

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS *HEAT STRESS* DI KOTA**  
**YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE**  
***DISCOMFORT INDEX (DI)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**ELSANTIKA MELDACINDYA NURMAYA**  
**17513039**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2021**

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS *HEAT STRESS* DI KOTA**  
**YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE**  
***DISCOMFORT INDEX (DI)***

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu (S1) Teknik Lingkungan**



**ELSANTIKA MELDACINDYA NURMAYA**  
**17513039**

Disetujui,

Pembimbing 1

**Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H.**

**NIK. 165131303**

Tanggal: 27/07/2021

Pembimbing 2

**Luqman Hakim, S.T., M.Si**

**NIK. 005130101**

Tanggal: 23/07/2021



Mengetahui,  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

**Eko Siswono, S.T., M.Sc.ES., Ph.D**

**NIK. 025100406**

Tanggal: 30 Juli 2021

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS *HEAT STRESS* DI KOTA  
YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE  
*DISCOMFORT INDEX (DI)***

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari: Selasa**

**Tanggal: 15 Juni 2021**

**Disusun oleh:**

**ELSANTIKA MELDACINDYA NURMAYA**

**17513039**

**Tim Penguji:**

**Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H.**

  
( 27/07/2021 )

**Luqman Hakim, S.T., M.Si.**



**Adellia Anju Asmara, S.T., M.Eng.**

  
( )

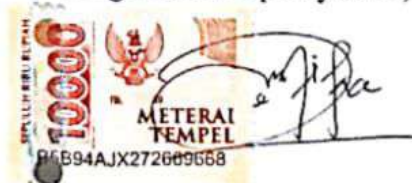
## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* computer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia. (*apabila menggunakan software khusus*).
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Mei 2021

Yang membuat pernyataan,



**Elsantika Meldacindya Nurmaya**

NIM: 17513039

## PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, barokah, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis *Heat Stress* di Kota Yogyakarta Menggunakan Metode *Discomfort Index* (DI)” sebagai prasyarat dalam memperoleh derajat sarjana strata satu (S1) Teknik Lingkungan dari Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh bantuan dari berbagai pihak, baik bantuan secara formal maupun material. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan sehingga dapat menyelesaikan penyusunan proposal tugas akhir dengan baik.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc., ES., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan.
4. Bapak Azham Umar Abidin, S.K.M., M.P.H. selaku dosen pembimbing I, Bapak Luqman Hakim, S.T., M.Si selaku dosen pembimbing II, Ibu Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si dan Ibu Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing *non-administrative* yang telah sabar dan ikhlas dalam mendidik dan membimbing selama ini.
5. Bapak Nugroho dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang telah membantu selama pengumpulan data.
6. Orang tua penulis, Bapak Hardi Jatmiko dan Ibu Nanik Setyaningsih, yang selalu memberikan doa dan telah menjadi penyemangat dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Candra, Fery, Chusnia, dan Intan, sebagai *partner* penyusunan tugas akhir ini, yang telah menjadi teman diskusi dan bertukar pikiran.

8. Teman-teman angkatan 2017 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang selalu membantu dalam segala hal.
9. Serta pihak-pihak yang telah bersedia membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

*“Kesempurnaan itu hanyalah milik Allah SWT”* dan begitu juga dengan Tugas Akhir ini yang tentunya masih jauh dari kata baik apalagi sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran, masukan, serta kritik yang bersifat membangun untuk penyempurnaan proposal tugas akhir ini.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 15 Mei 2021



*Elsantika Meldacindya Nurmaya*

## ABSTRAK

ELSANTIKA MELDACINDYA NURMAYA. Analisis *Heat Stress* Di Kota Yogyakarta Menggunakan Metode *Discomfort Index* (DI). Dibimbing oleh AZHAM UMAR ABIDIN, S.K.M., M.P.H dan LUQMAN HAKIM, S.T., M.Si.

Pola perkembangan kota yang semakin meningkat dapat memberikan dampak positif hingga dampak negatif, salah satunya yaitu ketidaknyamanan termal berupa *heat stress*. *Heat stress* merupakan kondisi maksimal tubuh manusia menerima paparan panas dari berbagai aktivitas. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis kenyamanan termal di Kota Yogyakarta berdasarkan metode *Discomfort Index* (DI). Metode DI sudah biasa digunakan di iklim tropis dengan menggunakan parameter indeks kenyamanan yang berasal dari suhu udara rata-rata dan kelembaban relatif. Data perhitungan berupa data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Geofisika Gamping Yogyakarta periode 2004 – 2020 dan Stasiun Klimatologi Mlati Yogyakarta periode 2017 – 2020. Dari hasil penelitian diperoleh nilai DI tertinggi terjadi pada tipe iklim bulan basah yaitu pada bulan April dengan nilai indeks sebesar 25,63°C. Dengan kondisi seperti itu menunjukkan hasil bahwa lebih dari 50% masyarakat Kota Yogyakarta masuk ke dalam kategori tidak nyaman dengan nilai rata-rata indeks sebesar 24,97°C, sehingga dapat memicu terjadinya *heat stress*. Rekayasa lingkungan yang dapat dilakukan untuk mengurangi potensi *heat stress* dan meningkatkan indeks kenyamanan pada masyarakat Kota Yogyakarta yaitu berupa Ruang Terbuka Hijau (publik dan privat), vegetasi peneduh jalan raya, penerapan *green façade* (*vertical garden*), penerapan *roof garden*, serta perbaikan perilaku hidup masyarakat.

Kata kunci: *Discomfort Index*, *Heat Stress*, Kenyamanan Termal, Kota Yogyakarta, Rekayasa Lingkungan

## **ABSTRACT**

ELSANTIKA MELDACINDYA NURMAYA. *Heat Stress Analysis in the City of Yogyakarta Based on Discomfort Index (DI). Supervised by AZHAM UMAR ABIDIN, S.K.M., M.P.H and LUQMAN HAKIM, S.T., M.Si.*

*A growing urban development pattern can have both positive and negative impacts, one of them is thermal discomfort in the form of heat stress. Heat stress is the maximum condition of human body to receive heat exposure to various activities. This study aims to analyze thermal comfort in the Yogyakarta City based on the Discomfort Index (DI) method. The DI methods is commonly used in tropical climates using parameters that contain average air temperature and humidity. DI calculated data consists of secondary data obtained from Geophysics Station Gamping in the 2004 – 2020 and Climatology Station Mlati in the 2017 – 2020. The research result of DI obtained that the highest value occurred in the wet moon climate type in April, with 25,63°C. Based on that conditions showed that more than 50% people in the city of Yogyakarta fall into an uncomfortable category with an average index is 24,97°C, which can lead to heat stress. Environmental engineering can be done to decrease the heat stress potential and to improve thermal comfort for Yogyakarta's urban community, which is public and private open space, road shade vegetation, application of a green façade (vertical garden), application of a roof garden, and improving people's living behavior.*

*Keywords: Discomfort Index, Environmental Planning, Heat Stress, Thermal Comfort, Yogyakarta City*



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>14</b>
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Perumusan Masalah.....	16
1.3 Tujuan Penelitian.....	16
1.4 Manfaat Penelitian.....	17
1.5 Ruang Lingkup .....	17
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>19</b>
2.1 Gambaran Umum Kota Yogyakarta.....	19
2.2 Kenyamanan Iklim .....	19
2.3 Perubahan Iklim.....	20
2.3 Kenyamanan Termal pada Ruang Luar.....	21
2.4 <i>Heat Stress</i> .....	21
2.5 <i>Discomfort Index (DI)</i> .....	22
2.6 Rekayasa Lingkungan .....	22
2.7 Penelitian Terdahulu.....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>25</b>
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	25
3.2 Metode Penelitian.....	25
3.2.1 Penentuan Lokasi dan Pengumpulan Data.....	26
3.2.2 Analisis Klasifikasi Iklim.....	27
3.2.3 Pengukuran Parameter <i>Discomfort Index (DI)</i> .....	28
3.2.4 Analisis Hubungan Antar Variabel .....	29
3.2.5 Pengkategorian Risiko Berdasarkan Nilai Indeks DI dan Perhitungan Laju Metabolik.....	31

3.2.6 Analisis Rekayasa Lingkungan.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
4.1 Analisis Iklim di Kota Yogyakarta.....	34
4.2 Analisis Data Berdasarkan Metode <i>Discomfort Index</i> (DI) .....	34
4.3 Analisis Kategori Bahaya Berdasarkan Metode <i>Discomfort Index</i> (DI) .....	38
4.4 Rekayasa Lingkungan di Kota Yogyakarta.....	42
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Simpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>69</b>

## DAFTAR TABEL

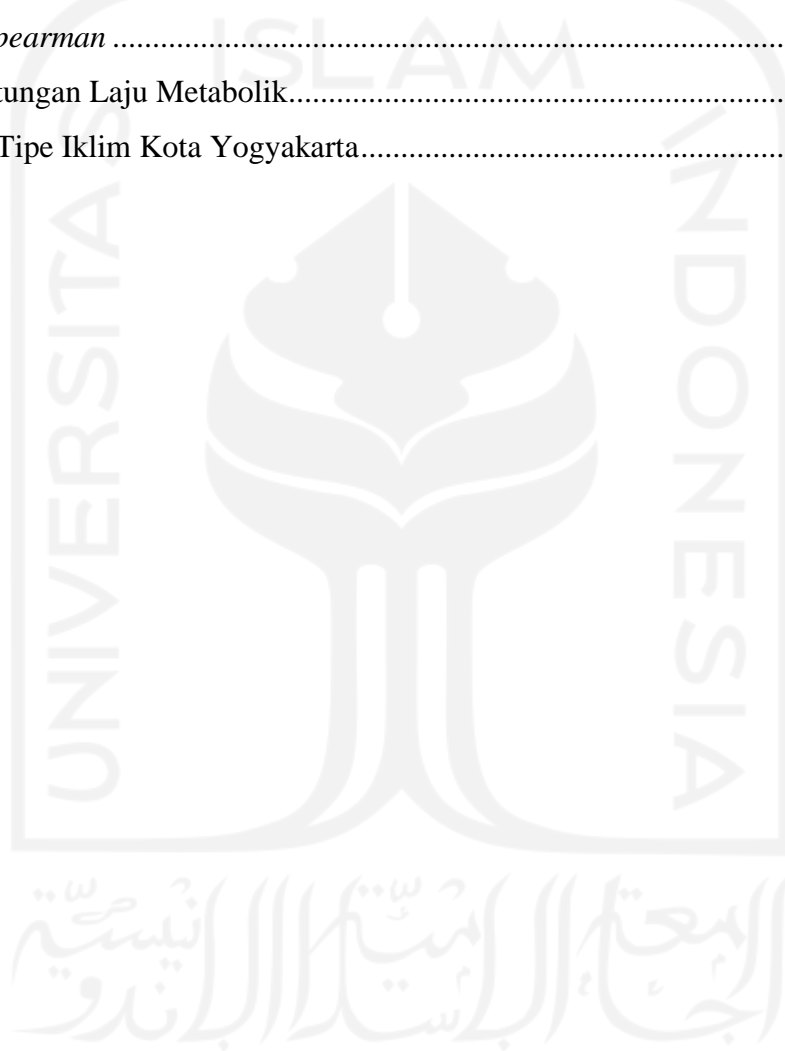
1 Penelitian Terdahulu .....	24
2 Kategori Kenyamanan Iklim Berdasarkan Nilai <i>Discomfort Index</i> (DI) .....	29
3 Rentang Koefisien Berdasarkan Metode <i>Rank Spearman</i> .....	30
4 Rata-Rata Berat Badan Laki-Laki dan Perempuan Berdasarkan Kategori Umur .....	31
5 Kategori Laju Metabolik Manusia .....	32
6 Hasil Analisis Antar Variabel Berdasarkan Metode <i>Rank Spearman</i> .....	38
7 Laju Metabolik Berdasarkan ISO 8996:2004 .....	41
8 Karakteristik Fisik Pohon Peneduh Jalan.....	47
9 Rekomendasi Jenis Vegetasi untuk Rekayasa Lingkungan .....	48
10 Rekomendasi Jenis Pohon untuk <i>Roof Garden</i> .....	50

## DAFTAR GAMBAR

1 Diagram Alir Metode Penelitian Analisis <i>Heat Stress</i> di Kota Yogyakarta Menggunakan Metode <i>Discomfort Index</i> (DI).....	26
2 Peta Administrasi Kota Yogyakarta.....	27
3 Hubungan Suhu Udara dengan Nilai Indeks DI di Kota Yogyakarta .....	35
4 Hubungan Kelembaban Relatif dengan Nilai Indeks DI di Kota Yogyakarta ...	35
5 Regresi antara Suhu Udara Rata-Rata dengan Nilai DI.....	37
6 Regresi antara Kelembaban Relatif dengan Nilai DI.....	37
7 Nilai Tingkat Kenyamanan Iklim di Kota Yogyakarta Tahun 2004-2020 Berdasarkan Metode DI .....	39
8 Hubungan Tipe Iklim dengan Nilai Indeks DI di Kota Yogyakarta .....	40
9 Tata Letak Jalur Hijau Jalan.....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

1 Perhitungan Nilai <i>Discomfort Index</i> Kota Yogyakarta.....	63
2 Perhitungan Korelasi Suhu Udara dengan Nilai DI Berdasarkan Metode <i>Rank Spearman</i> .....	64
3 Perhitungan Korelasi Kelembaban Relatif dengan Nilai DI Berdasarkan Metode <i>Rank Spearman</i> .....	65
4 Perhitungan Laju Metabolik.....	66
5 Data Tipe Iklim Kota Yogyakarta.....	68



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Seiring dengan perkembangan zaman, semakin banyak aktivitas manusia seperti pemakaian karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dan Halokarbon yang dapat menyebabkan perubahan kondisi bumi beserta isinya, salah satunya yaitu perubahan iklim (Lasmono, 2014). Isu perubahan iklim sudah cukup ramai diperbincangkan di seluruh belahan dunia. Faktor penyebab yang dapat mempengaruhi kondisi iklim dan kondisi termal sering disebut dengan komponen dan variabilitas iklim. Komponen-komponen iklim telah disebutkan oleh Siami (2013) yang meliputi suhu, kelembaban, curah hujan, dan kecepatan angin. Komponen tersebut dapat berpengaruh terhadap lingkungan dan masyarakat.

Fenomena perubahan iklim berdampak hingga ke Indonesia. Hal ini berkaitan dengan letak Indonesia yang diapit dua samudera dan dua benua sehingga Indonesia mengalami kerentanan perubahan iklim. Menurut Julismin (2013), perubahan iklim yang terjadi di Indonesia diakibatkan oleh adanya urbanisasi, industrialisasi, aktivitas gunung berapi, badai El-Nino, serta perubahan orbit bumi terhadap matahari. Dampak yang disebabkan oleh perubahan iklim yaitu terjadinya perubahan temperatur, perubahan intensitas curah hujan, naiknya permukaan air laut, dan peningkatan intensitas kejadian ekstrem (Lubis, 2010).

