

TUGAS AKHIR
ANALISIS *HEAT STRESS* DI KOTA YOGYAKARTA
MENGGUNAKAN METODE *WET BULB GLOBE*
***TEMPERATURE* (WBGT)**

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



CANDRA GUSTIKA SARI

17513013

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

TUGAS AKHIR
ANALISIS *HEAT STRESS* DI KOTA YOGYAKARTA
MENGGUNAKAN METODE *WET BULB GLOBE*
***TEMPERATURE* (WBGT)**

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



CANDRA GUSTIKA SARI
17513013

Disetujui:

Pembimbing 1

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

NIK. 165131303

Tanggal: 27 Juli 2021

Pembimbing 2

Luqman Hakim, S.T., M.Si

NIK. 005130101

Tanggal: 23 Juli 2021

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D

NIK. 025100406

Tanggal: 30 Juli 2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS *HEAT STRESS* DI KOTA YOGYAKARTA
MENGUNAKAN METODE *WET BULB GLOBE
TEMPERATURE (WBGT)***

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tanggal : 15 Juni 2021

Disusun Oleh:

CANDRA GUSTIKA SARI
17513013

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* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
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 lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Mei 2021

Yang membuat pernyataan,



Candra Gustika Sari

NIM: 17513013

PRAKATA

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan karunia-Nya, sehingga dapat mengerjakan laporan tugas akhir dengan judul “Analisis *Heat stress* di Kota Yogyakarta menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT).” Penyusunan laporan tugas akhir ini dimaksudkan untuk melengkapi syarat dalam menuntaskan pendidikan Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Selain itu, tujuan dari penulisan laporan, yaitu agar dapat memberi manfaat bagi siapapun yang membaca.

Pada kesempatan ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak yang membantu dalam pembuatan laporan tugas akhir, yaitu:

1. Kedua orang tua penulis tercinta, yang selalu memberikan doa, dukungan dan saran dalam pengerjaan tugas akhir agar dapat berjalan dengan lancar.
2. Bapak Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
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 Adellia Anju Asmara, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji, serta Ibu Dr. Nur Aini Iswati Hasanah, S.T., M.Si. yang dengan sabar membimbing pengerjaan tugas akhir dari proposal hingga laporan.
5. Intan, Elsa, Chusnia, dan Fery tim skripsian yang tidak hentinya memberi semangat.
6. Yody Kurniandy, Mas Anung, Mbak Galuh, Mas Deva, dan Mbak Lely sebagai tempat berkeluh kesah.

7. Keenandira Enggar Devari, keponakan tercinta yang setia menemani pengerjaan tugas akhir.

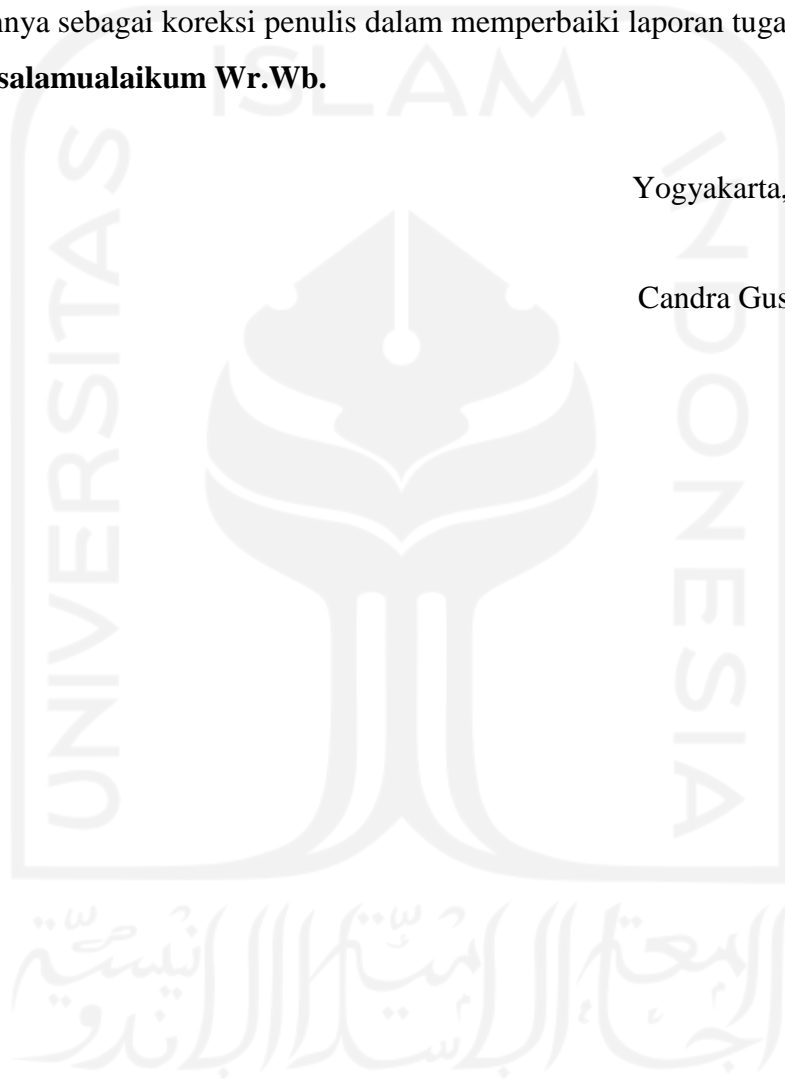
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini belum mencapai sempurna. Oleh karena itu, pembaca diharapkan menyampaikan kritik dan sarannya sebagai koreksi penulis dalam memperbaiki laporan tugas akhir ini.

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 15 Mei 2021

Candra Gustika Sari



ABSTRAK

CANDRA GUSTIKA SARI. Analisis *Heat stress* di Kota Yogyakarta menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Dibimbing oleh AZHAM UMAR ABIDIN, S.K.M., M.P.H., dan LUQMAN HAKIM, S.T., M.Si.

Pembangunan fisik di Kota Yogyakarta yang disebabkan oleh tingginya penduduk dapat menyebabkan naiknya suhu udara yang berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan termal. Hal tersebut menyebabkan analisis tingkat kenyamanan termal menggunakan indeks *Wet Bulb Globe Temperature* perlu dilakukan untuk mengetahui potensi terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta. Metode *Wet Bulb Globe Temperature* dipilih karena merupakan indeks penilaian panas termudah dengan ketepatan tinggi, yang banyak digunakan oleh para peneliti. Pengukuran dilakukan dengan memanfaatkan data sekunder berupa data suhu dan kelembaban udara dari stasiun Klimatologi Mlati dan Geofisika Gamping selama 17 tahun terakhir. Berdasarkan hasil dari penelitian, diketahui peristiwa *heat stress* tertinggi di Kota Yogyakarta terjadi pada iklim bulan basah yaitu bulan April dan November dengan indeks WBGT sebesar 26,4°C. *Heat stress* yang terjadi dapat menyebabkan dampak berupa *heat strain*, *heat exhaustion*, *heat cramps*, perubahan laju metabolisme, dan dehidrasi. Potensi terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta, dapat dikurangi dengan melakukan rekayasa lingkungan berupa penambahan ruang terbuka hijau, pembuatan air mancur di tengah-tengah *courtyard*, penyediaan naungan pada ruang terbuka, perencanaan *vertical garden*, dan perubahan pada pola hidup masyarakat terkait pemenuhan kebutuhan cairan dan pakaian yang digunakan.

Kata Kunci: *Heat stress*, Kenyamanan Termal, Kota Yogyakarta, WBGT.

ABSTRACT

CANDRA GUSTIKA SARI. *Heat stress Analysis in Yogyakarta using Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) Method. Supervised by AZHAM UMAR ABIDIN, S.K.M., M.P.H., and LUQMAN HAKIM, S.T., M.Si.*

Physical development in the city of Yogyakarta caused by the high population can cause an increase in air temperature which affects the level of thermal comfort. This causes an analysis of the level of thermal comfort using the Wet Bulb Globe Temperature index to determine the potential for heat stress in the city of Yogyakarta. The Wet Bulb Globe Temperature method was chosen because it is the easiest heat assessment index with high accuracy, which is widely used by researchers. Measurements were made by utilizing secondary data in the form of temperature and humidity data from the Mlati Climatology and Gamping Geophysics stations for the last 17 years. Based on the results of the study, it is known that the highest heat stress event in Yogyakarta City occurs in the wet month climate, namely April and November with a WBGT index of 26.4°C. Heat stress that occurs can cause effects in the form of heat strain, heat exhaustion, heat cramps, changes in metabolic rate, and dehydration. The potential for heat stress in Yogyakarta city can be reduced by doing environmental engineering in the form of adding green open space, making fountains in the middle of courtyards, providing shade in open spaces, vertikal planning of gardens, and changes in people's lifestyles related to the fulfillment of fluids and clothing needs used.

Keywords: Heat stress, Thermal Comfort, WBGT, Yogyakarta City.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gambaran Umum Kota Yogyakarta.....	6
2.2 Kenyamanan Iklim Global	6
2.3 Iklim di Indonesia.....	8
2.4 Kenyamanan Termal	8
2.5 Parameter Kenyamanan Termal Luar Ruangan	8
2.6 <i>Heat stress</i>	9
2.7 <i>Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)</i>	9
2.8 Rekayasa Lingkungan	10
2.9 Penelitian Terdahulu.....	10

BAB III	12
METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	12
3.2 Metode Penelitian.....	12
3.2.1 Penentuan Lokasi dan Pengambilan Data	13
3.2.2 Analisis Klasifikasi Iklim.....	15
3.2.3 Pengukuran Parameter Indeks <i>Wet Bulb Globe Temperature</i>	15
3.2.4 Analisis Hubungan Antar Variabel	16
3.2.5 Pengkategorian Kenyamanan Termal berdasarkan Nilai Indeks WBGT dan Perhitungan Laju Metabolik	18
3.2.6 Analisis Rekayasa Lingkungan	20
BAB IV	21
HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Analisis Iklim di Kota Yogyakarta.....	21
4.2 Identifikasi Indeks <i>Wet Bulb Globe Temperature</i> di Kota Yogyakarta .	21
4.3 Analisis Kenyamanan Termal berdasarkan Indeks <i>Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)</i> dan hubungannya dengan peristiwa <i>Heat stress</i> .	26
4.4 Rekayasa Lingkungan di Kota Yogyakarta.....	32
BAB V	41
SIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Simpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	51
RIWAYAT HIDUP	61

DAFTAR TABEL

1	Studi Literatur Terdahulu	11
2	Tingkat Hubungan Antar Variabel.....	18
3	Kategori Kenyamanan Termal	18
4	Rata-Rata Berat Badan Laki-laki dan Perempuan	19
5	Pengkategorian Laju Metabolisme.....	19
6	Jenis Vegetasi dan Fungsinya	33
7	Kebutuhan Tanaman pada <i>Vertical garden</i>	40



DAFTAR GAMBAR

1	Diagram Alir Penelitian	13
2	Lokasi Penelitian	14
3	Hubungan Parameter Suhu dengan Nilai WBGT di Kota Yogyakarta.....	23
4	Hubungan Parameter Kelembaban dengan Nilai WBGT di Kota Yogyakarta	23
5	Hasil Regresi Linear antara Suhu Udara dan Kelembaban Relatif dengan nilai WBGT.....	25
6.	Hasil Kategori Risiko Tingkat Kenyamanan Thermal Indeks WBGT di Kota Yogyakarta.	26
7.	Hubungan Klasifikasi Iklim dengan Nilai Indeks WBGT di Kota Yogyakarta	28
8.	Bagian-bagian Jalan	34
9.	Jalur Penanaman Tanaman	35

DAFTAR LAMPIRAN

1	Klasifikasi Iklim Berdasarkan Oldeman	51
2	Perhitungan Radiasi Ekstraterestrial.....	52
3	Rata-rata perbulan Radiasi Ekstraterestrial.....	53
4	Hasil Perhitungan Indeks <i>Wet Bulb Globe Temperature</i> (WBGT).....	54
5	<i>Analisis Rank Spearman</i>	55
6	Hasil Perhitungan Laju Metabolik berdasarkan Kategori Umur dan Berat Badan.....	57
7	Jalan Hos Cokro Aminoto.....	59
8	Jalan KH Ahmad Dahlan	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Iklm dapat diartikan sebagai kondisi rata-rata cuaca di wilayah luas pada kurun waktu yang relatif lama. Kondisi iklim pada suatu wilayah dapat berpengaruh terhadap segala aktivitas yang dilakukan manusia (Miftahudin, 2016). Alfata *et al* (2014) menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara yang wilayahnya cukup luas yaitu sebesar 1905 juta km² dan berada di daerah tropis, serta antara daerah satu dengan daerah lainnya memiliki perbedaan corak iklim. Perbedaan corak iklim tersebut dapat berpengaruh terhadap kenyamanan termal pada masing-masing daerah. Suatu daerah dapat dikatakan memiliki iklim tropis jika suhu rata-rata hariannya sebesar 28°C atau lebih (Karyono, 2001).

Selain perbedaan corak iklim, Indonesia juga mulai mengalami perubahan iklim yang ditandai dengan naiknya suhu udara dan muka air laut. Perubahan iklim tersebut terjadi karena berbagai kegiatan manusia seperti industrialisasi, perpindahan atau urbanisasi, deforestasi, dan aktivitas alam seperti perubahan revolusi bumi dan letusan gunung berapi (Julismin, 2013). Perubahan iklim dapat memberikan suatu dampak yang bersifat langsung seperti peningkatan radiasi sinar ultraviolet oleh matahari, polusi udara, dan perubahan suhu udara (Dewi, 2014). Perubahan suhu udara memiliki pengaruh pada kondisi kenyamanan lingkungan di dalam maupun di luar ruangan (Sailor, 2014).

Menurut Ernyasih (2012), perubahan iklim dapat dipengaruhi oleh beberapa unsur seperti suhu atau temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin, dan curah hujan. Unsur-unsur iklim tersebut memiliki pengaruh terhadap kenyamanan termal pada manusia. Tubuh manusia memiliki sensitivitas yang berbeda dalam merespon kondisi lingkungan yang panas.

Tingginya suhu udara dapat menyebabkan kelembaban udara menjadi turun, sehingga suhu lingkungan pun akan terasa lebih panas dan kering. Hal tersebut akan menyebabkan menurunnya tingkat kenyamanan termal tubuh saat melakukan aktivitas (Hidayati *et al*, 2018). Turunnya kenyamanan termal pada manusia menyebabkan ketidakseimbangan termal antara manusia dan parameter lingkungan, sehingga berpengaruh terhadap kondisi fisiologis dan psikologis manusia, dan akan memicu timbulnya *heat stress* (Zare *et al*, 2019).

Hubungan antara berbagai unsur iklim terhadap kenyamanan manusia dapat diketahui dengan menggunakan persamaan-persamaan yang didalamnya terdapat beberapa parameter iklim. Salah satu metode yang berguna untuk menghitung tingkat kenyamanan suhu adalah dengan menggunakan persamaan pada metode *Wet Bulb Globe Temperature* (Hidayati *et al*, 2018). Penggunaan metode *Wet Bulb Globe Temperature* pada penelitian ini menjadi hal penting karena metode tersebut merupakan salah satu indeks penilaian panas termudah, memiliki ketepatan yang tinggi dan merupakan satu-satunya indeks yang diterima secara luas oleh para peneliti (Kakaei *et al*, 2019).

Pada penelitian ini, Kota Yogyakarta dipilih menjadi lokasi penelitian, karena merupakan wilayah yang terkena dampak urbanisasi dengan penduduk yang paling padat dibandingkan dengan Kabupaten lain di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kepadatan penduduk Kota Yogyakarta pada tahun 2019 ialah sebesar 12740 orang/ km² (BPS Kota Yogyakarta, 2020). Selain tingginya jumlah penduduk, Kota Yogyakarta merupakan kota yang berkembang cukup pesat ditandai dengan adanya peningkatan di berbagai sektor, seperti pada sektor pendidikan dan pariwisata. Perkembangan yang terjadi berbanding lurus terhadap pembangunan fisik wilayah Kota Yogyakarta. Pembangunan tersebut menyebabkan adanya kenaikan temperatur udara di wilayah perkotaan (Fawzi, 2017). Menurut Carmin *et al* (2012), terjadinya peningkatan suhu dalam suatu wilayah akan menyebabkan rasa khawatir pada masyarakat dengan persentase sebesar 67%. Rasa khawatir tersebut timbul karena adanya peningkatan suhu. Suhu yang meningkat akan

berpengaruh terhadap kesehatan dan dapat mengganggu aktivitas sehari-hari masyarakat karena adanya rasa tidak nyaman secara termal.

