, P Romero %J London: IIED. (2007). Adapting to climate change in urban areas.
- Scaramuzza, P. M., Esad; Chander, Gyanesh. (2004). SLC gap-filled products phase one methodology. *J Landsat Technical Notes*, 5.
- Sekertekin, A. J. J. o. A., & Physics, S.-T. (2019). Validation of physical radiative transfer equation-based land surface temperature using Landsat 8 satellite imagery and SURFRAD in-situ measurements. 196, 105161.

- Shaker, R. R. A., Yaron; Deng, Chengbin; Vaz, Eric; Forsythe, K Wayne. (2019). Investigating urban heat island through spatial analysis of New York City streetscapes. *J Journal of cleaner production*, 233, 972-992.
- Shirani-Bidabadi, N., Nasrabiadi, T., Faryadi, S., Larijani, A., Roodposhti, M. S. J. S. c., & society. (2019). Evaluating the spatial distribution and the intensity of urban heat island using remote sensing, case study of Isfahan city in Iran. *45*, 686-692.
- Siabi, N. S., Seyed Hossein; Ghahraman, Bijan. (2020). Comprehensive evaluation of a spatio-temporal gap filling algorithm: Using remotely sensed precipitation, LST and ET data. *J Journal of Environmental Management*, 261, 110228.
- Singh, R. G., Aakriti. (2015). Spatial correlations of changing land use, surface temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat satellite images. In *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities* (pp. 83-97): Springer.
- Sitanggang, G. J. M. S. d. T. D. (2011). KAJIAN PEMANFAATAN SATELIT MASA DEPAN: SISTEM PENGINDERAAN JAUH SATELIT LINGKUNGAN NPOESS. *5*(4).
- Sobirin, F., Rizka Nurul. (2015). URBAN HEAT ISLAND KOTA SURABAYA. *Geoedukasi*.
- Song, J., Du, S., Feng, X., Guo, L.,. (2014). The relationships between landscape compositions and land surface temperature: quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models. *Urban Plan*, 145-157.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *J Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900.
- Stewart, I. D., Oke, T.R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bull.Am.Meteorol Social*, 93, 1879–1900.
- Sugiyono. (2008). *Metode penelitian pendidikan:(pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R & D)*: Alfabeta.
- Suhua, L. Z., Zang; Wenchuan, Wang; Yueru, Wu. (2019). Spatial-temporal evolution of urban heat Island in Xi'an from 2006 to 2016. *J Physics Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 185-194.
- Sultana, S., and A. N. V. Satyanarayana. (2018). Urban Heat Island Intensity during Winter over Metropolitan Cities of India Using Remote-Sensing Techniques: Impact of Urbanization. *International Journal of Remote Sensing*, 1-39. doi:10.1080/01431161.2018.1466072
- Surabaya, R. K. (2014-2034). [Press release]
- Szumanowski, M. K., Maciej. (2011). Application of geographically weighted regression for modelling the spatial structure of urban heat island in the city of Wroclaw (SW Poland). *J Procedia Environmental Sciences*, 3, 87-92.
- Takebayashi, H. (2015). Improvement measures of urban thermal environment. In *Improvement Measures of Urban Thermal Environment* (pp. 1-40): Springer.
- Takebayashi, H. S., Masashi. (2018). Analysis of the relationship between urban size and heat island intensity using WRF model. *J Urban Climate*, 24, 287-298.

