

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan suatu kondisi yang dirasakan manusia akibat pengaruh lingkungan dan benda disekitarnya (ISO dalam Karyono, 2013). Menurut ASHRAE (2009) kenyamanan termal dapat didefinisikan sebagai rasa nyaman yang dirasakan seseorang terhadap lingkungan karena adanya keseimbangan antara pertukaran panas tubuh dengan lingkungannya. Kenyamanan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu temperatur udara, pergerakan angin, kelembaban udara, dan radiasi matahari (Auliciems dan Szokolay, 2007). Selain aspek iklim, kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang dilakukan dan insulasi pakaian yang digunakan (SNI 03-6572-2001). Di Indonesia, kendala utama dalam mencapai kenyamanan termal adalah suhu dan kelembaban yang tinggi (Mangunwijaya, 2000). Kenyamanan termal dapat dikatakan saat seseorang merasa tidak perlu untuk meningkatkan maupun menurunkan suhu dalam ruangan (McIntyre, 1980).

Tabel 2.1
Faktor Kenyamanan Termal

Szokolay	Fanger, Standar Amerika (ANSI/ASHRAE), ISO 7730	Humpreys dan Nicol
Iklim:	Iklim:	Iklim:
1. Suhu udara	1. Radiasi matahari	1. Radiasi matahari
2. Radiasi matahari	2. Suhu udara	2. Suhu udara
3. Kelembaban udara	3. Kecepatan angin	3. Kecepatan angin
4. Kecepatan angin	4. Kelembaban udara	4. Kelembaban udara
Faktor Individu:	Faktor Individu:	Faktor Individu:
1. Pakaian	1. Aktivitas	1. Aktivitas
2. Aklimatisasi	2. Pakaian	2. Pakaian
3. Usia dan jenis kelamin		Adaptasi Individu
4. Tingkat kegemukan		Lokasi Geografis
5. Tingkat kesehatan		
6. Makanan & minuman		
7. Suku bangsa		

Sumber: Talarosha (2005)

2.1.1 Faktor Iklim

1. Temperatur Udara

Temperatur udara merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal pada bangunan. Temperatur udara adalah keadaan panas atau dinginnya suatu

daerah pada waktu tertentu (wirastuti dkk, 2008). Adanya perbedaan temperatur udara antara daerah satu dengan daerah lainnya dipengaruhi karena adanya perbedaan sudut datangnya matahari, posisi tinggi rendahnya daerah tersebut, arah angin dan arus laut, awan, serta lamanya intensitas penyinaran matahari.

Standar kenyamanan termal untuk suhu yang digunakan adalah:

- a. Menurut SNI-03-6572-2001 dan penelitian yang dilakukan Basaria (2005):
 - 1) Sejuk nyaman: $20.5^{\circ}\text{C} - 22.8^{\circ}\text{C}$
 - 2) Nyaman optimal: $22.8^{\circ}\text{C} - 25.8^{\circ}\text{C}$
 - 3) Hangat nyaman: $25.8^{\circ}\text{C} - 27.1^{\circ}\text{C}$
- b. Menurut Menkes No.261/MENKES/SK/II/1998, penyehatan suhu ruangan yaitu: $18^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$
- c. Menurut ASHRAE (1992-2004), suhu nyaman temperatur operatif yaitu $22.5^{\circ}\text{C} - 26^{\circ}\text{C}$

2. Kelembaban Relatif (RH)

Kelembaban udara adalah banyaknya kandungan uap air di atmosfer, sedangkan kelembaban relatif merupakan perbandingan antara jumlah uap air di udara dengan jumlah uap air maksimum yang dapat dikandung dalam suatu ruangan dengan suhu tertentu. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kelembaban udara adalah radiasi matahari, suhu, tekanan udara, angin, ketinggian tempat, dan kerapatan udara. Alat pengukur kelembaban adalah *hygrometer* dengan satuan dinyatakan dalam bentuk persen (%).

3. Kecepatan Angin

Kecepatan angin dalam suatu ruang cukup berpengaruh pada kenyamanan seseorang dalam ruangan tersebut. Udara yang tidak bergerak di dalam ruangan tertutup akan menyebabkan pengguna ruang tersebut merasa kaku ataupun berkeringat (ASHRAE 1989).

4. Radiasi Matahari

Radiasi matahari dapat dikatakan sangat berpengaruh pada kehidupan manusia, karena radiasi matahari merupakan penyebab semua ciri umum iklim. Pemantulan pada permukaan bumi, berkurangnya radiasi matahari oleh penguapan, dan arus radiasi di atmosfer merupakan faktor yang dapat membentuk keseimbangan termal pada bumi (Y.B Manguwijaya, 2000).

2.1.2 Faktor Manusia

Dalam menciptakan kenyamanan termal pada suatu bangunan perlu memperhatikan manusia dan kebutuhannya. Kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal yang

dirasakan oleh seseorang, tetapi dikondisikan sesuai dengan lingkungan dan benda-benda sekitarnya (Sumampe, 2008). Agar seseorang dapat nyaman beraktivitas maka keseimbangan panas harus terjaga dengan baik. Temperatur dalam badan juga harus seimbang dan konstan. Jika ada panas yang diterima dari lingkungan, maka panas tersebut juga harus dilepaskan. Tubuh manusia dapat melepaskan panas ke lingkungan dengan 4 cara yaitu:

1. Konduksi panas

Pertukaran panas melalui proses konduksi bergantung pada sifat konduktivitas suatu objek dan material yang bersentuhan secara langsung dengan kulit. Konduktivitas panas sangat penting dalam pemilihan material untuk keperluan perancangan alat dan ruang kerja.

2. Konveksi panas

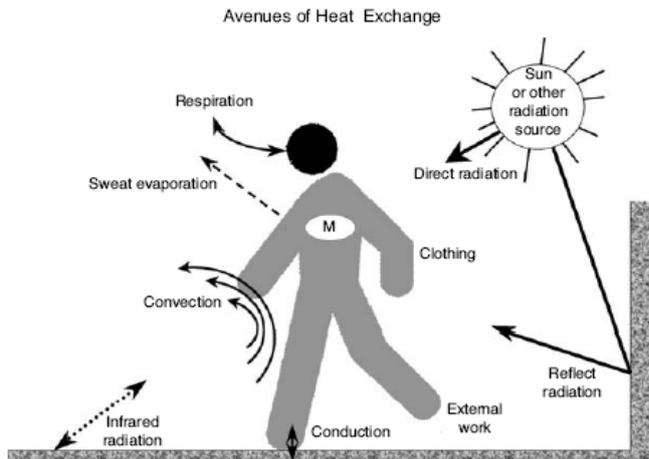
Pertukaran panas melalui proses konveksi bergantung pada perbedaan temperatur antara kulit dan udara yang berada di sekeliling tubuh serta gerakan aliran udara. Pertukaran panas melalui proses konveksi mempengaruhi sekitar 25% - 30% dari total proses pertukaran panas dalam tubuh manusia.