Indonesia merupakan negara kepulauan yang didominasi oleh pulau kecil hingga besar. Salah satu pulau yang cukup luas dan padat penduduk yaitu Pulau Jawa. Daerah di Pulau Jawa yang cukup terkenal yaitu Kota Yogyakarta yang akrab dengan sebutan kota pelajar. Sebagai kota pelajar, sudah pasti jika Kota Yogyakarta termasuk kawasan yang padat penduduk, baik oleh warga lokal maupun pendatang. Hal ini telah disampaikan oleh Badan Pusat Statistik

(2019) bahwa data menunjukkan jumlah penduduk Kota Yogyakarta sebesar 431.939 jiwa.

Kota Yogyakarta termasuk kota berukuran sedang dan padat penduduk sehingga kota ini mengalami perubahan kondisi iklim dan kondisi termal yang cukup signifikan. Oleh karena itu, kajian mengenai perubahan kondisi iklim dan kondisi termal penting dilakukan karena semakin meningkatnya suhu udara di daerah perkotaan padat penduduk seperti Kota Yogyakarta. Kondisi seperti ini dapat menciptakan kurangnya kenyamanan lingkungan bagi masyarakat (Fawzi, 2013). Ketidaknyamanan itu berupa *urban heat stress* yang dapat menyebabkan gangguan ekonomi dan lingkungan, kelelahan, dehidrasi, peningkatan denyut jantung dan suhu tubuh. Berdasarkan masalah yang terjadi di kawasan perkotaan, analisis perubahan iklim di kawasan perkotaan atau *urban heat stress* dapat dilakukan dengan pendekatan sederhana yang sering digunakan untuk mengetahui kenyamanan termal luar ruangan, diantaranya yaitu *Discomfort Index* (DI), *Temperature Humidity Index* (THI), dan *Comfort Index* (CI) (Siami, 2013).

Berdasarkan informasi yang telah dijelaskan sebelumnya, metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Discomfort Index* (DI). Pemilihan metode DI karena metode ini dapat digunakan untuk mengetahui kategori kenyamanan iklim dan prakiraan kondisi termal (Xu, et al., 2017) dengan penggunaan yang relatif sederhana karena hanya memerlukan kombinasi data suhu dan kelembaban relatif (Epstein, 2006); (Din et al., 2014). Metode DI juga telah banyak digunakan oleh berbagai negara untuk mengevaluasi tingkat ketidaknyamanan manusia dalam skala yang lebih besar (Georgi, 2006). Di Indonesia, DI telah digunakan sebagai indeks ketidaknyamanan manusia terhadap panas di wilayah perkotaan dan padat penduduk seperti Jakarta (Wati, 2018) dan Banda Aceh (Siregar, 2020). Maka dari itu, Kota Yogyakarta dipilih menjadi lokasi penelitian karena merupakan kawasan yang terkena dampak urbanisasi dan paling padat jika dibandingkan dengan kabupaten lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian yang sudah ada, yaitu letak lokasi penelitian dan periode waktu data sekunder. Penelitian yang dilakukan oleh Wati (2018) menggunakan periode waktu dari tahun 1982 – 2014 di lima stasiun yang berada di Jakarta, sedangkan penelitian oleh Siregar (2020) menggunakan periode waktu dari tahun 1989 – 2018 di satu stasiun yang berada di Banda Aceh. Penelitian ini penting dilakukan karena setiap manusia mempunyai zona nyaman yang berbeda-beda tergantung pada karakteristik fisik, psikologi, kesenangan seseorang, dan aktifitas orang tersebut (Any, 2018). Ketika hasil penelitian di wilayah studi menunjukkan nilai yang melebihi standar, maka perlu dilakukan suatu rekayasa lingkungan untuk mengembalikan kondisi kenyamanan iklim wilayah tersebut. Rekayasa lingkungan yang dapat dilakukan yaitu dengan penanaman pohon atau pembuatan Ruang Terbuka Hijau (RTH) (Aini et al., 2015). Namun, jika hasil penelitian di wilayah studi sudah memenuhi standar kenyamanan iklim, maka rekayasa lingkungan tidak perlu dilakukan, hanya perlu mempertahankan tatanan kota supaya kondisi iklim tetap stabil.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan pemaparan latar belakang, maka diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh iklim di Kota Yogyakarta terhadap *heat stress* dengan menggunakan metode *Discomfort Index* (DI)?
2. Bagaimana analisis *heat stress* di Kota Yogyakarta yang sesuai dengan kategori bahaya yang sudah ditetapkan?
3. Bagaimana rekayasa lingkungan yang dapat diterapkan sesuai dengan kondisi kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari sebuah penelitian yaitu menjawab rumusan masalah yang sudah dirancang. Maka tujuan dari penelitian ini ialah untuk:



1. Mengidentifikasi pengaruh iklim di Kota Yogyakarta terhadap *heat stress* dengan menggunakan perhitungan *Discomfort Index* (DI).
2. Menganalisis *heat stress* di Kota Yogyakarta yang sesuai dengan kategori bahaya yang sudah ditetapkan.
3. Menentukan rekayasa lingkungan yang dapat diterapkan sesuai dengan kondisi kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adanya suatu penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat kepada banyak pihak. Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini ialah:

1. Sebagai media informasi untuk memperluas wawasan dan pengetahuan mahasiswa mengenai kondisi kenyamanan iklim berdasarkan metode *Discomfort Index* (DI) di Kota Yogyakarta.
2. Hasil dari penelitian dapat digunakan sebagai acuan pemerintah dalam merencanakan rekayasa lingkungan yang dapat diterapkan sesuai dengan kondisi kenyamanan iklim Kota Yogyakarta.
3. Memberikan kontribusi sekunder dalam bidang Meteorologi dan Klimatologi sehingga dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya.

#### **1.5 Ruang Lingkup**

Sebagai batasan untuk dilakukan penelitian ini, maka ruang lingkup yang digunakan yaitu:

1. Penelitian dilakukan di Kota Yogyakarta dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Geofisika Gamping dan Stasiun Klimatologi Mlati, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
2. Metode yang digunakan dalam menentukan indeks kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta yaitu *Discomfort Index* (DI).

3. Data yang digunakan sebagai parameter acuan dalam menentukan kondisi kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta yaitu suhu udara dan kelembaban relatif.
4. Penentuan kriteria bahaya didasarkan pada kategori *Discomfort Index* (DI) yang dikemukakan oleh Siami & Ramadhani (2019) pada jurnal yang berjudul *Climatology of Discomfort Index for Decade in Bandar Lampung, Indonesia*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum Kota Yogyakarta**

Kota Yogyakarta berada antara 110°24'19" - 110°28'53" Bujur Timur dan 07°15'24" - 07°49'26" Lintang Selatan. Secara administratif, Kota Yogyakarta berbatasan dengan Kabupaten Sleman di sebelah utara, Kabupaten Bantul dan Sleman di sebelah timur dan barat, serta Kabupaten Bantul di sebelah barat. Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota di Pulau Jawa yang cukup padat penduduk. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2020) menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kota Yogyakarta mencapai 414.055 jiwa yang tersebar di 14 kecamatan. Banyaknya jumlah penduduk di Kota Yogyakarta sepadan dengan sebutan "kota pelajar" yang sudah sejak lama melekat.

#### **2.2 Kenyamanan Iklim**

Iklim merupakan deskripsi dari unsur-unsur iklim, yaitu suhu (*temperature*), curah hujan, kelembaban, serta kecepatan angin dalam kurun waktu bulanan hingga jutaan tahun (KLH, 2009). Penjelasan lebih rinci mengenai unsur kenyamanan iklim disampaikan pada penelitian yang dilakukan oleh Qudratullah (2017):

1. Suhu Udara

Suhu atau *temperature* merupakan aktivitas dalam atmosfer yang biasa dinyatakan dengan beberapa satuan, diantaranya Celcius (C), Fahrenheit (F), dan Reamur (R). Suhu udara rata-rata di Indonesia sebesar 27°C, dengan rincian suhu kawasan daratan sebesar 28°C dan kawasan lautan sebesar 26,3°C (Sani et al., 2020).

2. Kecepatan Angin

Udara yang bergerak dari daerah dengan tekanan maksimum ke arah tekanan minimum disebut dengan kecepatan angin.

3. Kelembaban Udara

Studi oleh Ernyasih (2012) menyatakan bahwa kelembaban udara merupakan jumlah air yang terdapat di udara dan dinyatakan dalam satuan persen. Jenis kelembaban yang biasa digunakan untuk parameter iklim yaitu kelembaban absolut atau kelembaban relatif.

4. Penyinaran Matahari

Intensitas penyinaran matahari bergantung pada durasi penyinaran, besarnya sudut datang sinar matahari, jenis benda yang terkena sinar matahari, serta kondisi awan saat penyinaran.

5. Curah Hujan

Kuantitas air hujan yang jatuh ke tanah biasa disebut dengan curah hujan. Curah hujan diukur selama 24 jam sehingga diperoleh data curah hujan dalam bentuk harian, bulanan, atau tahunan. Satuan yang digunakan dalam curah hujan yaitu milimeter.

### 2.3 Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan aktivitas manusia yang berkaitan dengan keadaan iklim dan dapat berdampak pada komposisi atmosfer global (KLHK, 2016). Indikator atau parameter utama perubahan iklim yaitu curah hujan, kelembaban udara, suhu, tutupan awan, angin dan penguapan (evaporasi) (Aldrian et al., 2011). Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) juga dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Meningkatnya GRK berdampak besar pada kondisi atmosfer karena GRK memiliki daya serap terhadap radiasi gelombang panjang, yang mana dapat meningkatkan suhu bumi. Mulai tahun 1900, suhu permukaan bumi telah meningkat sebesar  $0,7^{\circ}\text{C}$  dan terhitung dari tahun 2014, suhu bumi meningkat cepat dan konsisten sebesar  $0,2^{\circ}\text{C}$  per decade selama 30 tahun kebelakang (Subagyono, 2014). Sedangkan untuk kawasan Asia

Tenggara telah terjadi peningkatan suhu yang berkisar antara 0,4 – 1°C (Indraswari, 2019).

### **2.3 Kenyamanan Termal pada Ruang Luar**

Kenyamanan termal diartikan sebagai sebuah situasi pemikiran yang memperlihatkan kepuasan terhadap lingkungan termal. Sedangkan kenyamanan termal di luar ruang muncul melalui pengaruh bentuk massa bangunan terhadap temperatur pada kawasan sekitar, kemudian didapatkan nilai kenyamanan termal lingkungan (Wonorahadjo dan Koerniawan, 2005). Tolok ukur yang digunakan sebagai parameter kenyamanan termal luar ruang untuk masyarakat perkotaan yaitu iklim mikro. Terdapat 4 (empat) parameter iklim mikro yakni kelembaban udara, suhu udara, radiasi matahari, dan kecepatan angin (Mala et al., 2019).

### **2.4 Heat Stress**

*Heat stress* merupakan kondisi maksimal tubuh manusia menerima paparan panas dari berbagai aktivitas, seperti tingginya kelembaban udara dan radiasi matahari serta pajanan langsung dengan aktivitas maupun benda yang mengeluarkan panas (Sahna, 2019). Suhu maksimal manusia untuk berfikir optimal yaitu 32°C (Fajrianti et al., 2017). *Heat stress* dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat, khususnya perkotaan. Perbedaan suhu dan iklim yang ada di kawasan perkotaan mengakibatkan beberapa potensi gangguan seperti masalah kesehatan yang lebih rentan terjadi pada usia anak-anak, orang yang sudah berumur, serta orang dengan penyakit pernafasan dan kardiovaskular kronis (Harlan et al., 2006). Taslim et al. (2015) dalam jurnalnya menyatakan bahwa suhu yang tinggi dapat menyebabkan gangguan ekonomi dan lingkungan serta kerusakan pada kesehatan manusia. Selain itu, *heat stress* juga dapat menyebabkan gangguan fisiologi seperti peningkatan denyut jantung, kelelahan, dehidrasi, peningkatan temperatur kulit, serta peningkatan suhu inti tubuh (Anjani et al., 2013).

## 2.5 *Discomfort Index (DI)*

*Discomfort Index (DI)* adalah salah satu indeks kenyamanan termal luar ruangan yang menentukan tingkat ketidaknyamanan manusia berdasarkan suhu lingkungan dan kelembaban relatif (Din et al., 2014). DI digunakan untuk mengukur tingkat paparan panas akibat perbedaan atau perubahan kondisi iklim (Xu, et al., 2017). Nilai indeks berdasarkan kategori DI berkisar antara 23,5 – 26,5 °C (Diana et al., 2020). Metode DI disarankan untuk digunakan sebagai indeks panas universal (Epstein & Moran, 2006). Hal ini didasari oleh perhitungan DI yang cukup sederhana yaitu menggunakan perhitungan dengan parameter nilai suhu udara dan kelembaban udara relatif.

## 2.6 **Rekayasa Lingkungan**

Meningkatnya *Discomfort Index (DI)* dapat menyebabkan terjadinya *heat stress* (Wati, 2018). Faktor- faktor yang mempengaruhi terjadinya *heat stress* yaitu kombinasi antara suhu udara (suhu basah dan suhu kering), kelembaban udara, radiasi panas, serta kecepatan angin (Fajrianti, 2017). Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan rekayasa lingkungan. Rekomendasi rekayasa lingkungan yang dapat diterapkan di Kota Yogyakarta yaitu Ruang Terbuka Hijau (RTH) (Wati, 2018). Menurut Ratnasari et al. (2015), RTH dapat menurunkan suhu dan kelembaban udara Kota Yogyakarta. Selain RTH, rekayasa lingkungan lainnya yakni vegetasi peneduh jalan raya, penerapan *green façade (vertical garden)* (Haryanto et al., 2019), penerapan *roof garden* (Arisanti et al., 2010), serta perbaikan perilaku hidup masyarakat.

Berdasarkan Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang, menjelaskan bahwa RTH dibagi menjadi dua yaitu RTH publik (20% dari luas total kota) dan RTH privat (10% dari luas kota). Oleh karena Kota Yogyakarta sudah masuk kategori padat penduduk, maka RTH privat lebih

memungkinkan untuk dijadikan alternatif rekayasa lingkungan. RTH privat dapat berupa kebun atau halaman rumah/gedung milik masyarakat/swasta yang ditanami tumbuhan.

Saat hutan lebat atau RTH semakin luas maka jumlah kelembaban udara melalui transpirasi juga akan meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh bayang-bayang dari pepohonan yang berfungsi untuk memperkecil penguapan (Julismin, 2013). Sejalan dengan penelitian dari Annisa (2016) bahwa penanaman pohon atau pembangunan hutan kota dapat menurunkan suhu kawasan perkotaan. Studi dari Georgi (2006) menjelaskan bahwa kawasan yang memiliki rapatan vegetasi tinggi, suhunya akan lebih rendah jika dibandingkan dengan kawasan yang memiliki rapatan vegetasi rendah.

## **2.7 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu dapat membantu penulis dalam proses studi literatur untuk memperkaya teori yang digunakan sebagai dasar penyusunan penelitian ini. Tabel 1 menunjukkan penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya.

