

BAB II

LANDASAN TEORI

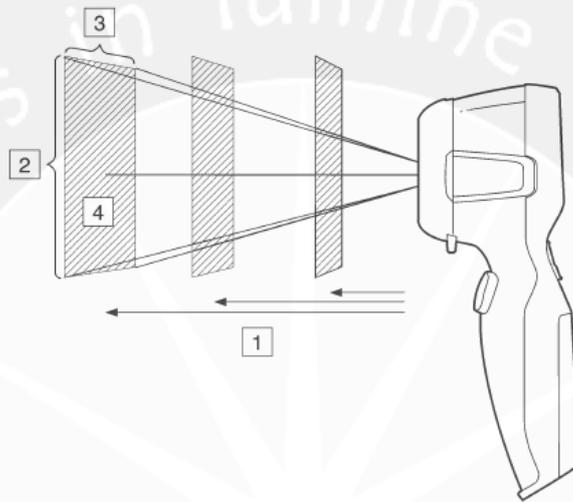
2.1. Thermal Imaging

Salah satu metode yang digunakan dalam penyelidikan masalah termal adalah *thermal imaging*. *Thermal imaging* digunakan untuk melihat dan mengukur energi termal pada suatu objek dengan menggunakan kamera IR (inframerah). Inframerah adalah cahaya yang tidak terlihat karena gelombang yang terlalu panjang untuk bisa dideteksi mata manusia. Semakin tinggi suhu objek, kian besar pula radiasi inframerah yang dihasilkan.

Di sektor bangunan, metode ini telah digunakan dalam menyelidiki masalah termal bangunan. Kamera pencitraan termal (*thermal imaging*) atau kamera IR adalah alat yang digunakan untuk memetakan hilangnya energi dari bangunan. Radiasi energi inframerah umumnya akan terekam dan diukur oleh kamera inframerah. Selanjutnya data termal dikonversi menjadi peta suhu berwarna yang digunakan untuk membantu pemeriksaan kinerja performa bangunan.

Di samping kelebihan-kelebihannya, terdapat pula keterbatasan pada kamera IR. Kamera ini memiliki cakupan bidang tangkap yang terbatas. Cakupan bidang yang ditangkap kamera IR dipengaruhi jarak dari kamera ke target atau objek yang diambil gambarnya. Semakin jauh jarak dari kamera ke target, kian

luas pula cakupan daya tangkap kameranya. Begitu sebaliknya. Berikut ini contoh jarak sasaran yang berbeda dengan cakupan bidang yang bisa ditangkap kamera inframerah.



Gambar 2.1. Hubungan antara Bidang Pandang dan Jarak. 1. jarak ke target; 2. VFOV = bidang pandang vertikal; 3. HFOV = bidang pandang horizontal, 4. IFOV = bidang pandangan langsung (ukuran satu detektor elemen).

Sumber: FLIR user manual, 2010

Tabel 2.1. Contoh Bidang Pandang untuk Jarak Sasaran yang Berbeda

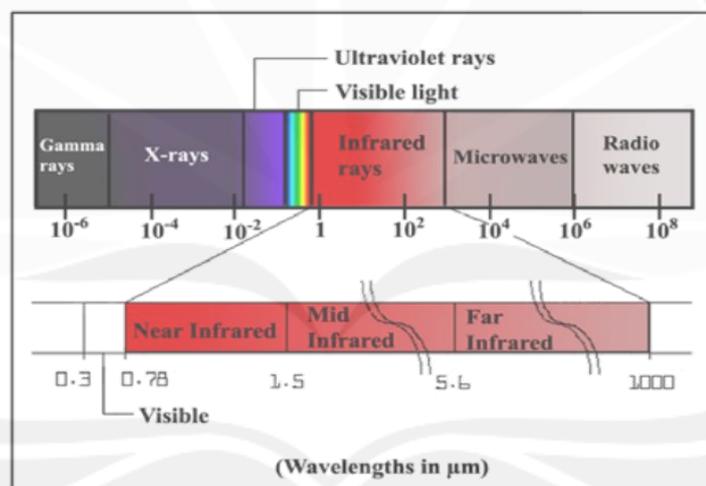
| | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-----------|
| <i>Focus length: 6,76 mm</i> | | | | | | | | | |
| <i>Resolution: 60 x 60 pixel</i> | | | | | | | | | |
| <i>Field of view in degrees: 12,6</i> | | | | | | | | | |
| D | 0,50 | 1,00 | 2,00 | 5,00 | 10,00 | 25,00 | 50,00 | 100,00 | m |
| HFOV | 0,11 | 0,22 | 0,44 | 1,11 | 2,22 | 5,55 | 11,09 | 22,19 | m |
| VFOV | 0,11 | 0,22 | 0,44 | 1,11 | 2,22 | 5,55 | 11,09 | 22,19 | m |
| IFOV | 1,85 | 3,70 | 7,40 | 18,49 | 36,98 | 92,46 | 184,91 | 369,82 | mm |
| Legend: | | | | | | | | | |
| <i>D = Distance to target in meters & feet</i> | | | | | | | | | |
| <i>HFOV = Horizontal field of view in meters</i> | | | | | | | | | |
| <i>VFOV = Vertical field of view in meters</i> | | | | | | | | | |
| <i>IFOV = Instantaneous field of view in meters (size of one detector element) in millimeter</i> | | | | | | | | | |

2.2. Prinsip Kerja Thermal Imaging

Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi *thermal imaging* dalam membaca data termal, yaitu:

a. Radiasi inframerah

Cahaya inframerah pada kamera IR berfungsi untuk melihat dan mengukur energi termal pada sebuah benda. Cahaya inframerah termasuk cahaya tak terlihat karena gelombangnya terlalu panjang untuk ditangkap mata manusia. Inframerah juga merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang dianggap sebagai panas.



Gambar 2.2. Spektrum radiasi elektromagnetik.