3. Evaporasi keringat

Hilangnya panas melalui proses keluarnya keringat dari dalam tubuh terjadi karena keringat pada bagian kulit menguap atau mengalami proses evaporasi. Pada kondisi normal, manusia akan menguapkan kurang lebih 1 liter keringat per hari. Hal tersebut berarti bahwa dalam satu hari kita akan kehilangan sekitar seperempat dari total panas yang hilang melalui proses evaporasi keringat. Apabila temperatur sekeliling kita melebihi ambang batas kenyamanan, kulit akan menyesuaikan dengan cara mengeluarkan lebih banyak keringat untuk menyeimbangkan temperatur tubuh.

4. Radiasi panas

Radiasi merupakan proses perpindahan panas atas dasar gelombang-gelombang elektromagnetik. Sebagai contoh, tubuh manusia akan mendapatkan pancaran panas dari setiap permukaan yang memiliki suhu lebih tinggi dan akan kehilangan panas atau memancarkan panas kepada objek atau permukaan yang memiliki suhu lebih rendah dari tubuh manusia tersebut. Proses pertukaran panas melalui radiasi yang terjadi antara tubuh manusia dan sekelilingnya terjadi dalam dua arah sepanjang waktu.



Gambar 2.1 Skema proses pertukaran panas tubuh manusia
 Sumber: Stanton, Neville. (2005)

5. Insulasi Pakaian

Manusia menggunakan pakaian untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitar, yaitu menggunakan pakaian tipis saat temperatur udara sedang panas dan pakaian tebal saat temperatur udara sedang dingin. Pakaian diklasifikasikan sesuai dengan tingkat kemampuan untuk mengurangi kehilangan panas oleh tubuh. Satuan yang digunakan untuk mengukur isolasi dari pakaian adalah Clo dengan satuan $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ($1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$). Untuk mengetahui nilai Clo untuk pakaian tertentu dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.2
 Nilai Hambatan Pakaian

Jenis Pakaian	Nilai	Jenis Pakaian	Nilai
Pakaian Dalam	Clo	Pakaian dan Rok	Clo
<i>Bra</i>	0,01	Rok (tipis)	0,14
Celana dalam wanita	0,03	Rok (tebal)	0,23
Dalaman celana pria	0,04	Baju tanpa lengan, tanpa kerah (tipis)	0,23
Kaos Oblong	0,08	Baju tanpa lengan, tanpa kerah (tebal), seperti <i>jumper</i>	0,27
Androk	0,14	Baju lengan pendek (tipis)	0,29
Dalaman celana pria panjang	0,15	Baju lengan panjang (tipis)	0,33
Androk panjang	0,16	Baju lengan panjang (tebal)	0,47
Baju dalaman panjang	0,20	<i>Sweater</i>	
Alas Kaki		Rompi (tipis)	0,13
Kaos kaki sepanjang ankle	0,02	Rompi (tebal)	0,22
<i>Stocking</i>	0,02	Lengan panjang (tipis)	0,25
Sandal	0,02	Lengan panjang (tebal)	0,36
Sepatu	0,02	Jaket jas dan rompi	
Sandal (tebal)	0,03	Rompi (tipis)	0,10
Kaos kaki sebetis	0,03	Rompi (tebal)	0,17
Kaos kaki selutut (tebal)	0,06	Jas kancing tunggal (tipis)	0,36
Sepatu bot	0,10	Jas kancing tunggal (tebal)	0,44
Kaos dan Blus		Jas kancing ganda (tipis)	0,42
Blus tanpa kerah	0,12	Jas kancing ganda (tebal)	0,48
Kaos rajut lengan pendek	0,17	Pakaian Tidur dan Jubah	
Kemeja lengan pendek	0,19	Gaun pendek tanpa lengan (tipis)	0,18
Kemeja lengan panjang	0,25	Gaun panjang tanpa lengan (tipis)	0,20
Kemeja flanel lengan panjang	0,34	Gaun rumah sakit lengan pendek	0,31
Kaos lengan panjang	0,34	Jubah pendek lengan pendek (tipis)	0,34
Celana		Piyama lengan pendek (tipis)	0,42
Celana pendek	0,06	Gaun panjang lengan panjang (tebal)	0,46
Celana jalan pendek	0,08	Jubah panjang lengan pendek (tebal)	0,48
Celana bahan tipis	0,15	Piyama lengan panjang (tebal)	0,57
Celana bahan tebal	0,24	Jubah panjang lengan panjang (tebal)	0,69
Celana olahraga	0,28		
<i>Cattlepack</i>	0,30		
Baju kerja	0,49		

Sumber: ASHRAE (2009)

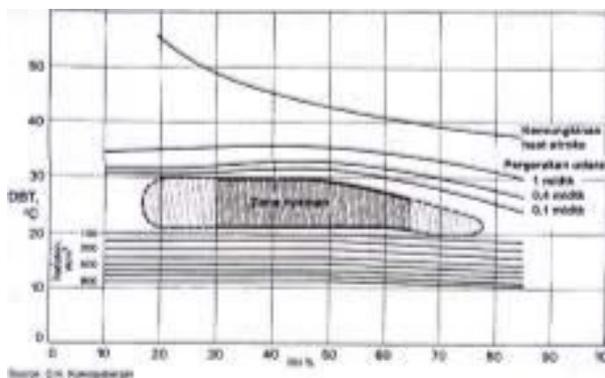
6. Metabolisme Tubuh

Metabolisme tubuh adalah tingkat transformasi energi kimia menjadi panas dan mekanik kerja oleh aktivitas metabolik suatu organisme (ASHRAE, 2004). Metabolisme diukur dalam satuan Met ($1 \text{ Met} = 58.15 \text{ W/m}^2$). Orang dewasa normal memiliki luas permukaan tubuh sebesar 1.7 m^2 . Tabel di bawah menunjukkan laju metabolisme tubuh berdasarkan aktivitas.

Tabel 2 3
Laju Metabolisme Tubuh Berdasarkan Aktivitas

Aktivitas	Met	Aktivitas	Met
Istirahat		Pekerjaan Lain	
Tidur	0,7	Reparasi jam tangan, duduk	1,1
Berbaring	0,8	Mengangkat atau mengepak	1,2 - 2,4
Duduk, membaca	0,9	Bengkel (mengganti ban, dll)	2,2 - 3,0
Pekerjaan Kantor		Mengendarai Kendaraan	
Duduk, menulis	1,0	Mobil	1,5
Duduk, mengetik atau berbicara	1,2 - 1,4	Sepeda motor	2,0
Membuat <i>file</i> duduk	1,2	Kendaraan berat	3,2
Berdiri, berbicara	1,2	Pesawat terbang	1,4
Membuat <i>draft</i>	1,1 - 1,3	Pendaratan	1,8
Pekerjaan kantor lain	1,1 - 1,3	Pesawat tempur	2,4
Membuat <i>file</i> berdiri	1,4	Aktivitas Senggang	
Berjalan (Permukaan Datar)		Memancing	1,2 - 2,0
2 mph (0,89 m/s)	2,0	Golf dan berjalan	1,4 - 2,6
3 mph (1,34 m/s)	2,6	Golf dan menggunakan golf <i>cart</i>	1,4 - 1,8
4 mph (1,79 m/s)	3,8	Berdansa	2,4 - 4,4
Pekerjaan Domestik		Kebugaran	3,0 - 4,0
Berbelanja	1,4 - 1,8	Tenis	3,6 - 4,6
Memasak	1,6 - 2,0	Bola dan raket	5,0 - 7,2
Membersihkan rumah	2,0 - 3,4	Basket	5,0 - 7,6
Mencuci dan menyetrika	2,0 - 3,6	Gulat atau tinju	7,0 - 8,7
Pekerjaan Kayu			
Menggergaji dengan mesin	1,8 - 2,2		
Menggergaji dengan tangan	4,0 - 4,8		
Memahat kayu	5,6 - 6,4		