Terjadinya peningkatan suhu yang berpotensi untuk menyebabkan peristiwa *heat stress* di Kota Yogyakarta, menjadikan pengukuran indeks kenyamanan termal perlu dilakukan. Kakaei *et al* (2019), dalam penelitiannya menyatakan bahwa *heat stress* dapat menimbulkan dampak berupa gangguan kesehatan pada manusia seperti *heat syncope*, *heat exhaustion*, kram panas, kebingungan, kelelahan, dan hilangnya konsentrasi saat bekerja, yang berpengaruh terhadap menurunnya pendapatan. Oleh karena itu, pengukuran indeks kenyamanan termal di Kota Yogyakarta dilakukan untuk mengetahui batas kenyamanan pada saat melakukan aktivitas di luar ruangan agar terhindar dari risiko *heat stress*. Dalam penelitian ini, indeks kenyamanan di Kota Yogyakarta dinyatakan dalam indeks *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT), dengan menganalisis data sekunder yang didapat dari BMKG Provinsi Yogyakarta.

Saat ini, sudah terdapat beberapa penelitian yang membahas tentang kenyamanan termal pada suatu wilayah menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* dengan parameter yang digunakan yaitu suhu, kelembaban udara, dan radiasi matahari. Namun, belum terdapat penelitian mengenai analisis *heat stress* yang dilakukan di Kota Yogyakarta menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* tersebut. Perbedaan lokasi itulah yang menjadi pembeda antara penelitian yang tengah dilakukan dan penelitian terdahulu. Selain itu, hal yang membuat penelitian ini berbeda dengan penelitian yang sudah dilakukan adalah penggunaan data sekunder. Data yang digunakan untuk penelitian adalah data sekunder dari BMKG Provinsi Yogyakarta dari tahun 2004 hingga tahun 2021. Pada penelitian ini, jika nilai yang diperoleh dari metode WBGT terlalu tinggi sehingga berpotensi menyebabkan ketidaknyamanan termal, maka selanjutnya dilakukan suatu rekayasa lingkungan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang yang ada ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh iklim di Kota Yogyakarta terhadap *heat stress* dengan menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT)?
2. Bagaimana analisis *heat stress* di Kota Yogyakarta sesuai dengan kategori tingkat kenyamanan termal yang sudah ditetapkan?
3. Bagaimana rekayasa lingkungan yang dapat diterapkan terhadap kondisi kenyamanan iklim yang terjadi di Kota Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dengan tujuan berikut:

1. Mengidentifikasi pengaruh iklim di Kota Yogyakarta terhadap *heat stress* dengan menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT).
2. Menganalisis *heat stress* di Kota Yogyakarta sesuai dengan kategori tingkat kenyamanan termal yang sudah ditetapkan.
3. Menentukan rekayasa lingkungan yang didasarkan pada kondisi kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta.

1.4 Manfaat Penelitian

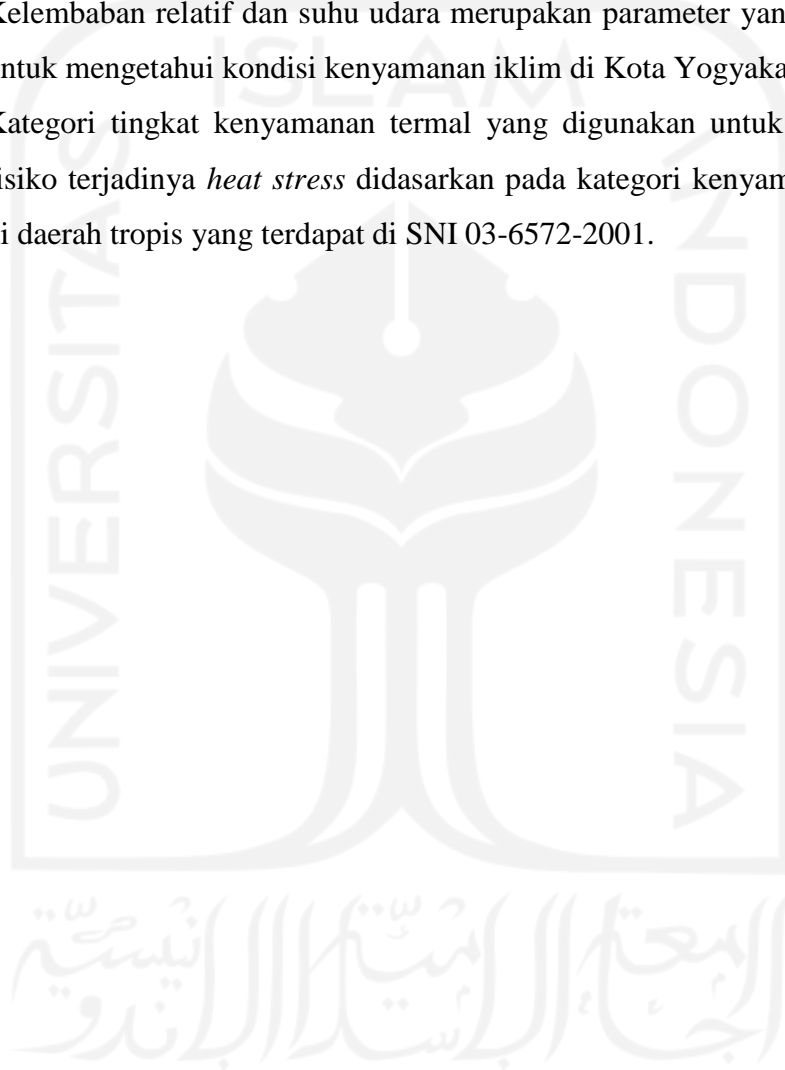
Manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Memperluas wawasan dan pengetahuan mahasiswa tentang kondisi kenyamanan iklim berdasarkan *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) di kawasan Kota Yogyakarta.
2. Hasil penelitian dapat dikontribusikan sebagai referensi pada penelitian yang terkait dengan kondisi kenyamanan iklim.
3. Hasil penelitian dapat bermanfaat untuk pemerintah dalam merencanakan rekayasa lingkungan berdasarkan dengan kondisi kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Berikut merupakan ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan:

1. Penelitian dilaksanakan di Kota Yogyakarta, menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Mlati dan Stasiun Geofisika Provinsi Yogyakarta.
2. Penentuan indeks kenyamanan iklim menggunakan metode *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT).
3. Kelembaban relatif dan suhu udara merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui kondisi kenyamanan iklim di Kota Yogyakarta.
4. Kategori tingkat kenyamanan termal yang digunakan untuk mengetahui risiko terjadinya *heat stress* didasarkan pada kategori kenyamanan termal di daerah tropis yang terdapat di SNI 03-6572-2001.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Kota Yogyakarta

Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas wilayah sebesar 32,50 km². Kota Yogyakarta memiliki kepadatan penduduk sebesar 12740 orang/ km² pada tahun 2019, dan merupakan wilayah dengan penduduk paling padat di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Berdasarkan letak geografis, Kota Yogyakarta berbatasan langsung dengan Kabupaten Bantul dan Sleman di sebelah timur dan barat, Kabupaten Sleman di sebelah utara, dan Kabupaten Bantul di sebelah selatan. Dari aspek kependudukan, Kota Yogyakarta terdiri dari 14 kecamatan dengan total penduduk sebesar 414055 jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta, 2020).

Menurut Fawzi (2017), Kota Yogyakarta merupakan kota yang berkembang cukup pesat dalam bidang pendidikan dan pariwisata. Hal tersebut menyebabkan pembangunan fisik di Kota Yogyakarta terus dilakukan. Pembangunan fisik yang terjadi, dapat berpotensi meningkatkan suhu udara di Kota Yogyakarta, sehingga berpengaruh terhadap kenyamanan termal di kota tersebut.

2.2 Kenyamanan Iklim Global

Menurut Miftahudin (2016), iklim merupakan suatu keadaan cuaca rata-rata yang terdiri dari beberapa unsur dan terjadi pada tempat yang luas dalam kurun waktu yang relatif lama. Unsur- unsur penting dari suatu iklim meliputi temperatur, kelembaban udara, curah hujan, tekanan atmosfer (tekanan udara), dan angin. Berikut merupakan penjelasan unsur-unsur tersebut:

- a. Suhu udara/temperatur

Suhu udara dapat didefinisikan sebagai ukuran rata-rata energi kinetik pada molekul yang bergerak. Secara meteorologi, dapat dinyatakan dengan satuan derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$) maupun derajat Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$). Namun, kesepakatan internasional, suhu dinyatakan dalam derajat celcius ($^{\circ}\text{C}$) (Fadholi, 2013).

b. Tekanan udara

Menurut Tjasyono (2004), tekanan atmosfer (tekanan udara) pada suatu titik dapat ditunjukkan dari berat kolom udara per satuan luasan di atas titik tersebut. Tekanan udara dapat berubah sesuai dengan waktu dan tempatnya. Satuan udara dinyatakan dengan atmosfer (atm) atau mbar atau mm Hg, dimana $1 \text{ atm} = 1.013 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg}$.

c. Kelembaban udara

Kelembaban udara dapat diartikan sebagai banyaknya kandungan uap air dalam atmosfer atau udara. Banyaknya air dalam udara ditentukan oleh banyak faktor yang meliputi kuantitas air, asal uap, tekanan udara, temperatur, dan angin. Salah satu besaran yang berfungsi untuk menunjukkan nilai kelembaban udara yaitu kelembaban nisbi (Fadholi, 2013).

d. Curah hujan

Hujan ialah wujud presipitasi uap air yang ada di atmosfer dan berasal dari awan (Kartasapoetra, 2004). Besaran curah hujan dapat dinyatakan dalam inci atau milimeter dimana $1 \text{ inci} = 25,4 \text{ mm}$ (Tjasjono, 2004).

e. Angin

Angin adalah suatu perpindahan atau pergerakan massa udara secara horizontal dari suatu tempat ke tempat/ daerah lain. (Kartasapoetra, 2004).

2.3 Iklim di Indonesia

Indonesia merupakan negara yang memiliki kecenderungan perubahan iklim. Menurut Julismin (2013), terdapat tiga faktor penting yang mempengaruhi kondisi iklim di Indonesia, yaitu:

- a. Kedudukan matahari yang berubah-ubah

Matahari merupakan sumber energi di bumi yang memiliki peran penting terhadap kendali iklim pada suatu wilayah (Tjasjono, 2004).

- b. Wilayah Indonesia merupakan negara kepulauan
- c. Adanya gunung tinggi di beberapa pulau di Indonesia.

2.4 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai keadaan daya pikir yang menunjukkan kepuasan pada lingkungan termal (Shoostarian, 2020). Shoostarian dalam jurnalnya menyatakan bahwa lingkungan yang nyaman secara termal, dapat membuat penduduk sekitar merasa nyaman berinteraksi dengan lingkungan, sehingga keperluan sehari-hari dapat tercukupi dengan baik. Lingkungan dapat dinyatakan nyaman secara termal, apabila suhunya berkisar antara 21-24°C dengan kelembaban sekitar 50%. Sedangkan menurut Damiati *et al* (2016), pada daerah tropis seperti Indonesia, suhu udara dapat dikatakan nyaman jika berkisar antara 24,1-27,7 °C . Selain itu, menurut Zare *et al* (2019) kenyamanan termal merupakan penyebab dari keseimbangan termal antara manusia dan parameter lingkungan sehingga dapat mempengaruhi perilaku fisiologis dan psikologis manusia.

2.5 Parameter Kenyamanan Termal Luar Ruangan

Menurut Shoostarian (2020), kenyamanan termal luar ruangan dapat ditentukan dengan dua variabel, yaitu variabel alam dan variabel personal. Variabel alam meliputi suhu radiasi (T_{mrt}), kecepatan angin (v_a), temperatur udara (T_a), kelembaban udara (RH) dan variabel personal meliputi aktivitas metabolisme manusia dan insulasi termal yang digunakan (clo). Variabel

personal dapat disebut juga sebagai parameter fisiologis, yang mengacu pada panas dari tubuh manusia saat melakukan aktivitas fisik dan keterkaitan dengan insulasi pakaian yang diperlukan (Maftai and Buta, 2017).

2.6 Heat stress

Menurut Kakaei *et al* (2019), peningkatan suhu lingkungan merupakan salah satu konsekuensi yang harus dihadapi akibat dari perubahan iklim. Daerah dengan suhu yang tinggi dapat meningkatkan frekuensi terjadinya *heat stress* pada manusia. *Heat stress* merupakan persoalan serius karena dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi pekerja, dan dapat menimbulkan beberapa masalah lain seperti *heat syncope*, kelelahan panas, kram panas, *heat stroke*, kebingungan, konsentrasi yang buruk, kelelahan, dan juga menimbulkan hilangnya pendapatan, serta meningkatkan biaya sosial. Selain itu, adanya *heat stress* yang terjadi pada manusia baik dari segi fisik maupun mental, juga dapat menimbulkan dampak kronis atau akut berupa *heat strain*. *Heat strain* ialah respon fisiologis tubuh terhadap adanya *heat stress* yang dilakukan dengan tujuan mengeluarkan panas dari dalam tubuh. Keluhan lain yang muncul pada seseorang jika terpapar *heat stress* bermacam –macam, seperti ruam pada kulit, pingsan, dan yang paling buruk ialah keringat yang tidak dapat dikeluarkan (Nofianti dan Koesyanto, 2019). Zare *et al* (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *heat stress* dapat diukur melalui perhitungan indeks, dengan memasukkan data seperti kecepatan udara, suhu, kelembaban, dan radiasi matahari.

2.7 Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)

Indeks *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) ialah metode yang berguna untuk mengevaluasi tekanan panas di tempat kerja berdasarkan respon fisiologis manusia terhadap kondisi lingkungan. Indeks WBGT memiliki kemampuan untuk menilai efek paparan panas dalam jangka waktu dan

aktivitas tertentu dan merupakan salah satu indeks penilaian panas termudah dan paling tepat Kakaei *et al* (2019). Sumber lain menyatakan bahwa *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) adalah indeks eksperimental yang diperkenalkan oleh Yagluce dan Minard pada tahun 1957 dan disajikan sebagai standar ISO 7234 pada tahun 1989, dan dapat digunakan di dalam ruangan serta di luar ruangan (Zare *et al*, 2019).

2.8 Rekayasa Lingkungan

Heat stress adalah peristiwa yang menyebabkan ketidaknyamanan pada tubuh karena metabolisme yang meningkat. Hal itu terjadi karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi. Faktor tersebut dibedakan menjadi 3 macam, yaitu faktor lingkungan, pola kerja, dan pakaian. Faktor lingkungan dalam hal ini meliputi suhu, kelembaban udara, radiasi matahari dan pergerakan udara (Ahmad, 2015). *Heat stress* terjadi ketika nilai kelembaban relatif cenderung rendah, sedangkan suhu udara terus mengalami peningkatan (Oliveira *et al*, 2012). Oleh karena itu, diperlukan suatu rekayasa lingkungan untuk meminimalisir terjadinya *heat stress* yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan ialah dengan menyediakan ruang terbuka hijau. Keberadaan ruang terbuka hijau pada lingkungan memiliki pengaruh penting terhadap kenyamanan termal. Peran ruang terbuka hijau pada lingkungan yaitu dapat menurunkan suhu udara, menghasilkan udara bersih dan mengurangi pancaran radiasi matahari. Adanya ruang terbuka hijau dapat menyebabkan radiasi panas dari sinar matahari dapat dipantulkan sehingga tidak terserap oleh bangunan sekitar (Hidayat, 2016).

2.9 Penelitian Terdahulu

Salah satu acuan penulis dalam melaksanakan penelitian adalah dengan membaca beberapa penelitian terdahulu. Dari penelitian tersebut, tidak ditemukan judul yang sama dengan penelitian yang sedang berjalan. Berikut merupakan hasil penelitian terdahulu:

Tabel 1 Studi Literatur Terdahulu

No	Nama Peneliti	Topik Penelitian	Hasil Penelitian
1	Hidayati, Banja (2018)	Penentuan Ambang Batas Kenyamanan Termal pada Anak Sekolah dan Wisatawan Domestik di Pulau Lombok.	Berdasarkan indeks WBGT di Kota Lombok, batas ketidaknyamanan nilai WBGT luar ruangan ialah pada nilai $> 28,5^{\circ}\text{C}$.
2	Apriana (2013)	Tingkat Kenyamanan Kampus IPB Baranangsiang berdasarkan Informasi WBGT (<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>).	Hasil penelitian di Kampus IPB Baranangsiang Bogor didapat hasil rata-rata nilai WBGT pada pagi hari sebesar $24,3- 24,8^{\circ}\text{C}$, siang hari sebesar $28,2 -31^{\circ}\text{C}$, sedangkan sore hari sebesar $26-27,1^{\circ}\text{C}$.
3	Musfiroh (2018)	Kajian Kenyamanan Termal di Jawa Barat	Berdasarkan hasil penelitian, nilai WBGT di Provinsi Jawa Barat selama rentang tahun 2007 hingga 2016, berkisar antara 23 hingga 28°C , sehingga dalam skala internasional termasuk dalam tingkat resiko tinggi.
4	Kakaei (2019)	<i>Changes of WBGT as a heat stress index over the time: A systematic review and meta-analysis.</i>	Berdasarkan hasil analisis indeks WBGT didapat hasil untuk Benua Asia, Eropa, dan Amerika masing-masing sebesar $29,9^{\circ}\text{C}$, $29,5^{\circ}\text{C}$, dan $26,81^{\circ}\text{C}$. Sedangkan analisis indeks WBGT yang dilakukan di Iran, di didapat hasil sebesar $29,7^{\circ}\text{C}$.