- Tan, K. L., Zhihong; Du, Peijun; Wu, Lixin (2017). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 data and validation with geosensor network. *J Frontiers of Earth Science*, 11(1), 20-34.
- Tempfli, K., Huurneman;, G. C., Bakker;, W. H., Janssen;, L. L. F., Feringa;, W. F., Gieske;, A. S. M., . . . Woldai, T. (2009). *Principles of remote sensing : an introductory textbook*. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Thapa, R. B., & Murayama, Y. (2012). Scenario based urban growth allocation in Kathmandu Valley, Nepal. *Landscape Urban Plann*, 140–148.
- The World Bank. (2018). Urban Development Data. Retrieved 31 Desember 2019, from The World Bank <https://data.worldbank.org/topic/urban-development>
- Theeuwes, N. S., A; Steeneveld, GJ. (2013). Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. *J Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(16), 8881-8896.
- Trust, O. W. W. (2020). Urban Sample Technique. *Ecological Sampling Techniques*. Retrieved from [https://geographyfieldwork.com/urban\\_sampling.htm](https://geographyfieldwork.com/urban_sampling.htm)
- Tursilowati, L. (2002). *Urban heat island dan kontribusinya pada perubahan iklim dan hubungannya dengan perubahan lahan*. Paper presented at the Seminar Nasional Pemanasan Global dan Perubahan Global. Fakta, mitigasi, dan adaptasi. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim LAPAN.
- Tursilowati, L., & Djundjunan, J. D. (2007). *Use of remote sensing and GIS to compute temperature humidity index as human comfort indicator relate with Land Use-Land Cover change (LULC) in Surabaya*. Paper presented at the Proceedings of the 73rd international symposium on sustainable Humanosphere, Bandung, Indonesia.
- Ulpiani, G., Di Giuseppe, E., Di Perna, C., D'Orazio, M., Zinzi, M. J. B., & Environment. (2019). Thermal comfort improvement in urban spaces with water spray systems: Field measurements and survey. 156, 46-61.
- Umum, D. P. (2002). Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung.
- UN-HABITAT. (2010). *Planning Sustainable Cities: UN-HABITAT Practices and Perspectives*. Nairobi: United Nations Human Settlement Programme. Paper presented at the UN-HABITAT.
- Unger, J. J. I. J. o. E., & Pollution. (2009). Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. 36(1-3), 59-80.
- Urban Land Use Planning System in Japan* (2015). Retrieved from <https://www.slideshare.net/fukuslide/001050453>
- Ürge-Vorsatz, D., Rosenzweig, C., Dawson, R. J., Rodriguez, R. S., Bai, X., Barau, A. S., . . . Dhakal, S. J. N. C. C. (2018). Locking in positive climate responses in cities. 8(3), 174-177.
- USGS. (2020a). Landsat Missions. Retrieved from [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=2#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con)

- USGS. (2020b). Landsat Missions. *Landsat 7*. Retrieved from [https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-7-etm-slc-data?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-landsat-7-etm-slc-data?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products)
- USGS. (2020c). Landsat Missions. *Landsat 8*. Retrieved from [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)
- USGS. (2020d). What is remote sensing and what is it used for? *Mapping, Remote Sensing, and Geospatial Data*. Retrieved from [https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-remote-sensing-and-what-it-used?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products)
- Venhami, A. A. T., Martin; Taleghani, Mohammad. (2019). The role of sky view factor and urban street greenery in human thermal comfort and heat stress in a desert climate. *J Journal of arid environments*, 166, 68-76.
- Vgoot, O. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370 - 384. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Victoria, S., Goverment. (2017). *Planning green-blue city "A how-to guide for planning urban greening and enhanced stormwater management in Victoria"*. E2Designlab: Victoria State Goverment, Department of Environment, Land, Water and Planning (DELWP).
- Völker, S. B., Hendrik; Classen, Thomas; Hornberg, Claudia; Kistemann, Thomas. (2013). Evidence for the temperature-mitigating capacity of urban blue space—A health geographic perspective. *J Erdkunde*, 355-371.
- Wahyuni, N. (2014). Gap Analysis. Retrieved from <https://qmc.binus.ac.id/2014/09/28/g-a-p-a-n-a-l-y-s-i-s/>
- Wang, H. L. L. (2020). Experimental investigation about effect of emotion state on people's thermal comfort. *J Energy buildings*, 211, 109789.
- Ward, K. L., Steffen; Kleinschmit, Birgit; Endlicher, Wilfried. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *J Science of The Total Environment*, 569, 527-539.
- Wardhono, U. P. J. J. A. K. (2011). Fenomena Pemilihan Bahan Bangunan Pada Hunian di Surabaya dan Permukiman di Kali Code.
- Wardianto, G. (2011). *JALUR PEJALAN KAKI BERBASIS ADAPTASI MANUSIA TERHADAP PANAS MATAHARI DI RUANG TERBUKA KOTA Studi Kasus: Jalur Pejalan Kaki di Kota Semarang*. Program Pascasarjana Undip,
- Watkins, R. (2002). The impact of the urban environment on the energy used for cooling buildings.
- Wicki, A. P., Eberhard; Feigenwinter, Christian. (2018). Evaluation and modeling of urban heat island intensity in Basel, Switzerland. *J Climate*, 6(3), 55.
- Wijaya, D. W. J. e. A. P. (2017). Fasilitas eduwisata lingkungan hidup Kota Surabaya di Surabaya. 5(2), 105-112.
- Wonorahardjo, S., Sutjahja, I. M., Mardiyati, Y., Andoni, H., Thomas, D., Achsani, R. A., & Steven, S. (2020). Characterising thermal behaviour of buildings and its effect on urban heat island in tropical areas.