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Topik	Hasil
1	(Poupkou, 2011)	Konsep umum mengenai batas nilai DI dan CAQI	Selama musim panas, efek <i>Urban Heat Stress</i> (UHI) menjadi lebih besar. Ketika DI menunjukkan nilai $\geq 24^{\circ}\text{C}$ maka telah terjadi peningkatan suhu dan ketika nilai <i>Common Air Quality Index</i> (CAQI) $\geq 76$ maka telah terjadi perasaan tidak nyaman.
2	(Sugiasih, 2013)	Rata-rata nilai indeks ketidaknyamanan berdasarkan kategori THI, CI, dan DI	Umumnya masyarakat dengan iklim tropis merasa tidak nyaman pada nilai THI diatas $27^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan nilai CI bagi orang tropis berkisar antara $23-26^{\circ}\text{C}$ . Serta nilai DI bagi orang-orang tropis berada pada suhu dibawah $27^{\circ}\text{C}$ .
3	(Wati, 2018)	Parameter atau data yang digunakan untuk melakukan penelitian dengan metode <i>Discomfort Index</i> (DI)	Parameter yang digunakan yaitu suhu, kelembaban, curah hujan, dan jumlah hari yang kering dengan menggunakan data dari tahun 1982 – 2014 di lima stasiun. Hasil uji menunjukkan nilai DI di Jakarta berkisar $25,2 - 26,8^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata $25,9^{\circ}\text{C}$ .
4	(Siregar, 2020)	Metode yang digunakan dalam penelitian berbasis <i>Discomfort Index</i> (DI)	Penelitian ini menggunakan metode parameter iklim mikro berupa suhu dan kelembaban udara. Data yang digunakan bersumber dari Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda selama 30 tahun (1989-2018). Kemudian data yang diperoleh akan dikonversi dan dilakukan analisis sesuai kategori THI, DI, dan <i>Humidex</i> . Tujuannya untuk mengetahui kondisi termal selama 30 tahun.



## **BAB III**

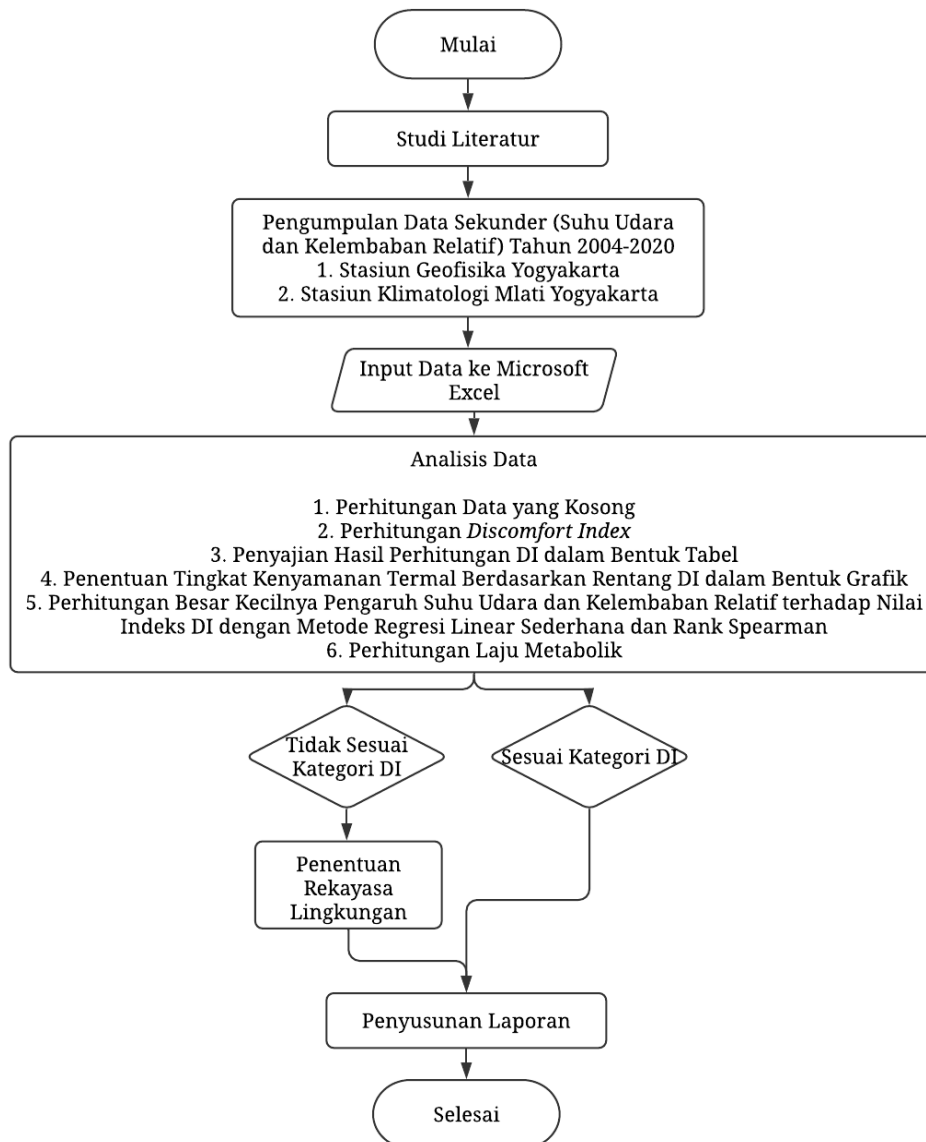
### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di Kota Yogyakarta dengan menggunakan data sekunder yang bersumber dari Stasiun Geofisika Gamping Yogyakarta dan Stasiun Klimatologi Mlati Yogyakarta. Periode data yang digunakan yaitu dari Bulan Januari 2004 hingga Bulan Desember 2020. Penelitian dimulai dari proses permohonan data pada Bulan April 2020 hingga pengumpulan laporan pada Bulan Maret 2021.

#### **3.2 Metode Penelitian**

Pada metode penelitian digunakan diagram alir untuk mempermudah melakukan langkah-langkah kegiatan selama proses penelitian berlangsung. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 1 Diagram Alir Metode Penelitian Analisis *Heat Stress* di Kota Yogyakarta Menggunakan Metode *Discomfort Index* (DI)

### 3.2.1 Penentuan Lokasi dan Pengumpulan Data

Penelitian dimulai dari permohonan data pada Bulan April 2020 hingga pengumpulan laporan pada Bulan Maret 2021. Penelitian dilakukan di Kota Yogyakarta menggunakan data sekunder yang bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta. Data yang digunakan berasal dari Stasiun Geofisika Yogyakarta dan Stasiun Klimatologi

Mlati Yogyakarta periode Januari 2004 s/d Desember 2020. Data dari 2 (dua) stasiun kemudian diolah menggunakan metode aritmatika untuk tahun 2004-2020. Data yang diambil untuk penilaian kenyamanan iklim yaitu suhu, dan kelembaban relatif. Hal ini mengacu pada data spesifik yang digunakan untuk perhitungan metode *Discomfort Index* (DI) yakni suhu udara dan kelembaban relatif (Din et al., 2014). Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta Administrasi Kota Yogyakarta

Sumber: Dokumen RPIJM (Rencana Program Investasi Jangka Menengah) Kota Yogyakarta

### 3.2.2 Analisis Klasifikasi Iklim

Pengertian iklim menurut Aldrian et al. (2011) yaitu karakter cuaca yang terjadi pada suatu daerah atau kawasan. Faktor yang mempengaruhi iklim ialah letak lintang, kemiringan lereng, ketinggian, keadaan arus laut, serta jarak daerah tersebut dengan perairan. Negara yang berada di garis ekuator bumi (garis khatulistiwa) disebut wilayah beriklim tropis, termasuk Indonesia. Negara dengan iklim tropis memiliki ciri suhu yang selalu tinggi dan variasi tahunnya kecil. Pada penelitian ini, klasifikasi iklim di Kota Yogyakarta berdasarkan pada metode Oldeman dengan menggunakan data sekunder curah

hujan yang diambil dari dua stasiun. Nasution & Nuh (2010) dalam jurnalnya mengatakan bahwa klasifikasi Oldeman dapat berlaku umum dan sesuai dengan iklim dunia termasuk Indonesia. Menurut Oldeman, klasifikasi iklim suatu daerah dibedakan menjadi tiga yaitu bulan basah (curah hujan bulanan >200 mm), bulan lembab (curah hujan bulanan antara 100 – 200 mm), dan bulan kering (curah hujan bulanan <100 mm).

### 3.2.3 Pengukuran Parameter *Discomfort Index* (DI)

Metode *Discomfort Index* (DI) merupakan sebuah metode yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal di suatu wilayah. Pemilihan metode DI didasari oleh penggunaannya yang relatif sederhana dengan melakukan prakiraan tingkat ketidaknyamanan menggunakan kombinasi data suhu udara dan kelembaban relatif (Epstein, 2006). Metode DI pertama kali diusulkan oleh Thom (1959). Metode ini juga telah banyak digunakan oleh berbagai negara di belahan bumi untuk mengevaluasi tingkat ketidaknyamanan manusia dalam skala yang lebih besar (Georgi, 2006). Penelitian ini relatif baik digunakan di iklim tropis seperti Indonesia. Sejalan dengan penelitian dari Taslim et al. (2015) bahwa suhu yang tinggi (*heat stress*) dapat menyebabkan kerusakan pada kesehatan manusia serta gangguan ekonomi dan lingkungan. Kesenambungan antara *heat stress* dengan DI dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$DI = T - \{0,55 \cdot (1 - 0,01 RH) (T - 14,50)\}$$

Keterangan:

DI : *Discomfort Index* (°C)

T : Suhu Udara (°C)

RH : *Relative Humidity* atau Kelembaban Udara (%)

Nilai *Discomfort Index* (DI) dapat diperoleh dengan mengumpulkan data berupa suhu udara rata-rata dan nilai kelembaban relatif. Setelah semua data terkumpul, maka dilakukan perhitungan dengan cara memasukkan nilai T dan RH ke dalam rumus yang sudah ditetapkan. Berdasarkan hasil

perhitungan, maka nilai DI dapat dimasukkan ke dalam kategori kenyamanan iklim untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Kategori kenyamanan termal dengan metode DI dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kategori Kenyamanan Iklim Berdasarkan Nilai *Discomfort Index* (DI)

<b>Rentang DI (°C)</b>	<b>Kondisi Ketidaknyamanan</b>
DI < 21	Nyaman
21 ≤ DI < 24	Kurang dari 50% populasi merasa tidak nyaman
24 ≤ DI < 27	Lebih dari 50% populasi merasa tidak nyaman
27 ≤ DI < 29	Mayoritas populasi merasa tidak nyaman
29 ≤ DI < 32	Semua populasi merasa tidak nyaman
DI ≥ 32	Darurat medis

Sumber: (Siami & Ramadhani, 2019); (Spridonov et al., 2013)

### 3.2.4 Analisis Hubungan Antar Variabel

Hubungan antar variabel dalam penelitian ini membahas mengenai korelasi antara nilai *Discomfort Index* dengan suhu udara rata-rata dan kelembaban relatif. Oleh karena itu, diperlukan metode yang tepat untuk memudahkan penelitian dalam mengukur derajat hubungan antar variabel. Terdapat dua metode yang dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini, yaitu metode regresi linear dan metode *Rank Spearman*.

Menurut Kurniawan (2016), regresi merupakan alat uji yang digunakan untuk mengukur hubungan dua variabel atau lebih dan dinyatakan dalam bentuk hubungan atau fungsi. Regresi memiliki hubungan antar variabel yang bersifat linear, apabila variabel X mengalami perubahan maka variabel Y juga akan berubah secara tetap (Muhartini et al., 2021). Regresi linear dibuat untuk mengetahui nilai  $R^2$  (koefisien determinasi) pada setiap variabel, yang mana digunakan untuk mengetahui informasi mengenai kecocokan suatu model. Koefisien determinasi berkisar  $0 < R^2 < 1$ , artinya apabila  $R^2$  mendekati 1 maka variabel bebas memiliki pengaruh yang besar terhadap variabel terikat (Ndruru et al., 2014). Berikut persamaan regresi linear sederhana menurut Yuliara (2016).

$$Y = a + bx$$

Keterangan:

- Y : variabel terikat atau garis regresi (variabel *response*)  
 a : konstanta (intersep)  
 b : konstanta regresi (*slope*)  
 X : variabel bebas (*predictor*)

Selain menggunakan metode regresi linear, penentuan hubungan antar variabel dalam penelitian ini juga menggunakan analisis korelasi *Rank Spearman*. *Rank Spearman* merupakan salah satu alat uji statistik yang digunakan untuk menguji adanya hubungan antara variabel apabila datanya berskala ordinal (ranking). Yudihartanti (2018) dalam jurnalnya menjelaskan bahwa nilai korelasi dari metode *Spearman* berkisar  $-1 < r_s < 1$ . Jika nilai korelasi sama dengan 0, maka variabel X dan Y tidak ada korelasi. Jika  $r$  bernilai positif, ketika nilai variabel Y naik maka nilai variabel X juga akan naik. Sebaliknya, jika  $r$  bernilai negatif, ketika nilai variabel Y naik maka nilai variabel X akan turun. Berikut rumus dan tingkat hubungan antar variabel berdasarkan metode *Rank Spearman*.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Keterangan:

- $r_s$  : *Rank Spearman*  
 n : jumlah kasus (sampel)  
 d : selisih ranking antara variabel X dan Y pada tiap subyek  
 6 : konstanta

Tabel 3 Rentang Koefisien Berdasarkan Metode *Rank Spearman*

Interval R	Arti R
-1	Negatif Sempurna
$-1 < r < -0.9$	Negatif Kuat
$-0.9 < r < -0.5$	Negatif Moderat
$-0.5 < r < 0$	Negatif Lemah
0	Tidak Berkorelasi
$0 < r < 0.5$	Positif Lemah
$0.5 < r < 0.9$	Positif Moderat
$0.9 < r < 1$	Positif Kuat
1	Positif Sempurna

Sumber: Sudarno (2017)

### 3.2.5 Pengkategorian Risiko Berdasarkan Nilai Indeks DI dan Perhitungan Laju Metabolik

Berdasarkan hasil dari perhitungan nilai indeks DI, langkah selanjutnya yaitu penentuan level risiko dari nilai DI terhadap tingkat kenyamanan termal dan kemungkinan terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta. Setelah mengetahui level risiko terhadap kemungkinan terjadinya *heat stress*, kemudian dilakukan perhitungan laju metabolik. Laju metabolik dihitung menggunakan data standar berat badan rata-rata yang dikelompokkan berdasarkan kategori umur. Tabel 4 menunjukkan rata-rata berat badan masyarakat Indonesia.