BAB III

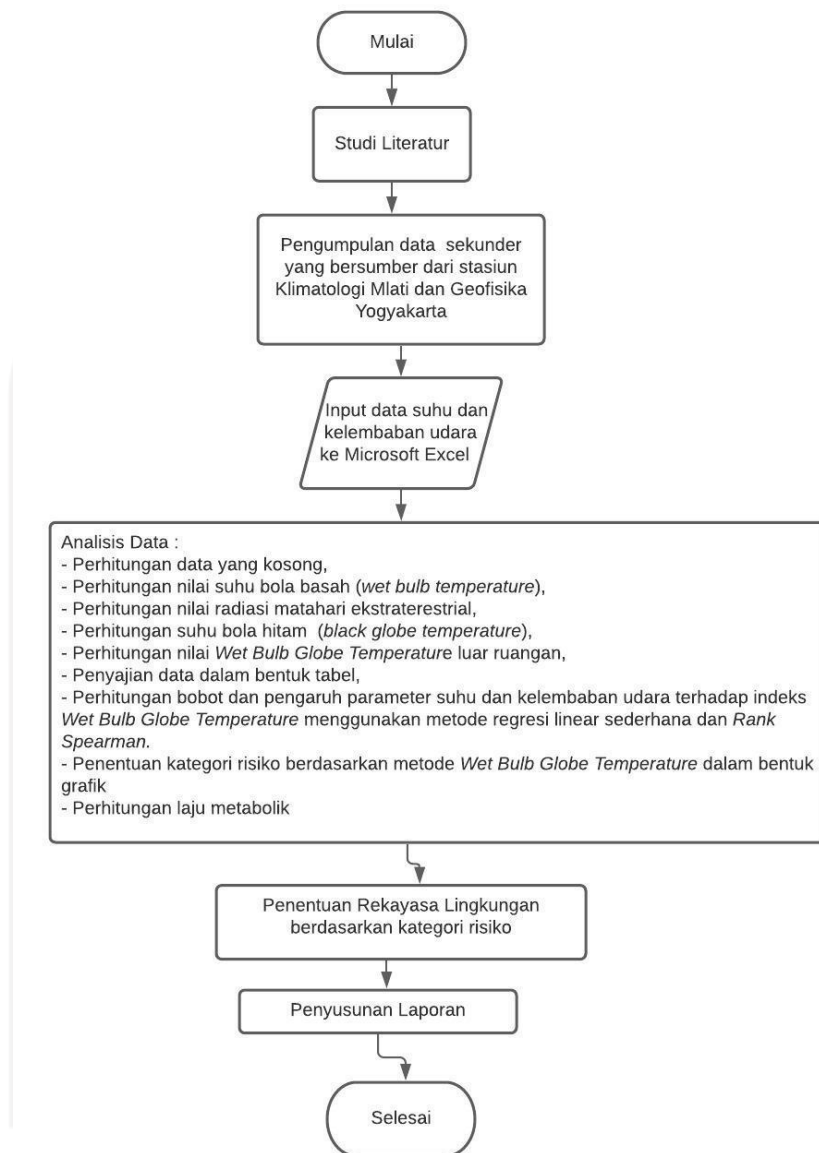
METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kota Yogyakarta dengan memanfaatkan data sekunder yang berasal dari Stasiun Klimatologi Mlati dan Stasiun Geofisika Provinsi Yogyakarta. Penelitian akan dilaksanakan dari bulan Januari hingga bulan Februari tahun 2021.

3.2 Metode Penelitian

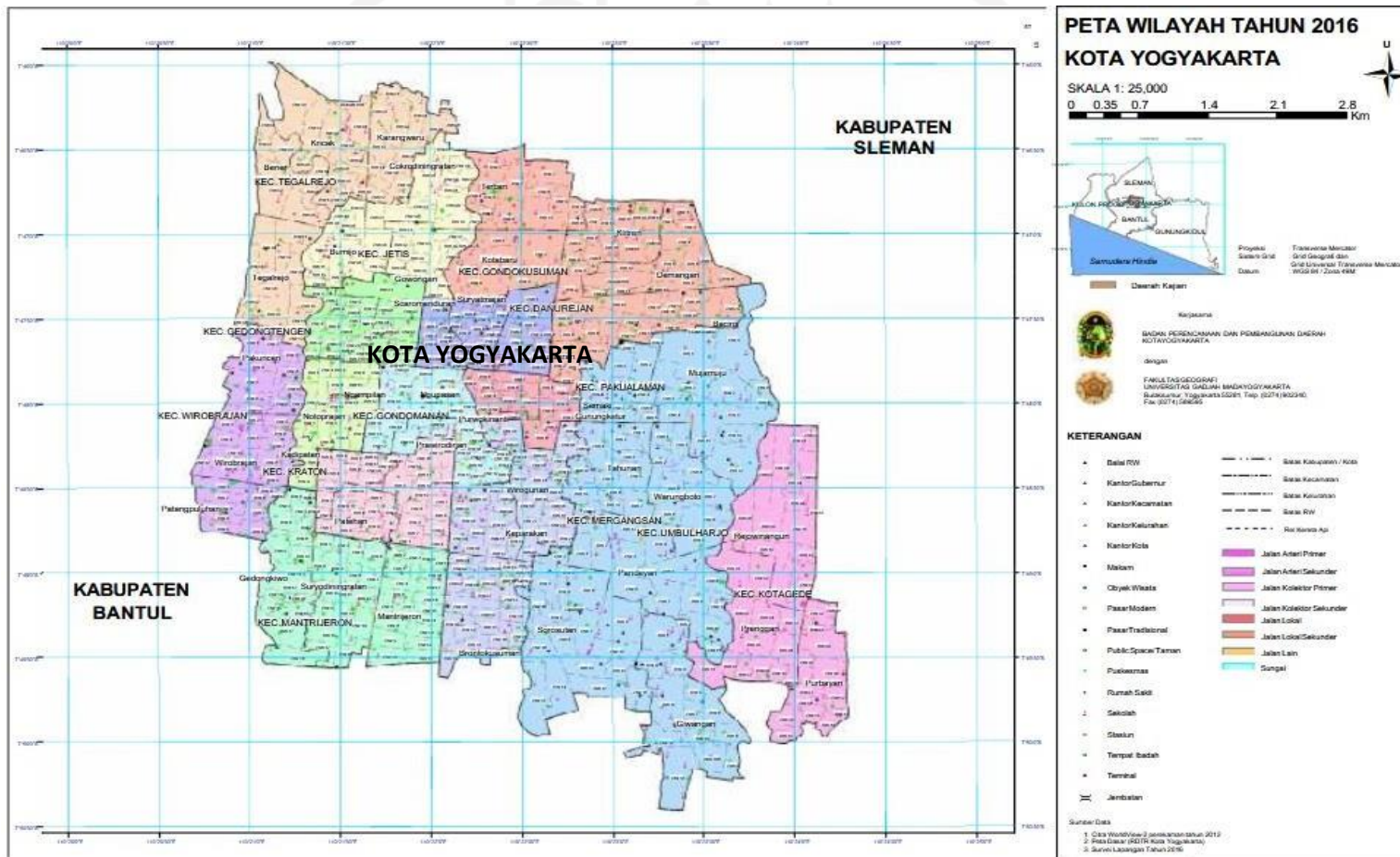
Tahapan yang akan dilakukan pada proses penelitian ini digambarkan dengan diagram alir. Diagram alir tahapan penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Penentuan Lokasi dan Pengambilan Data

Pada penelitian ini menggunakan data suhu dan kelembaban udara yang bersumber dari stasiun Klimatologi dan Geofisika Provinsi Yogyakarta dari tahun 2004-2020, dan diunduh melalui situs dataonline.bmkg.go.id. Lokasi dilaksanakannya penelitian ditunjukkan pada gambar 2.



Sumber: <https://www.scribd.com/document/357060314/000-Peta-Kota-Yogyakarta> (diunduh pada: 13 Desember 2020)

Gambar 2 Lokasi Penelitian

3.2.2 Analisis Klasifikasi Iklim

Analisis klasifikasi iklim di Kota Yogyakarta dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi Oldeman dengan memanfaatkan data curah hujan Terdapat tiga klasifikasi iklim berdasarkan metode tersebut yaitu bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering. Bulan basah terjadi ketika rata-rata curah hujan >200 mm, bulan lembab terjadi jika curah hujan rata-rata antara 100-200 mm, sedangkan untuk bulan kering terjadi jika curah hujan rata-ratanya <100 mm (Sasminto, 2014). Hasil analisis klasifikasi iklim disajikan dalam bentuk tabel.

3.2.3 Pengukuran Parameter Indeks *Wet Bulb Globe Temperature*

Wet Bulb Globe Temperature adalah indeks yang menggabungkan empat elemen lingkungan termal seperti temperature, kecepatan angin, kelembaban udara, dan radiasi matahari (Budd, 2008). Namun, karena keterbatasan data klimatologi di Kota Yogyakarta, pada penelitian yang akan dilakukan hanya menggunakan dua parameter termal, yaitu suhu dan kelembaban udara. Kecepatan angin pada metode *Wet Bulb Globe Temperature* berperan penting sebagai penentu suhu udara sekitar (Kakaei *et al*, 2019). Oleh karena itu, pada penelitian ini data kecepatan angin tidak harus digunakan karena data suhu udara telah tersedia. Sedangkan untuk parameter lain yaitu radiasi matahari, diperoleh dengan pendugaan menggunakan persamaan berdasarkan data yang tersedia, yaitu suhu dan kelembaban udara. Kenyamanan termal luar ruangan berdasarkan indeks WBGT dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$WBGT = 0,7T_{wb} + 0,2T_{bg} + 0,1T_{db} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

$$WBGT = \text{Wet Bulb Globe Temperature } (^{\circ}\text{C})$$

Keterangan:

$$WBGT = \text{Wet Bulb Globe Temperature } (^{\circ}\text{C})$$

T_{wb} = suhu bola basah (*wet bulb temperature*) dalam $^{\circ}\text{C}$,

T_{bg} = suhu bola hitam (*black globe temperature*)
 T_{db} = suhu bola kering (*dry bulb temperature*) dalam °C
 (Binkley *et al*, 2002).

Nilai suhu bola basah (*wet bulb temperature*) didapat melalui persamaan berikut (Hawa, 2006):

$$RH = 100 - \frac{300 (T_a - T_{wb})}{T_a}$$

$$T_{wb} = \frac{200 T_a + RH T_a}{300} \dots \dots \dots (2)$$

RH merupakan kelembaban relatif dalam %, T_a merupakan suhu udara (°C), dan T_w merupakan suhu bola basah (°C). Sedangkan untuk suhu bola hitam dapat dicari menggunakan persamaan:

$$T_{bg} = 1,22 T_{db} - 0,0405 RH + 0,0253 Q \dots \dots \dots (3)$$

Q merupakan nilai radiasi matahari. Berikut merupakan persamaan untuk mencari nilai radiasi matahari (Allen *et al*, 2006):

$$R_a = 37,6 dr (\omega_s \sin \theta \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \sin \omega_s) \dots \dots \dots (4)$$

$$dr = 1 + 0,033 \cos(0,0172J) \dots \dots \dots (5)$$

$$\omega_s = \arccos s \{ -\tan \theta \tan \delta \} \dots \dots \dots (6)$$

$$\theta = \frac{\pi}{180} \dots \dots \dots (7)$$

$$\delta = 0.409 \sin (0.0172J - 1,39) \dots \dots \dots (8)$$

R_a adalah nilai radiasi matahari ekstraterrestrial ($MJ m^{-2} h^{-1}$) sedangkan J adalah urutan hari sesuai dengan kalender Julian.

Setelah melakukan analisis data secara kuantitatif dan mendapatkan nilai WBGT (°C), data kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.2.4 Analisis Hubungan Antar Variabel

Analisis hubungan antara parameter suhu dan kelembaban udara terhadap indeks *Wet Bulb Globe Temperature* dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear sederhana dan korelasi *Rank Spearman*. Pembuatan regresi linear sederhana dilakukan untuk

mengetahui nilai R^2 pada tiap parameter. Koefisien determinasi (R^2) memiliki kegunaan untuk mengetahui kecocokan pada suatu model, dengan rentang nilai berkisar antara 0 sampai dengan 1. Jika R^2 mendekati 1, maka pengaruh variabel bebas pada variabel terikat ialah sangat kuat, dan jika R^2 mendekati 0, maka pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat ialah sangat rendah (Ndruru *et al*, 2014). Regresi linear sederhana diperoleh melalui persamaan (Dewi *et al*, 2018):

$$Y = \alpha + bX$$

Keterangan:

Y = variabel tidak bebas

α = tidak intercept (konstan)

b = koefisien arah regresi

X = variabel bebas

Selanjutnya, untuk korelasi *Rank Spearman* dapat didefinisikan sebagai alat uji statistik yang memiliki fungsi untuk melakukan pengujian hipotesis asosiatif dari dua variabel jika data yang tersedia mengandung unsur pemeringkatan (berskala ordinal) (Yudihartanti, 2017). Pitipaldi *et al* (2018), dalam jurnalnya menyampaikan metode korelasi *rank spearman* dapat digunakan untuk skala ranking/ordinal dan pada data nonparametric, sehingga tidak membutuhkan pendugaan sebelumnya. Nilai pada korelasi *rank spearman* (r_s) ialah berkisar antara -1 hingga 1. Nilai r menunjukkan tingkat hubungan antar variabel, dimana dalam hal ini ialah hubungan antara parameter suhu dengan indeks WBGT, dan parameter kelembaban udara dengan indeks WBGT. Berikut merupakan persamaan untuk mengetahui nilai *rank spearman*:

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

Berdasarkan nilai *rank spearman* yang telah didapat, kemudian dapat ditentukan tingkat hubungan antar variabel. Tingkat hubungan antar

variabel berdasarkan nilai r ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2 Tingkat Hubungan Antar Variabel

Arti r	Interval r
Negatif sempurna	-1
Negatif kuat	$-1 < r < -0,9$
Negatif moderat	$-0,9 < r < -0,5$
Negatif lemah	$-0,5 < r < 0$
Tidak berkorelasi	0
Positif lemah	$0 < r < 0,5$
Positif moderat	$0,5 < r < 0,9$
Positif kuat	$0,9 < r < 1$
Positif sempurna	1

Sumber: Sudarno, 2017.

3.2.5 Pengkategorian Kenyamanan Termal berdasarkan Nilai Indeks WBGT dan Perhitungan Laju Metabolik

Berdasarkan nilai indeks WBGT yang telah diperoleh, kemudian dilakukan penentuan level risiko dari nilai WBGT terhadap kategori kenyamanan termal, sehingga dapat diketahui kemungkinan terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta. Pada daerah tropis, kondisi kenyamanan termal pada suatu wilayah dapat dibedakan menjadi tiga kategori. Kategori kenyamanan termal yang digunakan dapat dilihat di tabel 3.

Tabel 3 Kategori Kenyamanan Termal

WBGT (°C)	Kategori
20,5 – 22,8 °C	Sejuk nyaman
22,8 – 25,8 °C	Nyaman optimal
25,8 – 27,1 °C	Hangat nyaman

Sumber: SNI 03-6572-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung.

Setelah mengetahui kategori risiko dari kenyamanan termal terhadap kemungkinan terjadinya *heat stress*, kemudian dapat dilakukan perhitungan laju metabolik berdasarkan pada data berat badan rata-rata yang dikelompokkan berdasarkan kategori umur. Berat badan yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada berat badan rata-rata orang

Indonesia yang didapat dari riset kesehatan pada tahun 2013. Rata-rata berat badan orang Indonesia berdasarkan kategori umur dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Rata-Rata Berat Badan Laki-laki dan Perempuan

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: Muljati *et al*, 2016.

Kemudian, data berat badan tersebut digunakan untuk menghitung laju metabolisme tubuh seseorang. Pada ISO 8996 tahun 2004, disebutkan bahwa rata-rata berat badan pria berusia 30 tahun ialah 70 kg, sedangkan untuk wanita sebesar 60 kg. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung laju metabolisme seseorang berdasarkan Pada Permenkes No 70 Tahun 2016:

$$\text{Laju metabolik}_{(\text{koreksi})} = \frac{\text{Berat badan Pekerja (kg)}}{70 \text{ (kg)}} \times \text{Laju metabolik}_{(\text{Observasi})}$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan laju metabolik tersebut, kemudian dapat dilakukan pengkategorian, sehingga diketahui kelompok umur dan berat badan yang paling tinggi berpotensi terjadi *heat stress*. Pengkategorian dari perhitungan laju metabolisme dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Pengkategorian Laju Metabolisme

Kategori	Laju Metabolik (W)	Contoh Aktivitas
Istirahat	115 (100-125)	Duduk
Ringan	180 (125-235)	Duduk disertai mengerjakan pekerjaan ringan menggunakan tangan atau lengan dan tangan, serta mengemudi. Berdiri melakukan pekerjaan ringan dengan lengan dan berjalan sesekali.
Sedang	300 (235-360)	Berjalan biasa, melakukan pekerjaan sedang menggunakan lengan dan tangan, lengan dan pinggang, lengan dan kaki, mendorong, dan menarik beban yang ringan.
Berat	415 (360-465)	Melakukan pekerjaan dengan intensif menggunakan lengan dan pinggang, menggali, membawa benda, menggergaji manual, menarik benda berat/mendorong, dan berjalan cepat.
Sangat Berat	520 (>465)	Melakukan pekerjaan dengan kecepatan maksimal secara intensif.