Sumber: <http://www.inmes.hr/main.aspx?content=theory>, diakses pada 20 Januari 2015

Tidak seperti cahaya tampak, menurut cahaya inframerah, semua benda dengan temperatur di atas nol derajat kelvin dianggap memancarkan panas. Semakin tinggi temperatur benda kian besar pula radiasi inframerah yang dikeluarkannya. Inframerah dapat memperlihatkan apa yang tidak terlihat oleh

mata manusia sehingga kamera Inframerah dapat menghasilkan gambar inframerah atau gambar radiasi panas yang umumnya tidak bisa terlihat.

b. Emisivitas

Untuk membaca suhu secara tepat, salah satu hal yang perlu diperhitungkan pada metode *thermal imaging* adalah faktor emisivitas. Emisivitas adalah rasio energi yang dilepas material tertentu dengan energi yang dilepas benda hitam (*black body*) pada temperatur yang sama. Emisivitas merupakan ukuran dari kemampuan suatu benda untuk melepas energi yang diserapnya. Namun emisivitas sangat dipengaruhi karakter benda itu sendiri. Faktor-faktor yang mempengaruhi emisivitas antara lain:

1. Bahan objek pengukuran
2. Kondisi permukaan
3. Sudut pengukuran
4. Panjang gelombang
5. Suhu benda

2.3. Elemen koridor jalan

Elemen fisik yang membentuk ruang jalan adalah elemen-elemen yang menentukan bentuk *enclosure* setiap ruang yang dikelilinginya, yaitu berupa elemen dinding dan fasad bangunan yang berdekatan, deretan elemen tiang, deretan vegetasi, dan elemen pagar yang dilihat sebagai unsur suatu bidang sejajar (Hidayat, 2010). Menurut Shirvani (1985), elemen-elemen fisik suatu kawasan perkotaan terdiri atas tata guna lahan (*zoning*), bentuk dan massa bangunan, parkir

dan sirkulasi, ruang terbuka, jalur pedestrian, serta *signage*. Ciri terbentuknya suatu kawasan perkotaan diawali oleh material elemen urban, antara lain:

- Elemen padat atau fisik kota berupa bangunan dan vegetasi.
- Elemen ruang terbuka kota berupa lapangan terbuka.
- Elemen penghubung berupa jalan.

Menurut Hidayat (2010), elemen ruang terbuka publik bisa didefinisikan sebagai elemen pembentuk/pelingkup dan elemen pengisi:

- Elemen pembentuk

Vegetasi merupakan elemen yang membentuk dan melingkupi ruang terbuka publik sebagai arah pergerakan, melindungi dari pengaruh sinar matahari dan angin, penyatu pemandangan terhadap bangunan, serta penghias ruang kota. Elemen vegetasi merupakan elemen pembentuk, pengisi, dan peneduh. Elemen vegetasi dapat menciptakan kanopi, pelingkup, pembatas ruang, dan penghalang pandangan. Selain itu, pagar merupakan elemen pembatas fisik sebagai pembatas antar-ruang.

- Elemen pengisi

Elemen *street furniture* merupakan elemen pengisi yang dapat memperkuat citra kawasan.

2.4. Urban Heat Island

Urban heat island (UHI) merupakan keadaan di mana suhu di kawasan perkotaan lebih hangat/lebih panas dibanding daerah pinggiran di sekitarnya.

Secara umum, UHI mengacu pada penambahan suhu udara, tapi bisa juga mengacu pada suhu relatif permukaan material. UHI memicu perubahan iklim akibat perubahan atmosfer dan permukaan pada daerah urban serta memiliki implikasi penting bagi kenyamanan manusia, polusi udara urban, manajemen energi, dan perencanaan kota.

Daerah perkotaan dan pinggiran kota mengalami temperatur tinggi dibanding lingkungan terpencil, seperti pedesaan. Suhu udara rata-rata tahunan kota dengan satu juta atau lebih orang bisa menjadi 1,8-5,4°F (1-3°C) lebih hangat daripada sekitarnya dan pada malam hari perbedaan suhu bisa sebesar 22°F (12°C) pada kota-kota umumnya atau bahkan lebih kecil meskipun efeknya bervariasi sesuai dengan ukuran kota.¹

UHI pada daerah beriklim tropis sangat tidak menguntungkan karena menyebabkan makin banyak energi yang habis untuk mendinginkan, menurunkan kenyamanan termal manusia, serta meningkatkan konsentrasi polusi udara. Tingkat urbanisasi yang tinggi di negara-negara berkembang berarti bahwa jumlah manusia yang akan dipengaruhi UHI akan semakin bertambah (Voogt, 2002).

2.5. Jenis-jenis UHI

Terdapat dua jenis UHI, yaitu *surface* dan *atmospheric urban heat island*. Kedua jenis UHI ini berbeda dalam caranya terbentuk, teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur, dampak, serta metode yang digunakan

¹ <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/BasicsCompendium.pdf>

untuk menanggulangnya. **Tabel 2.2.** merangkum karakteristik dasar dari jenis-jenis UHI.

Tabel 2.2. Karakteristik dasar dari *surface* dan *atmospheric urban heat island*.²

| Feature | Surface UHI | Atmospheric UHI |
|---|--|--|
| Temporal Development | <ul style="list-style-type: none"> • Present at all times of the day and night • Most intense during the day and in the summer | <ul style="list-style-type: none"> • May be small or non-existent during the day • Most intense at night or predawn and in the winter |
| Peak Intensity (Most Intense UHI conditions) | <ul style="list-style-type: none"> • More spatial and temporal variation: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Day: 18 to 27°F (10 to 15°C) ▪ Night: 9 to 18°F (5 to 10°C) | <ul style="list-style-type: none"> • Less variation: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Day: -1.8 to 5.4°F (-1 to 3°C) ▪ Night: 12.6 to 21.6°F (7 to 12°C) |
| Typical Identification Method | <ul style="list-style-type: none"> • Indirect measurement: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Remote sensing | <ul style="list-style-type: none"> • Direct measurement: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fixed weather stations ▪ Mobile traverses |
| Typical Depiction | <ul style="list-style-type: none"> • Thermal image | <ul style="list-style-type: none"> • Isotherm map • Temperature graph |