- International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 11(1), 129-142. doi:10.1007/s40095-019-00317-0
- Xia, C. Y., Anthony Gar-On; Zhang, Anqi. (2020). Analyzing spatial relationships between urban land use intensity and urban vitality at street block level: A case study of five Chinese megacities. *J Landscape Urban Planning*, 193, 103669.
- Xu, X. A., Takashi (2020). Systematic numerical study on the effect of thermal properties of building surface on its temperature and sensible heat flux. *J Building environment*, 168, 106485.
- Yamamoto, Y. (2006). *Measures to mitigate urban heat islands* (1349-3663). Retrieved from
- Yang, J. (2016). Effect of pavement thermal properties on mitigating urban heat islands: A multi-scale modeling case study in Phoenix. *Building Environmental*, 108, 110–121.
- Yang, J., Pyrgou, A., Chong, A., Santamouris, M., Kolokotsa, D., & Lee, S. E. (2018). Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. *J Solar Energy*, 173, 597-609.
- Yang, Z., Chen, Y., Qian, Q., Wu, Z., Zheng, Z., & Huang, Q. (2019). The coupling relationship between construction land expansion and high-temperature area expansion in China's three major urban agglomerations. *International Journal of Remote Sensing*, 40(17), 6680-6699. doi:10.1080/01431161.2019.1590877
- Young, N. C., Lane; Evangelista, Paul. (2011). A MaxEnt model v3. 3.3 e tutorial (ArcGIS v10). *J Fort Collins, Colorado*.
- Yuan, C., & Chen, L. J. A. S. R. (2011). Mitigating urban heat island effects in high-density cities based on sky view factor and urban morphological understanding: a study of Hong Kong. 54(4), 305-315.
- Yue, W. L., Xue; Zhou, Yuyu; Liu, Yong. (2019). Impacts of urban configuration on urban heat island: An empirical study in China megacities. *J Science of The Total Environment*, 671, 1036-1046.
- Yumino, S. U., Taiki; Sasaki, Kiyoshi; Kobayashi, Hikaru; Mochida, Akashi. (2015). Total assessment for various environmentally conscious techniques from three perspectives: Mitigation of global warming, mitigation of UHIs, and adaptation to urban warming. *J Sustainable cities society*, 19, 236-249.
- Zanter, K. (2016). Landsat 8 (L8) data users handbook. *J Landsat Science Official Website*.
- Živković, J. (2019). Urban Form and Function. In W. Leal Filho, U. Azeiteiro, A. M. Azul, L. Brandli, P. G. Özuyar, & T. Wall (Eds.), *Climate Action* (pp. 1-10). Cham: Springer International Publishing.
- Zulkarnain, R. C. (2016). Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Perubahan Suhu Permukaan di Surabaya.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Pembagian bangunan berdasarkan zona penggunaan lahan