Sumber: Permenkes No 70 Tahun 2016

3.2.6 Analisis Rekayasa Lingkungan

Berdasarkan hasil yang didapat dari pengkategorian tingkat kenyamanan termal di Kota Yogyakarta, langkah selanjutnya adalah penentuan rekayasa lingkungan. Rekayasa lingkungan yang akan diterapkan disesuaikan dengan tingkat kenyamanan termal yang terjadi di Kota Yogyakarta terhadap potensi terjadinya *heat stress*. Rekayasa tersebut dilakukan untuk menurunkan suhu udara dan mengurangi pancaran radiasi sinar matahari di wilayah perkotaan dengan memanfaatkan vegetasi yang ada pada ruang terbuka hijau. Pemanfaatan vegetasi bertujuan untuk meningkatkan kenyamanan termal pada wilayah Kota Yogyakarta sehingga risiko terjadi *heat stress* dapat diminimalisir. Dengan adanya ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan, maka dapat tercipta *cooling effect* yang diperoleh dengan menurunkan suhu udara serta menaikkan nilai kelembaban relatif (Oliveira *et al*, 2012).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Iklim di Kota Yogyakarta

Dalam penelitian ini, dilakukan klasifikasi iklim di Kota Yogyakarta menggunakan metode klasifikasi Oldeman dengan memanfaatkan data curah hujan (Sasminto, 2014). Pada metode tersebut terdapat tiga klasifikasi iklim, yaitu bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering. Suatu kondisi dinyatakan sebagai bulan basah yaitu ketika rata-rata curah hujan yang terjadi lebih dari 200 mm, untuk bulan lembab terjadi jika curah hujan rata-rata antara 100-200 mm, sedangkan untuk bulan kering terjadi jika curah hujan rata-ratanya kurang dari 100 mm. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode tersebut, diketahui bahwa kondisi iklim di wilayah Kota Yogyakarta pada tahun 2007 hingga tahun 2020 masuk kategori bulan basah, bulan lembab, dan bulan kering. Bulan basah terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, November, dan Desember, sedangkan bulan lembab terjadi pada bulan Mei, dan untuk bulan kering terjadi pada bulan Juni, Juli, Agustus, September, dan Oktober. Pengklasifikasian kondisi iklim berdasarkan curah hujan ditunjukkan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada lampiran 1.

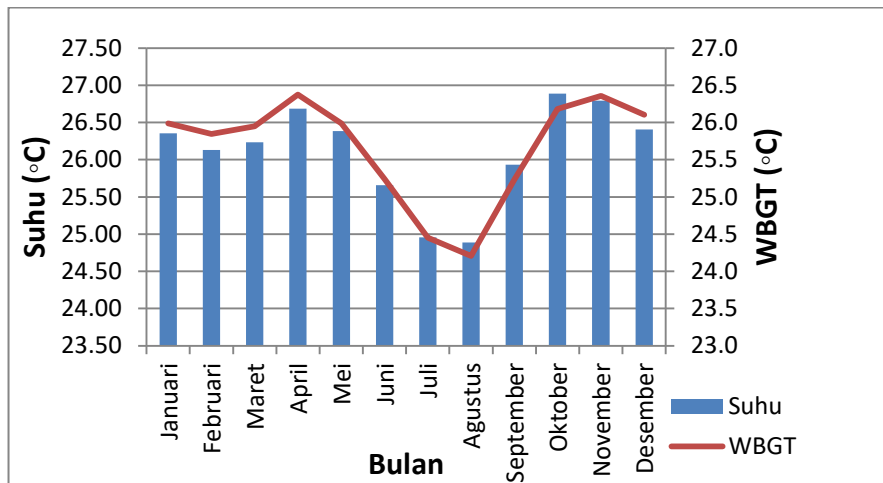
4.2 Identifikasi Indeks *Wet Bulb Globe Temperature* di Kota Yogyakarta

Pada penelitian ini, data yang digunakan untuk menghitung indeks *Wet Bulb Globe Temperature* adalah data suhu dan kelembaban udara yang diperoleh dari stasiun Klimatologi Mlati dan Geofisika Provinsi Yogyakarta dari tahun 2004 hingga tahun 2020. Data suhu yang digunakan meliputi suhu maksimum, suhu minimum, dan suhu rata-rata. Hasil suhu maksimum, suhu minimum, suhu rata-rata, dan kelembaban udara di Kota Yogyakarta dari tahun 2004-2020 masing-masing diperoleh hasil sebesar 31,60 °C, 22,61 °C, 26,12 °C, dan 82,14 %.

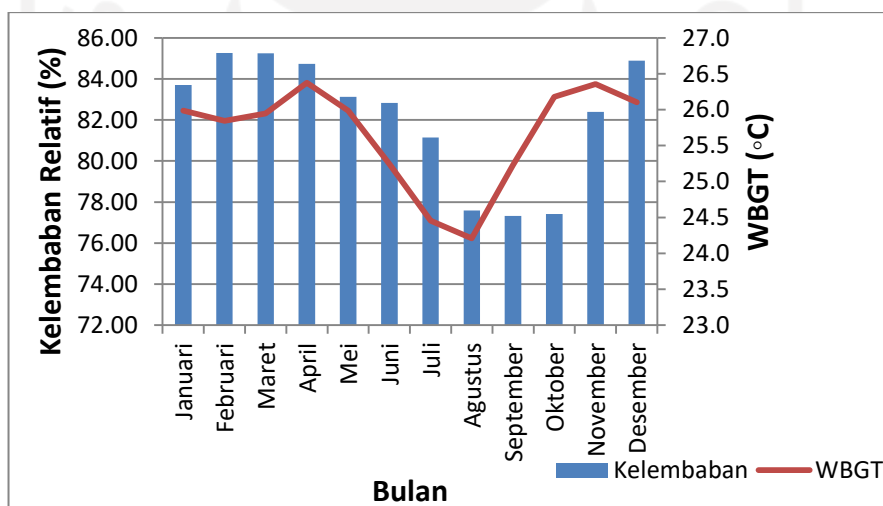
Nilai indeks WBGT dapat dihitung menggunakan persamaan $WBGT = 0,7T_{wb} + 0,2T_{bg} + 0,1T_{db}$, dimana pada persamaan tersebut memerlukan nilai radiasi matahari, suhu bola basah, suhu bola hitam, dan suhu bola kering. Namun, karena keterbatasan data yang dimiliki, maka untuk nilai radiasi matahari dapat diperoleh melalui persamaan $R_a = 37,6 \text{ dr } (\omega_s \sin \theta \sin \delta + \cos \theta \cos \delta \sin \omega_s)$. Setelah mengetahui nilai radiasi matahari, langkah selanjutnya yaitu mencari nilai suhu bola hitam dan suhu bola basah. Suhu bola basah dapat dicari dengan memanfaatkan data kelembaban relatif yang sudah diketahui. Hasil pengolahan data untuk mendapatkan nilai radiasi matahari, suhu bola hitam, suhu bola basah, serta indeks *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) ditunjukkan pada lampiran 3 dan 4.

Penggunaan indeks *Wet Bulb Globe Temperature* pada penelitian ini, memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari penelitian dengan menggunakan indeks *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) yaitu merupakan salah satu indeks penilaian panas yang sederhana dan memiliki ketepatan tinggi, serta banyak digunakan oleh peneliti (Ghalhari *et al*, 2020). Adapun kekurangan dari penggunaan indeks WBGT dalam penelitian ini yaitu tidak adanya data mengenai nilai radiasi matahari, sehingga nilai radiasi matahari yang didapat hanyalah data yang dicari menggunakan persamaan tertentu, dan bukan data yang diukur di lapangan secara langsung.

Pada penelitian ini, data yang digunakan untuk menghitung nilai indeks WBGT ialah data suhu rata-rata dan kelembaban udara. Dari data suhu yang ada, menunjukkan suhu tertinggi di Kota Yogyakarta terjadi pada bulan Oktober, sedangkan suhu terendah terjadi pada bulan Agustus. Hubungan antara suhu dengan nilai WBGT dapat dilihat pada gambar 3. Selain data suhu, untuk data kelembaban menunjukkan hasil kelembaban tertinggi di Kota Yogyakarta terjadi pada bulan Februari, sedangkan kelembaban terendah terjadi pada bulan September. Hubungan antara parameter kelembaban dengan nilai WBGT ditunjukkan pada gambar 4.



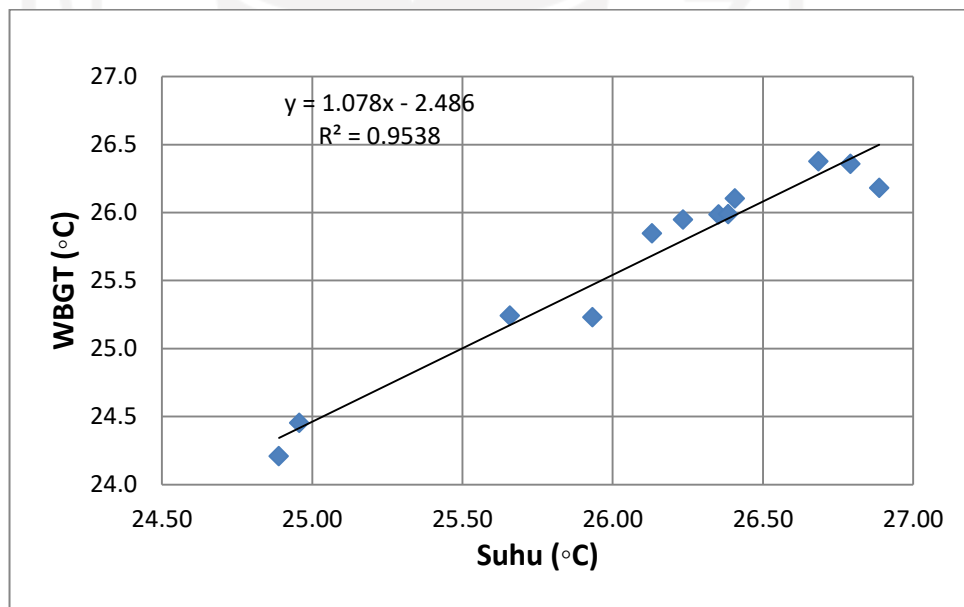
Gambar 3. Hubungan Parameter Suhu dengan Nilai WBGT di Kota Yogyakarta

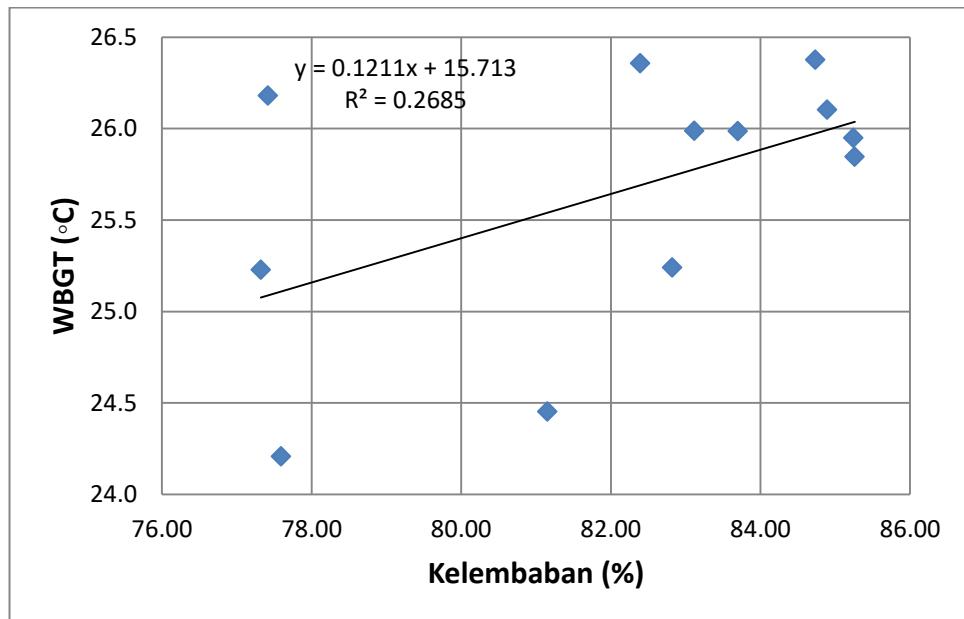


Gambar 4. Hubungan Parameter Kelembaban dengan Nilai WBGT di Kota Yogyakarta

Berdasarkan gambar 3 dan 4, nilai indeks *Wet Bulb Globe Temperature* tertinggi di Kota Yogyakarta (*peak season*), terjadi pada bulan April dan November dengan nilai indeks sebesar 26,4°C. Indeks *Wet Bulb Globe Temperature* di Kota Yogyakarta tersebut mengalami kenaikan pada bulan Februari hingga April dan bulan Agustus hingga November. Sedangkan, pada bulan April hingga Agustus dan bulan November ke Desember nilai WBGT

mengalami penurunan. Penurunan indeks WBGT yang signifikan terjadi pada bulan April hingga Agustus, dan kembali mengalami kenaikan yang signifikan pada bulan Agustus hingga November. Nilai indeks WBGT yang bervariasi tersebut menunjukkan pola yang berbentuk *Bimodal shoulder-peaks* (Hasanah *et al*, 2020). Adapun maksud dari *Bimodal shoulder-peaks* yaitu terdapat dua puncak dan dua lembah dalam satu grafik (Dwianda dan Marzuki, 2018). Pola *Bimodal shoulder-peaks* pada hasil indeks WBGT di Kota Yogyakarta menyerupai pola curah hujan yang ada di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan secara geografis Indonesia dilalui oleh garis khatulistiwa yang dapat menyebabkan bentuk pola curah hujan memiliki dua puncak (Turyanti *et al*, 2007). Selanjutnya, untuk mengetahui besaran bobot dan hubungan setiap parameter dengan nilai indeks WBGT dapat diketahui dengan menggunakan regresi linear sederhana yang dapat dilihat pada gambar 5.





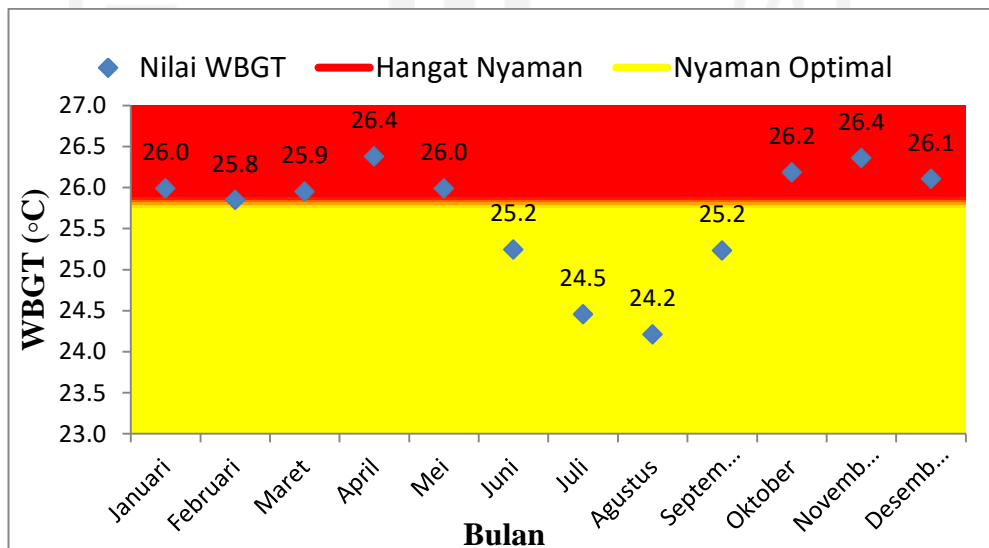
Gambar 5 Hasil Regresi Linear antara Suhu Udara dan Kelembaban Relatif dengan nilai WBGT.

Berdasarkan regresi linear sederhana tersebut, diketahui nilai R^2 ialah sebesar 0,95 untuk suhu sedangkan untuk kelembaban ialah sebesar 0,26. Pada parameter kelembaban menunjukkan hasil yang tidak linear, sehingga diperlukan metode korelasi *Rank Spearman* agar bobot tiap parameter dapat diketahui dengan jelas. Metode korelasi *Rank Spearman* dapat digunakan karena pada metode tersebut tidak membutuhkan pendugaan awal dan dapat digunakan pada skala ranking (Pitipaldi *et al*, 2018). Berdasarkan nilai *rank spearman*, didapat hasil r (nilai *rank spearman*) untuk suhu ialah sebesar 0,97 dan 0,29 untuk kelembaban. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa suhu masuk dalam kategori positif kuat, dimana suhu memiliki pengaruh yang besar yaitu sebesar 97% untuk menentukan nilai indeks WBGT, dibandingkan dengan kelembaban yang nilai r nya masuk dalam kategori positif lemah yaitu hanya sebesar 29%. Pada penelitian ini, hubungan antara parameter suhu dengan nilai *Wet Bulb Globe Temperature* ialah berbanding lurus. Ketika suhu mengalami kenaikan maka nilai *Wet Bulb Globe Temperature* di Kota Yogyakarta pun akan meningkat. Menurut Hidayati dan Banja (2018), suhu

yang meningkat dapat menyebabkan kelembaban udara menjadi turun, sehingga lingkungan akan terasa lebih panas.