a. Surface Urban Heat Islands

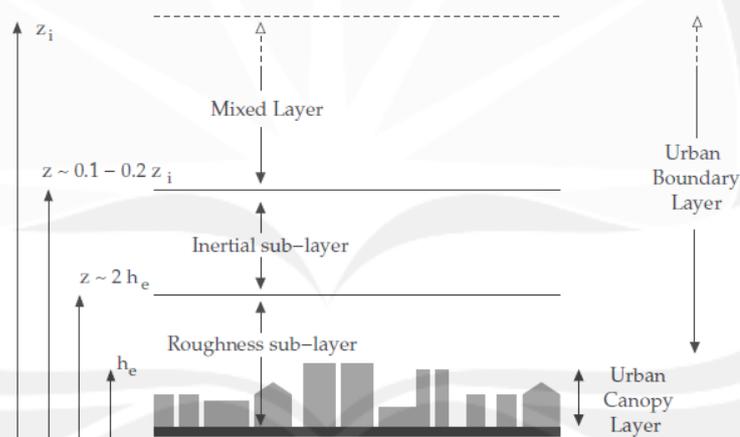
Surface urban heat islands adalah suhu permukaan daerah perkotaan yang lebih tinggi dibanding daerah pedesaan dan biasanya diilustrasikan dengan gambar termal. Perbedaan rata-rata suhu permukaan siang hari antara daerah perkotaan dan pedesaan adalah 5-10°C serta perbedaan suhu permukaan malam hari biasanya 10-15°C, yang dianggap lebih tinggi dari siang hari (Voogt dan Oke, 2003).

² Oke, T.R. 1997. Urban Climates and Global Environmental Change. In: Thompson, R.D. and A. Perry (eds.) Applied Climatology: Principles & Practices. New York, NY: Routledge. pp. 273-287.

b. Atmospheric Urban Heat Island

Udara panas di area urban yang dibandingkan dengan udara sejuk di daerah pinggiran sekitar didefinisikan sebagai *atmospheric urban heat islands*. Para ahli membagi UHI jenis ini menjadi dua bagian, yaitu:

- Canopy layer urban heat island*, yaitu berupa lapisan udara tempat manusia hidup dan tinggal. Batasnya mulai dari permukaan tanah sampai atap bangunan dan pepohonan.
- Boundary layer urban heat island*, mulai dari area atap dan pepohonan sampai ketika vegetasi tidak lagi mempengaruhi atmosfer.



Gambar 2.3 Skema lapisan *boundary layer* di area perkotaan dan *sub-layer*-nya. z_i adalah tinggi lapisan batas atmosfer di area perkotaan.

Sumber: Roth, 2000

2.6. Energy Consumption Balance

Banyak faktor yang menyebabkan suhu suatu kawasan atau kota meningkat. Gartland (2008) menyatakan bahwa karakteristik perkotaan berkontribusi terhadap pembentukan UHI. Karakteristik ini dapat dibagi ke dalam lima penyebab utama pembentukan UHI:

1. Peningkatan panas antropogenik
2. Pengurangan evaporasi
3. Peningkatan *heat storage*
4. Peningkatan radiasi
5. Pengurangan konveksi

Tabel 2.3. Karakteristik perkotaan dan pinggiran kota penting untuk pembentukan UHI dan efeknya pada keseimbangan energi permukaan bumi.

| <i>Characteristic contributing to UHI Formation</i> | <i>Effect on the energy balance</i> |
|---|-------------------------------------|
| <i>Lack of vegetation</i> | <i>Reduce evaporation</i> |
| <i>Widespread use of impermeable surface</i> | <i>Reduce evaporation</i> |
| <i>Increased thermal diffusivity of urban materials</i> | <i>Increased heat storage</i> |
| <i>Low solar reflectance of urban materials</i> | <i>Increased net radiation</i> |
| <i>Urban geometries that trap heat</i> | <i>Increased net radiation</i> |
| <i>Urban geometries that slow wind speeds</i> | <i>Reduces convection</i> |
| <i>Increased level of air pollution</i> | <i>Increased net radiation</i> |
| <i>Increased energy use</i> | <i>Increases anthropogenic heat</i> |

Sumber: Gartland, 2008

Panas antropogenik berinteraksi dengan lingkungannya dengan cara yang kompleks. Untuk memahami dan menyederhanakan kompleksitas tersebut, Oke (1988) telah membuat persamaan yang disebut sebagai "keseimbangan energi" panas yang dihasilkan atau terkandung dalam suatu daerah dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Di mana:

Q^* = *net all-wave radiation*

Q_F = *anthropogenic heat release*

Q_E = *turbulent sensible*

Q_H = *turbulent latent heat flux densities*

ΔQ_S = *sensible heat storage*

ΔQ_A = *net heat advection*

Net Radiation (Q^*): Seperti ditunjukkan di bawah, radiasi bersih atau *net radiation* meliputi empat proses radiasi yang terjadi di permukaan bumi [11]:

$$\begin{aligned} \text{Net radiation} &= \text{incoming solar} - \text{reflected solar} \\ &+ \text{atmospheric radiation} - \text{surface radiation} \end{aligned}$$

Incoming solar radiation adalah total energi yang diradiasikan oleh matahari. *Reflected solar* adalah total energi panas matahari yang mengenai permukaan material. *Atmospheric radiation* adalah panas yang dipancarkan partikel yang berada di atmosfer, seperti tetesan uap air, awan, polusi, dan debu. *Surface radiation* adalah panas yang diradiasikan oleh permukaan itu sendiri.

Panas antropogenik (Q_F) adalah panas yang dihasilkan kendaraan, manusia, dan alat-alat elektronik yang beroperasi di dalam bangunan. Pelepasan panas antropogenik memiliki kaitan dengan penggunaan energi dan populasi per kapita (Oke, 1988). Namun panas antropogenik memiliki pengaruh yang lebih kecil daripada albedo dan vegetasi dan biasanya faktor ini diabaikan pada area residensial dan komersial (Taha, 1997).