Tabel 4 Rata-Rata Berat Badan Laki-Laki dan Perempuan Berdasarkan Kategori Umur

Kelompok	Umur	Berat Badan	
		Laki-Laki	Perempuan
1	15-24	52.4	48.5
2	25-30	60.9	56.2
3	31-34	62.9	58.6
4	35-44	62.9	58.6
5	45-54	61.9	57.7
6	55-59	60.9	56.8
7	60-64	60.9	56.8
8	65+	54.4	46.6

Sumber: Sri Muljati et al. (2016)

Data berat badan digunakan untuk menghitung laju metabolik seseorang dengan mengacu pada rumus yang terdapat di ISO 8996:2004. Pada ISO 8996:2004 dijelaskan bahwa rata-rata berat badan pria berusia 30 tahun yakni 70 kg, sedangkan berat badan wanita usia 30 tahun yakni 60 kg. Persamaan untuk menghitung laju metabolik seseorang mengacu pada PerMenKes No. 70 Tahun 2016, sebagai berikut.

$$\text{Laju metabolik}_{(koreksi)} = \frac{\text{Berat badan pekerja (kg)}}{70 \text{ (kg)}} \times \text{laju metabolik}_{(observasi)}$$

Dari hasil perhitungan laju metabolik sesuai dengan rumus diatas, selanjutnya dilakukan pengkategorian sesuai dengan hasil yang diperoleh. Berdasarkan hasil pengkategorian dapat diketahui kelompok umur yang berpotensi *heat stress* paling tinggi. Pengkategorian laju metabolik manusia disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Kategori Laju Metabolik Manusia

Kategori	Laju Metabolik	Aktivitas
Istirahat	100 – 125	Duduk
Ringan	125 – 235	Duduk sambil melakukan pekerjaan ringan dengan tangan, mengemudi, atau berdiri sambil melakukan pekerjaan ringan dengan lengan dan sesekali jalan
Sedang	235 – 360	Pekerjaan sedang dengan tangan dan lengan, dengan lengan dan kaki, dengan lengan dan pinggang, atau mendorong atau menarik beban yang ringan, dan berjalan biasa
Berat	360 – 465	Pekerjaan intensif: dengan lengan dan pinggang, membawa benda, menggali, menggergaji secara manual, mendorong atau menarik benda yang berat, dan berjalan cepat
Sangat Berat	> 465	Pekerjaan sangat intensif dengan kecepatan maksimal

Sumber: Permenkes No. 70 Tahun 2016

### 3.2.6 Analisis Rekayasa Lingkungan

Sesuai dengan alur penelitian pada Gambar 1, data dari hasil pengukuran tingkat kenyamanan termal disajikan dalam bentuk grafik yang memuat nilai DI beserta kategorinya. Kemudian dilakukan analisis kuantitatif untuk mengetahui kenyamanan termal yang ada di Kota Yogyakarta. Setelah diperoleh nilai DI dari hasil perhitungan dan dilakukan analisis kategori DI, maka ketika terdapat nilai DI yang belum sesuai standar, perlu dilakukan rekayasa lingkungan untuk menciptakan kenyamanan termal. Rekayasa lingkungan yang dapat dilakukan untuk mengembalikan kondisi iklim dan menciptakan kenyamanan di Kota Yogyakarta diantaranya dengan melakukan



perbaikan perilaku hidup masyarakat, penerapan *green transportation* (Dwiputri et al., 2021), optimalisasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) publik ataupun privat (Ratnasari, 2015), penanaman pohon sebagai peneduh jalan raya (Zayadi, 2017), penerapan *green façade (vertical garden)* (Haryanto et al., 2019), ataupun penerapan *roof garden* (Arisanti et al., 2010).



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis Iklim di Kota Yogyakarta**

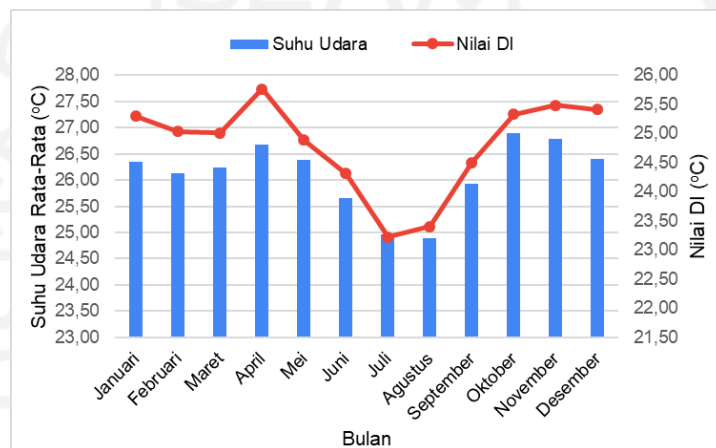
Kota Yogyakarta merupakan kota yang masuk ke dalam tipe iklim tropis. Pada penelitian ini, klasifikasi iklim di Kota Yogyakarta menggunakan metode klasifikasi Oldeman (Harmoni, 2014). Berdasarkan klasifikasi tersebut, iklim daerah tropis dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu bulan basah (curah hujan rata-rata  $> 200$  mm), bulan lembab (curah hujan rata-rata berkisar 100-200 mm), dan bulan kering (curah hujan rata-rata  $< 100$  mm).

Bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering dapat diukur berdasarkan data curah hujan. Adapun data curah hujan tersedia dalam bentuk tabel yang terdapat pada Lampiran 3. Berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Geofisika dan Stasiun Klimatologi, diketahui bahwa kondisi iklim Kota Yogyakarta pada tahun 2007 hingga tahun 2020 masuk kategori bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering. Bulan basah di Kota Yogyakarta terjadi pada rentang bulan November hingga April, bulan lembab terjadi di bulan Mei, dan bulan kering terjadi pada rentang bulan Juni-Oktober.

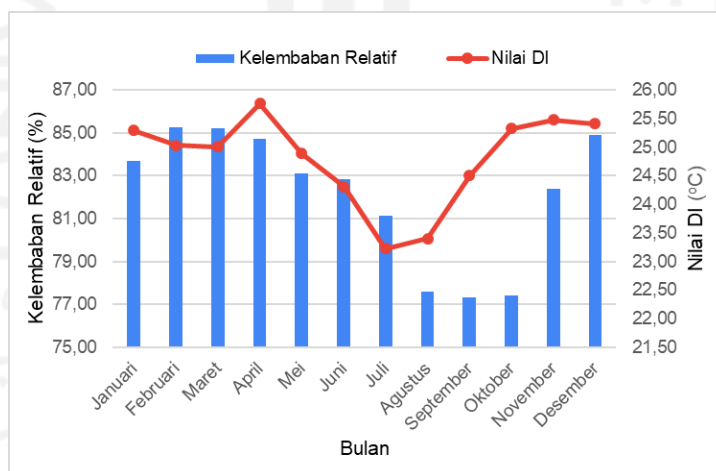
#### **4.2 Analisis Data Berdasarkan Metode *Discomfort Index* (DI)**

Pengukuran indeks kenyamanan sebuah kota beriklim tropis dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Discomfort Index* (DI). *Discomfort Index* (DI) merupakan suatu indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat paparan panas akibat perbedaan atau perubahan kondisi iklim (Xu, et al., 2017). Faktor iklim yang mempengaruhi tingkat kenyamanan masyarakat yakni suhu udara dan kelembaban relatif (Sugiasih, 2013). Penentuan tingkat kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta menggunakan data sekunder yang bersumber dari Stasiun Geofisika Gamping Yogyakarta dan Stasiun Klimatologi Mlati Yogyakarta.

Berdasarkan data yang diperoleh dari 2 (dua) stasiun tersebut, kondisi iklim di Kota Yogyakarta selama tahun 2004-2020 (17 tahun) memiliki suhu udara minimum sebesar 22,61°C, suhu udara maksimum 31,60°C, suhu udara rata-rata 26,12°C, serta kelembaban udara rata-rata 82,14%. Selain parameter-parameter tersebut, curah hujan juga merupakan salah satu faktor dalam menentukan kenyamanan termal. Namun data curah hujan hanya digunakan untuk penentuan bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering.



Gambar 3 Hubungan Suhu Udara dengan Nilai Indeks DI di Kota Yogyakarta



Gambar 4 Hubungan Kelembaban Relatif dengan Nilai Indeks DI di Kota Yogyakarta

Berdasarkan Gambar 3, data suhu udara rata-rata di Kota Yogyakarta menunjukkan hasil yang fluktuatif. Suhu udara tertinggi di Kota Yogyakarta terjadi pada bulan Oktober dan suhu udara terendah terjadi pada bulan Agustus.

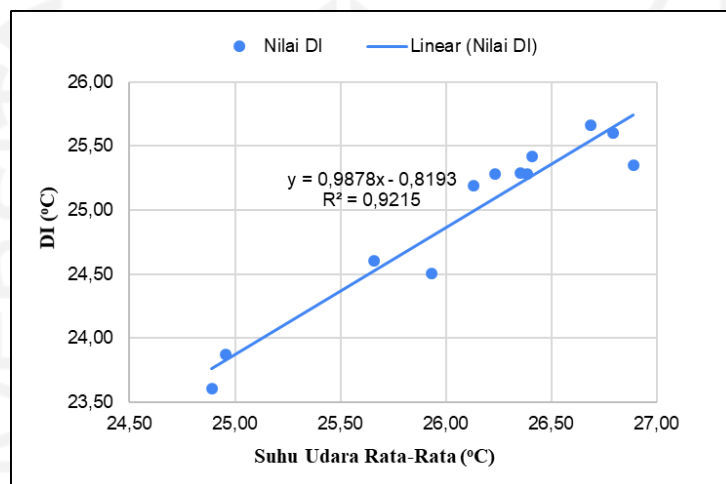
Adapun untuk kenaikan nilai DI terjadi pada bulan Maret-April dan bulan Agustus-November. Suhu udara dengan nilai DI berpengaruh satu dengan yang lainnya, atau dapat dikatakan berbanding lurus. Apabila suhu udara mengalami kenaikan maka nilai DI juga akan meningkat, begitu sebaliknya. Selain data suhu udara, untuk menentukan nilai indeks DI juga diperlukan data kelembaban relatif. Setelah dilakukan perhitungan dan pengolahan data, diperoleh hasil kelembaban tertinggi Kota Yogyakarta terjadi pada bulan Februari dan kelembaban terendah terjadi pada Bulan September. Hasil pengukuran hubungan kelembaban relatif dengan nilai indeks DI dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan grafik sebelumnya, nilai *Discomfort Index* di Kota Yogyakarta membentuk pola *Bimodal – Shoulder Peaks* (Hasanah et al., 2020). Menurut Dwianda dan Marzuki (2018), pola *Bimodal – Shoulder Peaks* yakni suatu pola yang memiliki dua puncak dan dua lembah dalam satu grafik. *Bimodal – Shoulder Peaks* dapat terjadi pada nilai DI disebabkan karena Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa sehingga menyebabkan pola curah hujan memiliki dua puncak (Turyanti et al., 2007).

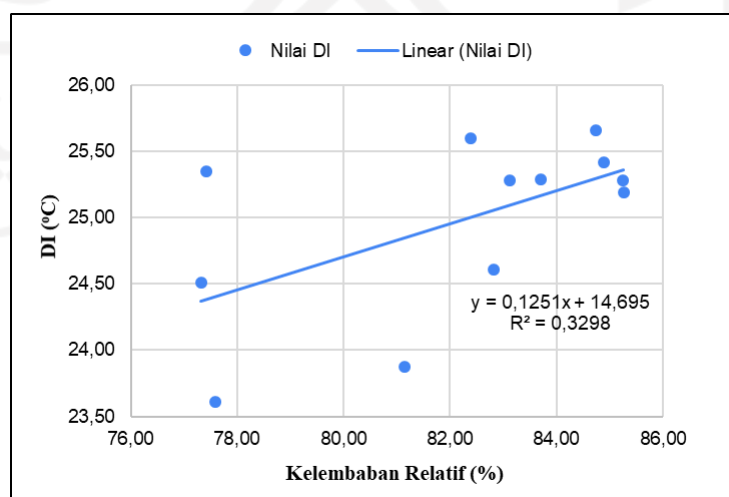
Puncak nilai DI di Kota Yogyakarta terjadi pada Bulan April dan November, dengan nilai DI tertinggi pada bulan April sebesar 25,66°C. Berdasarkan Gambar 3, *peak season* nilai suhu udara rata-rata terdapat pada bulan Oktober dan November, dengan nilai suhu udara rata-rata tertinggi pada bulan Oktober sebesar 26,89°C. Kemudian, berdasarkan Gambar 4, *peak season* nilai kelembaban relatif terdapat pada bulan Februari dan Maret, dengan nilai kelembaban relatif tertinggi pada bulan Februari sebesar 85,26%. Melihat kondisi termal di Indonesia, maka waktu yang tepat untuk melakukan aktivitas luar ruangan (*outdoor activity*) adalah ketika kondisi sedang optimal. Karena hal ini berkaitan dengan kemungkinan *heat stress* yang akan dialami oleh masyarakat Kota Yogyakarta.

Kemudian, untuk mengetahui hubungan antara suhu udara dan kelembaban dengan indeks DI dapat dinyatakan dalam bentuk regresi linear ( $R^2$ ). Hubungan antara suhu udara dan kelembaban dengan indeks DI

dinyatakan dalam bentuk regresi linear ( $R^2$ ). Regresi linear merupakan sebuah metode untuk mengukur hubungan dua variabel atau lebih (Kurniawan, 2016). Berdasarkan hasil dari grafik regresi linear diperoleh bobot suhu udara di Kota Yogyakarta sebesar 0,9215, sedangkan kelembaban hanya sebesar 0,3298. Jika dibandingkan dengan hasil regresi kelembaban relatif, suhu udara memiliki pengaruh yang lebih besar dalam penentuan indeks DI, sedangkan untuk kelembaban memiliki pengaruh yang lebih kecil terhadap nilai DI. Hubungan antara suhu udara dengan indeks DI ialah berbanding lurus, yang mana semakin tinggi nilai suhu udara maka akan semakin tinggi pula nilai DI.



Gambar 5 Regresi antara Suhu Udara Rata-Rata dengan Nilai DI



Gambar 6 Regresi antara Kelembaban Relatif dengan Nilai DI

Selain menggunakan metode regresi linear, analisis hubungan antar variabel juga menggunakan metode *Rank Spearman*. Penelitian ini menggunakan variabel suhu udara rata-rata dan kelembaban udara relatif.

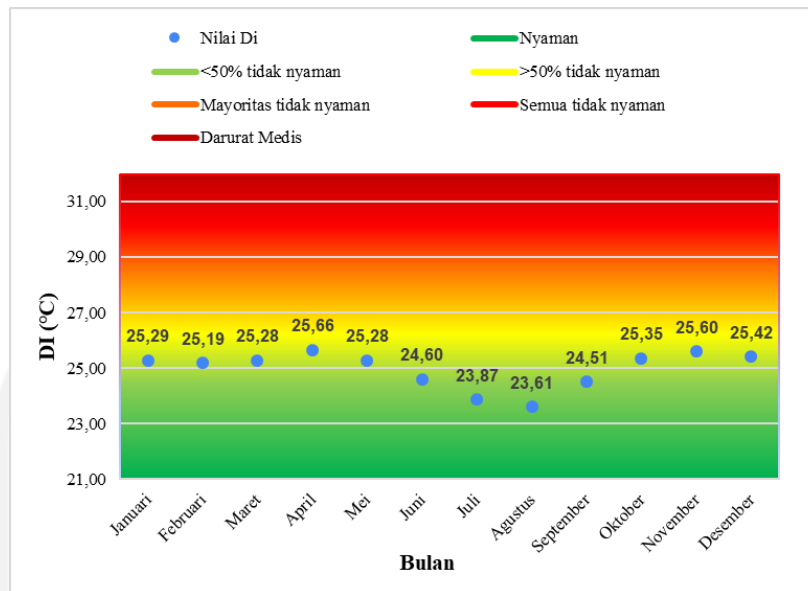
Tabel 6 Hasil Analisis Antar Variabel Berdasarkan Metode *Rank Spearman*

Rangkuman	Spearman's Rank	Status
Suhu Udara	0,92	Positif Kuat
Kelembaban	0,38	Positif Lemah

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus *Spearman*, diperoleh hasil bahwa suhu udara memiliki nilai korelasi 0,92 (positif kuat) terhadap nilai *Discomfort Index*, yang artinya suhu udara memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai DI. Jadi, ketika suhu udara mengalami kenaikan maka nilai DI juga akan naik. Sedangkan kelembaban memiliki nilai korelasi 0,38 (positif lemah), artinya nilai kelembaban memiliki pengaruh yang lemah terhadap nilai DI.