4.3 Analisis Kenyamanan Termal berdasarkan Indeks *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* dan hubungannya dengan peristiwa *Heat stress*.

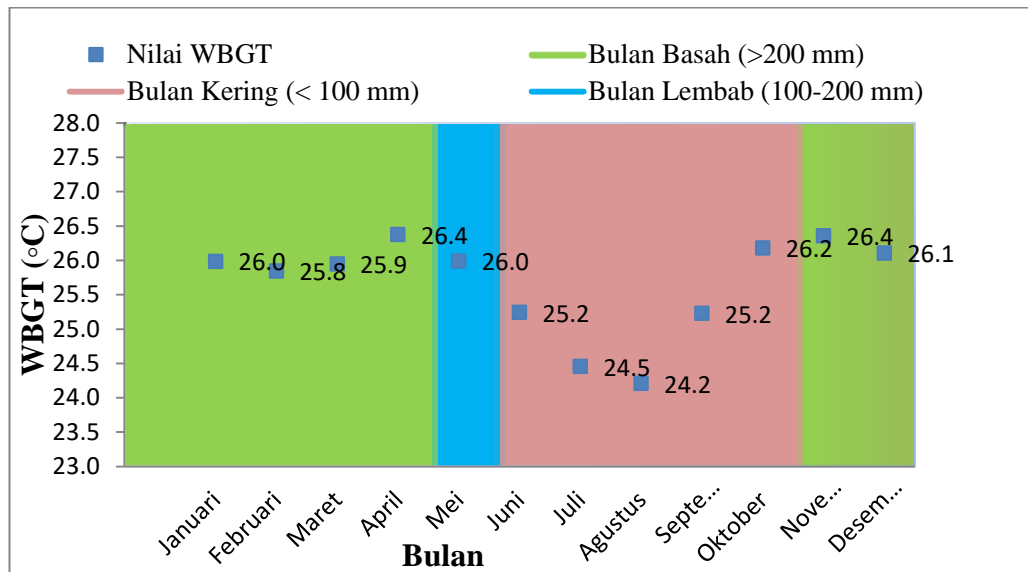
Berdasarkan pengukuran kenyamanan termal menggunakan indeks *Wet Bulb Globe Temperature*, rata-rata indeks WBGT di Kota Yogyakarta ialah sebesar $25,7^{\circ}\text{C}$ dengan hasil indeks yang bervariasi pada setiap bulan. Dari hasil pengukuran tersebut, diketahui bahwa kenyamanan termal di Kota Yogyakarta masuk dalam kategori nyaman optimal dan hangat nyaman. Nyaman optimal terjadi pada rentang suhu $22,8^{\circ}\text{C}$ - $25,8^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk hangat nyaman terjadi pada suhu $25,8^{\circ}\text{C}$ - $27,1^{\circ}\text{C}$. Kategori nyaman optimal di Kota Yogyakarta terjadi pada bulan Februari, Juni, Juli, Agustus, dan September, sedangkan kondisi hangat nyaman terjadi pada bulan Januari, Maret, April, Mei, Oktober, November, dan Desember. Hasil dari pengkategorian tingkat kenyamanan termal indeks *Wet Bulb Globe Temperature* di Kota Yogyakarta dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil Kategori Risiko Tingkat Kenyamanan Thermal Indeks WBGT di Kota Yogyakarta.

Rata-rata indeks WBGT luar ruangan di Kota Yogyakarta dan tingkat kenyamanannya, menunjukkan hasil yang berbeda dengan penelitian sebelumnya yang telah dilaksanakan di daerah lain di Indonesia, seperti halnya di Pulau Lombok dan di Jawa Barat. Pada penelitian di pulau Lombok menunjukkan batas ketidaknyamanan dalam melakukan aktivitas luar ruangan berdasarkan indeks WBGT ialah pada nilai $>28,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan kondisi nyaman ialah pada nilai indeks $<28,5^{\circ}\text{C}$ (Hidayati dan Banja, 2018). Adapun di daerah Jawa Barat, didapatkan hasil indeks WBGT selama rentang tahun 2007 hingga tahun 2016 ialah berkisar antara 23°C - 28°C . Dalam skala internasional, indeks WBGT di Jawa Barat telah masuk dalam kategori tingkat risiko tinggi (Musfiroh, 2018).

Selanjutnya, pengukuran indeks kenyamanan termal di Kota Yogyakarta yang dikorelasikan dengan kondisi iklim menunjukkan kondisi yang berbeda pada setiap klasifikasi iklim. Pada klasifikasi iklim bulan basah, kondisi nyaman optimal hanya terjadi pada bulan Februari dengan nilai indeks *Wet Bulb Globe Temperature* sebesar $25,8^{\circ}\text{C}$. Namun, besaran nilai indeks tersebut merupakan batas akhir kondisi nyaman optimal dan titik awal kondisi hangat nyaman pada suatu wilayah. Sedangkan pada bulan lembab, yaitu bulan Mei, menunjukkan kategori kenyamanan termal di Kota Yogyakarta adalah hangat nyaman. Selanjutnya, pada bulan kering, kondisi kenyamanan termal di Kota Yogyakarta didominasi dengan kategori nyaman optimal. Dari lima bulan yang masuk ke kategori bulan kering, empat diantaranya masuk kategori nyaman optimal yaitu bulan Juni, Juli, Agustus, September, dan hanya satu bulan yang menunjukkan kondisi hangat nyaman yaitu pada bulan Oktober. Dilihat dari tiga klasifikasi iklim yang ada, kenyamanan termal secara optimal di Kota Yogyakarta terjadi pada bulan kering tepatnya pada bulan Agustus dengan nilai indeks WBGT sebesar $24,2^{\circ}\text{C}$. Nilai indeks *Wet Bulb Globe Temperature* di Kota Yogyakarta berdasarkan klasifikasi iklim dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Hubungan Klasifikasi Iklim dengan Nilai Indeks WBGT di Kota Yogyakarta

Nilai indeks *Wet Bulb Globe Temperature* yang didapat akan berbanding lurus dengan kenaikan suhu di Kota Yogyakarta. Pada kondisi nyaman optimal, masyarakat dapat menjalankan aktivitas di luar ruangan dengan nyaman dan terhindar dari resiko terjadinya *heat stress*. Sedangkan, untuk kondisi wilayah dengan kategori resiko hangat nyaman maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan tingkat kenyamanan termal. Penurunan tingkat kenyamanan termal tersebut dapat timbul karena adanya paparan panas yang terjadi secara terus menerus. Menurut Zare *et al* (2019), apabila kenyamanan termal pada manusia mengalami penurunan, maka kondisi fisiologis dan psikologis manusia menjadi terganggu, sehingga hal tersebut akan memicu terjadinya *heat stress*. Rasa tidak nyaman hingga ketegangan merupakan tanda awal efek terjadinya *heat stress*. *Heat stress* yang terjadi kemudian dapat memicu timbulnya respon fisiologis tubuh dengan tujuan mengeluarkan panas dari dalam tubuh atau biasa disebut dengan *heat strain*. *Heat strain* adalah suatu dampak yang disebabkan adanya paparan panas yang menyerang fisik maupun mental dan dapat bersifat akut maupun kronis (Nofianti dan Koesyanto, 2019).

Selain itu, *heat stress* juga dapat menyebabkan ketidaknyamanan tubuh karena adanya perubahan laju metabolisme tubuh (Ahmad, 2015). Panas dan suhu tubuh dapat seimbang dan dikatakan normal jika laju metabolik produksi panas diimbangi dengan cepatnya hilangnya panas dari dalam tubuh (Kukus *et al.*, 2009). Berdasarkan ISO 8996 tahun 2004, laju metabolisme memiliki peran penting untuk menentukan tingkat kenyamanan dari paparan panas yang terjadi di lingkungan. Kondisi iklim yang panas dan tingginya produksi panas yang terkait dengan kerja otot, dapat meningkatkan potensi terjadinya *heat stress*. Pada ISO 8996 tahun 2004 disebutkan bahwa rata-rata berat badan pria berusia 30 tahun ialah 70 kg, sedangkan untuk wanita sebesar 60 kg. Dari hal tersebut, kita dapat menghitung laju metabolisme tubuh seseorang yang didasarkan pada berat badan rata-rata dan dikelompokkan berdasarkan kategori umur. Laju metabolisme tersebut kemudian dapat digunakan untuk mengetahui kategori laju metabolisme tubuh berdasarkan Permenkes No 70 Tahun 2016 yang berhubungan dengan potensi terjadinya *heat stress*.

Pada Permenkes No 70 Tahun 2016, laju metabolik dibagi menjadi lima kategori, yaitu kategori istirahat, ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Kategori istirahat terjadi pada saat laju metabolik berada pada angka 100-125, ringan pada 125-235, kategori sedang pada 235-360, berat saat laju metabolik menunjukkan angka 360-465, dan sangat berat ketika laju metabolik lebih dari 465. Contoh aktivitas untuk kategori istirahat adalah duduk, sedangkan contoh aktivitas untuk kategori ringan yaitu bekerja dengan posisi duduk dan menggunakan dua tangan, mengemudi, bekerja dengan posisi berdiri, serta sesekali berjalan. Selain itu, untuk contoh aktivitas dari kategori sedang yaitu berjalan biasa atau melakukan pekerjaan dengan menggunakan tangan dan lengan, lengan dan pinggang, lengan dan kaki, mendorong, atau menarik beban ringan. Sedangkan untuk kategori berat, contoh pekerjaannya yaitu berjalan cepat, menggali, menggergaji dengan manual, mendorong dan menarik benda berat. Selanjutnya untuk kategori sangat berat, contoh aktivitasnya yaitu melakukan pekerjaan dengan intensif dan dengan kecepatan

maksimal. Dalam menghitung laju metabolik, berat badan yang digunakan mengacu pada berat badan yang didapat dari riset kesehatan pada tahun 2013.

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan data berat badan rata-rata dan mengacu pada ISO 8996, didapat hasil untuk umur 15-24 tahun memiliki kategori laju metabolik ringan, sedang untuk laki-laki, dan kategori ringan, sedang, dan berat untuk perempuan. Untuk kelompok umur 25-30 tahun, laju metabolik untuk laki-laki masuk dalam kategori ringan, sedang, dan berat, sedangkan untuk perempuan masuk kategori istirahat, ringan, dan sedang. Pada kelompok umur 31-34 tahun dan 35-44 tahun, baik untuk laki-laki maupun perempuan, laju metabolik masuk dalam kategori istirahat, ringan, sedang, dan berat. Selanjutnya, pada kelompok umur 45-54 tahun, 55-59 tahun, dan 60-64 tahun, kategori laju metabolik nya ialah istirahat, ringan, sedang, dan berat, sedangkan untuk usia 65 tahun ke atas, hasil laju metabolik masuk dalam kategori ringan, sedang dan berat. Nilai laju metabolik pada setiap kelompok umur berdasarkan rata-rata berat badan dapat dilihat pada lampiran 6.

Jika dilihat dari jumlah penduduk pada kelompok usia 15 tahun ke atas, diketahui jumlah penduduk laki-laki di Kota Yogyakarta lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah penduduk perempuan. Jumlah penduduk laki-laki di Kota Yogyakarta yaitu sebesar 173133 jiwa, sedangkan untuk perempuan ialah sebesar 186996 jiwa. Berdasarkan kegiatan utamanya penduduk di Kota Yogyakarta terbagi menjadi dua yaitu angkatan kerja dan bukan angkatan kerja dengan tingkat partisipasi laki-laki pada angkatan kerja sebesar 76,52%, sedangkan perempuan sebesar 61,30%. Pada angkatan kerja kegiatannya meliputi bekerja dan pengangguran terbuka sedangkan pada bukan angkatan kerja kegiatannya meliputi sekolah, *housekeeping*, dan lainnya. Beberapa pekerjaan yang banyak dilakukan oleh penduduk di Kota Yogyakarta ialah berdagang, bekerja pada industri pengolahan, bekerja pada jasa transportasi dan pergudangan, penyediaan akomodasi dan makan minum,

bekerja di perusahaan dan bekerja di bidang konstruksi (Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta, 2021).

Kegiatan yang dilakukan oleh masyarakat di Kota Yogyakarta, dapat dilakukan baik di dalam maupun luar ruangan. Adanya kegiatan dari masyarakat tersebut jika dikaitkan dengan laju metabolik yang ada dan risiko terjadinya *heat stress*, maka dapat diketahui bahwa pada setiap kelompok umur memiliki risiko yang berat untuk mengalami *heat stress*, kecuali pada kelompok umur 15-24 tahun pada jenis kelamin laki-laki. Kejadian *heat stress* tersebut dapat terjadi pada bulan Januari, Maret, April, Mei, Oktober, November, dan Desember dengan risiko tertinggi terjadi pada bulan April dan November. Hal itu terjadi karena pada bulan-bulan tersebut, kondisi suhu sedang mengalami kenaikan dan nilai WBGT yang didapat pun telah masuk dalam kategori hangat nyaman, dimana jika aktivitas *outdoor* dilakukan secara terus menerus maka dapat menyebabkan menurunnya tingkat kenyamanan termal, dan peluang terjadinya *heat stress* dapat meningkat.

Arianto dan Prasetyowati (2019), dalam jurnalnya menyampaikan bahwa *heat stress* dapat menyebabkan gangguan lain seperti *heat exhaustion*, *heat cramps*, dan dehidrasi. Penyakit *heat exhaustion* dapat menyebabkan gejala berupa mual, muntah, lemah, pusing dan penglihatan kabur. Selain itu, untuk penyakit *heat cramps* gejala yang timbul yaitu kejang otot, kram otot, kram kaki, dan kram pada bagian perut. Sedangkan gejala untuk dehidrasi yaitu timbulnya rasa letih, lesu, meningkatnya suhu tubuh, konsentrasi berkurang, dan jarang buang air kecil.

Heat stress dapat terjadi ketika suhu udara melebihi batas optimal, sehingga berpengaruh terhadap individu dalam merasakan kenyamanan secara termal (Ahmad, 2015). Dalam penelitian ini, batas nyaman optimal di Kota Yogyakarta dapat terjadi pada rentang suhu 22,8°C-25,8°C (SNI 03-6572-2001). Berdasarkan hal tersebut, maka dapat diketahui bahwa Kota Yogyakarta telah menunjukkan adanya *heat stress* pada bulan-bulan yang secara termal sudah masuk dalam kategori hangat nyaman. Kejadian *heat stress* tertinggi di Kota Yogyakarta terjadi pada bulan April dan bulan

November karena telah melebihi kondisi nyaman optimal yang ada. Namun, karena terdapat beberapa bulan lain dengan nilai indeks WBGT yang masuk pada rentang 25,8-27,1 °C, dan sudah masuk dalam kategori risiko hangat nyaman, maka peristiwa *heat stress* juga berpotensi untuk terjadi pada bulan lain selain bulan April dan November tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu rekayasa lingkungan untuk mengatasi ketidaknyamanan secara termal yang dapat mengakibatkan adanya peristiwa *heat stress* di Kota Yogyakarta.

4.4 Rekayasa Lingkungan di Kota Yogyakarta

Penelitian tingkat kenyamanan termal menggunakan indeks *Wet Bulb Globe Temperature* di Kota Yogyakarta yang menunjukkan level risiko hangat nyaman, dapat menyebabkan terjadinya penurunan kenyamanan termal dan berpotensi menyebabkan *heat stress*. *Heat stress* yang terjadi karena faktor lingkungan dapat diminimalisir dengan melakukan rekayasa lingkungan. Salah satu usulan rekayasa lingkungan yang dapat dilakukan adalah dengan membuka ruang terbuka hijau. Tanaman pada ruang terbuka hijau dapat membuat suhu udara menjadi turun dan mengurangi pancaran radiasi sinar matahari (Hidayat, 2016). Selain itu, Rambaradellangga *et al* (2018), dalam jurnal nya juga menyatakan bahwa keberadaan ruang terbuka hijau dapat menjadikan lingkungan menjadi tempat yang nyaman secara termal.