Sumber: ASHRAE (2009)



Gambar 2.2 Grafik kenyamanan termal

Sumber: H. Frick dan F. X. B. Suskiyanto (2007)

Kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dikatakan nyaman optimal, dengan temperatur efektif $22,80^{\circ}\text{C}$ - $25,80^{\circ}\text{C}$. Zona nyaman (*comfort zone*) adalah kombinasi suhu udara dan kelembaban relatif suatu ruangan yang dianggap nyaman.

Buruknya kualitas kenyamanan termal dalam bangunan akan berakibat beban energi pendinginan akan semakin besar. Untuk mendekati diri dengan alam demi mendapatkan kenyamanan termal, terdapat beberapa hal yang dapat dilakukan dengan cara mengalihfungsikan ruang luar rumah menjadi suatu bagian dari bangunan. Hal ini

merupakan prinsip utama penerapan atap hijau. Antara massa bangunan dengan atap hijau menyatu secara fisik dan visual.

Penerapan atap hijau akan memberikan dampak yang baik bagi terciptanya kenyamanan termal. Untuk itu perlu diketahui beberapa hal yang mempengaruhinya seperti karakteristik bahan dan material untuk atap hijau, ruang yang dibentuk pada atap hijau, dan proses pelaksanaan yang tepat untuk menerapkan atap hijau pada bangunan. Atap hijau memiliki banyak kelebihan yang ditinjau dari segi fungsi ekologis dan fisik serta fungsi estetisnya. Dari segi fungsi ekologisnya mampu mengurangi efek *urban heat island* sehingga menyejukan udara, mempunyai nilai isolasi yang tinggi, memperbaiki kualitas udara ketika tanaman menyerap CO² dan mengeluarkan O², mengurangi volume dan laju air hujan sehingga merendahkan resiko banjir, dan menyaring polutan.

2.1.3 Predicted Mean Vote (PMV)

Predicted Mean Vote (PMV) merupakan indeks yang digunakan untuk memprediksi keseluruhan sensasi termal yang dirasakan oleh seseorang (Stanton, 2005: 63-1). Nilai PMV menentukan rentang sensasi temperatur yang dirasakan seseorang terhadap lingkungan di sekitarnya. Indeks PMV ini berkisar dari -3 (sangat dingin) sampai dengan +3 (sangat panas). Tabel 2.4 merupakan perbandingan penilaian untuk tiap level terhadap kenyamanan termal menurut ASHRAE, Bedford, General Comfort, dan Mc Intyre.

Tabel 2.4
Perbandingan Penilaian Kenyamanan Termal

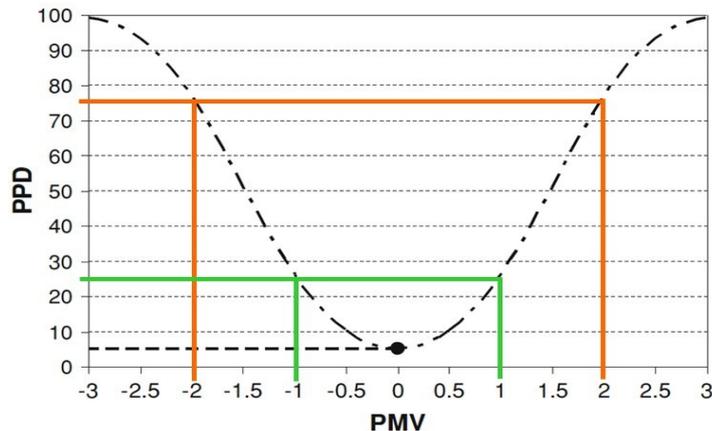
ASHRAE		Bedford		General Comfort		Mc Intyre
<i>Hot</i>	(3)	<i>Much Too Warm</i>	(7)	<i>Very Uncomfortable</i>	(3)	(7)
<i>Warm</i>	(2)	<i>Too Warm</i>	(6)	<i>Uncomfortable</i>	(2)	(6)
<i>Slightly Warm</i>	(1)	<i>Comfortably Warm</i>	(5)	<i>Comfortably Warm</i>	(1)	(5)
<i>Neutral</i>	(0)	<i>Comfortably</i>	(4)	<i>Comfortably</i>	(0)	(4)
<i>Slightly Cool</i>	(-1)	<i>Comfortably Cool</i>	(3)	<i>Comfortably Cool</i>	(-1)	(3)
<i>Cool</i>	(-2)	<i>Too Cool</i>	(2)	<i>Uncomfortable</i>	(-2)	(2)
<i>Cold</i>	(-3)	<i>Much Too Cool</i>	(1)	<i>Very Uncomfortable</i>	(-3)	(1)

Sumber: Nicol & Humphreys, 2002 & Mc Intyre, 1980 (Sugini, 2004)

Persamaan PMV dapat digunakan saat aktivitas (laju metabolisme) dan pakaian (resistensi termal) diestimasi, dan beberapa parameter lingkungan seperti: temperatur udara, *mean radiant temperatur*, kecepatan udara relatif dan kelembaban udara relatif diukur secara langsung (ISO 7730, 1994: 2).

2.1.4 Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)

Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) merupakan turunan dari PMV yang memprediksi persentase orang yang tidak puas secara termal dari sejumlah orang secara keseluruhan (Stanton, 2005:63-1). Hubungan antara PMV sebagai fungsi dari PPD tertera pada Gambar 2.3.

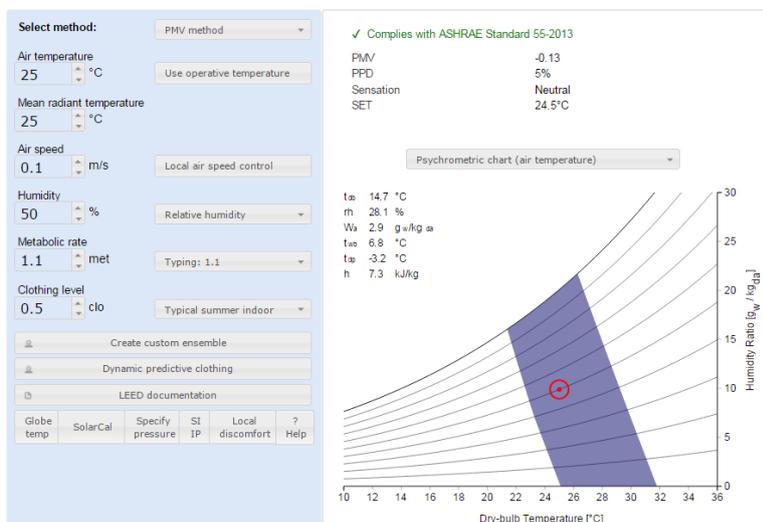


Gambar 2.3 Evolution of PPD on the basis of PMV

Sumber: Orosa and Oliveira (2012: 25); ASHRAE (2004: 55)