#### 4.3 Analisis Kategori Bahaya Berdasarkan Metode *Discomfort Index* (DI)

Nilai DI diperoleh dari data harian suhu udara (°C) dan kelembaban relatif (%). Nilai harian dari setiap parameter dirata-rata ke dalam nilai bulanan. Kemudian hasil dari rata-rata tersebut dimasukkan ke dalam kategori DI yang terdapat pada Tabel 2.



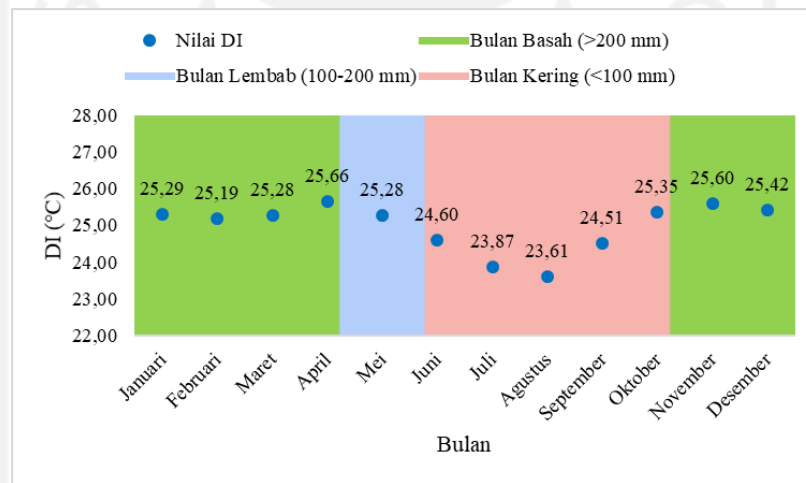
Gambar 7 Nilai Tingkat Kenyamanan Iklim di Kota Yogyakarta Tahun 2004-2020 Berdasarkan Metode DI

Pada Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran nilai DI Kota Yogyakarta yang bervariasi setiap bulannya. Kategori nyaman menurut nilai DI terjadi pada bulan Juli dan Agustus, sedangkan kategori tidak nyaman terjadi pada bulan September – Juni. Rata-rata nilai DI di Kota Yogyakarta sebesar 24,97°C yang mana masuk ke dalam kategori nyaman optimal. Tingkat kenyamanan di Kota Yogyakarta menunjukkan hasil yang berbeda dengan beberapa kota lainnya, seperti Jakarta. Nilai DI di Kota Jakarta menunjukkan hasil 25,2 – 26,8°C dengan rata-rata sebesar 25,9°C (Wati, 2018). Sugiasih (2013) dalam jurnalnya juga menjelaskan bahwa masyarakat daerah tropis merasa nyaman ketika beraktivitas pada suhu < 27°C.

Secara keseluruhan dari hasil perhitungan setiap bulannya dapat disimpulkan bahwa lebih dari 50% masyarakat Kota Yogyakarta merasa tidak nyaman dengan kondisi termal yang ada. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh pola perkembangan kota, dimana semakin bertambahnya penduduk dan pembangunan infrastruktur memicu peningkatan suhu udara yang mana akan berdampak pada perubahan iklim. Nilai indeks yang tidak memenuhi atau melebihi ambang batas dapat menimbulkan rasa ketidaknyamanan dan memicu

terjadinya *heat stress* pada masyarakat ketika sedang berada di luar ruangan (*outdoor*).

*Heat stress* dapat dipengaruhi oleh kondisi iklim pada suatu kawasan. Kondisi iklim di Kota Yogyakarta jika dikorelasikan dengan kenyamanan termal menunjukkan hasil yang bervariasi. Menurut klasifikasi tipe iklim dari Oldeman (2014), kondisi iklim di Kota Yogyakarta masuk dalam kategori nyaman optimal di semua bulan, baik tipe bulan basah, bulan lembab, maupun bulan kering. Kenyamanan termal di Kota Yogyakarta yang menunjukkan kondisi optimal masuk dalam kategori bulan kering, lebih tepatnya pada bulan Juli dengan nilai DI sebesar 23,87°C dan pada bulan Agustus dengan nilai DI sebesar 23,61°C. Nilai *Discomfort Index* di Kota Yogyakarta berdasarkan tipe iklim disajikan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8 Hubungan Tipe Iklim dengan Nilai Indeks DI di Kota Yogyakarta

Tipe iklim memiliki pengaruh yang erat terhadap aktivitas manusia baik di dalam maupun di luar ruangan. Berdasarkan ISO 8996:2004, kegiatan atau aktivitas di luar ruangan dapat berupa pelatihan ketenagakerjaan, aktivitas olahraga, pekerjaan-pekerjaan khusus, dan sebagainya. Aktivitas luar ruangan (*outdoor*) berkaitan erat dengan kondisi metabolik seseorang. Laju metabolik memiliki peran penting dalam penentuan tingkat kenyamanan dari paparan panas yang terjadi di lingkungan masyarakat. Kondisi iklim yang cenderung panas dan tingginya aktivitas kerja otot dapat berpotensi mengakibatkan *heat*



*stress*. Menurut Permenkes No. 70 Tahun 2016, laju metabolik dibagi menjadi lima kategori yang dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil pengolahan data berat badan rata-rata berdasarkan pada ISO 8996:2004 menunjukkan:

Tabel 7 Laju Metabolik Berdasarkan ISO 8996:2004

No	Umur (tahun)	Laju Metabolik	
		Laki-Laki	Perempuan
1	15 - 24	Ringan dan sedang	Ringan, sedang, dan berat
2	25 - 30	Ringan, sedang, dan berat	Istirahat, ringan, sedang, dan berat
3	31 - 34	Istirahat, ringan, sedang, dan berat	Istirahat, ringan, sedang, dan berat
4	35 - 44	Istirahat, ringan, sedang, dan berat	Istirahat, ringan, sedang, dan berat
5	45 - 54	Ringan, sedang, dan berat	Istirahat, ringan, sedang, dan berat
6	55 - 59	Ringan, sedang, dan berat	Istirahat, ringan, sedang, dan berat
7	60 - 64	Ringan, sedang, dan berat	Istirahat, ringan, sedang, dan berat
8	> 65	Ringan, sedang, dan berat	Ringan, sedang, dan berat

Hasil analisis laju metabolik menyatakan bahwa semua semua kelompok umur masyarakat Kota Yogyakarta berpotensi berat mengalami *heat stress*, kecuali pada jenis kelamin laki-laki kelompok umur 15 – 24 tahun. Menurut Sukmaningrum (2017), usia produktif manusia berada di rentang umur 15 – 64 tahun. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Yogyakarta tahun 2021 menyebutkan jumlah penduduk laki-laki dengan umur diatas 15 tahun lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah penduduk perempuan. Data menyebutkan bahwa penduduk laki-laki berjumlah 145.124 orang, sedangkan penduduk perempuan berjumlah 150.398 orang.

Memasuki usia produktif, aktivitas masyarakat Kota Yogyakarta menjadi cukup padat. Maka dengan adanya aktivitas yang dilakukan oleh masyarakat Kota Yogyakarta, baik *indoor* ataupun *outdoor*, akan berpengaruh terhadap laju metabolik. Kondisi laju metabolik seseorang dapat memicu terjadinya *heat stress*. Berdasarkan nilai *Discomfort Index* (DI) yang diperoleh

dari hasil perhitungan, risiko paling tinggi terjadi *heat stress* di Kota Yogyakarta yakni pada laki-laki umur 24 hingga 65 tahun ke atas dan pada perempuan umur 15 hingga 65 tahun ke atas. Potensi *heat stress* terjadi pada bulan September hingga Juni karena pada bulan tersebut suhu udara di Kota Yogyakarta mengalami kenaikan dan masuk ke dalam kategori tidak nyaman. Apabila pada kondisi seperti itu masyarakat masih melakukan aktivitas di luar ruangan (*outdoor*) secara terus menerus, maka kemungkinan terjadinya *heat stress* akan semakin tinggi.

Berdasarkan hasil pengukuran kenyamanan termal menggunakan metode *Discomfort Index* (DI), kondisi di Kota Yogyakarta sudah mengalami *heat stress* karena lebih dari 50% masyarakat merasa tidak nyaman dengan kondisi termal yang ada. *Heat stress* yang dialami secara terus-menerus dapat menyebabkan beberapa dampak bagi tubuh. Kondisi tersebut dapat memicu terjadinya penurunan kenyamanan termal pada manusia, yang mana akan memicu kurangnya rasa nyaman bagi masyarakat (Fawzi, 2013). Ketidaknyamanan itu berupa *urban heat stress* yang dapat menyebabkan gangguan fisiologis seperti kelelahan, dehidrasi, peningkatan denyut jantung dan suhu tubuh, gangguan ekonomi dan lingkungan (Fawzi, 2013); (Taslim et al., 2015), peningkatan *temperature* kulit serta peningkatan suhu inti tubuh (Anjani et al., 2013). Selain itu juga dapat menyebabkan *heat exhaustion* yang terjadi akibat suhu panas dalam kurun waktu yang relatif lama sehingga menyebabkan hilangnya cairan pada tubuh dalam jumlah yang banyak (Sahna, 2019).

#### **4.4 Rekayasa Lingkungan di Kota Yogyakarta**

Tingkat kenyamanan termal di Kota Yogyakarta yang telah diukur menggunakan metode *Discomfort Index* (DI) menghasilkan nilai yang bervariasi. Hasil pengukuran kenyamanan termal menunjukkan suhu udara rata-rata Kota Yogyakarta sebesar 26,11°C dan kelembaban udara rata-rata sebesar 82,14%, dengan rata-rata nilai indeks DI sebesar 24,97°C. Menurut

studi yang dilakukan oleh Dewi et al. (2020), standar kenyamanan termal untuk suhu udara dan kelembaban udara di daerah tropis memiliki kategori tersendiri. Berdasarkan SNI:03-6572-2001, kondisi suhu udara Kota Yogyakarta masuk kategori nyaman optimal ( $22,8^{\circ}\text{C} - 25,8^{\circ}\text{C}$ ). Kondisi ideal kelembaban udara di daerah tropis seperti Indonesia berkisar antara 75% – 80% (Nasrullah et al., 2015). Namun kondisi kelembaban udara Kota Yogyakarta sedikit melebihi ambang batas ideal. Hal ini berbanding lurus dengan hasil perhitungan menggunakan metode DI yang menyatakan bahwa lebih dari 50% masyarakat Kota Yogyakarta merasa tidak nyaman. Kondisi seperti ini membuktikan bahwa Kota Yogyakarta membutuhkan rekayasa lingkungan yang dapat meningkatkan kondisi iklim menjadi lebih nyaman.

Terdapat beberapa persoalan lingkungan yang dihadapi oleh Kota Yogyakarta yaitu meningkatnya suhu dan kelembaban udara serta masalah pencemaran udara. Tingkat pencemaran udara di Kota Yogyakarta ditunjukkan oleh kadar  $\text{CO}_2$  yang cukup tinggi yaitu sebesar 559,54 ppm dan nilai tersebut telah melebihi ambang batas *World Bank* yaitu 381 ppm (Astuti et al., 2013). Maka dari itu, terdapat beberapa rekomendasi rekayasa lingkungan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kenyamanan termal di Kota Yogyakarta. Rekomendasi pertama yaitu dengan penerapan *green transportation* yang merupakan konsep pengembangan sistem transportasi berkelanjutan yang ramah lingkungan (Dwiputri et al., 2021). *Green transportation* perlu dilakukan karena sektor transportasi merupakan sektor yang paling banyak menyumbang polusi udara, yakni memproduksi hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), dan partikulat (PM) sebesar 87% (Intari et al., 2020). Selain itu, sektor transportasi juga menyumbang sekitar 23% emisi gas rumah kaca dan tumbuh lebih pesat jika dibandingkan dengan penggunaan energi di sektor lainnya (Dwiputri et al., 2021).

*Green transportation* merupakan hal yang penting dan sangat dibutuhkan untuk mewujudkan pengembangan kota yang berkelanjutan (*sustainable city*) (Sutandi, 2020). Ekaputra & Sudarwani (2013) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa *green transportation* dapat diaplikasikan dalam

bentuk kemudahan dan kenyamanan aksesibilitas, seperti trotoar tepi jalan, jalur pejalan kaki, jalur parkir sepeda, dan taman. Penerapan *green transportation* ini pastinya harus memenuhi beberapa indikator, yaitu keamanan perjalanan bagi pengemudi dan penumpang, emisi CO<sub>2</sub> oleh moda transportasi, pengaruh transportasi terhadap lingkungan sekitar, polusi suara oleh moda transportasi, dan lain sebagainya (Andriani & Yuliasuti, 2013). Upaya pendekatan untuk menuju *green transportation* dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu *Intelligent Transport System*, dimana pengaturan lalu lintas dilakukan dengan menggunakan paket program transportasi. *Intelligent Transport System* dapat mengurangi emisi GRK hingga 30%. Selain itu, upaya *green transportation* juga dapat dilakukan dengan menggunakan kendaraan berbasis listrik (mobil listrik) serta optimalisasi penggunaan transportasi umum (Dwiputri et al., 2021).

Rekomendasi rekayasa lingkungan yang lainnya yaitu dengan memperbaiki perilaku masyarakat. Perilaku tersebut dapat berupa penggunaan pakaian yang sesuai kondisi serta mencukupi kebutuhan cairan yang masuk ke dalam tubuh. Kekurangan cairan dalam tubuh dapat menyebabkan beberapa gangguan, seperti dehidrasi, mudah mengantuk, kelelahan, dan sulit berkonsentrasi (Lufyana, 2020); (Mujib & Pramono, 2020). Setiap orang memiliki kebutuhan cairan yang berbeda-beda, tergantung kondisi fisik, usia, berat badan, pola makan, serta kondisi iklim (suhu) (Briawan et al., 2011).