Menurut Undang-Undang No 26 Tahun 2007 tentang penataan ruang, terdapat dua jenis ruang terbuka hijau yaitu RTH Publik dan RTH Privat. RTH publik ialah ruang terbuka hijau yang kepemilikan dan pengelolaannya diatur oleh pemerintah daerah, sedangkan untuk RTH Privat, kepemilikan dan pengelolaannya langsung dilakukan oleh masyarakat secara mandiri. Jenis vegetasi yang dapat digunakan untuk ruang terbuka hijau antara lain pucuk merah, bambu, trembesi, tanjung, palem raja (Siwi, 2020). Fungsi dari vegetasi-vegetasi tersebut dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Jenis Vegetasi dan Fungsinya

Jenis Vegetasi	Fungsi
Pucuk merah (<i>Oleina syzygium</i>)	Dapat dijadikan sebagai tanaman hias dan pagar karena kerimbunan kan keunikan warnanya.
Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>)	Memiliki akar yang rapat sehingga mampu menstabilkan ekosistem air.
Trembesi (<i>Albizia saman</i>)	Memiliki kemampuan menyerap air, dan dapat dijadikan sebagai tanaman peneduh.
Tanjung (<i>Mimusops elengi</i>)	Mampu menyerap polutan Pb dan dapat dijadikan sebagai tanaman peneduh karena memiliki daun yang padat dan tajuk yang bulat.
Palem raja (<i>Roystonea regia</i>)	Dapat meningkatkan kualitas udara karena kemampuannya dalam menyerap polusi dan dapat menyerap air 10% lebih banyak dibanding vegetasi lain.

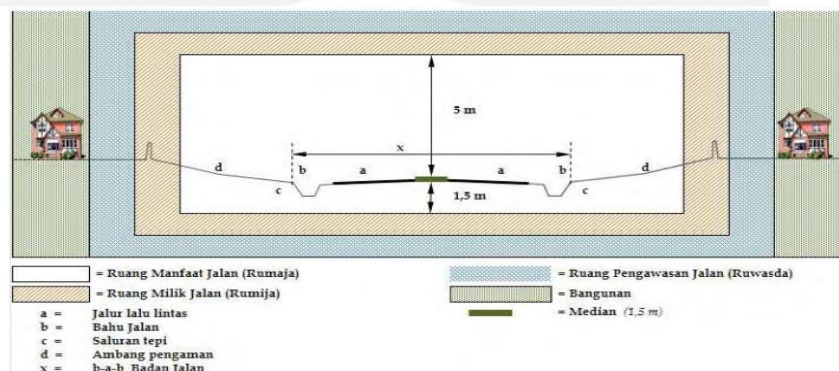
Sumber: Siwi (2020).

Purwandani *et al* (2018), menyatakan bahwa RTH memiliki peranan penting untuk mengatur iklim mikro di perkotaan. Namun, dalam penyediaan RTH, luas lahan juga penting untuk diperhatikan. Luasan lahan pada suatu daerah dapat berpengaruh dengan tingkat kenyamanan yang nantinya diperoleh (Wemasmaaratri *et al*, 2018). Berdasarkan Undang-Undang No 26 Tahun 2007 tentang penataan ruang, luasan minimal ruang terbuka hijau perkotaan adalah 30% dari luas seluruh wilayah, dimana paling sedikit 20% dari total wilayah merupakan RTH publik, dan 10% nya merupakan RTH privat.

Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2017, Kota Yogyakarta telah memiliki RTH publik sebesar 5,83% dengan luas 1896279 m², dan RTH privat sebesar 12,93% dengan luas 4203129 m². Dari data tersebut, RTH yang telah memenuhi standar hanyalah RTH privat, sedangkan untuk RTH publik masih perlu dilakukan penambahan. Untuk RTH publik dan privat yang sudah ada, perlu dilakukan

pemeliharaan agar kualitas ruang terbuka hijau tetap bagus, dan jumlahnya tidak berkurang. Pada RTH publik, pemeliharaan dapat dilakukan dengan bantuan tenaga teknis, maupun pihak ketiga (pihak swasta). Pemeliharaan tersebut meliputi pemeliharaan taman dan pemeliharaan perindang jalan. Pemeliharaan taman yang dilakukan dapat berupa penyiraman tanaman, pemangkasan tanaman, pemberian pupuk, penyulaman tanaman yang telah mati, penyiangan, dan penyapuan, sedangkan pemeliharaan perindang jalan dapat berupa penyiraman, pemangkasan, pemupukan, dan penggantian tanaman. Pada RTH privat dapat dilakukan pemeliharaan secara mandiri oleh masyarakat.

Salah satu penambahan Ruang Terbuka Hijau yang dapat dilakukan di Kota Yogyakarta adalah dengan menanam tanaman jalan. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2012 tentang pedoman penanaman pohon pada sistem jaringan jalan, tanaman jalan adalah tanaman yang dapat berguna pada perencanaan lanskap jalan, dimana akar tanaman tidak menyebabkan rusaknya konstruksi jalan, dan pemeliharaannya yang mudah. Penanaman pohon di dalam kota, dapat ditanam pada batas ruang manfaat jalan yang meliputi saluran tepi jalan, ambang pengaman dan badan jalan, serta median atau jalur pemisah. Bagian-bagian jalan dan jalur penanaman tanaman dapat ditunjukkan oleh gambar 8 dan 9.



Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2012

Gambar 8 Bagian-bagian Jalan



Sumber: Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2012

Gambar 9 Jalur Penanaman Tanaman

Jenis tanaman yang boleh ditanam di tepi jalan harus lebih rendah dari tinggi tiang listrik, tinggi kabel telepon atau rambu-rambu lalu lintas, serta tidak boleh menggunakan tanaman yang dapat merusak struktur bawah tanah. Jarak atur tanaman minimum ialah 4 meter dari tepi perkerasan dan harus dilakukan pemeliharaan untuk jalan yang berdekatan dengan fasilitas umum. Contoh tanaman yang dapat digunakan yaitu pohon Tanjung (*Mimusops elengi*). Sedangkan pada median jalan, tinggi tanaman yang diperbolehkan ialah kurang dari 1 m dengan ketentuan tidak ada cabang dari tanaman yang menghalangi badan jalan. Tanaman yang akan ditanam pada median jalan, dapat diatur jarak minimumnya dari tepi jalan sebesar 0,5 m. Contoh tanaman yang dapat ditanam pada median jalan yaitu pucuk merah (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2012).

Pohon tanjung (*Mimusops elengi*) merupakan salah satu tanaman dengan bentuk tajuk bulat. Femy *et al* (2014), dalam jurnalnya menyatakan bahwa bentuk tajuk pada suatu tanaman dapat berpengaruh pada kemampuannya dalam meningkatkan kelembaban udara dan menurunkan tingkat suhu pada suatu wilayah. Tanaman dengan tajuk bulat dan bulat terbuka, memiliki efektivitas dalam meningkatkan kelembaban relatif sebesar 5%, dan dapat menurunkan suhu rata-rata sekitar 2°C.

Penambahan tanaman tepi jalan di Kota Yogyakarta, dapat dilakukan di Kecamatan Wirobrajan, tepatnya pada jalan KH Ahmad Dahlan dan Jalan Hos

Cokro Aminoto. Hal tersebut dikarenakan masih ada bagian tepi jalan yang masih terlihat jarang terdapat tanaman, sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan penambahan. Selain itu, menurut data dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta pada tahun 2017, Kecamatan Wirobrajan merupakan satu-satunya kecamatan di Kota Yogyakarta yang belum terdapat RTH Publik yang dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup. Lokasi penanaman tanaman tepi jalan dapat dilihat pada lampiran 7 dan 8.

Selain itu, penambahan ruang terbuka hijau privat juga dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman sebagai alternatif pagar rumah. Tanaman tersebut dapat berfungsi untuk memberikan kesan indah pada suatu bangunan serta berperan sebagai penghalang debu, polusi, dan radiasi sinar matahari di lingkungan sekitar. Tanaman yang dapat digunakan sebagai pagar yaitu tanaman jenis perdu karena dapat menyerap dengan baik gas-gas penyebab pencemaran udara seperti gas NO dan CO₂. Kriteria tanaman yang cocok dijadikan pagar antara lain tahan terhadap perubahan cuaca seperti perdu, bersifat tahunan, mudah dirawat dan bukan tanaman produktif (contohnya keji beling), tidak mudah menggugurkan daun contohnya tanaman bambu, serta memiliki bentuk dan ukuran yang proporsional (Werdiningsih, 2007).

Alternatif lain yang dapat ditawarkan untuk meminimalisir dampak yang terjadi akibat *heat stress* di Kota Yogyakarta yaitu dengan mengubah pola kebiasaan masyarakat yang terkait dengan kebutuhan cairan di dalam tubuh. Kebutuhan cairan dalam tubuh dapat dipenuhi dengan mengonsumsi air minum. Fajrianti *et al* (2017), dalam jurnalnya menyatakan bahwa air minum ialah unsur yang berperan penting untuk mendinginkan tubuh dalam lingkungan yang panas, terutama pada tenaga kerja yang banyak mengeluarkan keringat akibat adanya paparan panas. Masyarakat yang bekerja pada lingkungan dengan suhu yang panas dan melakukan pekerjaan berat, harus mengonsumsi air minum sedikitnya 2,8 liter per hari untuk mengganti cairan tubuh yang hilang. Selain itu, untuk menghindari hilangnya cairan di dalam tubuh akibat paparan panas, konsumsi air minum yang mengandung

garam juga diperlukan. Untuk masyarakat yang sudah terbiasa melakukan aktivitas *outdoor* dengan kondisi yang panas, sebaiknya mengonsumsi garam dengan kadar 0,1% pada air minum, sedangkan untuk masyarakat yang belum terbiasa, maka perlu mengonsumsi garam dengan kadar 0,2%. Oleh karena itu, penyediaan air minum pada tempat-tempat umum di Kota Yogyakarta perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya dehidrasi akibat adanya *heat stress* pada masyarakat yang melakukan aktivitas *outdoor*. Demikian dengan masyarakat, masyarakat juga perlu mempersiapkan air minum untuk diri sendiri sebelum melakukan aktivitas *outdoor*. Kesadaran akan pentingnya minum air dengan baik dapat meminimalisir potensi terjadinya dehidrasi pada tubuh akibat paparan panas yang terjadi (Ariyanti *et al*, 2018).

Selain kebutuhan cairan, pola lain yang harus diperhatikan agar masyarakat terhindar dari risiko terjadinya *heat stress* ialah cara berpakaian. Pakaian memiliki pengaruh terhadap kondisi panas tubuh saat melakukan aktivitas. Pada saat melakukan aktivitas *outdoor* dengan kondisi suhu di atas suhu optimal, maka pakaian yang dipilih harus pakaian yang dapat menyerap keringat dengan baik. Semakin tinggi kemampuan pakaian dalam meloloskan partikel uap air, maka semakin tinggi juga kemampuan untuk menyerap keringat. Rekomendasi jenis bahan kain yang nyaman untuk digunakan pada kondisi suhu di atas optimal ialah kain katun. Kain katun memiliki kemampuan menyerap air dengan baik dibandingkan pakaian yang menggunakan serat sintetis, sehingga dengan kemampuannya tersebut, dapat menurunkan suhu tubuh pada masyarakat saat melakukan aktivitas *outdoor* (Ariyanti *et al* 2018).

Rekayasa lain yang dapat dilakukan untuk menghindari risiko terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta yaitu dengan memanfaatkan air sebagai pengendali panas. Berdasarkan Hendrawati (2016), dalam jurnalnya menyampaikan bahwa air merupakan unsur yang memiliki kemampuan untuk menghantarkan dingin maupun panas. Selain itu, air juga dapat menurunkan suhu udara di sekitar dengan mengubah bentuknya dari zat cair menjadi uap. Keberadaan uap air di udara dapat menyebabkan naiknya kelembaban udara di

sekitar area tersebut. Pemanfaatan air untuk menurunkan suhu udara di Kota Yogyakarta dapat dilakukan dengan pembuatan air mancur di tengah-tengah *courtyard*. Percikan dari air mancur tersebut dapat meningkatkan kelembaban udara, karena bertambahnya kadar uap air. Penggunaan *jet spray* pada air mancur dapat memperluas area permukaan, sehingga kelembaban yang dihasilkan dapat lebih maksimal dan suhu udara pun dapat mengalami penurunan.

Penyediaan tempat berteduh atau naungan atau shelter pada ruang terbuka di Kota Yogyakarta juga dapat menyumbangkan dampak yang positif terhadap kondisi termal di lingkungan sekitar. Keberadaan naungan pada ruang terbuka dapat meningkatkan kenyamanan termal pada wilayah tersebut. Peningkatan kenyamanan termal tersebut terjadi karena adanya perubahan sensasi panas pada area yang sebelumnya tidak memiliki *shelter*. Ketika suatu tempat terbuka memiliki naungan, maka dapat membuat kondisi panas menjadi hangat, dan kondisi hangat menjadi normal, sehingga potensi terjadinya *heat stress* dapat menurun (Middel *et al*, 2016).

Selain itu, rekayasa lingkungan juga dapat dilakukan dengan menambahkan *vertical garden* pada bangunan gedung yang terdapat di Kota Yogyakarta. *Vertical garden* merupakan sistem penanaman dengan melekatkan tanaman pada struktur bangunan secara vertikal baik secara menyeluruh pada bagian dinding maupun sebagian. Sistem *vertical garden* pada bangunan dapat memberikan keuntungan karena kemampuannya dalam melindungi selubung bangunan dari radiasi matahari. Selain itu, adanya *vertical garden* juga dapat memberikan manfaat pada sifat termal di dalam maupun luar bangunan karena pengaruhnya terhadap turunnya suhu udara dan naiknya kelembaban udara (Widiastuti *et al*, 2014). Berdasarkan Stec *et al* (2005), keberadaan *vertical garden* dapat memperbaiki kenyamanan termal luar ruangan melalui pengaturan suhu dari tanaman. Selain itu, *vertical garden* juga memiliki manfaat untuk menyerap polusi udara, menyaring debu dan menyerap partikel kotor. Konsep *vertical garden* merupakan alternatif yang

dapat dilakukan pada daerah perkotaan yang cenderung memiliki lahan yang sempit agar menjadi lebih alami (Jayanti *et al*, 2020).

Pada pembuatan *vertical garden*, terdapat dua komponen penting yaitu struktur pendukung dan media tanam yang memiliki kriteria tertentu pada masing-masing komponen. Kriteria struktur pendukung pada *vertical garden* yaitu terdiri dari tiga bagian utama meliputi bingkai logam sebagai lapisan untuk udara, lapisan PVC agar struktur menjadi tahan air, dan lapisan *holding* dari bahan tahan korosi seperti polyamide yang digunakan agar kapilaritas air meningkat. Sedangkan untuk media tanam, harus memenuhi beberapa kriteria seperti kokoh dalam menopang tanaman, tahan lama, tidak mudah lapuk, bersifat porous, serta dapat menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman baik makro maupun mikro. Selain itu, bobot media tanam juga perlu diperhatikan dimana media tanam dianjurkan untuk memiliki bobot yang relatif ringan agar tidak mempengaruhi berat keseluruhan *vertical garden* (Jayanti *et al*, 2020).

Berdasarkan dari perawatannya, *vertical garden* terbagi menjadi dua jenis yaitu *Green Façade*, dan *Living Wall* (Jain dan Janakiram, 2016). *Green facade* merupakan jenis *vertical garden* dimana tanaman tumbuh pada permukaan tanah secara horizontal, kemudian merambat sendiri pada bidang vertikal. Sehingga, bidang vertikal hanya berfungsi sebagai media tumbuhan untuk merambat dan bukan media tanam. Perawatan pada *Green facade* lebih mudah dibandingkan dengan jenis *Living Wall*. Sedangkan *Living Wall* merupakan jenis *vertical garden* dimana terdapat media tanam yang diletakkan secara vertikal. Dari segi perawatan, *vertical garden* jenis ini lebih mahal dibandingkan pada *Green facade* (Jayanti *et al*, 2020). Kebutuhan tanaman yang dapat digunakan berdasarkan jenis *vertical garden* di Kota Yogyakarta dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Kebutuhan Tanaman pada *Vertical garden*

Tipe <i>Vertical garden</i>	Tanaman	Media Tanam	Tipe Konstruksi
<i>Green facade</i>	Tanaman merambat, seperti: <i>Aristolochia Macrophylla</i> , <i>Clematis spp.</i>	Penanaman di tanah.	Sederhana
<i>Living wall</i>	Tanaman pendek, seperti: <i>Polygonum</i> , <i>Pyracantha</i> , Anggrek, <i>Petunia</i> , <i>Nasturtiums</i> , dan beberapa sayuran seperti tomat, cabai, dan kacang polong.	Panel ringan dari media tanam buatan.	Media tanam digantung diletakkan secara vertikal.

Sumber: Jain dan Janakiram, 2016.