Turbulent heat fluxes (Q_E , Q_H) terdiri atas panas laten (*latent heat flux*) dan panas sensibel (*sensible heat flux*). Area perkotaan yang sangat padat memiliki andil dalam meningkatnya *sensible heat flux*. Namun hal ini juga bergantung pada

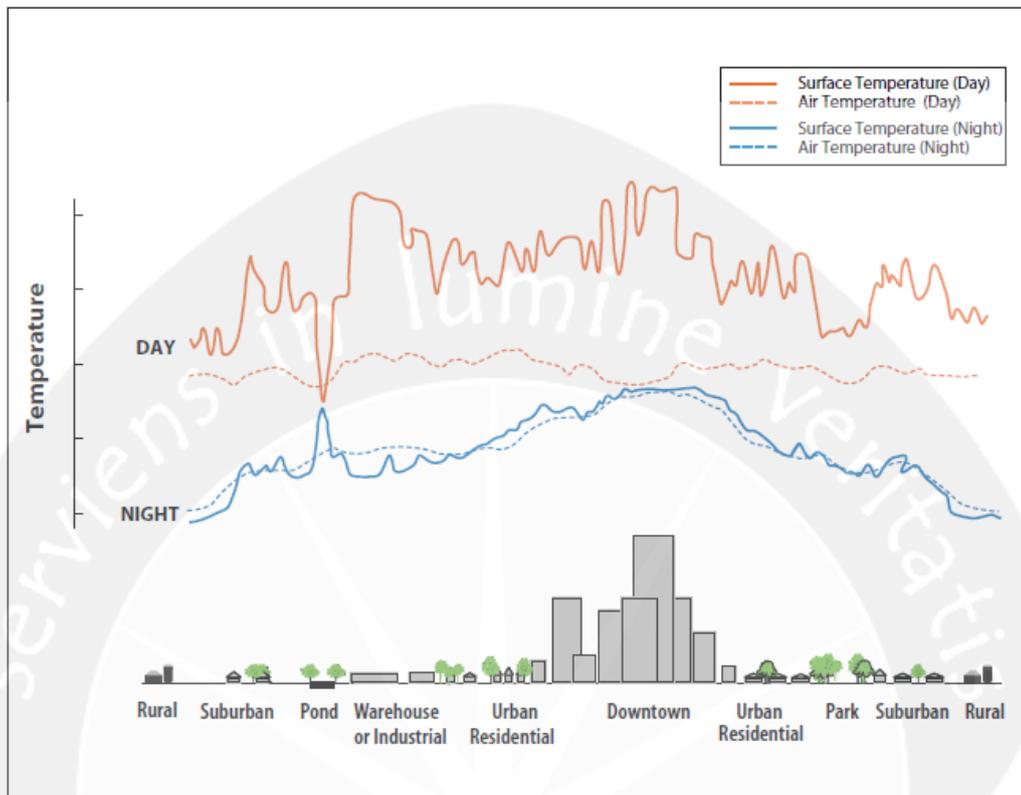
permukaan area terbangun. *Latent heat flux* memiliki porsi yang lebih kecil di area perkotaan karena kurangnya area hijau, tapi bisa saja memiliki porsi yang besar di wilayah yang terdapat vegetasi atau area hijau.

Storage heat flux (ΔQ_S). Pengukuran langsung terhadap *storage heat flux* pada area perkotaan hampir tidak mungkin karena adanya konfigurasi dari faktor material permukaan, orientasi, dan interaksinya dengan lingkungan. Oleh sebab itu, biasanya dimodelkan atau ditentukan sebagai residual dari persamaan “keseimbangan energi”. Peningkatan pada *net radiation* secara tidak langsung juga meningkatkan *storage heat flux*.

Net heat advection (ΔQ_A). Pengukuran *net heat advection* tidak dapat akurat karena adanya faktor perbedaan suhu spasial, kelembapan, dan angin. Disarankan bahwa efek dari adveksi bisa diabaikan asalkan ada pertimbangan yang matang dalam memutuskan batasan pengukuran.

2.7. Kaitan Suhu Permukaan dengan Suhu Udara

Temperatur permukaan secara tidak langsung mempengaruhi suhu udara, terutama di bagian *canopy layer*, tempat permukaan urban berada. Misalnya taman dan area bervegetasi, yang biasanya memiliki suhu permukaan lebih rendah, berkontribusi dalam mendinginkan suhu udara. Daerah terbangun memiliki suhu udara lebih hangat karena udara bercampur dalam atmosfer. Meskipun begitu, hubungan antara permukaan dan suhu udara tidak konstan, dan suhu udara biasanya kurang bervariasi dari suhu permukaan di daerah (lihat **Gambar 2.4.**).



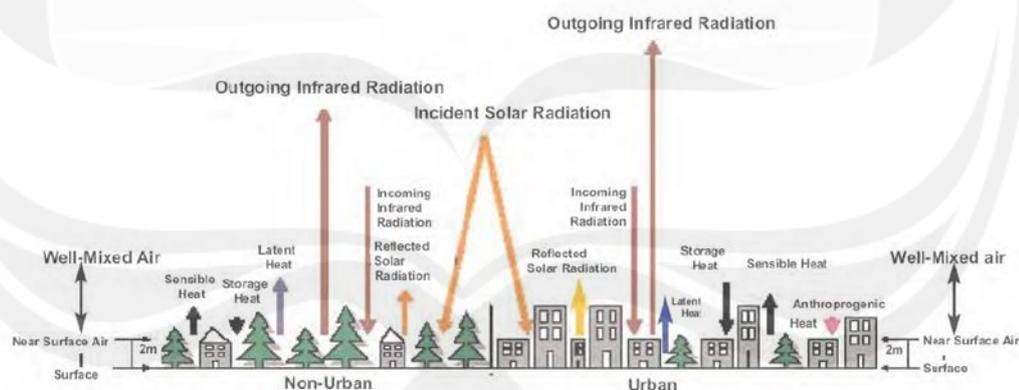
Gambar 2.4. Variasi dari temperatur permukaan dan udara/atmosfer.

Sumber: <http://www.epa.gov/heatisland/resources/pdf/BasicCompendium.pdf>, diakses pada Oktober 2014

Suhu permukaan dan suhu atmosfer bervariasi di daerah penggunaan lahan yang berbeda. Suhu permukaan lebih bervariasi daripada suhu udara pada siang hari, tapi fluktuasi suhu untuk kedua jenis UHI tersebut cukup mirip pada malam hari. Lonjakan suhu permukaan di atas area kolam (*pond*) menunjukkan bagaimana air mempertahankan suhu yang cukup konstan karena kapasitas panas yang tinggi.