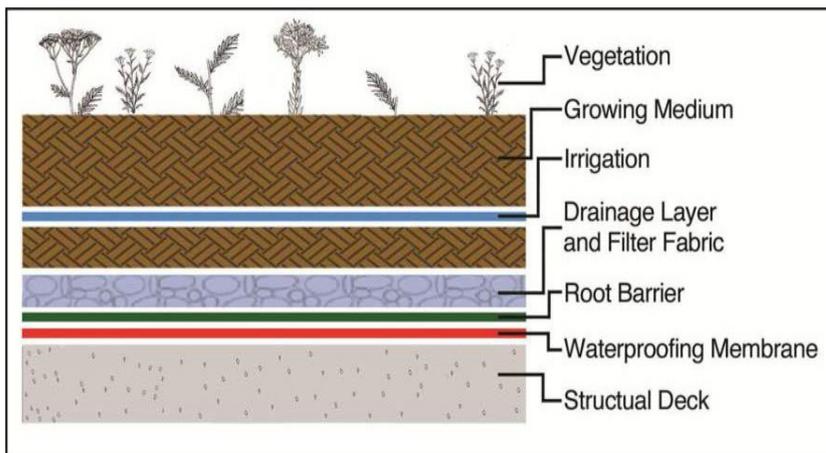
Pada grafik diatas dapat dilihat ketika skala PMV -3 atau 3, maka 100% pengguna tidak puas; Ketika skala PMV -2 atau 2, maka sekitar 75% pengguna tidak puas atau 25% puas; Ketika skala PMV -1 atau 1, maka sekitar 25% pengguna tidak puas atau sekitar 75% puas; Ketika skala PMV 0 (netral), maka sekitar 5% pengguna tidak puas atau 95% puas, ini realitas yang ada bahwa tidak bisa mencapai kepuasan pengguna sampai 100%.

Dalam menyelesaikan persamaan PMV dan PPD dapat menggunakan program komputer karena nilai h_c dan t_{cl} saling bergantung. Salah satu program tersebut yaitu *CBE Thermal Comfort Tool* for ASHRAE-55. Gambar 2.4 merupakan tampilan program *CBE Thermal Comfort Tool*.



Gambar 2.4 Tampilan program *CBE Thermal Comfort Tool*

2.2 Green Roof



Gambar 2.5 Lapisan *green roof*
 Sumber: Theodore Theodosiou (2009)

Green roof merupakan sebuah lapisan struktur konstruksi hijau yang berada diatas sebuah bangunan. *Green roof* terdiri dari lapisan vegetasi, media tumbuh, lapisan drainase, lapisan anti air, dan lapisan beton yang menjadi dasar atap bangunan. Dengan dibangunnya *green roof*, maka bangunan tersebut akan hadir dengan lebih ramah dengan lingkungan sekitarnya, karena dapat mengurangi sifat kekakuan bangunan sebelumnya. Gerakan *green roof* ini juga didukung oleh harga tanah dipertanian semakin mahal, hingga efisiensi penggunaan lahan atau halaman lebih ditujukan untuk memaksimalkan KDB hingga lahan yang tersisa pun lebih cenderung menjadi lahan-lahan untuk parkir kendaraan yang berakibat penutupan tanah dengan perkerasan atau aspal. Pemanasan global juga dapat dicegah secara efektif dengan penerapan *green roof* pada bangunan - bangunan di setiap lingkungan dan pusat kota. *Green roof* dapat diterapkan pada atap datar maupun atap miring. Penggunaan *green roof* tidak hanya sekedar penghijauan melainkan teknologi ini dapat mempengaruhi kualitas lingkungan hidup.

2.2.1 *Green Roof* sebagai Pengganti Lahan Terbuka

Lingkungan selalu menjadi sorotan jika dikaitkan dengan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) karena lingkungan alam memberi kita ruang dan tempat tinggal. Sebagai manusia membutuhkan lingkungan alam yang seimbang untuk kehidupan yang sempurna. Manusia membutuhkan alam untuk tempat tinggal, pembangunan yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan manusia menyebabkan semakin berkurangnya lahan terbuka hijau.

Permasalahan krisis lingkungan dan krisis energi yang diiringi semakin menyusutnya RTH mendorong berbagai profesi seperti arsitek, desainer, produsen bahan bangunan

untuk mengatasi permasalahan tersebut. Maka munculah paradigma membangun bangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, atau biasa disebut dengan arsitektur hijau. Persenyawaan bangunan dan atap hijau dalam konsep arsitektur hijau memiliki banyak keuntungan bagi bangunan itu sendiri maupun lingkungan sekitarnya. Setiap bangunan yang menggunakan konsep arsitektur hijau dapat mengurangi krisis energi maupun krisis lingkungan sekitar.

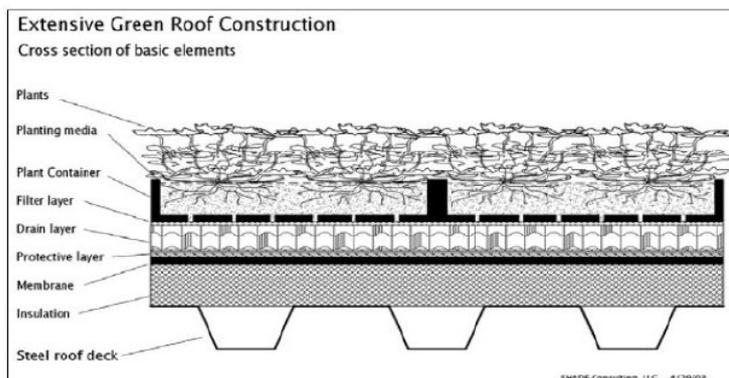
Keterbatasan lahan mendorong optimalisasi setiap lahan dan fungsi setiap ruang sehingga tidak ada ruang yang terbuang. Ketersediaan lahan hijau biasanya dikembangkan di halaman depan, samping, maupun belakang. Selain itu pengembangan lahan hijau dapat dijadikan selubung bangunan, salah satunya dengan menerapkan atap hijau pada bangunan. Teras atap dan atap rumah merupakan lahan potensial sebagai lahan hijau, seperti atap rumput, teras rumput, atau taman teras atas. Keberadaan *green roof* juga memberikan kontribusi dalam menjaga kestabilan suhu udara di ruang dalam bangunan agar tetap segar dan sejuk.