Kebutuhan cairan dalam tubuh dapat tercukupi dengan cara mengkonsumsi air minum. Air sangat penting bagi kehidupan yang memiliki manfaat untuk meningkatkan fungsi hormon, menjaga suhu tubuh agar tetap stabil, membawa zat gizi ke seluruh bagian tubuh, membuang sisa metabolisme, melarutkan asupan makanan ke dalam tubuh melalui pencernaan (Nikmawati, 2008). Pakar kesehatan menjelaskan bahwa normalnya air dikonsumsi antara antara 8 – 10 gelas/hari atau sekitar 2 – 2,5 liter/hari (Hafiduddin & Azlam, 2016). Untuk masyarakat yang bekerja di lingkungan panas dianjurkan mengkonsumsi air sebesar  $\geq 2,8$  liter/hari, sedangkan untuk pekerja dengan suhu lingkungan tidak panas (stabil) dianjurkan mengkonsumsi

air 1,9 liter/hari (Tarwiyanti et al., 2020). Maka dari itu, perlu adanya kesadaran dari masyarakat untuk mencukupi kebutuhan cairan dengan cara membawa air minum pribadi dengan menggunakan *tumblr* (botol minum). Selain itu, pemerintah Kota Yogyakarta juga perlu menyediakan air minum di kawasan publik serta semprotan air untuk tempat wisata di Kota Yogyakarta. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya *heat stress* pada masyarakat yang melakukan aktivitas luar ruangan (*outdoor*).

Perbaikan perilaku masyarakat juga dapat dilakukan dengan menggunakan pakaian yang sesuai. Prianto et al (2019) dalam jurnalnya menjelaskan bahwa parameter kenyamanan termal seseorang tergantung pada faktor lingkungan berupa suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ), kelembaban udara (%), kecepatan angin (m/s) serta faktor individu berupa jenis aktivitas (dinyatakan dengan laju metabolisme tubuh) dan jenis pakaian. Pakaian memiliki fungsi sebagai penghambat penguapan serta penghambat kehilangan panas tubuh dengan cara mengurangi sirkulasi udara di dekat kulit (Pascoe et al., 2009). Semakin tinggi permeabilitas uap air pakaian maka akan semakin tinggi kemampuannya dalam penyerapan keringat.

Menurut Jannah (2019), jenis pakaian berbahan katun lebih banyak mengeluarkan keringat sehingga pakaian akan terlihat lebih basah. Hal ini disebabkan oleh pakaian berbahan dasar katun merupakan jenis pakaian yang memiliki daya serap air lebih dari pakaian berbahan dasar sintetis. Maka dari itu, tingginya daya serap air pada jenis pakaian berbahan katun diharapkan dapat menurunkan suhu tubuh saat melakukan aktivitas *outdoor* misalnya berolahraga dan bekerja luar ruangan seperti di konstruksi lapangan. Kemampuan penyerapan keringat pada pakaian dapat menurunkan *core* dan *skin temperature*, yang mana hal ini dapat meminimalisir terjadinya *heat strain* (Muflichatun, 2006).

Alternatif lain untuk meminimalisir *heat stress* di Kota Yogyakarta yaitu dengan intensifikasi Ruang Terbuka Hijau (RTH). Rijal (2008) dalam jurnalnya menyebutkan bahwa setiap luasan 1 hektar RTH memiliki kemampuan penyerapan  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan oleh manusia sebanyak 2000

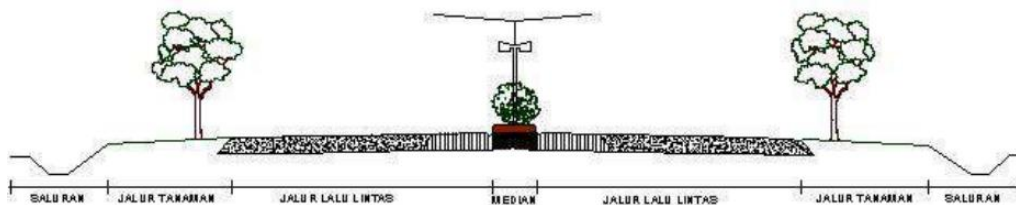
orang, yang berarti setiap orang memerlukan 5 m<sup>2</sup> RTH. Berdasarkan Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang, Ruang terbuka Hijau (RTH) dibagi menjadi dua jenis, yaitu RTH publik (dimiliki dan dikelola oleh Pemerintah Daerah) dan RTH privat (dimiliki dan dikelola oleh masyarakat). Ruang Terbuka Hijau memiliki pola yang dipengaruhi oleh perkembangan kota. Saat ini, RTH di Kota Yogyakarta masih belum memenuhi standar minimal yang ditetapkan. Menurut penelitian dari Noviyanti & Roychansyah (2019), kualitas RTH publik di Kota Yogyakarta cenderung mengalami penurunan dalam 30 tahun terakhir. Pada tahun 1972, RTH Kota Yogyakarta seluas 14,30 km<sup>2</sup> kemudian menjadi seluas 10,40 km<sup>2</sup> pada tahun 2013.

Kualitas RTH yang menurun dapat mempengaruhi penurunan kualitas lingkungan perkotaan. Sesuai amanat Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 luas minimal RTH adalah 30% dari luas suatu wilayah, yang terbagi dalam 20% RTH publik dan 10% RTH privat. Menurut Kepala Bidang RTHP (Ruang Terbuka Hijau Publik) Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, menyebutkan bahwa RTH publik baru 8% dan RTH privat sebesar 15% dari total luas wilayah, jadi total RTH saat ini (tahun 2020) masih berjumlah 23%.

Berdasarkan data tersebut diatas, persentase RTH terutama RTH publik di Kota Yogyakarta masih kurang dari ketentuan minimal yang ditetapkan oleh undang-undang. Maka dari itu perlu diadakan optimalisasi RTH publik. Oleh karena Kota Yogyakarta merupakan salah satu kawasan yang padat penduduk, penyediaan lahan untuk RTH publik di Kota Yogyakarta dapat dilakukan dengan cara jual beli tanah yang awalnya merupakan hak milik perorangan menjadi Tanah Negara setelah dibeli oleh Pemerintah Kota (Ditta, 2017). Namun menurut Peraturan Walikota Yogyakarta No. 5 Tahun 2016 Tentang Ruang Terbuka Hijau Publik, pembelian tanah (alih fungsi lahan) memiliki luas minimal yaitu sebesar 300m<sup>2</sup>.

Menurut Zayadi (2017), pohon sangat berperan dalam pencegahan pencemaran udara, penjaga keseimbangan iklim global, dan berfungsi untuk mengurangi terjadinya penguapan (Julismin, 2013). Vegetasi pepohonan juga dapat memberi manfaat sebagai peneduh jalan, menambah kesan estetika dan

aspek kenyamanan. Menurut Femy et al. (2014), jenis vegetasi yang cocok sebagai peneduh jalan yaitu tanaman dengan tajuk bulat dan tajuk terbuka, yang mana tanaman tersebut dapat secara efektif menurunkan suhu sebesar 2°C dan kelembaban relatif sebesar 5%. Al-Hakim (2019) menjelaskan bahwa dalam memilih jenis tanaman perlu memperhatikan fungsi tanaman serta persyaratan penempatan tanaman. Berdasarkan letak penanamannya, jalur hijau dibedakan menjadi empat bagian, yaitu tanaman tepi jalan, median jalan, daerah tikungan, dan persimpangan dan daerah berterrain.



Gambar 9 Tata Letak Jalur Hijau Jalan

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2008)

Karakteristik pohon yang digunakan sebagai peneduh dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Karakteristik Fisik Pohon Peneduh Jalan

No.	Karakteristik Fisik Pohon
1	Tinggi total berkisar 3 – 15 m
2	Tinggi bebas cabang lebih dari 2 m di atas tanah
3	Massa daun padat
4	Kanopi besar dan lebar
5	Bentuk tajuk <i>spreading, dome, globular, dan irregular</i>
6	Diameter tajuk lebih besar dari 0,5 m
7	Ketinggian tanaman 2 – 3 m dari batas permukaan perakaran
8	Diameter batang 0,05 – 0,10 m
9	Jarak tanam minimum 4 m
10	Telah memiliki percabangan sebanyak 3 – 5 cabang

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2010); Sari (2019)

Berdasarkan karakteristik pohon peneduh yang sudah disebutkan sebelumnya, maka rekomendasi vegetasi yang memungkinkan untuk digunakan sebagai pemenuhan RTH dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Rekomendasi Jenis Vegetasi untuk Rekayasa Lingkungan

No	Jenis Vegetasi	Fungsi
1	Angsana ( <i>Pterocarpus indicus</i> )	Mampu mengurangi polusi Pb dengan daya serap untuk Pb sebesar 0,021 – 0,054 ppm
2	Mahoni ( <i>Swietenia macrophylla</i> )	Sebagai peneduh jalan karena memiliki akar dan cabang yang kuat
3	Pucuk Merah ( <i>Oleina syzygium</i> )	Dapat dijadikan sebagai tanaman hias (sebagai pagar) karena memiliki daun yang rimbun dan warna yang unik
4	Trambesi ( <i>Albizia saman</i> )	Sebagai tanaman peneduh karena memiliki akar yang kuat dan mampu menyerap air sekitar

Sumber: Siwi (2020); Zayadi (2017)

Adapun untuk RTH publik dan RTH privat yang sudah ada, bisa juga dilakukan optimalisasi atau pemeliharaan (*maintenance*) RTH publik dan RTH privat yang sudah ada. Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga, pemeliharaan RTH publik dan vegetasi peneduh jalan dapat berupa penyiraman tanaman secara berkala, pendaringan atau penyiangan, pemangkasan, pemupukan, pemberantasan hama dan penyakit, serta penggantian tanaman atau penyulaman. Sedangkan untuk pemeliharaan RTH privat dapat dilakukan oleh masyarakat secara mandiri sesuai dengan karakteristik tanaman.

Selain optimalisasi RTH dan penanaman pohon peneduh jalan, rekayasa lingkungan untuk mereduksi potensi *heat stress* di Kota Yogyakarta dapat dilakukan dengan menerapkan *vertical garden*. *Vertical garden* merupakan salah satu bentuk *green building* yang cocok diterapkan di kota padat penduduk seperti Kota Yogyakarta. *Vertical garden* dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *green façade* dan *living wall* (Jayanti et al., 2020). *Green façade* merupakan salah satu penggunaan *double façade* yang berfungsi untuk memberikan kenyamanan termal dengan menggunakan tanaman sebagai lapisan luar *façade* (Haryanto et al., 2019).



Pembuatan *green façade* dilakukan dengan meletakkan tanaman rambat langsung pada permukaan dinding maupun pada struktur penyangga. *Vertical garden* jenis *green façade* lebih mudah dalam perawatan karena tidak memerlukan media maupun peralatan khusus untuk tumbuh. Manfaat dari adanya *vertical garden* yaitu menciptakan ruang hijau di lahan yang terbatas, mengurangi polusi udara dan panas dari luar, meningkatkan produksi oksigen, dapat meredam kebisingan, serta menambah kesan estetika pada lingkungan (Ghoustanjiwani et al., 2011).

Dalam penerapannya, *vertical garden (green façade)* memiliki peranan penting untuk mengatasi masalah *urban heat stress* melalui proses evapotranspirasi, efek pembayangan, adanya hambatan angin, serta adanya perpindahan panas (Dewi et al., 2017). *Vertical garden* dapat memberikan manfaat berupa penurunan suhu hingga 7,03°C (Wong et al., 2010), 10°C untuk suhu 60°C, dan 5°C untuk suhu 30°C (Widiastuti et al., 2014). Selain itu, dengan adanya pembayangan oleh *green façade* mampu menurunkan energi pendinginan hingga 23% (Bass & Baskaran, 2013). Hasil penelitian dari Dewi et al., (2017) menjelaskan bahwa penggunaan *green façade* dapat menurunkan suhu rata-rata permukaan dinding dan ruang koridor. Penerapan *vertical garden* dapat dilakukan di bangunan gedung ataupun di area rumah pribadi. Tanaman yang dapat digunakan untuk *vertical garden* diantaranya Markisa (*Passiflora edulis*), Morning of Glory (*Ipomea*), Air Mata Pengantin (*Antigonon*), Flame of Irian (*Mucuna benetti*), dan Sirih Belanda (*Scindapsus aureus*) (Laloan et al., 2015).

Rekayasa lingkungan lainnya yang dapat diterapkan di Kota Yogyakarta untuk mengurangi potensi adanya *heat stress* yaitu *roof garden (green roof)* yang merupakan sebuah taman atau penghijauan di atas atap suatu bangunan yang memiliki ruang terbuka (Kinasih, 2013). Penerapan *roof garden* harus memperhatikan kondisi angin, kekeringan, serta suhu udara. Sama halnya dengan *vertical garden*, *roof garden* juga dapat menjadi alternatif bagi kawasan yang memiliki keterbatasan lahan seperti Kota Yogyakarta. Manfaat yang diperoleh dari penerapan *roof garden* yaitu dapat mengurangi

efek *urban heat island*, mengurangi polusi udara, menambah ruang publik, serta memberikan efek keindahan pada kota, mengatasi masalah dampak perubahan iklim, serta diharapkan dapat mengembalikan fungsi RTH. Studi yang dilakukan oleh Arisanti et al. (2010) menyatakan bahwa rekomendasi tanaman yang baik digunakan untuk pembuatan *roof garden* adalah pohon dengan daun yang memiliki trikoma (rambut) dan lapisan lilin. Contoh pohon sesuai dengan ciri-ciri tersebut dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Rekomendasi Jenis Pohon untuk *Roof Garden*

No	Nama Pohon	Keterangan
1	Pohon Kupu-Kupu ( <i>Bauhinia purpurea</i> )	Memiliki kemampuan adaptasi yang baik ditinjau dari hubungan konduktivitas akar dengan stomata dan panjang trikoma. Pohon ini juga dapat ditanam pada daerah yang ekstrem
2	Pohon Dadap Merah ( <i>Erythrina christagalli</i> )	Memiliki kemampuan adaptasi yang kompleks yang dipengaruhi oleh lapisan lilin
3	Pohon Palembang Ekor Tupai ( <i>Wodyetia bifurcata</i> )	Mampu beradaptasi dengan penyesuaian stomata sehingga mampu mengurangi penguapan berlebih akibat kondisi angin kencang pada <i>roof garden</i>

Sumber: Arisanti (2010)

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan *heat stress* di Kota Yogyakarta, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kategori iklim dengan metode Oldeman, diperoleh hasil bahwa nilai tertinggi indeks DI Kota Yogyakarta terjadi pada bulan basah yaitu bulan April dengan nilai indeks sebesar 25,66°C. Maka dari itu, iklim bulan basah memiliki pengaruh yang besar terhadap kejadian *heat stress* di Kota Yogyakarta.
2. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Discomfort Index*, diketahui bahwa pada bulan September – Juni, lebih dari 50% masyarakat Kota Yogyakarta merasa tidak nyaman dengan kondisi termal yang ada. Kondisi tersebut telah mengakibatkan masyarakat Kota Yogyakarta mengalami *heat stress*.
3. Rekomendasi rekayasa lingkungan untuk Kota Yogyakarta yaitu Ruang Terbuka Hijau (publik dan privat). RTH publik maupun RTH privat yang sudah ada akan dilakukan *maintenance* (pemeliharaan) secara berkala. Salah satu contoh pohon yang dapat digunakan untuk RTH publik dan privat yaitu pohon Angsana (*Pterocarpus indicus*). Selain itu, rekayasa lingkungan yang dapat dilakukan yaitu penerapan *green transportation*, vegetasi pepohonan sebagai peneduh jalan raya, penerapan *green façade* (*vertical garden*), penerapan *roof garden*, serta perbaikan perilaku hidup masyarakat.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka saran yang dapat diberikan yakni:

1. Bagi Pemerintah Daerah Kota Yogyakarta

Peningkatan kenyamanan termal di Kota Yogyakarta dapat dicegah dengan cara mengoptimalkan Ruang Terbuka Hijau publik. RTH yang sudah ada harus dilakukan pemeliharaan dan perawatan secara berkala. Karena RTH publik di Kota Yogyakarta masih belum memenuhi persentase minimum dari luas wilayah, maka pemerintah kota perlu melakukan alih fungsi lahan masyarakat untuk digunakan secara optimal dan semestinya sebagai lahan baru RTH publik.