Aplikasi *vertical garden* di Kota Yogyakarta dapat diterapkan pada gedung perkantoran, *commercial building* seperti mall/hotel, maupun pada bangunan pemerintahan. Berdasarkan Jayanti *et al* (2020), penerapan *vertical garden* di Kota Yogyakarta pada saat ini hanya dilakukan oleh beberapa café dengan tujuan untuk menarik minat pengunjung tanpa ada tujuan untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan. Dengan adanya program penerapan vertikal di Kota Yogyakarta, maka dapat mengoptimalkan kecepatan pergerakan udara *outdoor* di wilayah tersebut. Pergerakan udara yang terjadi merupakan syarat agar kenyamanan termal dapat meningkat karena panas dalam tubuh dapat terbuang sehingga potensi terjadinya *heat stress* dapat diminimalisir.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian terkait tingkat kenyamanan termal dan potensi terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Iklim bulan basah memiliki pengaruh paling besar terhadap kejadian *heat stress* di Kota Yogyakarta, dibandingkan dengan bulan lembab dan bulan kering dengan nilai indeks WBGT tertinggi ialah sebesar 26,4°C, yang terjadi pada bulan April dan November.
2. Berdasarkan perhitungan indeks WBGT, didapat hasil kenyamanan termal di Kota Yogyakarta masuk dalam kategori nyaman optimal dan hangat nyaman, dimana pada kategori hangat nyaman telah terjadi *heat stress* di Kota Yogyakarta yaitu pada bulan Januari, Maret, April, Mei, Oktober, November, dan Desember.
3. Rekayasa lingkungan dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu pembuatan air mancur di tengah-tengah *courtyard*, penyediaan naungan pada ruang terbuka, perencanaan *vertical garden*, perbaikan pada pola hidup masyarakat terkait kebutuhan cairan dan pakaian yang digunakan, serta penambahan ruang terbuka hijau pada area publik dan privat. Penambahan RTH pada area publik dapat dilakukan dengan melakukan penambahan tanaman pada tepi dan median jalan contohnya yaitu menggunakan tanaman Tanjung (*Mimusops elengi*) dan pucuk merah. Adapun penambahan RTH pada area privat, dapat dilakukan dengan memanfaatkan tanaman sebagai alternatif pagar rumah, contohnya yaitu tanaman keji beling.

5.2 Saran

Saran yang diajukan dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan di Kota Yogyakarta terkait kenyamanan termal dan potensi terjadinya *heat stress* di Kota Yogyakarta, ialah:

1. Bagi Pemerintah Kota Yogyakarta:

Melakukan pemeliharaan Ruang Terbuka Hijau publik yang telah ada dan menambah keberadaan RTH publik dengan melakukan penambahan vegetasi di tepi jalan misalnya dengan tanaman Tanjung (*Mimusops elengi*) dan vegetasi pada median jalan dengan tinggi tanaman yang diperbolehkan ialah tidak lebih dari 1 m contohnya tanaman pucuk merah. Selain itu, pemerintah juga diharapkan dapat menyediakan naungan pada area terbuka, pembuatan air mancur, dan merencanakan aplikasi *vertical garden* di Kota Yogyakarta dengan tujuan untuk menurunkan suhu udara di kota tersebut.

2. Bagi Masyarakat:

Melakukan pemeliharaan secara mandiri terhadap keberadaan ruang terbuka hijau privat dan melakukan rekayasa lingkungan berupa pemanfaatan tanaman sebagai alternatif pagar rumah contohnya tanaman keji beling, serta memperbaiki pola hidup yang terkait dengan pemenuhan cairan tubuh dan pakaian yang akan digunakan untuk melakukan aktivitas. Kebutuhan cairan dalam tubuh dapat dipenuhi dengan mengonsumsi air minum sedikitnya 2,8 liter per hari, serta mengonsumsi cairan yang mengandung garam dengan kadar 0,1% untuk masyarakat yang sudah terbiasa melakukan aktivitas *outdoor*, dan 0,2% untuk masyarakat yang belum terbiasa. Selain itu, untuk pemilihan pakaian, pakaian dengan bahan katun, dapat digunakan untuk menghindari risiko *heat stress* saat melakukan aktivitas di luar ruangan dengan udara yang panas.

3. Bagi Peneliti Selanjutnya:

Pengukuran indeks WBGT *outdoor* untuk menentukan potensi terjadinya *heat stress* dapat dilakukan pada kota lain dengan tidak hanya

memanfaatkan data sekunder, tetapi juga memanfaatkan data primer agar hasil yang didapat lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z.B. 2015. **Hubungan *Heat stress* dengan Kelelahan pada Mahasiswa Semester 1 Fakultas Kedokteran Udayana.** *Intisari Sains Medis*. Vol.2. No.1. Hal. 22-24.
- Alfata, M.N.F., Nugroho, A.M., Ekasiwi, S.N. 2014. **Kenyamanan Termal pada Ruang Iklim di dua Daerah dengan Karakteristik Iklim yang Berbeda Studi Kasus: Malang dan Surabaya.** *Jurnal Permukiman*. Vol 9. No.1. Hal. 28-40.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 2006. **FAO Irrigation And Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements).** Rome (IT): FAO of UN. Hal. 42- 64.
- Apriana, D.D. 2013. **Tingkat Kenyamanan Kampus IPB Baranangsiang berdasarkan Informasi WBGT (Wet Bulb Globe Temperature).** Skripsi Departemen Geofisika dan Meteorologi. Fakultas Matematika dan IPA IPB.
- Arianto, M.E., Prasetyowati, D.D.. 2019. **Hubungan Antara Lingkungan Kerja Panas dengan Keluhan Heat Related Illnes pada Pekerja Home Industry Tahu di Dukuh Janten, Bantul.** *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*. Vol.11. No.4. Hal. 318-324.
- Ariyanti, S.M., Setyaningsih, Y., Prasetio, D.B. 2018. **Tekanan Panas, Konsumsi Cairan, dan Penggunaan Pakaian Kerja dengan Tingkat Dehidrasi.** *HIGEIA Journal of Public Health Research and Development*. Vol. 2. No. 4. Hal. 634-644.
- Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta. 2020. **Kota Yogyakarta dalam Angka 2020.** Yogyakarta: BPS Kota Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik Kota Yogyakarta. 2021. **Kota Yogyakarta dalam Angka 2021.** Yogyakarta: BPS Kota Yogyakarta.

- Binkley, H.M., Beckett, J., Casa, D.J., Kleiner, D.M., Plummer, P.E. 2002. **National Athletic Trainers' Association Position Statement: Exertional Heat Illnesses.** *Journal of Athletic Training.* Vol. 37. No.3. Hal. 329-343.
- Budd,G.M. 2008. . **Wet-bulb globe temperature (WBGT) its hictory and its limitations.** *Journal of Science and Medicine in Sport.* Vol. 11. Hal. 33.
- Carmin, J., Nadkarni, N. dan Rhie, C. (2012). **Progress and Challenges in Urban Climate Adaptation Planning: Results of a Global Survey.** Hal. 33.
- Damiati, S.A., Zaki, S.A., Rijal, H.B., Wonorahardjo, S., 2016. **Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season.** *Build Environ.* Vol. 109. Hal. 208–223.
- Dewi, Y.L.R. 2014. **Perubahan Iklim dan Potensi Gangguan Kesehatan di Indonesia.** *Seminar Nasional IX Pendidikan Biologi FKIP UNS.*
- Dinas Lingkungan Hidup. 2017. **Profil Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.** Yogyakarta: Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta.
- Dwianda, R.A., Marzuki, M. 2018. **Karakteristik Ketinggian *Melting Layer* di Indonesia berdasarkan Radar Hujan yang Terpasang di Satelit TRMM.** *Jurnal Ilmu Fisika.* Vol.10. No.2. Hal. 73-82.
- Ernyasih. 2012. **Hubungan Iklim (Suhu udara, curah hujan, kelembaban dan kecepatan Angin) dengan Kasus Diare di DKI Jakarta Tahun 2007-2011.** Tesis Kesehatan Masyarakat. Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia.

- Fadholi, A. 2013. **Pemanfaatan Suhu Udara dan Kelembapan Udara dalam Persamaan Regresi untuk Simulasi Prediksi Total Hujan Bulanan di Pangkal Pinang.** *Jurnal CAUCHY*. Vol. 3. No.1.
- Fajrianti, G., Shaluhayah, Z., Lestantyo, D. 2017. **Pengendalian Heat stress pada Tenaga Kerja di Bagian Furnace PT.X Pangkal Pinang Bangka Belitung.** *Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia*. Vol. 12. No. 2. Hal. 150-162.
- Fawzi, N.I. 2017. **Mengukur Urban Heat Island menggunakan Penginderaan Jauh, Kasus di Kota Yogyakarta.** *Majalah Ilmiah Globe*. Vol. 19. No.2. Hal. 195-206.
- Femy., Budiarti, T., Nasrullah, N. 2014. **Pengaruh Tata Hijau terhadap Suhu dan Kelembapan Relatif Udara, pada Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong.** *Jurnal Lanskap Indonesia*. Vol. 6. No. 2. Hal. 21-28.
- Ghalhari, G.F., Dehghan, S.F., Shakeri, F., Ghanadzadeh, M.J., Asgharu, M. 2020. **Assesing the Monthly Changes of Heat stress Indices in Outdoor Environment during a 15-year Period: Case of Study in a Dry and Warm Climate.** *Urban Climate*. Vol.31. Hal. 1-8.
- Hasanah, N.A.I., Maryetnowati, D., Edelweis, F.N., Indriyani, F., Nugrahayu, Q. 2020. **The Climate comfort assesment for tourism pusposes in Borobudur Temple Indonesia.** *Heliyon*. Vol.6.
- Hawa S. 2016. **Penentuan Indeks Kenyamanan Ruang Terbuka Hijau dan Lahan Terbangun di Kota Bogor.** Departemen Geofisika dan Meeorologi. Fakultas Matematika dan IPA IPB.
- Hendrawati, D. 2016. **Air Sebagai Alat Pengendali Iklim Mikro dalam Bangunan.** *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*. Vol. 18. No.2. Hal. 97-106.
- Hidayat, M.S. 2016. **Kenyamanan Termal pada Ruan Terbuka Hijau di Jakarta Pusat.** *Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*. Vol.6. No.1. Hal. 1-8.

- Hidayati, R., Banja, A.E. 2018. **Penentuan Ambang Batas Kenyamanan Termal pada Anak Sekolah dan Wisatawan Domestik di Pulau Lombok.** *Agromet.* Vol. 32. No.2. Hal. 71- 80.
- ISO 8996. 2004. **Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate.** Switzerland: ISO.
- Jain, R., Janakiram, T. 2016. **Vertical gardening: A New Concept of Modern Era.** *Commercial Horticulture.* Hal. 71- 80.
- Jayanti, A.V., Purnomo, E.P., Nurkasiwi, A. 2020. **Vertical garden: Penghijauan untuk Mendukung Smart Living di Kota Yogyakarta.** *Jurnal Pemerintahan dan Politik Islam.* Vol. 5. No.1. Hal. 41- 54.
- Julismin. 2013. **Dampak dan Perubahan Iklim di Indonesia.** *Jurnal Geografi.* Vol.5. No.1.
- Kakaei, H., Omid, F., Ghasemi, R., Sabet, M.R., Golbabaie, F. 2019. **Changes of WBGT as a heat stress index over the time: A systematic review and meta-analysis.** *Urban Climate.* Vol. 27. Hal. 284-292.
- Kartasapoetra, Ance Gunarsih. 2004. **Klimatologi: Pengaruh Iklim terhadap Tanah dan Tanaman.** Jakarta: Bumi Aksara.
- Karyono, T.H. 2001. **Wujud Kota Tropis di Indonesia: Suatu Pendekatan Iklim, Lingkungan dan Energi.** *Dimensi Teknik Arsitektur.* Vol. 29. No. 2. Hal. 141-146.
- Kukus, Y., Supit, W., Lintong, F. 2009. **Suhu Tubuh: Homeostasis dan Efek terhadap Kinerja Tubuh Manusia.** *Jurnal Biomedik.* Vol.1. No. 2. Hal. 107-118.
- Maftai, C., Buta, C. 2017. **Application of Thermal Discomfort Indices for the coastal zone of black sea, in Dobrogea region.** *Ovidius Univ. Ann. Constanta-Ser. Civ. Eng.* Vol. 19. Hal. 87-100.

- Middel, A., Selover, N., Hagen, B., & Chhetri, N. 2016. **Impact of shade on outdoor thermal comfort—a seasonal field study in Tempe, Arizona.** *International journal of biometeorology*. Vol.60. No. 12. Hal. 1849-1861.
- Miftahuddin.2016. **Analisis Unsur-Unsur Cuaca dan Iklim Melalui Uji Mann-Kendall Multivariat.** *Jurnal Matematika, Statistika, dan Komputasi*. Vol.13. No.1. Hal. 26-38.
- Muljati, S., Triwinarto, A., Utami, N., Hermina. 2016. **Gambaran Median Tinggi Badan dan Berat Badan Menurut Kelompok Umur pada Penduduk Indonesia yang Sehat Berdasarkan Hasil RISKESDAS 2013.** *Penelitian Gizi dan Makanan*. Vol.39. No.2. Hal. 137-144.
- Musfiroh, S.R. 2018. **Kajian Kenyamanan Termal di Jawa Barat.** Skripsi Departemen Geofisika dan Meteorologi. Fakultas Matematika dan IPA IPB.
- Ndruru, R.E., Situmorang, M., Tarigan, G. 2014. **Analisa Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Produksi Padi di Deli Serdang.** *Saintia Matematika*. Vol. 2. No. 1. Hal. 71-83.
- Nofianti, D.W., Koesyanto, H. 2019. **Masa Kerja, Beban Kerja, Konsumsi Air Minum, dan Status Kesehatan dengan Regangan Panas pada Pekerja Area Kerja.** *Higea Journal of Public Health Reseach and Development*. Vol. 3. No. 4. Hal. 524-533.
- Oliveira S., Andrade H. and Vaz T. 2011. **The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon.** *Journal Building and Environment*. Vol. 46. Hal. 2186–2194.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2012 tentang **Pedoman Penanaman Pohon pada Sistem Jaringan Jalan**. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Permenkes No 70 tahun 2016 tentang **Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri**. Jakarta: Kementerian Kesehatan.

- Pitipaldi, K., Bakhtiar, A., Suliantoro, H. 2018. **Analisis Korelasi Spearman Sni Iso Standar Sistem Manajemen Kualitas Terhadap Hak Kekayaan Industrial Di Indonesia.** *Jurnal Universitas Diponegoro.* Vol. 1.
- Purwandani, N.P.C.D, Faradisa, H. Khairunnisa, N. 2018. **Analisis Hubungan Perubahan Suhu Udara dengan Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau.** *Seminar Nasiona Geomatika 2018.* Hal. 661-670.
- Rambaradellangga, A., Herlina, N., Ariffin. 2018. **Analisis Kemampuan RTH dalam Mereduksi CO2 dan Suhu Udara serta Pengaruhnya terhadap Tingkat Kenyamanan Kampus Universitas Brawijaya.** *Jurnal Produksi Tanaman.* Vol. 6. No.10. Hal. 2482 – 2490.
- Sailor, D.J. 2014. **Risks of summertime extreme thermal conditions in buildings as a result of climate change and exacerbation of urban heat islands.** *Building and Environment.* Vol.78. Hal 81-88.
- Sasminto, R.A., Tunggul, A., Rahadi W.J.B. 2014. **Analisis Spasial Penentuan Iklim Menurut Klasifikasi Schmidt-Ferguson dan Oldeman di Kabupaten Ponorogo.** *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan.* Vol.1. No.1. Hal. 51-56.
- Shooshtarian,S., Lam, C.K.C., Kenawy, I. 2020. **Outdoor thermal comfort assessment: A review on thermal comfort research in Australia.** *Building and Environment.* Vol. 177.
- 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.* Vol.7. No.1. Hal. 1097-1108.
- SNI 03-6572. 2001. **Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung.** Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

- Stec W.J., Paassen A.H.C., Maziar A. 2005. **Modelling the Double Skin Facade with Plants**. *Energy and Buildings*. Vol. 37. Hal. 419- 427.
- Sudarno. 2017. **Data Analysis**. Semarang: Departemen Statistika Fakultas Sains dan Matematika UNDIP.
- Tjasjono, B., 2004. **Klimatologi**. Bandung: ITB.
- 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*. Vol. 21. No. 2. Hal. 39-45.
- Undang-Undang No 26 tahun 2007 tentang **Penataan Ruang**.
- Wemasmaaratri, Juliani, A, Wacano, D. 2018. **Analisis Efektivitas Ruang Terbuka Hijau di Kecamatan Kota, Kabupaten Kudus dalam Menurunkan Suhu Udara Mikro**. *Jurnal Teknik Lingkungan*.
- Werdiningsih, H. 2007. **Kajian Penggunaan Tanaman sebagai Alternatif Pagar Rumah**. *Jurnal Ilmiah Perancangan Kota dan Pemukiman*. Vol.6. No.1. Hal 32-39.
- Widiastuti, R., Prianto, E., Budi, W.S. 2014. **Kenyamanan Termal Bangunan dengan Vertical garden berdasarkan Standar Kenyamanan Mom & Wieseborn**. *Riptek*. Vol.8. No.1. Hal. 1-12.
- Yudihartanti, Y. 2017. **Penentuan Hubungan Mata Kuliah Penelitian dan Tugas Akhir dengan Korelasi Rank Spearman**. *Jutisi*. Vol.6. No.3. Hal. 1691-1694.
- Zare, S., Shirvan, H.E., Hemmatjo, R., Nadri, F., Jahani, Y., Jamshidzadeh, K., Paydar, P. 2019. **A comparison of the correlation between heat stress indices (UTCI, WBGT, WBDT, TSI) and physiological parameters of workers in Iran**. *Weather and Climate Extremes*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Klasifikasi Iklim Berdasarkan Oldeman