2.2.2 Jenis-Jenis *Green Roof*

1. Lapisan *Green Roof*

Berdasarkan kedalaman media tanam dan tinggi rendahnya intensitas pemeliharaan *green roof*, dapat dikategorikan dalam 3 tipe yaitu:

a *Extensive Green Roof*



Gambar 2.6 Lapisan *extensive green roof*

Sumber: Christopher G. Wark dan Wendy W. Wark (2013)

Extensive green roof merupakan jenis *green roof* yang paling sederhana. Karakteristik dari *green roof* ini adalah konstruksinya yang sederhana dengan ketebalan tanah yang rendah dan biaya perawatan yang terjangkau. Konstruksi pada jenis ini biasanya tidak mempunyai jalur irigasi dan tanaman yang digunakan bisa menghidupi dirinya sendiri dan tanaman yang umum dan mampu bertahan pada

kondisi iklim lokal. *Green roof* jenis ini terkadang dirujuk sebagai sebuah *eco-roof* dan mempunyai efisiensi terendah dibandingkan dengan jenis yang lainnya, dengan parameter performa energi gedung. *Extensive green roof* dapat digunakan pada atap datar maupun atap miring dan dapat diterapkan langsung pada gedung-gedung yang sudah ada karena berat tambahan dari *green roof* yang relatif kecil.

b *Simple Intensive Green Roof*

Simple intensive green roof hampir sama dengan dengan jenis sebelumnya tetapi mempunyai karakteristik kepadatan vegetasi yang lebih tinggi. Pada *green roof* jenis ini terkadang membutuhkan pengairan disaat musim kering/kemarau untuk menunjang kebutuhan tanaman. *Green roof* jenis ini mempunyai harga dan biaya perawatan yang lebih mahal dibanding dengan jenis sebelumnya, namun mempunyai keuntungan dimana efisiensi energi gedung lebih baik.

c *Intensive Green Roof*

Intensive green roof merupakan jenis *green roof* yang paling rumit diantara yang lainnya dipandang dari segi konstruksi. Jenis vegetasi yang digunakan pada jenis ini sama dengan vegetasi yang ditanam pada kebun dan taman di permukaan tanah, bahkan termasuk pepohonan kecil. Lapisan tanah pada jenis ini mempunyai kemampuan untuk menopang jenis vegetasi seperti itu, dan sistem pengairan dan perawatan sangat dibutuhkan. Jenis *green roof* ini merupakan yang paling mahal dipandang dari konstruksi dan biaya perawatan, dan menyediakan area tambahan untuk para penghuni gedung disepanjang tahun.

Secara umum lapisan *green roof* adalah sebagai berikut:

1. *Waterproof membrane*: lapisan untuk menutupi keseluruhan permukaan atap
2. *Drain mat*: lapisan sebagai ruang Bergeraknya aliran air yang berasal dari penyiraman dan air hujan menuju pembuangan akhir
3. *Filter cloth*: lapisan untuk memisahkan *drain mat*
4. *Growing medium*: lapisan tempat pertumbuhan tanaman

2. Sistem drainase

Sistem drainase yang baik akan melindungi struktur bangunan dari kerusakan fisik yang disebabkan oleh rembesan air sekaligus menjadi media tumbuh yang baik bagi tanaman. Sistem drainase pada *green roof* adalah sistem aliran air yang masuk kedalam tanah dapat dikontrol dengan membuat saluran air dengan kemiringan tertentu menuju bak kontrol pembuangan. Pada umumnya sistem drainase *green roof* merupakan satu

kesatuan dengan sistem drainase bangunan, sehingga didapatkan efektivitas drainase yang lebih baik.

2.2.3 Fungsi *Green Roof*

Green roof selain mempunyai beberapa fungsi, baik dari segi estetika, lingkungan, dan efisiensi energi. Fungsi-fungsi yang dijelaskan menurut *International Green roof Association* (IGRA) adalah:

1. Kenyamanan Publik

Atap pada gedung biasanya menjadi lahan yang kurang dimanfaatkan, dan hanya dipakai sebagai tempat pembuangan asap, kondenser pada pendingin ruangan, dan tempat pembangkit listrik. Jika dirancang secara efektif, *green roof* dapat meningkatkan jumlah ruang rekreasi untuk gedung tempat tinggal.

2. Keuntungan Estetika Visual

Green roof juga lebih menyenangkan untuk dilihat dari gedung lain. Banyaknya dedaunan dan warna hijau pada gedung membuat gedung menjadi lebih menarik perhatian.

3. Memperpanjang Jangka Waktu Pemakaian Lapisan Atap

Sebuah atap yang tidak terlindungi dengan lapisan vegetasi, akan terkena paparan sinar matahari yang ekstrim dan radiasi sinar *ultraviolet*. Umumnya daya tahan atap untuk atap datar / dak yang tidak menggunakan vegetasi berkisar 15 – 25 tahun. Hal tersebut dikarenakan tekanan fisik, kimia dan biologi pada permukaan atap setiap tahunnya. Perbedaan suhu, radiasi *ultraviolet*, rasio ozon yang tinggi serta hujan dapat mempercepat proses kerusakan atap. Kerusakan atap dapat berupa pengelupasan, pengerutan, keretakan dan kebocoran. Dengan adanya *green roof* maka paparan sinar matahari dan radiasi sinar *ultraviolet* tidak langsung terkena atap sehingga dapat memperpanjang jangka waktu pemakaian.

4. Meningkatkan Keanekaragaman Hayati

Green roof menggantikan lahan hijau tempat habitat hewan dan tumbuhan yang hilang akibat perkembangan jaman. Dengan jenis vegetasi yang sesuai dengan lingkungannya, *green roof* dapat menjadi tempat yang aman bagi burung, serangga dan tumbuhan lainnya untuk tumbuh.

5. Meningkatkan Efisiensi *Photovoltaic Cell*

Saat ini, Eropa telah menguji efisiensi *photovoltaic cell* yang dikombinasikan dengan *green roof*, dan berhasil meningkatkan efisiensi sebesar 25% karena temperatur yang lebih

rendah pada *green roof*. Penelitian seperti ini menjadi cukup terkenal karena lebih ramah lingkungan dan dapat menghemat pengeluaran.

6. Manajemen Buangan Air Hujan



Gambar 2.7 Skematik buangan air hujan
Sumber: *British Columbia Institute of Technology*, 2010

Green roof dapat dijadikan sebagai alat untuk mencegah bahaya banjir. Pada atap konvensional air hujan yang terkumpul di atas gedung langsung dialirkan ke saluran pembuangan melalui pipa pembuangan. Namun dengan adanya *green roof*, air hujan tidak langsung disalurkan ke saluran pembuangan tetapi diserap terlebih dahulu oleh lapisan tanah dan digunakan tumbuhan untuk fotosintesis. Sebagian besar air akan mengalami siklus air melalui proses transpirasi dan evaporasi oleh tumbuhan. Dengan *green roof* air hujan di ubah menjadi uap ke udara melalui proses transpirasi dan evaporasi dan kelebihanannya tetap akan di simpan oleh media tanam untuk sementara waktu.

7. Meningkatkan Kualitas Udara

Vegetasi mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kualitas udara pada lingkungan sekitarnya. Dengan proses fotosintesis, vegetasi dapat mengkonversi karbon dioksida menjadi oksigen. Bahkan untuk tumbuhan seperti pepohonan kecil dapat menyaring partikel-partikel kotor di udara dengan daun, dan kemudian bersih secara sendirinya apabila turun hujan.

8. Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca pada Perkotaan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *green roof* dapat meningkatkan kualitas lingkungan sekitarnya. Hal ini sangat penting dalam mengurangi efek gas rumah kaca yang biasa terjadi pada perkotaan. Fenomena ini terjadi karena kepadatan yang sangat besar dan banyaknya material penyerap panas, sehingga meningkatkan temperatur kota. *Green roof* menggantikan material yang menyerap panas tersebut sehingga membuat temperatur atap

gedung menjadi lebih rendah. Apabila dapat menjadikan *green roof* menggantikan banyak atap gedung, maka efek gas rumah kaca dapat dikurangi.

9. Mengurangi Polusi Suara

Green roof dapat secara jelas mengurangi polusi suara. Kombinasi antara lapisan tanah dan lapisan vegetasi bekerja dalam mengurangi frekuensi suara. Dengan pengaturan desain lanskap melalui komposisi tanaman pada area atap dapat meminimaliskan polusi suara sampai 8db

10. Mengurangi Kemungkinan Kebakaran

Green roof pada beberapa keadaan lingkungan dapat mengurangi kecepatan kebakaran pada gedung karena lapisan tanahnya yang terdapat kandungan air. Namun kemampuan mengurangi penyebaran kebakaran ini bisa hilang jika tanah yang ada pada *green roof* kering.

11. Mengurangi Biaya Pendinginan dan Pemanasan Ruangan

Dalam jangka waktu pendek, penghematan langsung dapat dirasakan dalam biaya mendinginkan dan menghangatkan ruangan karena lapisan vegetasi menyediakan insulasi yang sangat baik bagi gedung. *Green roof* bertindak sebagai *thermal mass* yang menjaga temperatur dalam ruangan gedung relatif tetap konstan. *Green roof* pada musim panas dapat menjaga suhu ruangan tetap dingin dan pada musim dingin dapat menjaga suhu ruangan tetap hangat, sehingga menghilangkan ketergantungan pada sistem HVAC.

2.2.4 Peran Vegetasi

Peran vegetasi dalam perancangan adalah bukan hanya sebagai estetika bangunan melainkan untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Selain itu vegetasi juga mampu mengendalikan iklim mikro (kenyamanan termal)

1. Pembayangan, dapat menahan 70% panas matahari yang jatuh langsung ke permukaan tanah. Kurang lebih 80% radiasi matahari dapat ditangkap daun, cabang dan ranting pepohonan, dan yang mencapai tanah bisa kurang dari 5% sepanjang hari. Sedangkan permukaan rumput lebih dingin 33% daripada paving. Karena rumput dapat menjaga suhu konstan, sedangkan paving lebih banyak memantulkan panas.
2. Menurunkan suhu udara hingga 11°C apabila rata-rata suhu mencapai 32°C. serta dapat turun hingga 5,5°C apabila rata-rata suhu mencapai 21°C
3. Mengontrol radiasi matahari, tipe vegetasi yang digunakan akan mempengaruhi derajat pengontrolan radiasi, antara lain tanaman hijau mereduksi sampai 80% penetrasi cahaya, pohon berdaun lebat akan mereduksi cahaya 51-54% dan melindungi

cahaya matahari langsung sepanjang hari, semak, dan groundcover mereduksi panas 5.5°C – 7.8°C lebih dingin dari tanah terbuka

2.2.5 *Habitus* Tanaman

Jenis tanaman yang digunakan tidak hanya sebatas tanaman perdu, melainkan pohon juga dapat digunakan sehingga mampu menghadirkan suatu ekosistem. Jenis tanaman juga disesuaikan dengan iklim dan kondisi cuaca setempat. Tanaman yang tahan dengan cuaca kering lebih cocok dipilih guna lebih menghemat biaya pengairan, walaupun sistem pengairan tetap diperlukan.

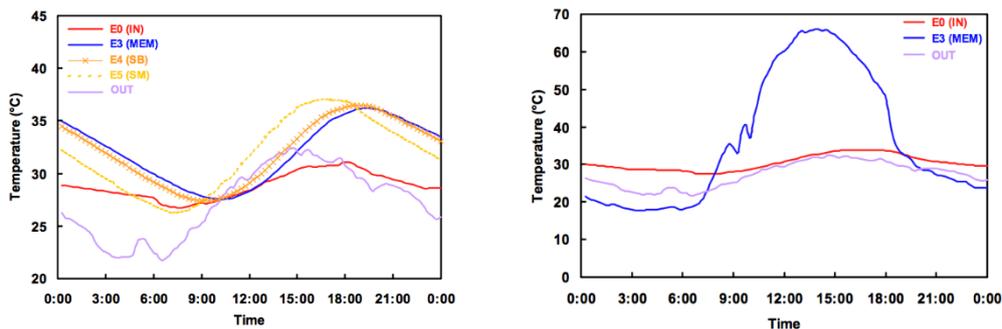
1. Pohon: batang berkayu, percabangan jauh dari tanah, berakar dalam, dan tinggi diatas 3m. Pepohonan yang berkanopi juga bisa digunakan sebagai tabir angin, dan bisa mengurangi vilositas angin, tapi juga pohon dapat digunakan sebagai lorong angin, untuk meningkatkan ventilasi di area tertentu.
2. Perdu: batang berkayu, percabangan dekat dengan tanah, berakar dangkal, dan tinggi 1-3m. Perdu yang merambat bisa digunakan sebagai kanopi untuk mengontrol sinar matahari yang masuk
3. Semak: batang tidak berkayu, percabangan dekat dengan tanah berakar dangkal, tinggi 0,5-1m. bisa digunakan untuk mengatur kecepatan angin dan pengarah aliran angin. Bermanfaat untuk mengurangi debu dan mengurangi radiasi panas matahari.
4. Penutup tanah (*ground cover*): batang tidak berkayu, berakar dangkal, dan tinggi 20-50cm
5. Rerumputan

2.2.6 *Efek Visual* Tanaman

Karakteristik fisik tanaman dapat dilihat dari bentuk batang dan percabangannya, bentuk tajuk, massa daun, massa bunga, warna tekstur, aksentuasi, dan skala ketinggian. Tanaman dalam bentuk, warna, dan tekstur tertentu bila dipadu dengan bangunan dapat memberikan komposisi yang baik. Peletakan dan pemilihan jenis tanaman juga mempengaruhi estetika lingkungan.

2.2.7 Pengaruh *Green Roof* dalam Penghematan Energi

Pada suatu bangunan penggunaan energi merupakan hal yang pasti dilakukan dalam mengoperasikan gedung tersebut, misalnya dalam hal untuk menjaga temperatur dalam ruangan gedung dengan menggunakan sistem pendingin maupun penghangat ruangan. Walaupun pengerjaan *green roof* lebih mahal dibandingkan dengan atap konvensional, namun *green roof* memiliki nilai efektif lebih lama. *Green roof* dapat meningkatkan efisiensi selubung bangunan, menurunkan kebutuhan energi bangunan, dan mampu melindungi properti dibawahnya.