2. Bagi Masyarakat

Pemeliharaan dan perawatan Ruang Terbuka Hijau juga perlu dilakukan oleh masyarakat Kota Yogyakarta. Untuk skala masyarakat, terdapat Ruang Terbuka Hijau privat yang perlu dijaga. Seperti menyiram tanaman di halaman rumah, merawat tanaman yang merambat di pagar ataupun kanopi.

3. Bagi Pihak Selanjutnya

Mampu melakukan evaluasi tingkat kenyamanan termal pada kota atau kabupaten lain dengan menggunakan data primer (pengukuran secara langsung).

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Karmini, M. B., & Budiman, B. 2011. **Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia**. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedepuitan Bidang Klimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Al-Hakim, A. H. 2019. **Evaluasi Efektivitas Tanaman dalam Mereduksi Polusi Berdasarkan Karakter Fisik Pohon pada Jalur Hijau Jalan Pajajaran Bogor**. Bogor: Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Andriani, D. M., & Yuliasuti, N. 2013. **Penilaian Sistem Transportasi yang Mengarah pada Green Transportasi di Kota Surakarta**. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 9(2), 183-193.
- Anjani, S., Mahawati, E., & Hartini, E. 2013. **Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Keluhan Subyektif pada Pekerja yang Terpajan Tekanan Panas (*Heat Stress*) di Pengasapan Ikan Industri Rumah Tangga Kelurahan Ketapang Kecamatan Kendal**. Semarang: Universitas Dian Nuswantoro.
- Annisa, N., Kurnain, A., Indrayatie, E. R., & Peran, S. B. 2016. **Iklim Mikro dan Indeks Ketidaknyamanan Taman Kota di Kelurahan Komet Kota Banjarbaru**. *EnviroScienteeae*, 11(3), 143-151.
- Arisanti, A., Munandar, A., & Prawitasari, T. 2010. **Adaptasi Anatomis Pohon pada *Roof Garden* (Sudi Kasus: Kondominium Taman Anggrek, Jakarta)**. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 2(2).
- Astuti, I., Agustina, D., Firdaus, Thoha, dan Ishafit. 2013. **Pemetaan Kandungan di Kota Yogyakarta ditinjau dari Tingkat Keramaian Kendaraan Bermotor dan Kondisi Lingkungan**. Yogyakarta: Program Studi Fisika FKIP UNiversitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik [BPS]. 2020. **Jumlah Penduduk menurut Kabupaten/ Kota di D.I. Yogyakarta (Jiwa), 2010 – 2019**. Yogyakarta: Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta.

- Bass & Baskaran. 2013. **Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas**. Ottawa, Canada: Institute for Research and Construction.
- Briawan, Dodik, Rachma, Annisa. 2011. **Kebiasaaan Konsumsi Minuman dan Asupan Cairan pada Anak Usia Sekolah di Perkotaan**. *Journal of Nutrition and Food*, **6**(3), 186-191.
- Dewi, Cyntia Permata, & Bachtiar, Anang. 2017. **Efektifitas Kinerja Double Skin Fasade-Green Wall terhadap Efisiensi Energi Pendinginan Bangunan**. *Jurnal RUAS*, **15**(2).
- Dewi, E. P., Wijaya, A., Sujatini, S., Rahmana, D., Mandela, C., & Gulit, F. 2020. **Penerapan Double Skin Facade Pada Daerah Iklim Tropis**. *IKRA-ITH TEKNOLOGI: Jurnal Sains & Teknologi*, **4**(2), 1-7.
- Ditta. 2017. **Pelaksanaan Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Publik di Kota Yogyakarta Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 2 Tahun 2010 Tentang Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kota Yogyakarta**. Yogyakarta: Fakultas Hukum Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Din, M. F. M., Lee, Y. Y., Ponraj, M., Ossen, D. R., Iwao, K., & Chelliapan, S. 2014. **Thermal Comfort of Various Building Layouts with a Proposed Discomfort Index Range for Tropical Climate**. *Journal of Thermal Biology*, **41**, 6-15.
- Dwianda, R. A., Marzuki, M. 2018. **Karakteristik Ketinggian Melting Layer di Indonesia Berdasarkan Radar Hujan yang Terpasang di Satelit TRMM**. *Jurnal Ilmu Fisika*, **10**(2), 73-82.
- Dwiputri, M., Saputra, I., Alimah, I., & Hamdani, N. 2021. **Kajian Kompatibility Green Transportation Untuk Kota Bogor**. *RUSTIC*, **1**(1), 22-31.
- Ekaputra, Y. D., & Sudarwani, M. M. 2013. **Implikasi Program Pengembangan Kota Hijau (P2KH) Terhadap Pemenuhan Luasan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Perkotaan**. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, **1**(1).

- Epstein, Y. & Moran, D. S. 2006. **Thermal Comfort and the Heat Stress Indices**. *Industrial Health*, **44**(3), 388-398.
- Ernyasih. 2012. **Hubungan Iklim dengan Kasus Diare di DKI Jakarta Tahun 2007-2011 [Tesis]**. Depok: Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.
- Fawzi, N. I. & Naharil, N. 2013. **Kajian Urban Heat Islan di Kota Yogyakarta- Hubungan antara Tutupan Lahan dan Suhu Permukaan**. *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi*, **3**, 275-280.
- Femy., Budiarti, T., & Nasrullah, N. 2014. **Pengaruh Tata Hijau terhadap Suhu dan Kelembaban Relatif Udara pada Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong**. *Jurnal Lanskap Indonesia*, **6**(2), 21-28.
- Georgi, N. J. & Zafiriadis, K. 2006. **The Impact of Park Trees on Microclimate in Urban Areas**. *Urban Ecosyst*, **9**, 195-209.
- Ghoustonjiwani, A. P., Kusmara, R., & Wahyu Yanuar. 2011. **Teknologi Vertical Garden: Sustainable Design atau Hanya Sebuah Trend dalam Urban Life Style. 2**.
- Hafiduddin, M. & Azlam, M. 2016. **Hubungan Antara Pengetahuan Tentang Manfaat Cairan dengan Perilaku Konsumsi Air Putih**. *Profesi (Profesional Islam): Media Publikasi Penelitian*, **13**(2).
- Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L. 2006. **Neighborhood Microclimates and Vulnerability to Heat Stress**. *Social Science & Medicine*, **63**(11), 2847-2863.
- Harmoni, K. 2014. **Analisis Persebaran Iklim Klasifikasi Oldeman di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta [Doctoral Dissertation]**. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

- Haryanto, V., Yusintha, Y., & Noviandri, P. P. 2019. **Efektifitas *Green Façade* Terhadap Kenyamanan Suhu Koridor Kasus: Lantai Tiga Gedung Makarios Universitas Kristen Duta Wacana.** In *SMART: Seminar on Architecture Research and Technology*, **4**(1), 193-201.
- Hasanah, N. A. I., Maryetnowati, D., Edelweis, F. N., Indriyani, F., Nugrahayu, Q. 2020. **The Climate Comfort Assessment for Tourism Pusposes in Borobudur Temple Indonesia.** *Heliyon*, **6**.
- Indraswari, F. 2019. **Perubahan Iklim: Fakta dan Kebijakannya.** *Media Dirgantara*, **14**(2).
- Intari, D. E., Fathonah, W., & Kuncoro, H. B. B. 2020. **Penerapan Green Transportation Terhadap Kebutuhan Ruang Parkir Fakultas Teknik Untirta Dalam Rangka Menuju Kampus Hijau Dan Berkelanjutan.** *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, **9**(2), 165-174.
- International Standar ISO 8996 Second Edition. 2004. **Ergonomics of the Thermal Environment-Determination of Metabolic Rate.** Switzerland. **10**, 1.
- Jannah, R. 2019. **Pengaruh Jenis Bahan Pakaian Terhadap Respon Psikologi Manusia Pada Saat Berolahraga di Lingkungan Panas.** *Jurnal UNITEK*, **12**(1), 17-29.
- Jayanti, A. V., Purnomo, E. P., & Nurkasiwi, A. 2020. **Vertical Garden: Penghijauan untuk Mendukung *Smart Living* di Kota Yogyakarta.** *Al Ijarah: Jurnal Pemerintahan dan Politik Islam*, **5**(1), 41-54.
- Juliani, A. 2018. **Analisis Efektivitas Ruang Terbuka Hijau di Kecamatan Kota, Kabupatem Kudus dalam Menurunkan Suhu Udara Mikro.** Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Julismin, J. 2013. **Dampak dan Perubahan Iklim di Indonesia.** *Jurnal Geografi*, **5**(1), 39-46.
- Kemeterian Lingkungan Hidup. 2009. **Dampak Perubahan Iklim.** Jakarta: Kantor Menteri Lingkungan Hidup.



Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2016. **Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.33/Menlhk/Setjen/Kum.1/3/2016 Tentang Pedoman Penyusunan Aksi Adaptasi Perubahan Iklim.** Jakarta. 3.

Kinasih, S. S. K. & Muta'ali, L. 2013. **Potensi Pengembangan Teknologi *Roof Garden* di Kawasan Mampang Prapatan dan Sekitarnya, Jakarta Selatan (*Development Potential of Roof Garden Technology in Mampang Prapatan Area and Surroundings, South Jakarta*).** *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, **20**(3), 252-261.

Kurniawan, R. 2016. **Analisis Regresi.** Prenada Media.

Laloan, Y. R., Prijadi, R., & Moniaga, I. L. 2015. **Apartemen di Manado “Penerapan Konsep *Vertical Garden*”** [Doctoral Dissertation]. Manado: Universitas Sam Ratulangi.

Lubis, R. F. & Delinom, R. 2010. **Perubahan Iklim dan Pemanasan Global di Indonesia; Dampaknya Terhadap Kondisi Bawah Permukaan Studi Kasus: DKI JAKARTA.** *Widyariset*, **13**(3), 65-70.

Lufyana, R. D. 2020. **Hubungan KONsumsi Air Minum dan Iklim Kerja dengan Dehidrasi Pada Pekerja Konstruksi di Surabaya** [Doctoral Dissertation]. Surabaya; Universitas Airlangga.

Mala, Y. P., kalangi, J. I., & Saroinsong, F. B. 2019. **Pengaruh Ruang terbuka Hijau Terhadap Iklim Mikro dan Kenyamanan termal Pada 3 Lokasi di Kota Manado.** *Eugenia*, **24**(2).

Maulana, S. 2007. ***Green Roof*: Salah Satu Solusi Peningkatan Ruang Terbuka Hijau Kota dalam Usaha Pengendalian Banjir.**

Mohan, M., Gupta, A., & Bhati, S. 2014. **A Modified Approach to Analyze Thermal Comfort Classification.** *Atmospheric and Climate Sciences*, **4**, 7-19.

- Muflichatun. 2006. **Hubungan Antara Tekanan Panas, Denyut Nadi, dan Produktivitas Kerja Pada Pekerja Pandai Besi Paguyuban Wesi Aji Donorejo Batang [Skripsi]**. Semarang: Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat, Universitas Negeri Semarang.
- Mujib, A. & Pramono, M. 2020. **Analisis Tignkat Dehidrasi Pada Atlet Cabang Olahraga Pencak Silat Puslatda Jatim 2019**. *Jurnal Kesehatan Olahraga*, 8(1).
- Muljati, S., Agus, T., Nurhandayani, U., & Hermina. 2016. **Gambaran Median Tinggi Badan dan Berat Badan Menurut Kelompok Umur Pada Penduduk Indonesia yang Sehat Berdasarkan Hasil Riskesdas 2013**. *Jurnal Penelitian Gizi dan Makanan*, 39(2), 137-144.
- Nandini, R. & Narendra, B. H. 2011. **Kajian Perubahan Curah Hujan, Suhu, dan Tipe Iklim Pada Zone Ekosistem di Pulau Lombok**. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 8(3), 228-244.
- Nasrullah, dkk. 2015. **Temperature dan Kelembaban Relatif Udara Outdoor: Proceeding Temu Ilmiah IPLBI 2015**. Manado: Universitas Sam Ratulangi. D045-D050.
- Nasution, M. I. & Nuh, M. 2019. **Kajian Iklim Berdasarkan Klasifikasi Oldeman di Kabupaten Langkat**. *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, 3(2).
- Ndruru, R. E., Situmorang, M., & Tarigan, G. 2014. **Analisa Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Produksi Padi di Deli Serdang**. *Saintia Matematika*, 2(1), 71-83).
- Nikmawati, E. E. 2008. **Pentingnya Air dan Oksigen Bagi Kesehatan Tubuh Manusia**. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Nugroho, F. A. 2006. **Ruang Terbuka Hijau di Citraya Surabaya sebagai Bagian dari Lanskap Kota Surabaya dalam Mewujudkan Kota yang Hijau**. Ciputra Raya. Prosiding Seminar Lanskap Perkotaan-*Geen City*

“Strategi dan Implementasi Penataan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dan Lanskap Perkotaan dalam Mewujudkan *Green-City*. 31.

Noviyanti, I. K. & Roychansyah, M. S. 2019. **Analisis Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau dengan NDVI Menggunakan Citra Satelit WorldView 2 di Kota Yogyakarta.** *Majalah Ilmiah Globe*, **21**(2), 63-70.

Pascoe, D. D., Bellingar, T. A., & McCluskey, B. S. 2009. **Clothing and Exercise: II. Influence of Clothing During Exercise/ Work in Environment Extremes.**

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 Tentang Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia.

Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 5 Tahun 2016 Tentang Ruang Terbuka Hijau Publik. Yogyakarta: Walikota Yogyakarta.

Pitipaldi, K., Bakhtiar, A., & Suliantoro, H. 2018. **Analisis Korelasi Spearman SNI ISO Standar Sistem Manajemen Kualitas Terhadap Hak Kekayaan Industrial di Indonesia.** *Industrial Engineering Online Journal*, **7**(1).

Poupkou, A., nastos, P., Melas, D., & Zerefos, C. 2011. **Climatology of Discomfort Index and Air Quality Index in a Large Urban Mediterranean Agglomeration.** *Water, Air, & Soil Pollution*, **222**(1-4), 163-183.

Prianto, E., Suyono, B., Sinaga, N., & Windarta, D. 2019. **Strategi Menghidupkan Kota Lama Semarang (Bagian 01/02) (Suatu Kajian Pengaruh Iklim Mikro-Kenyamanan Termal-Tata Lampu Pada Taman Sri Gunting).** *Jurnal Riptek*, **11**(2), 111-134.

Qudratullah, M. I., Asrizal, A., & Kamus, Z. 2017. **Analisis Unsur-Unsur Cuaca Berdasarkan Hasil Pengukuran *Automated Weather System* (AWS) Tipe Vaisala Maws 201.** *Pillar of Physics*, **9**(1).