2.8. Sebab-sebab Terjadinya Urban Heat Island

UHI adalah modifikasi iklim dengan “sengaja”, yang disebabkan oleh perubahan bentuk serta komposisi permukaan tanah dan atmosfer. Ketika material urban, seperti perkerasan bangunan dan jalan, menggantikan ruang hijau, kondisi udara lingkungan pun berubah. Hal ini terjadi karena material urban memiliki sifat termal (kapasitas panas, konduktivitas, albedo, dan emisivitas) yang berbeda dengan daerah pedesaan sekitarnya. Material urban akan menghasilkan lebih banyak energi matahari yang diserap, disimpan dalam material, untuk kemudian dilepas pada malam harinya. Ketinggian bangunan dan cara penempatannya mempengaruhi tingkat pelepasan panas oleh material pada malam hari.



Gambar 2.5. Perbandingan *energy balance* area non-urban dengan area urban. Panah yang lebih panjang menyumbangkan energi panas yang lebih besar. (panas laten lebih besar di area non-urban, panas sensibel pada area perkotaan)

Sumber: Rosenzweig et al, 2006

Voogt (2002) mengatakan formasi *urban heat island* dipengaruhi oleh karakteristik permukaan ruang kota dan kondisi atmosferik. Penyebab-penyebab tersebut antara lain:

a. Geometri Urban

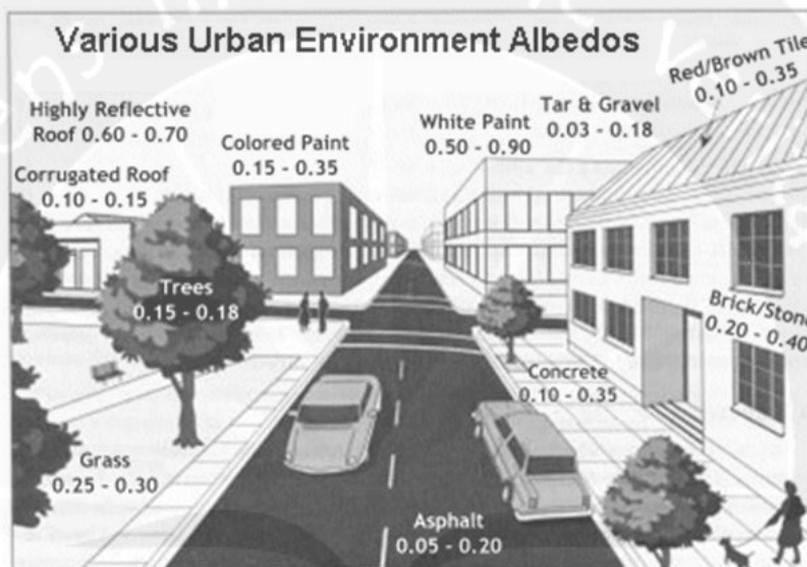
H/W ratio pada geometri urban memiliki pengaruh besar pada pembentukan UHI. Tetapi belum diketahui bagaimana perbedaan geometri urban dapat menyebabkan perubahan suhu udara secara lebih rinci dan masih diperlukan penelitian lebih lanjut. Untungnya, telah ditemukan oleh penelitian terdahulu mengenai pengoptimalan ventilasi alami di dalam kota yang bisa menjadi metode efektif untuk mengurangi panas dan memberikan kenyamanan termal area perkotaan.

Selain *H/W ratio*, *sky view factor* geometri urban berperan dalam pembentukan UHI. Penghalangan terhadap langit oleh bangunan dan objek-objek lain pada permukaan urban didefinisikan sebagai *sky view factor*. Bangunan yang letaknya berdekatan akan mengurangi *sky view factor* dan meningkatkan pelepasan panas pada malam hari.

b. Properti Termal Permukaan

Material urban memiliki tiga karakteristik termal yang mempengaruhi peningkatan UHI pada area perkotaan, yaitu albedo, emisivitas, dan kapasitas panas. Pada umumnya, penggunaan material dengan albedo tinggi akan mengurangi jumlah radiasi matahari yang diserap melalui pembangunan selubung

dan struktur urban serta menghambat pendinginan permukaan urban. Menurut Chudnovsky et al. (2004), benda berwarna terang akan memantulkan panas matahari lebih besar dibanding benda berwarna gelap. Atap berwarna putih akan memantulkan sebagian besar panas matahari, sedangkan atap yang berwarna hitam akan menyerap sebagian besar panas dari matahari.



Gambar 2.7. Albedo dari beberapa material permukaan urban.
 Sumber: http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/urban/urban_heat_island.html, diakses pada Januari 2015

Akbari et al (2008) menelaah literatur untuk albedo material dari banyak standar dan mengemukakan bahwa albedo pada perkerasan aspal baru sekitar 0,05. Sedangkan perkerasan aspal yang telah berusia cukup lama dan memiliki albedo 0,10-0,20 bergantung pada jenis agregat yang digunakan dalam campuran. Sebuah beton ringan dan dicat dapat memiliki albedo awal 0,35-0,40, yang cukup lama pemakaiannya berkisar 0,25-0,30.

Aspal atau beton memiliki albedo 0,05-0,2, yang berarti hampir sebagian energi matahari yang masuk disimpan di dalam material sebagai panas, sedangkan 5–20% panas matahari dipantulkan kembali (EPA 2008; Levinson & Hashem Akbari 2002). Albedo material akan menjadi rendah setelah digunakan cukup lama. Hal itu terjadi karena semua permukaan bangunan berubah dari waktu ke waktu serta permukaan mengumpulkan debu (beton) menjadi lebih gelap dan mengurangi albedo (Levinson & Hashem Akbari 2002).