Gambar 2.8 Grafik suhu aliran panas dengan atap hijau (kiri) atap biasa (kanan)

Sumber: Lui Karen dan Minor Kohn (2010)

Pada musim kemarau, suhu daerah dibawah *green roof* hanya sebesar 27°C, sedangkan pada area yang menggunakan *black roof* dapat mencapai 80°C (Fibre, 2007). Beberapa studi menemukan bahwa *green roof* dapat mendinginkan seefisien mungkin sebesar 0.7°C – 0.85°C dibandingkan dengan atap aspal/tar/kerikil. Penelitian yang dilakukan oleh Lui dan Minor di Toronto, Kanada pada tahun 2005 menunjukkan bahwa atap hijau mengurangi panas dengan rata-rata 70-90% pada musim panas dan 10-30% pada musim dingin.

2.2.8 Perawatan *Green Roof*

Dijelaskan dalam buku *Time Saver Standard for Landscape Architect* bagaimana cara untuk membuat dan menjaga *green roof* agar lebih tahan lama. Adapun cara – caranya adalah sebagai berikut:

1. Perlindungan yang Baik Pada Atap dan Struktur

Desain atau rancangan atap yang baik haruslah dibuat dari sejak awal pembuatan suatu gedung atau bangunan lainnya. Hal ini menjadi tanggung jawab dari seorang arsitek untuk merancang atap menjadi tahan air, melindungi sistem penahan air tersebut dari kerusakan mekanis dan mengisolasi atap untuk konservasi energi.

a. Kapasitas beban yang dapat ditopang oleh atap

Green roof yang akan dibuat tidak boleh melebihi kapasitas dari daya penahan beban yang dimiliki oleh atap. Hal tersebut memerlukan teknik-teknik perhitungan struktur yang baik dan cermat.

b. Daya tahan terhadap air

Faktor penting lainnya dalam mendesain *green roof* adalah menempatkan lapisan penahan air dan pelindung untuk melawan rembesan air. Lapisan ini dibuat miring untuk mengalirkan air sebagai sistem drainase permukaan. Pada tahap ini kontrol kualitas dan rangkaian tes oleh arsitek bangunan adalah hal yang penting untuk memastikan integritas dari atap dan mencegah biaya perbaikan jika terjadi kebocoran saat pekerjaan *landscape* selesai dilaksanakan.

Jangka waktu penggunaan *membrane* / lapisan tahan air ini jika dilakukan pemasangan yang benar dapat sama dengan umur gedung. Apabila terjadi satu kebocoran saja akan menyebabkan seluruh taman pada atap harus dibongkar untuk menemukan kebocoran tersebut. Meskipun awalnya kebocoran hanyalah lubang yang kecil, namun dapat menciptakan bukaan-bukaan air yang dapat dipenetrasi oleh akar tanaman dalam waktu yang lama akar tanaman akan membesar dan mengakibatkan bertambahnya kerusakan yang terjadi.

2. Sistem Drainase yang Baik dan Aman

Cara yang baik dalam mendesain sistem drainase pada *green roof* adalah dengan penggunaan sistem bersama antara drainase pada bagian bawah bangunan. Tidak perlu menambah sistem drainase, terkecuali hal tersebut diperlukan. Drainase pada *green roof* dimaksudkan untuk dapat mengumpulkan air pada permukaan maupun sub permukaan. Untuk mencegah media tanah masuk dan menyumbat drainase, media tanam harus dilapisi oleh lapisan penyaring (*filter blanket*) yang terbuat dari *woven* ataupun *nonwoven polypropylene fabric*.

Penting untuk diperhatikan bahwa media tanam tidak boleh mengandung endapan lumpur yang dapat menyumbat *filter blanket* dan menutup saluran drainase. Setiap saluran dan pipa drainase yang ada di lapisan bawah *green roof* haruslah tercatat dengan baik dalam *as built plan* dari rencana *green roof*. Hal ini penting untuk memudahkan kontrol dan pengecekan apabila terjadi kerusakan serta memudahkan pemeliharaan.

3. Media Tanam yang Ringan

Pemilihan media tanam yang baik untuk *green roof* haruslah diperhatikan dengan benar. Media tanam yang baik adalah bahan yang ringan, memiliki kemampuan dalam

menyediakan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman dan memiliki struktur yang tetap namun tetap mudah untuk dialiri air (drainase). Campuran tanah, pasir dan kerikil serta pupuk cukup baik untuk menjadi media tanam.

Alangkah lebih baik jika formulasi media tanam yang akan direalisasikan sebelumnya dilakukan simulasi di laboratorium untuk menentukan defisiensi tanah dan merekomendasikan mineral - mineral yang dibutuhkan untuk mendapatkan pertumbuhan tanaman yang maksimal. Cara yang paling umum digunakan untuk mengurangi kelebihan berat media tanam adalah dengan mengganti sebagian media dengan *styrofoam* berbentuk blok.

4. Adaptasi Terhadap Cuaca

a. Iklim

Sistem drainase pada *green roof* haruslah di desain untuk tanggap terhadap iklim setempat, pipa-pipa drainase harus sudah diprediksi untuk dapat menampung air hujan yang berlebih saat musim hujan dengan curah hujan yang paling tinggi.

b. Angin

Tanaman yang tinggi serta struktur yang vertikal seperti pagar, dinding dan lampu taman haruslah didesain agar tahan terhadap terpaan angin yang kencang terutama di atas gedung-gedung yang tinggi. Pemilihan jenis tanaman juga penting karena angin memberi pengaruh kekeringan pada material tanaman dan juga media tanah karena evaporasi yang tinggi.

c. Sinar Matahari

Tanaman yang dipakai untuk *green roof* harus dipilih yang dapat tumbuh dengan sinar matahari. Daerah dengan sinar matahari berlebih memerlukan air lebih banyak dikarenakan evaporasi yang tinggi. Pembuatan naungan yang alami dan buatan dapat menjadi solusi untuk mengurangi kehilangan air.

5. Penyiraman

Penyiraman pada *green roof* sangatlah penting untuk membantu menyediakan air yang minim dari media tanam dan juga drainase air yang baik. Penyiraman dimaksudkan untuk mencegah kekeringan pada media tanaman dan kerusakan bahkan kematian pada tanaman.

Pada *green roof* yang cukup luas sebaiknya penyiraman dilakukan dengan *sprinkler* bawah tanah atau sistem penyiraman dengan kontrol otomatis. Sistem ini dapat dibuat dari pipa plastik dan bahan yang sesuai dengan kondisi atap, tahan lama, ringan dan mudah pemasangan maupun penggunaannya.

6. Pemilihan *Hard Material*

Hard material seperti dinding penahan air, pergola, pagar dan lain-lain haruslah dari materi yang ringan dan kuat. Alumunium ringan, beton ringan dapat digunakan untuk melengkapi taman anda sehingga fungsional namun tetap aman.

7. Metode Pemasangan

Pemasangan semua materi *green roof* haruslah hati-hati agar tidak merusak lapisan membran tahan air maupun konstruksi bangunan, sangat dianjurkan untuk berkonsultasi dengan arsitek dan ahli bangunan dalam pemasangan setiap elemen *green roof*.