 can be built

 usually cannot be built

Examples of buildings	Category I exclusively low-rise residential zone	Category II exclusively low-rise residential zone	Category I mid/high-rise oriented residential zone	Category II mid/high-rise oriented residential zone	Category I residential zone	Category II residential zone	Quasi-residential zone	Neighborhood commercial zone	Commercial zone	Quasi-industrial zone	Industrial zone	Exclusively industrial zone	Areas with no land-use zone designation (Urbanization Control Areas are excluded)
Houses, Houses with other small scale function (store, office, etc.)													
Kindergartens, Schools (Elementary, Junior High, Senior High)													
Shrines, Temples, Churches, Clinics													
Hospitals, Universities													
Stores (mainly selling dairy commodities)/Restaurants with floor space of 150m <sup>2</sup> max. on the first or second floor (excluding※)												D	
Stores/Restaurants with floor space of 500m <sup>2</sup> max. on the first or second floor (excluding※)												D	
Stores/Restaurants not specified above (excluding※)					A	B							
Offices, etc. not specified above					A	B							
Hotels, Inns						B							
Karaoke boxes (excluding※)													
Theaters, Movie theaters (excluding※)							C						
※Theaters, Movie theaters, Stores, Restaurants, Amusement facilities and so on, with more than 10,000m <sup>2</sup> of floor area													
Bathhouses with private rooms													
Independent garage with floor space of 300m <sup>2</sup> max. on the first or second floor													
Warehouse of warehousing company, Independent garage of other types than specified above													
Auto repair shop					E	E	F	G	G				
Factory with some possibility of danger or environmental degradation													
Factory with strong possibility of danger or environmental degradation													

Note A : Must not be built on the third floor or higher. Must not exceed a floor area of 1,500m<sup>2</sup>.

D : Stores and restaurants must not be built

B : Must not exceed a floor area of 3,000m<sup>2</sup>.

E : Floor area must not exceed 50m<sup>2</sup>.

C : Audience seating floor area must not exceed 200m<sup>2</sup>.

F : Floor area must not exceed 150m<sup>2</sup>.

G : Floor area must not exceed 300m<sup>2</sup>.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

## Lampiran 2. Exploratory regression

```
*****
Choose 1 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.15 24107.88 0.00  0.00 1.00 0.00 +BD*** 
 0.13 24323.10 0.00  0.00 1.00 0.00 -ALBEDO*** 
 0.10 24584.62 0.00  0.00 1.00 0.00 +SVE*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 2 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.22 23428.31 0.00  0.00 1.10 0.00 +BD*** -ALBEDO*** 
 0.20 23618.43 0.00  0.00 1.03 0.00 +SVE*** -ALBEDO*** 
 0.19 23709.22 0.00  0.00 1.02 0.00 +URBANGREN*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 3 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.26 23018.79 0.00  0.00 1.15 0.00 +BD*** +URBANGREN*** -ALBEDO*** 
 0.25 23153.83 0.00  0.00 1.06 0.00 +SVE*** +URBANGREN*** -ALBEDO*** 
 0.24 23204.44 0.00  0.00 1.16 0.00 +BD*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 4 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.28 22797.17 0.00  0.00 1.20 0.00 +BD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
 0.27 22895.54 0.00  0.00 1.11 0.00 +SVE*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
 0.27 22909.03 0.00  0.00 1.73 0.00 +BD*** +SVF*** +URBANGREN*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 5 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.29 22705.97 0.00  0.00 1.76 0.00 +BD*** +SVF*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
 0.28 22716.42 0.00  0.00 1.21 0.00 +BD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** +THERMAL*** -ALBEDO*** 
 0.28 22781.26 0.00  0.00 1.60 0.00 +BD*** +MBD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 6 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.29 22649.41 0.00  0.00 1.77 0.00 +BD*** +SVF*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** +THERMAL*** -ALBEDO*** 
 0.29 22698.94 0.00  0.00 2.92 0.00 +BD*** +SVF*** -MBD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
 0.29 22707.48 0.00  0.00 3.42 0.00 +BD*** -FAR +SVF*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 7 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.29 22627.23 0.00  0.00 2.92 0.00 +BD*** +SVF*** -MBD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** +THERMAL*** -ALBEDO*** 
 0.29 22648.00 0.00  0.00 3.49 0.00 +BD*** -FAR** +SVF*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** +THERMAL*** -ALBEDO*** 
 0.29 22700.80 0.00  0.00 3.51 0.00 +BD*** +FAR +SVF*** -MBD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
Choose 8 of 8 Summary
    Highest Adjusted R-Squared Results
AdjR2    AICC   JB K(BP) VIF  SA  Model
 0.29 22629.18 0.00  0.00 3.55 0.00 +BD*** -FAR +SVF*** -MBD*** +URBANGREN*** +URBANBLUE*** +THERMAL*** -ALBEDO*** 
    Passing Models
AdjR2 AICC JB K(BP) VIF SA  Model
*****
```