Emisivitas adalah besaran energi yang diperlukan objek untuk melepaskan energi yang tersimpan di dalamnya. Sebuah objek dengan emisivitas tinggi akan melepaskan lebih banyak panas bila dibandingkan dengan objek dengan emisivitas rendah pada suhu yang sama. Emisivitas juga memainkan peran penting dalam menentukan kesetimbangan termal dari suatu objek. Sebuah benda berada dalam kesetimbangan termal ketika energi panas yang diserap sama dengan energi panas yang dilepas. Jika objek tidak mendapatkan atau kehilangan panas, suhu objek tetap stabil. Emisivitas tinggi dalam suatu material merupakan cara yang baik untuk mengurangi UHI karena dapat mencapai kesetimbangan termal pada suhu yang lebih rendah.

Kapasitas panas (*heat capacity*) suatu benda adalah jumlah panas yang dapat disimpan sebuah objek dan berkaitan erat dengan emisivitas. Kebanyakan material bangunan memiliki kapasitas panas tinggi bila dibandingkan dengan tanah atau bahan-bahan alami lainnya. Tanah dan vegetasi mudah kehilangan panas, sedangkan bahan perkotaan memiliki penyimpanan panas yang jauh lebih

besar dan membutuhkan waktu lebih lama untuk menurunkan panas serta menyebabkan suhu menjadi lebih tinggi pada malam hari.

c. Kondisi Permukaan (kekeringan, tutupan salju)

Bangunan perkotaan yang kedap air dan adanya perkerasan mengurangi terjadinya evaporasi. Energi lebih banyak diarahkan pada panas sensibel (*sensible heat*) yang dapat menaikkan suhu udara daripada untuk panas laten (panas yang diambil untuk evaporasi).

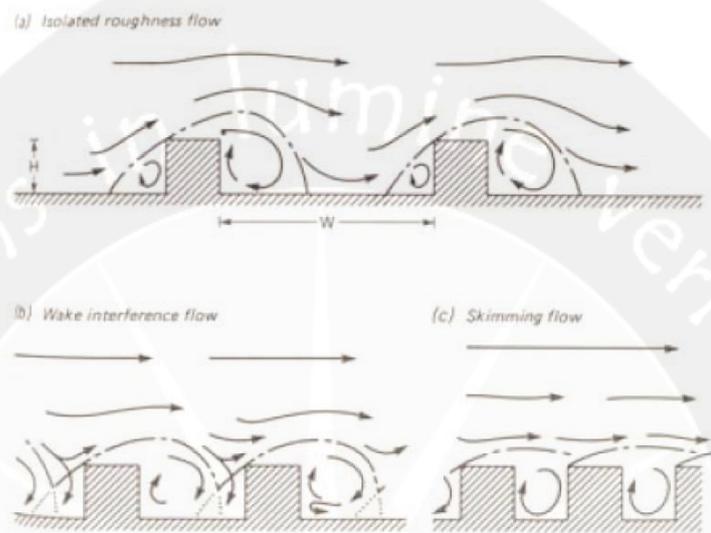
d. Panas Antropogenik

Panas antropogenik adalah panas yang dilepaskan oleh energi urban, seperti bangunan dan kendaraan, serta manusia. Panas antropogenik, meskipun bukan faktor utama yang menyebabkan UHI, memiliki peran penting dalam kondisi tertentu. Ditemukan bahwa dampak panas antropogenik bisa menjadi faktor penting penyebab UHI di pusat-pusat perkotaan. Namun biasanya hal itu diabaikan pada daerah perumahan dan komersial. Sumber panas antropogenik antara lain sistem penyejukan pada bangunan, industri, transportasi, dan metabolisme manusia. Panas dari sumber-sumber ini meningkatkan suhu perkotaan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi.

e. Angin dan Awan

UHI paling bisa diamati ketika langit cerah dan angin tenang. Langit yang cerah pada malam hari yang relatif dingin meningkatkan pendinginan area pinggiran kota serta membuat pelepasan panas ke udara menjadi lebih mudah.

Ketika kecepatan angin meningkat, terjadi turbulensi secara berlipat ganda yang kemudian akan mempercepat pelepasan panas pada material urban, sehingga suhu udara perkotaan menjadi berkurang.



Gambar 2.6. Bentuk geometri perkotaan yang berbeda dan aliran udara yang terjadi.
Sumber: Oke, 1987

Saat memasuki area perkotaan, kecepatan angin akan berkurang secara signifikan dan hal ini dikenal sebagai efek *canyon* (**Gambar 2.6.**). Angin perkotaan merupakan salah satu yang bisa dikontrol dan dimodifikasi dengan desain urban. Unsur-unsur desain perkotaan yang dapat memodifikasi kondisi angin adalah kepadatan keseluruhan daerah perkotaan, ukuran dan tinggi masing-masing bangunan, keberadaan bangunan bertingkat tinggi, serta orientasi dan lebar jalan.

2.9. Vegetasi

Vegetasi memainkan peran penting dalam mengendalikan suhu suatu daerah (Zhang et al 2009;. XX Zhang et al 2010;.Mirzaei & Haghghat 2010). Lingkungan pedesaan atau non-perkotaan biasanya ditutupi oleh vegetasi yang membantu menjaga suhu dengan dua cara, yaitu melalui *shading* dan evapotranspirasi. *Shading* menurunkan suhu permukaan dengan mengurangi jumlah radiasi matahari yang akan mengenai permukaan di bawah pohon. Daun pada pohon memiliki tingkat pantulan tinggi dibanding permukaan buatan manusia. Hanya 30% dari energi matahari mencapai tanah sekitar pohon karena sisanya diserap oleh pohon atau dipantulkan kembali ke atmosfer (EPA 2008). Scott et al. 1999 menunjukkan bahwa perbedaan suhu di daerah terbayangi dan tidak terbayangi vegetasi bisa mencapai lebih dari 2°C dan pembayangan oleh vegetasi pada area parkir dapat mengurangi suhu internal setiap mobil yang diparkir hingga 4°C.

Cara kedua pohon dalam mempengaruhi suhu adalah melalui proses evapotranspirasi. Pohon menggunakan evapotranspirasi untuk menarik air dari akar ke daun yang diperlukan untuk fotosintesis. Evapotranspirasi juga merupakan salah satu mekanisme ketika tanaman dapat mengatur suhu sendiri dengan mengubah air yang tersimpan menjadi uap air (Taha 1997). Suhu udara permukaan di area yang terbayangi pohon bisa mencapai 1 -2°C lebih dingin daripada suhu udara di sekitarnya (Kurn et al. 1993).