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 TIAP BULAN	Nilai WBGT
Januari				0	257	266	229	399	298	495	307	389	155	393	597	424	10	301	26.0
Februari				0	262	328	176	408	391	370	300	182	347	325.5	369	272.5	12	267	25.8
Maret				292	474	130	261	240	320	246	158	463	303	423	227	570	22	295	25.9
April				422	361	230	152	278	249	116	180	370	188	305.5	207	267	11	238	26.4
Mei				60	16	134	210	184	64	222	96	53	139	158	19.5	28.5	10	100	26.0
Juni				52	18	50	82	5	5	152	67	49	297	38.5	30.5	1	1	61	25.2
Juli				5	0	22	88	0	0	63	52	0	107	22	0	1	0	26	24.5
Agustus				0	0	1	108	0	0	2	0	0	96	0	1.5	0.5	1	15	24.2
September				2	4	3	398	0	0	5	0	0	241	116.5	13.5	0	2	56	25.2
Oktober				81	72	101	324	26	69	92	3	0	327	124	2.5	1.5	6	88	26.2
November				232	668	103	345	245	347	345	377	217	510	784.5	353.5	85.5	9	330	26.4
Desember				689	301	228	378	313	369	445	445	324	270	368	245.5	278	19	334	26.1

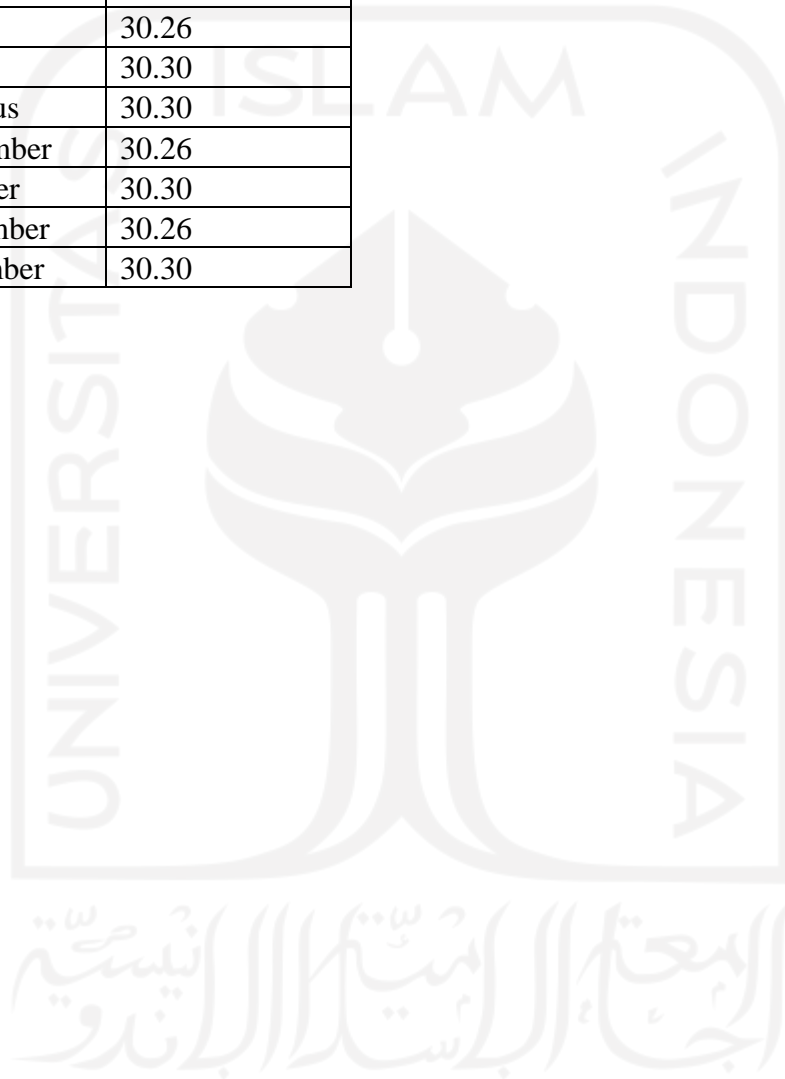
Bulan Basah	> 200 mm	6
Bulan Lembab	100 - 200 mm	1
Bulan Kering	< 100 mm	5

Lampiran 2. Perhitungan Radiasi Ekstraterestrial

Hari	δ	\emptyset	ω_s	dr	Ra
1	-0.401009236	0.01746	1.000027	1.032999	29.82175
2	-0.399566206		1.000027	1.032999	29.84103
3	-0.398004972		1.000027	1.032999	29.86181
4	-0.396325995		1.000027	1.032999	29.88408
5	-0.394529772		1.000026	1.032999	29.90781
6	-0.392616834		1.000026	1.032999	29.93297
7	-0.390587747		1.000026	1.032999	29.95955
8	-0.388443112		1.000026	1.032999	29.9875
9	-0.386183562		1.000025	1.032999	30.0168
10	-0.383809767		1.000025	1.032999	30.04742
11	-0.381322428		1.000025	1.032999	30.07932
12	-0.378722281		1.000024	1.032999	30.11247
13	-0.376010096		1.000024	1.032999	30.14683
14	-0.373186675		1.000023	1.032999	30.18237
15	-0.370252853		1.000023	1.032999	30.21904
16	-0.367209498		1.000023	1.032999	30.2568
17	-0.364057511		1.000022	1.032999	30.29562
18	-0.360797823		1.000022	1.032999	30.33544
19	-0.3574314		1.000021	1.032999	30.37624
20	-0.353959237		1.000021	1.032999	30.41795
21	-0.350382361		1.00002	1.032999	30.46054
22	-0.346701831		1.00002	1.032999	30.50395
23	-0.342918734		1.000019	1.032999	30.54815
24	-0.339034192		1.000019	1.032999	30.59307
25	-0.335049351		1.000018	1.032999	30.63867
26	-0.330965393		1.000018	1.032999	30.68491
27	-0.326783524		1.000018	1.032999	30.73172
28	-0.322504981		1.000017	1.032999	30.77906
29	-0.318131031		1.000017	1.033	30.82687
30	-0.313662968		1.000016	1.033	30.8751
31	-0.309102113		1.000016	1.033	30.9237
Rata-Rata					30.29834

Lampiran 3. Rata-rata per bulan Radiasi Ekstraterrestrial

Bulan	Rata-Rata
Januari	30.30
Februari	30.24
Maret	30.30
April	30.26
Mei	30.30
Juni	30.26
Juli	30.30
Agustus	30.30
September	30.26
Oktober	30.30
November	30.26
Desember	30.30



Lampiran 4. Hasil Perhitungan Indeks *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT)

Bulan	Suhu	Kelembaban	Radiasi Ekstraterestrial	Tbg	Twb	WBGT	Kategori kenyamanan thermal
Januari	26.35	83.70	30.30	29.53	24.9	26.0	Hangat nyaman
Februari	26.13	85.26	30.24	29.19	24.8	25.8	Nyaman optimal
Maret	26.23	85.24	30.30	29.32	24.9	25.9	Hangat nyaman
April	26.69	84.73	30.26	29.89	25.3	26.4	Hangat nyaman
Mei	26.38	83.12	30.30	29.59	24.9	26.0	Hangat nyaman
Juni	25.66	82.82	30.26	28.71	24.2	25.2	Nyaman optimal
Juli	24.96	81.15	30.30	27.93	23.4	24.5	Nyaman optimal
Agustus	24.89	77.59	30.30	27.99	23.0	24.2	Nyaman optimal
September	25.93	77.32	30.26	29.27	24.0	25.2	Nyaman optimal
Oktober	26.89	77.42	30.30	30.43	24.9	26.2	Hangat nyaman
November	26.79	82.39	30.26	30.11	25.2	26.4	Hangat nyaman
Desember	26.41	84.89	30.30	29.54	25.1	26.1	Hangat nyaman



Lampiran 5. Analisis Rank Spearman

Bulan	Suhu	Nilai WBGT	Duplikasi	Rank 1	Rank 2	d	d ²	X _i -X _{ave}	Y _i -Y _{ave}	$\frac{(X_i - X_{ave}) * (Y_i - Y_{ave})}{(Y_i - Y_{ave})^2}$	$(X_i - X_{ave})^2$	$(Y_i - Y_{ave})^2$		
Jan	26.35	25.99	1	6	6	0	0	0.2437	0.3263	0.0795	0.0594	0.1065		
Feb	26.13	25.84	1	8	8	0	0	0.0220	0.1856	0.0041	0.0005	0.0345		
Mar	26.23	25.95	1	7	7	0	0	0.1250	0.2890	0.0361	0.0156	0.0835		
Apr	26.69	26.38	1	3	1	2	4	0.5760	0.7164	0.4127	0.3318	0.5133		
Mei	26.38	25.99	1	5	5	0	0	0.2756	0.3273	0.0902	0.0759	0.1071		
Jun	25.66	25.24	1	10	9	1	1	-0.4515	-0.4185	0.1889	0.2038	0.1751		
Jul	24.96	24.45	1	11	11	0	0	-1.1526	-1.2060	1.3901	1.3285	1.4545		
Ags	24.89	24.21	1	12	12	0	0	-1.2200	-1.4512	1.7705	1.4884	2.1061		
Sept	25.93	25.23	1	9	10	1	1	-0.1762	-0.4305	0.0759	0.0311	0.1853		
Okt	26.89	26.18	1	1	3	2	4	0.7781	0.5208	0.4052	0.6054	0.2712		
Nov	26.79	26.36	1	2	2	0	0	0.6825	0.6965	0.4754	0.4657	0.4852		
Des	26.41	26.10	1	4	4	0	0	0.2975	0.4443	0.1322	0.0885	0.1974		
sum			12					10			5.0607	4.6947	5.7197	5.1819
Average	26.11	25.66									pembilang			penyebut
n							12							
Spearman's Rank Correlation Coefficient (rs)							0.97	jumlah baris dapat dimodif						

Bulan	Kelembaban	Nilai WBGT	Duplikasi	Rank 1	Rank 2	d	d ²	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	25.99	1	5	6	1	1	1.5623	0.3263	0.5098	2.4407	0.1065		
Feb	85.26	25.84	1	1	8	7	49	3.1232	0.1856	0.5797	9.7542	0.0345		
Mar	85.24	25.95	1	2	7	5	25	3.1065	0.2890	0.8978	9.6501	0.0835		
Apr	84.73	26.38	1	4	1	3	9	2.5949	0.7164	1.8590	6.7334	0.5133		
Mei	83.12	25.99	1	6	5	1	1	0.9796	0.3273	0.3206	0.9597	0.1071		
Jun	82.82	25.24	1	7	9	2	4	0.6860	-0.4185	-0.2871	0.4706	0.1751		
Jul	81.15	24.45	1	9	11	2	4	-0.9864	-1.2060	1.1896	0.9729	1.4545		
Ags	77.59	24.21	1	10	12	2	4	-4.5445	-1.4512	6.5952	20.6527	2.1061		
Sept	77.32	25.23	1	12	10	2	4	-4.8151	-0.4305	2.0728	23.1847	0.1853		
Okt	77.42	26.18	1	11	3	8	64	-4.7186	0.5208	-2.4574	22.2654	0.2712		
Nov	82.39	26.36	1	8	2	6	36	0.2573	0.6965	0.1792	0.0662	0.4852		
Des	84.89	26.10	1	3	4	1	1	2.7548	0.4443	1.2239	7.5890	0.1974		
sum			12					202			12.6833	104.7398	5.7197	24.4761
Average	82.14	25.66									pembilang			penyebut
							n	12						
Spearman's Rank Correlation Coefficient (rs)							0.29	jumlah baris dapat dimodif						

Lampiran 6. Hasil Perhitungan Laju Metabolik berdasarkan Kategori Umur dan Berat Badan

Kelompok	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

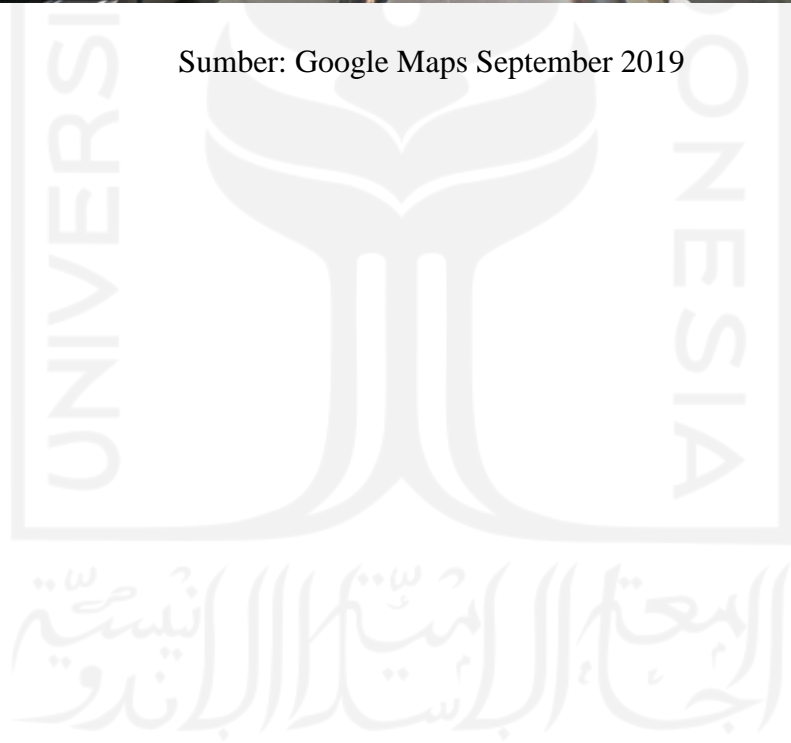
				320	320	Sedang	Sedang
				365	365	Berat	Berat



Lampiran 7. Jalan Hos Cokro Aminoto



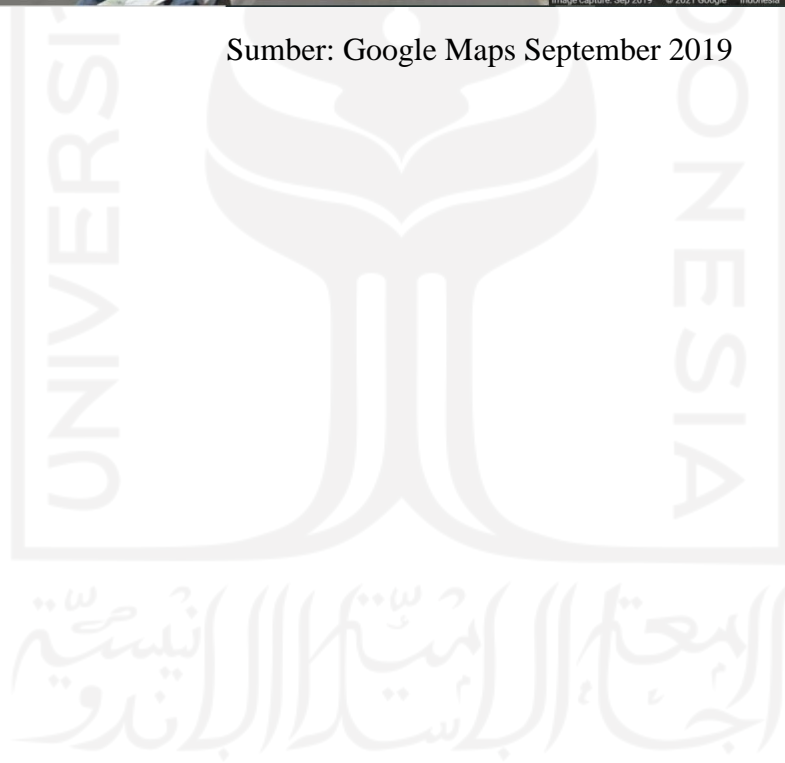
Sumber: Google Maps September 2019



Lampiran 8. Jalan KH Ahmad Dahlan



Sumber: Google Maps September 2019



RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir pada tanggal 3 Agustus 1999, di Batang Jawa Tengah. Riwayat pendidikan yang telah penulis tempuh yaitu SD N Kumesu 02 (2005-2011), SMP N 1 Limpung (2011-2014), dan SMA Negeri 1 Pekalongan (2014-2017). Setelah lulus dari jenjang SMA pada tahun 2017, penulis kemudian melanjutkan pendidikannya di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Pada jenjang universitas penulis melakukan berbagai kegiatan, seperti ikut serta dalam *Zero Waste* FTSP UII dan berperan sebagai koordinator tim *research*. Selain itu, penulis juga mengikuti berbagai macam kepanitiaan seperti Kurban dan Lintas Lingkungan. Dalam bidang akademik, penulis pernah menjadi asisten laboratorium pada mata kuliah praktikum kimia dasar dan kimia lingkungan. Kegiatan yang dilakukan penulis saat ini yaitu melakukan penelitian di Kota Yogyakarta dengan judul “**Analisis *Heat stress* di Kota Yogyakarta menggunakan Metode *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)*”**”.