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\* Exploratory Regression Global Summary (UHI\_2019) \*\*\*\*\*

Percentage of Search Criteria Passed  
Search Criterion Cutoff Trials # Passed % Passed  
Min Adjusted R-Squared > 0.50 255 0 0.00  
Max Coefficient p-value < 0.05 255 194 76.08  
Max VIF Value < 7.50 255 255 100.00  
Min Jarque-Bera p-value > 0.10 255 0 0.00  
Min Spatial Autocorrelation p-value > 0.10 23 0 0.00

-----  
Summary of Variable Significance  
Variable % Significant % Negative % Positive  
BD 100.00 0.00 100.00  
SVF 100.00 0.00 100.00  
URBANGREN 100.00 0.00 100.00  
URBANBLUE 100.00 0.00 100.00  
THERMAL 100.00 0.00 100.00  
ALBEDO 100.00 100.00 0.00  
MBD 84.38 55.47 44.53  
FAR 63.28 32.81 67.19

-----  
Summary of Multicollinearity  
Variable VIF Violations Covariates  
BD 3.55 0 -----  
FAR 3.34 0 -----  
SVF 3.00 0 -----  
MBD 3.03 0 -----  
URBANGREN 1.10 0 -----  
URBANBLUE 1.14 0 -----  
THERMAL 1.15 0 -----  
ALBEDO 1.27 0 -----

-----  
Summary of Residual Normality (JB)  
JB AdjR2 AICc K(BP) VIF SA Model  
0.000000 0.104898 24584.621916 0.000000 1.000000 0.000000 +SVF\*\*\*  
0.000000 0.103181 24601.401214 0.000000 1.000000 0.000000 +FAR\*\*\*  
0.000000 0.154480 24107.882979 0.000000 1.000000 0.000000 +BD\*\*\*

-----  
Summary of Residual Spatial Autocorrelation (SA)  
SA AdjR2 AICc JB K(BP) VIF Model  
0.000000 0.292138 22627.234361 0.000000 0.000000 2.920434 +BD\*\*\* +SVF\*\*\* -MBD\*\*\* +URBANGREN\*\*\* +URBANBLUE\*\*\* +THERMAL\*\*\* -ALBEDO\*\*\*  
0.000000 0.292058 22629.184765 0.000000 0.000000 3.547528 +BD\*\*\* -FAR +SVF\*\*\* -MBD\*\*\* +URBANGREN\*\*\* +URBANBLUE\*\*\* +THERMAL\*\*\* -ALBEDO\*\*\*  
0.000000 0.290379 22648.004876 0.000000 0.000000 3.485111 +BD\*\*\* -FAR\*\* +SVF\*\*\* +URBANGREN\*\*\* +URBANBLUE\*\*\* +THERMAL\*\*\* -ALBEDO\*\*\*

-----  
Table Abbreviations  
AdjR2 Adjusted R-Squared  
AICc Akaike's Information Criterion  
JB Jarque-Bera p-value  
K(BP) Koenker (BP) Statistic p-value  
VIF Max Variance Inflation Factor  
SA Global Moran's I p-value  
Model Variable sign (+/-)  
Model Variable significance (\* = 0.10; \*\* = 0.05; \*\*\* = 0.01)