2.10. Suhu Permukaan

Menurut Sailor (1995), Warna permukaan mempengaruhi permukaan suhu dan albedo material. Permukaan yang lebih gelap akan menyerap lebih banyak radiasi matahari dan memiliki albedo yang rendah, sedangkan permukaan yang ringan memantulkan lebih banyak cahaya dan memiliki albedo tinggi. Umumnya, aspal hitam menyerap beban panas yang tinggi. Semua material menyerap radiasi matahari pada siang hari, selanjutnya material-material tersebut melepaskan kembali panas yang disimpan pada malam hari dan menghangatkan suhu udara *ambient* (Svensson & Eliasson, 2002). Suhu permukaan yang demikian sebagian besar dipengaruhi jenis bahan yang digunakan di permukaan urban.

Tekstur permukaan mempengaruhi penyerapan langsung radiasi matahari. Permukaan yang lebih halus memiliki suhu yang lebih, sedangkan permukaan kasar cenderung lebih hangat karena memiliki luas permukaan yang lebih banyak terkena sinar matahari langsung selama satu hari (Doulos et al., 2004). Berdasarkan penelitian Guan (2011), dijelaskan bagaimana menentukan perbedaan suhu permukaan beberapa material perkerasan dan pengaruh suhu permukaan terhadap suhu *ambient*. Elemen permukaan yang berbeda juga akan memiliki suhu permukaan yang berbeda pula. Perbedaan ini dipengaruhi komposisi material, karakteristik termal material, warna, dan tekstur.

2.11. Dampak Bentuk dan Geometri Perkotaan pada Iklim Perkotaan

Selain elemen vegetasi dan air, di daerah perkotaan, faktor berbasis desain memainkan peran dalam menentukan iklim perkotaan, khususnya dengan mempengaruhi penyerapan radiasi matahari melalui bentuk dan sistem sirkulasi udara perkotaan yang dimodifikasi (Givoni 1998, hal. 275).

a. Ukuran Kota

Banyak penulis menyatakan bahwa terdapat keterkaitan antara ukuran kota dan intensitas UHI di pusat kota (Givoni 1998, hal. 280; Matzarakis 2001; dan Oke 1973). Oke (1973) menyajikan formula untuk menghitung intensitas UHI (dT) dengan bantuan ukuran populasi (P) dan kecepatan angin daerah (U), di mana $dT = P^{1/4} * U^{1/2}$ (Oke di Givoni 1998, hal. 281).

Dalam beberapa penelitian lainnya, jumlah penduduk sebagai faktor yang mempengaruhi intensitas UHI masih dipertanyakan karena adanya faktor lain yang menentukan, seperti tatanan kota, ketersediaan area hijau di kota, kepadatan bangunan, dan panas antropogenik (Givoni 1998, hal. 281; Oke 1973 di Matzarakis 2001 hal. 54-56). Sebagai contoh, intensitas UHI di kota-kota di Eropa dengan ukuran populasi yang sama lebih rendah daripada di kota-kota di Amerika Utara, meskipun kepadatan penduduk kota-kota di Eropa lebih tinggi. Oke menjelaskan hal ini berbeda dengan intensitas energi antropogenik dan kapasitas panas (*heat capacity*) material bangunan yang lebih rendah serta tingkat evaporasi yang lebih tinggi di kota-kota di Eropa (Givoni 1998, Oke 1973 dalam Matzarakis 2001).

Kepadatan dan aspek-aspek lain, seperti kekompakan bangunan dan penggunaan lahan, memiliki dampak yang cukup besar terhadap iklim perkotaan dibanding ukuran kota atau ukuran populasi. Jadi, desain suatu perkotaan dapat mempengaruhi iklim perkotaan, baik di kota besar maupun kecil.

b. Kepadatan dan Kekompakan

Semakin padat dan kompak suatu daerah dibangun, kian sedikit ruang antarbangunan yang terpapar sinar matahari sehingga semakin rendah juga kenaikan suhu akibat panas matahari. Efek pemanasan akibat paparan panas matahari ini seharusnya lebih banyak terjadi pada perkotaan berkepadatan rendah, yang radiasi matahari dapat mencapai permukaan perkotaan dan jalan tanpa terhalangi bangunan. Namun, kenyataannya, kepadatan dan kekompakan bangunan tinggi biasanya disertai keberadaan vegetasi dan kecepatan angin yang rendah, sehingga beban panas yang berasal dari panas yang tersimpan pada bangunan-bangunan tinggi dan panas yang dihasilkan aktivitas manusia menjadi lebih besar.

Semua hal itu mempengaruhi kenaikan suhu pada area perkotaan serta membuktikan bahwa semakin tinggi dan padat area perkotaan, kian lambat pula tingkat pendinginan pada malam hari. Untuk menghindari kenaikan suhu, kepadatan perkotaan harus dijaga karena tindakan penanggulangan UHI, seperti sistem ventilasi udara perkotaan dan penyediaan

vegetasi pada atap hijau dan fasad, tidak cukup menurunkan suhu yang dihasilkan dari panas antropogenik.

c. Geometri Perkotaan: Rasio Tinggi Bangunan Per Lebar Jalan (H/W)

Rasio H/W bangunan merupakan nilai perbandingan ketinggian bangunan dengan lebar jalan, yang nilainya menentukan dampak *insolation* (jumlah total energi radiasi matahari yang diterima pada luas permukaan yang diberikan selama waktu tertentu) terhadap iklim perkotaan. Nilai rasio ini bisa digunakan untuk menafsirkan seberapa banyak panas matahari mencapai permukaan tanah.