- Ratnasari, A. Sitorus, S. R., & Tjahjono, B. 2015. **Perencanaan Kota Hijau Yogyakarta Berdasarkan Penggunaan Lahan dan Kecukupan RTH.** *TATALOKA*, 17(4), 196-208.
- Rijal, S. 2008. **Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau di Kota Makassar Tahun 2017.** *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 3, 65-77.
- Sahna, S. A. 2019. **Hubungan Heat Stress dengan Fatigue Pada Pekerja Pengelasan di PT. Adhi Persada Gedung (APG) Bekasi [Doctoral Dissertation].** Jakarta: Universitas Binawan.
- Sani, S. R., Fachrin, A. A., & Deityana, H. 2020. **Pengaruh Iklim Terhadap Kejadian Diare Berdasarkan Provinsi di Indonesia.** *Statistika*, 20(1), 45-65.
- Sari, A. N. 2019. **Evaluasi Hutan Kota Berdasarkan Fungsi Ameliorasi Iklim Mikro di Kota Semarang.** Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Siarni, L. & Ramadhani, A. 2019. **Climatology of Discomfort Index for Decade in Bandar Lampung, Indonesia.** *knE Social Sciences*, 460-469.
- Siregar, D. C., Lubis, N. A. Z., & Muhajir, M. 2020. **Analisis Kenyamanan Termis Kota Banda Aceh Berdasarkan *Temperature Humidity Index, Discomfort Index, dan Humidex.*** *Widyakala: Journal of Pembangunan Jaya University*, 7(1), 48-53.
- Sitanggang, L. F. **kebijakan Pengembangan Taman Sebagai Pelestarian Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Jambi oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi.** *Ilmu Pemerintahan*.
- Siwi, L. O. 2020. **Manfaat Ruang Terbuka Hijau Tanaman Sehat Terhadap Tingkat Kenyamanan di Kecamatan Luwuk Kabupaten Banggai Provinsi Sulawesi Tengah.** *Journal of Biological Research*, 7(1), 1097-1108.

- Spridonov, V., Curic, M., & Zafirovski, O. 2013. **Weather and Human Health**. Macedonian: COBISS M. K.
- Subagyono, K. & Surmaini, E. 2014. **Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Air untuk Antisipasi Perubahan Iklim**. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, **8**(1).
- Sudarno. 2017. **Data Analysis**. Semarang: Departemen Statistika Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro.
- Sugiasih, S. 2013. **Rumus Indeks Ketidaknyamanan Suatu Wilayah**. *Jurnal Fourier*, **2**(1), 19-25.
- Sukmaningrum, A. 2017. **Memanfaatkan Usia Produktif dengan Usaha Kreatif Industri Pembuatan Kaos Pada Remaja di Gresik**. *Paradigma*, **5**(3).
- Sutandi, A. C. 2020. **Priority Action Programs of Public Transportation in Developing Sustainable City in Indonesia**. *International Journal*, **18**(68), 200-208.
- Tarwiyanti, D., Hartanti, R. I., & Indrayani, R. 2020. **Beban Kerja Fisik dan Iklim Kerja dengan Status Hidrasi Pekerja Unit P2 Bagian (Wood Working 1) WW1 PT. KTI Probolinggo**. *Pustaka Kesehatan*, **8**(1), 60-65.
- Taslim, S., Parapari, D. M., & Shafaghat, A. 2015. **Urban Design Guidelines to Mitigate Urban Heat Island (UHI) Effects in Hot-Dry Cities**. *Jurnal Teknologi*, **74**(4).
- Turyanti, A., Sunarsih, I., & Hermawan. 2007. **Analisa Potensi Curah Hujan Berdasarkan Data Distribusi Awan dan Data Temperature BlackBody di Kototabang Sumatera Barat**. *Jurnal Agromet Indonesia*, **21**(2), 39-45.
- Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.

- Wati, T. & Nasution, R. I. 2018. **Evaluation of Urban Pollution and Bio-Climate Using Total Suspended Particles and Discomfort Index in Jakarta City.** *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **203**(1), 012003.
- Widiastuti, R., Prianto, E., & Budi, W. S. 2014. **Evaluasi Termal Dinding Bangunan dengan Vertical Garden.** *Jurnal Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UNSIQ*, **1**(1), 1-12.
- Wong, N. H., et al. 2020. **Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls.** Singapore: Building and Environment.
- Wonorahardjo, Surjamanto, Koerniawan, & Donny. 2008. **Pengaruh Bentuk Bangunan Pada Lingkungan Termal Kota Bandung.** *Proceeding Seminar Nasional Peran Arsitektur Tropis dalam Mewujudkan Kota Tropis.*
- Xu, H., Hu, X., Guan, H., & He, G. 2017. **Development of a Fine-Scale Discomfort Index Map and Its Application in Measuring Living Environments Using Remotely-Sensed Thermal Infrared Imagery.** *Energy and Buildings*, **150**, 598-607.
- Yudihartanti, Y. 2018. **Penentuan Hubungan Mata Kuliah Penelitian dan Tugas Akhir dengan Korelasi Rank Spearman.** *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, **6**(3), 1691-1694.
- Yuliara, I. M. 2016. **Regresi Linear Sederhana.** *Regresi Linear Sederhana*, **13**.
- Zayadi, H. & Hayati, A. 2017. **Distribusi Spasial Pohon Peneduh Jalan Raya Lowokwaru Kota Malang dengan Aplikasi GIS.** *Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, **3**(1), 46-52.

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Nilai *Discomfort Index* Kota Yogyakarta

PERHITUNGAN <i>DISCOMFORT INDEX</i>											
Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
25,29	25,19	25,28	25,66	25,28	24,60	23,87	23,61	24,51	25,35	25,60	25,42

Keterangan

Hijau muda : kurang dari 50% merasa tidak nyaman

Kuning : lebih dari 50% merasa tidak nyaman

Lampiran 2 Perhitungan Korelasi Suhu Udara dengan Nilai DI Berdasarkan Metode *Rank Spearman*

Bulan	Suhu	Nilai DI	Duplikasi	Rank 1	Rank 2	d	d <sup>2</sup>	X <sub>i</sub> -X <sub>ave</sub>	Y <sub>i</sub> -Y <sub>ave</sub>	(X <sub>i</sub> -X <sub>ave</sub> ) * (Y <sub>i</sub> -Y <sub>ave</sub> )	(X <sub>i</sub> -X <sub>ave</sub> ) <sup>2</sup>	(Y <sub>i</sub> -Y <sub>ave</sub> ) <sup>2</sup>		
Jan	26,35	25,29	1	6	5	1	1	0,2437	0,3183	0,0776	0,0594	0,1013		
Feb	26,13	25,19	1	8	8	0	0	0,0220	0,2164	0,0048	0,0005	0,0468		
Mar	26,23	25,28	1	7	6	1	1	0,1250	0,3099	0,0387	0,0156	0,0961		
Apr	26,69	25,66	1	3	1	2	4	0,5760	0,6901	0,3975	0,3318	0,4762		
Mei	26,38	25,28	1	5	7	2	4	0,2756	0,3092	0,0852	0,0759	0,0956		
Jun	25,66	24,60	1	10	9	1	1	-0,4515	-0,3683	0,1663	0,2038	0,1356		
Jul	24,96	23,87	1	11	11	0	0	-1,1526	-1,0994	1,2672	1,3285	1,2086		
Ags	24,89	23,61	1	12	12	0	0	-1,2200	-1,3631	1,6630	1,4884	1,8580		
Sept	25,93	24,51	1	9	10	1	1	-0,1762	-0,4650	0,0819	0,0311	0,2162		
Okt	26,89	25,35	1	1	4	3	9	0,7781	0,3769	0,2932	0,6054	0,1420		
Nov	26,79	25,60	1	2	2	0	0	0,6825	0,6295	0,4296	0,4657	0,3963		
Des	26,41	25,42	1	4	3	1	1	0,2975	0,4454	0,1325	0,0885	0,1983		
<b>Sum</b>			12					22			4,6375	4,6947	4,9713	4,8310
<b>Average</b>	26,11	24,97							pembilang				penyebut	
n							12							
<b>Spearman's Rank Correlation Coefficient (r<sub>s</sub>)</b>							<b>0,92</b>							



Lampiran 3 Perhitungan Korelasi Kelembaban Relatif dengan Nilai DI Berdasarkan Metode Rank Spearman

Bulan	Kelembaban	Nilai DI	Duplikasi	Rank 1	Rank 2	d	d <sup>2</sup>	$X_i - X_{ave}$	$Y_i - Y_{ave}$	$(X_i - X_{ave}) * (Y_i - Y_{ave})$	$(X_i - X_{ave})^2$	$(Y_i - Y_{ave})^2$		
Jan	83,70	25,29	1	6	6	0	0	1,1076	0,2787	0,3087	1,2267	0,0777		
Feb	85,31	25,19	1	2	8	6	36	2,7223	0,1800	0,4899	7,4111	0,0324		
Mar	85,42	25,29	1	1	7	6	36	2,8309	0,2770	0,7840	8,0142	0,0767		
Apr	85,11	25,63	1	3	1	2	4	2,5188	0,6214	1,5652	6,3444	0,3862		
Mei	83,95	25,30	1	5	5	0	0	1,3606	0,2908	0,3957	1,8511	0,0846		
Jun	83,39	24,69	1	7	9	2	4	0,7974	-0,3195	-0,2548	0,6359	0,1021		
Jul	81,82	24,03	1	9	11	2	4	-0,7753	-0,9772	0,7576	0,6012	0,9549		
Ags	78,60	23,77	1	10	12	2	4	-3,9965	-1,2380	4,9478	15,9724	1,5327		
Sept	78,03	24,59	1	12	10	2	4	-4,5642	-0,4208	1,9208	20,8321	0,1771		
Okt	78,09	25,36	1	11	4	7	49	-4,5057	0,3504	-1,5787	20,3010	0,1228		
Nov	82,68	25,57	1	8	2	6	36	0,0832	0,5583	0,0465	0,0069	0,3117		
Des	85,01	25,41	1	4	3	1	1	2,4209	0,3990	0,9659	5,8609	0,1592		
<b>Sum</b>			12					178			10,3486	89,0578	4,0179	18,9164
<b>Average</b>	82,59	25,01									pembilang			penyebut
n							12							
<b>Spearman's Rank Correlation Coefficient (r<sub>s</sub>)</b>							<b>0,38</b>							

Lampiran 4 Perhitungan Laju Metabolik

No.	Umur	Berat Badan		Laju Metabolik		Kategori	
		Laki-Laki	Perempuan	Laki-Laki	Perempuan	Laki-Laki	Perempuan
1	15-24	52,4	48,5	84	91	-	-
				135	146	Ringan	Ringan
				223	240	Ringan	Sedang
				309	333	Sedang	Sedang
				352	380	Sedang	Berat
2	25-30	60,9	56,2	98	105	-	Istirahat
				156	168	Ringan	Ringan
				259	278	Sedang	Sedang
				359	386	Sedang	Berat
				409	440	Berat	Berat
3	31-34	62,9	58,6	101	110	Istirahat	Istirahat
				162	176	Ringan	Ringan
				267	291	Sedang	Sedang
				371	403	Berat	Berat
				422	459	Berat	Berat
4	35-44	62,9	58,6	101	110	Istirahat	Istirahat
				162	176	Ringan	Ringan
				267	291	Sedang	Sedang
				371	403	Berat	Berat
				422	459	Berat	Berat
5	45-54	61,9	57,7	99	108	-	Istirahat
				159	173	Ringan	Ringan
				263	286	Sedang	Sedang
				365	397	Berat	Berat
				416	452	Berat	Berat
6	55-59	60,9	56,8	98	107	-	Istirahat
				157	170	Ringan	Ringan
				259	282	Sedang	Sedang
				359	391	Sedang	Berat
				409	445	Berat	Berat
7	60-64	60,9	56,8	98	107	-	Istirahat
				157	170	Ringan	Ringan
				259	282	Sedang	Sedang
				359	391	Sedang	Berat
				409	445	Berat	Berat
8	65+	54,4	46,6	87	87	-	-

			140	140	Ringan	Ringan
			231	231	Ringan	Ringan
			320	320	Sedang	Sedang
			365	365	Berat	Berat



Lampiran 5 Data Tipe Iklim Kota Yogyakarta

DATA TIPE IKLIM KOTA YOGYAKARTA																		
Bulan	Tahun 2004	Tahun 2005	Tahun 2006	Tahun 2007	Tahun 2008	Tahun 2009	Tahun 2010	Tahun 2011	Tahun 2012	Tahun 2013	Tahun 2014	Tahun 2015	Tahun 2016	Tahun 2017	Tahun 2018	Tahun 2019	Tahun 2020	Rata-Rata
Jan				0	257	266	229	399	298	495	307	389	155	393	597	424	10	301
Feb				0	262	328	176	408	391	370	300	182	347	325,5	369	272,5	12	267
Mar				292	474	130	261	240	320	246	158	463	303	423	227	570	22	295
Apr				422	361	230	152	278	249	116	180	370	188	305,5	207	267	11	238
Mei				60	16	134	210	184	64	222	96	53	139	158	19,5	28,5	10	100
Jun				52	18	50	82	5	5	152	67	49	297	38,5	30,5	1	1	61
Jul				5	0	22	88	0	0	63	52	0	107	22	0	1	0	26
Agst				0	0	1	108	0	0	2	0	0	96	0	1,5	0,5	1	15
Sept				2	4	3	398	0	0	5	0	0	241	116,5	13,5	0	2	56
Okt				81	72	101	324	26	69	92	3	0	327	124	2,5	1,5	6	88
Nov				232	668	103	345	245	347	345	377	217	510	784,5	353,5	85,5	9	330
Des				689	301	228	378	313	369	445	445	324	270	368	245,5	278	19	334

Keterangan

- Hijau : bulan basah  
 Biru : bulan lembab  
 Merah muda : bulan kering

## RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir pada tanggal 27 September 1999, di Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah. Terlahir sebagai putri tunggal dari pasangan Bapak Hardi Jatmiko dan Ibu Nanik Setyaningsih. Riwayat Pendidikan yang sudah ditempuh oleh penulis yaitu TK Pertiwi 01 Pati (2004 – 2005), SDN Pati Lor 02 (2005 – 2011), SMP Negeri 1 Pati (2011 – 2014), dan SMA Negeri 1 Pati (2014 – 2017). Setelah lulus dari jenjang Pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Ketika menempuh pendidikan di universitas, penulis melakukan berbagai kegiatan akademik maupun non akademik. Dalam bidang akademik, penulis pernah menjadi Asisten Dosen Metode Numerik dan Asisten Lapangan Ilmu Kebumihan. Sedangkan di bidang non akademik penulis tergabung dalam *Dance of Enviro* sebagai ketua organisasi, UII MUN Association sebagai Staff *Research, Training, and Development*, serta Lembaga Eksekutif Mahasiswa (LEM) tingkat fakultas sebagai Staff Sosial dan Masyarakat. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan yang diselenggarakan oleh pihak jurusan ataupun universitas. Saat ini penulis sedang melakukan penelitian dengan judul “**Analisis Heat Stress di Kota Yogyakarta Menggunakan Metode Discomfort Index (DI)**”. Selain itu, penulis juga sedang melaksanakan program *internship* di StartUp AiKite sebagai *Copywriter*.