Pada area berkepadatan rendah (dengan rasio $H/W \leq 1$), sebagian panas dipantulkan, diserap, dan kemudian dilepas sebagai radiasi gelombang panjang ke udara. Pada area berkepadatan sedang, sebagian panas matahari jatuh ke permukaan bangunan, kemudian dipantulkan ke bangunan lain dan sebagian lagi jatuh ke permukaan tanah. Pada area berkepadatan tinggi (dengan rasio $H/W \geq 4$), sebagian besar penyerapan panas terjadi di atas permukaan tanah (permukaan bangunan atau atap). Akibatnya, jumlah radiasi panas yang mencapai permukaan tanah lebih sedikit dibanding di area berkepadatan rendah dan berkepadatan sedang. Di samping itu, pada area perkepadatan tinggi, diperlukan waktu yang lebih lama untuk permukaan material melepaskan panas ke udara.

Rasio H/W yang lebih tinggi menghambat pelepasan panas dari material ke udara sehingga memperlambat pendinginan udara pada malam

hari. Karena itu, Emmanuel (2005) dan Matzarakis (2001) menyimpulkan bahwa rasio H/W memberi kontribusi besar terhadap terjadinya UHI pada area perkotaan. Atas dasar hal itu, Emmanuel (2005) dan Oke (1988) menyarankan agar rasio H/W berada pada angka 0,4-0,6 untuk meminimalkan panas yang terperangkap serta tujuan lainnya, yaitu untuk akses matahari dan meminimalkan penyebaran polusi udara.

d. Ventilasi

Sirkulasi udara sangat penting dalam menurunkan suhu yang sangat tinggi karena kemampuan angin mentransfer udara dingin dari daerah bervegetasi ke perkotaan mendorong udara panas ke atas. Aspek desain perkotaan yang mempengaruhi kondisi angin antara lain:

- Kepadatan perkotaan secara keseluruhan
- Kombinasi dampak orientasi jalan dan lebar jalan
- Jalur ventilasi; ruang terbuka, area hijau, dan ketersediaan; distribusi ukuran; serta desain
- Tinggi dan bentuk bangunan dan adanya bangunan bertingkat tinggi
- Penggunaan lahan

2.12. Karakteristik Termal Koridor Jalan Linier Utara-Selatan pada Daerah Tropis

Pada umumnya, kondisi kawasan yang berkepadatan sedang-tinggi dan tertata linier sejajar ternyata memiliki beberapa permasalahan. Masalah-masalah tersebut berkaitan dengan aliran udara dan temperatur kawasan yang cenderung tinggi, menurut hasil pengamatan Hang dkk (2010). Permasalahan yang berkaitan dengan aliran udara adalah adanya aliran udara vertikal dan horizontal yang menyebabkan zona-zona tenang di sisi *leeward* bangunan (sisi bangunan yang melawan arah angin). Selain itu, adanya penurunan kecepatan angin akibat pembelokan (*deflection*) oleh bangunan tinggi. Akibatnya, temperatur udara meningkat dan polusi tidak terdistribusi dengan optimal.

Dalam penelitiannya untuk mengetahui cara mengurangi dampak UHI perkotaan di Campinas, Brazil, menurut (Loyde dkk, 2012) jalan dengan orientasi utara-selatan memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalan dengan orientasi barat-timur. Kondisi daerah tropis lembap membutuhkan aliran udara yang cukup untuk kenyamanan ruang luar, pendistribusian polusi udara, dan proses pendinginan secara konveksi pada material kota. Orientasi bangunan juga mempengaruhi besarnya paparan radiasi matahari ruang jalan dan pembentukan *shading* yang optimal pada ruang jalan untuk mengurangi paparan radiasi matahari.

Dilihat dari iklimnya, Kota Yogyakarta, yang terletak di daerah iklim tropis lembap, seharusnya memiliki pola tata bangunan khusus yang dapat

mengoptimalkan aliran udara. Aliran udara sangat dibutuhkan pada skala ruang luar dan bangunan. Berkaitan dengan ruang luar, aliran udara dapat membantu peningkatan kenyamanan fisiologis melalui proses evaporasi (penguapan) dan pendistribusian polusi udara. Pada skala kawasan, aliran udara dapat membantu pendinginan pada permukaan ruang secara konveksi (perpindahan panas secara langsung) untuk mengurangi penyerapan panas ke material.

2.13. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai *surface urban heat island* pada sebuah kawasan atau perkotaan sudah pernah dilakukan sebelumnya. Penelitian tersebut umumnya dilakukan di luar ruang pada suatu kawasan perkotaan atau suatu kota. Penelitian tersebut telah dilakukan dengan fokus, lokus, dan metode yang berbeda.

1. Penelitian lain yang dilakukan Samuel R. dkk (2010) memiliki fokus pada dampak emisivitas material pada iklim mikro perkotaan di Victoria Park Residential, Sydney. Penelitian juga menganalisis pengaruh emisivitas elemen pada lingkungan binaan dan ke udara perkotaan. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dan penelitian ini dilakukan selama musim panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa albedo elemen berwarna dingin ternyata memberikan kontribusi lebih sedikit terhadap panas dan air dapat membantu dalam mengurangi udara panas pada area perkotaan.
2. Penelitian lain yang dilakukan Nurul Ihsan Fawzi, Nisfu Naharil M. (2013) memiliki fokus hubungan antara tutupan lahan dan suhu permukaan di Yogyakarta. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan

menggunakan citra satelit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu tutupan lahan terbangun lebih tinggi akibat urbanisasi yang terjadi di Kota Yogyakarta dan hasil pengolahan data suhu permukaan menyebutkan suhu tertinggi yang dihasilkan adalah 36°C dan suhu terendah adalah 27°C.

3. Penelitian lain yang dilakukan Wicahyani S. dkk (2012) memiliki fokus pada Pulau Bahang Kota (*urban heat island*) di Yogyakarta. Metode yang digunakan adalah kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan lahan terbuka non-permukiman (lahan kosong, sawah, dan tegal) menjadikan distribusi suhu lebih merata pada rentang 30-40°C. Di lokasi dengan dominasi lahan terbangun, suhu mencapai 35-40°C. Udara panas ditentukan oleh geometri bangunan (*sky view factor*) dan nilai albedo permukaan kawasan. Meski demikian, hasil analisis menyimpulkan bahwa tidak ada hubungan antara tutupan lahan dan distribusi suhu.