8. Suplai Listrik

Arus listrik standar 110 sampai 120 volt ac sudah cukup untuk kebutuhan *green roof* seperti pencahayaan, memasak, mesin kontrol penyiraman. Untuk kebutuhan *outdoor heater*, pompa air mancur sewaktu-waktu membutuhkan arus listrik 220 volt ac. Sebaiknya seluruh jaringan dan alat listrik telah direkomendasikan oleh ahli kelistrikan.

9. Ketersediaan Air

Air harus tersedia untuk kebutuhan penyiraman tanaman, kolam ornamental, membersihkan permukaan atap, dan juga perlindungan terhadap kemungkinan kebakaran.

10. Kenyamanan dan keamanan

Dikarenakan lokasinya berada di atas gedung yang umumnya tinggi maka, desain haruslah memperhatikan keamanan pengguna. Batas terluar dari *green roof* tidak boleh sampai ke ujung atap melainkan diberi jarak 2-3 m. Batas terluar *green roof* juga harus diberi *railing*/pagar yang kuat dan cukup ketinggiannya baik untuk orang dewasa, anak-anak maupun hewan peliharaan.

11. Pemeliharaan

Pemeliharaan dari *green roof* meliputi kegiatan penyiraman, pemupukan, pemangkasan pohon dan tanaman hias, penanaman ulang dan pengecekan serta perbaikan utilitas-utilitas yang ada di dalamnya.

Melihat manfaat *green roof* yang begitu besar bagi peningkatan kualitas lingkungan perkotaan, maka seluruh lapisan masyarakat diharapkan terus dapat mendukung berkembangnya pembangunan *green roof* dan dapat terus mengembangkan teknologi-teknologi dan desain-desain baru sehingga pembuatan *green roof* dapat semakin mudah

2.3 Perpustakaan

2.3.1 Definisi Perpustakaan

Kata dasar perpustakaan adalah pustaka, dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia, pustaka adalah buku, kitab. Dalam bahasa Inggris adalah *library*. Istilah *library* berasal dari kata latin *liber* atau *libri* yang artinya buku.

Menurut Perpustakaan Nasional RI (2005), Perpustakaan adalah unit kerja yang memiliki sumber daya manusia sekurang-kurangnya seorang pustakawan, ruangan/tempat khusus, dan koleksi bahan pustaka sesuai dengan jenis perpustakaan yang bersangkutan serta dikelola menurut sistem tertentu untuk kepentingan penggunaannya.

2.3.2 Jenis-jenis Perpustakaan

Jenis-jenis perpustakaan menurut Sutarno NS (2006) adalah sebagai berikut:

1. Perpustakaan Nasional

Perpustakaan yang biasanya berkedudukan di ibukota negara yang berfungsi utama sebagai lembaga yang menyimpan dan melestarikan seluruh terbitan dari negara yang bersangkutan baik berupa karya cetak maupun karya rekam.

2. Perpustakaan Umum

Perpustakaan yang diselenggarakan di permukiman penduduk (kota dan desa) diperuntukkan bagi semua lapisan dan golongan masyarakat, untuk melayani kebutuhannya akan informasi dan bahan bacaan dalam rangka meningkatkan pengetahuan, sumber belajar, dan sebagai sarana rekreasi sehat (intelektual)

3. Perpustakaan Khusus atau Perpustakaan Instansi

Perpustakaan yang berada atau diselenggarakan oleh instansi pemerintah maupun swasta untuk menunjang dan memperlancar tugas dan fungsi instansi yang bersangkutan/lembaga induknya.

4. Perpustakaan Perguruan Tinggi

Perpustakaan yang berada dalam suatu lembaga pendidikan tinggi baik perpustakaan Universitas, Fakultas, Institut, Sekolah Tinggi maupun Politeknik dan menunjang proses pendidikan (belajar mengajar), penelitian serta pengabdian kepada masyarakat.

5. Perpustakaan Sekolah

Perpustakaan yang berada pada lembaga pendidikan dasar dan menengah, yang merupakan bagian internal dari sekolah sebagai pusat sumber belajar mengajar untuk mendukung tercapainya tujuan pendidikan sekolah bersangkutan.

2.3.3 Perpustakaan Perguruan Tinggi

Perpustakaan adalah salah satu unsur pendukung sebuah perguruan tinggi. Buku Pedoman Perpustakaan Perguruan Tinggi (2004) menyebutkan yang termasuk ke dalam kategori perguruan tinggi adalah universitas, institut, sekolah tinggi, akademi, politeknik dan perguruan tinggi lain yang sederajat. Keberadaan perpustakaan di perguruan tinggi diharapkan dapat membantu dalam melaksanakan Tri Dharma perguruan tinggi yaitu pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

Selain itu menurut Hermawan dan Zen (2006), perpustakaan perguruan tinggi adalah perpustakaan yang terdapat di lingkungan lembaga pendidikan tinggi. Perpustakaan perguruan tinggi berfungsi sebagai sarana yang akan menunjang proses perkuliahan dan penelitian di perguruan tinggi tersebut.

Dalam Undang-Undang Nomor 43 Tahun 2007 tentang perpustakaan juga dikemukakan dengan tegas mengenai perpustakaan perguruan tinggi yaitu pada bagian keempat pasal 24 yang menyatakan:

1. Setiap perguruan tinggi menyelenggarakan perpustakaan yang memenuhi standar nasional perpustakaan dengan memperhatikan standar nasional pendidikan.
2. Perpustakaan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) memiliki koleksi, baik jumlah judul maupun jumlah eksemplarnya, yang mencukupi untuk mendukung pelaksanaan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat.
3. Perpustakaan perguruan tinggi mengembangkan layanan perpustakaan berbasis teknologi informasi dan komunikasi.
4. Setiap perguruan tinggi mengalokasikan dana untuk pengembangan perpustakaan sesuai dengan peraturan perundang-undangan guna memenuhi standar nasional pendidikan dan standar nasional perpustakaan

2.3.4 Pemeliharaan Perpustakaan

Gedung atau ruang dalam perpustakaan dirancang khusus sesuai dengan fungsi perpustakaan, maka dari itu dalam merencanakannya sebaiknya melibatkan pengelola perpustakaan agar tidak mempersulit pemeliharaan bangunan. Lingkungan fisik yang ideal untuk perpustakaan meliputi kelembaban relatif dan temperatur terkontrol, sirkulasi udara yang baik, serta bebas dari jamur dan serangga (Tamara, 2009).

Dalam memelihara kenyamanan perpustakaan diperlukannya pengontrolan temperatur dan kelembaban relatif bangunan. Bahan pustaka yang terbuat dari kertas akan mempertahankan kekuatannya pada temperatur dan kelembaban yang relatif lebih rendah.

Kondisi penyimpanan yang baik untuk perpustakaan adalah berkisar antara temperatur 16°C - 21°C dengan kelembaban relatif 40%-60%. Untuk membatasi temperatur dan kelembaban dalam bangunan dapat dilakukan dengan cara:

1. Memastikan sirkulasi udara baik dengan penggunaan kipas angin dan jendela maupun AC
2. Penggunaan alat untuk mengurangi kelembaban di mana untuk mengurangi kelembaban di area tumpukan buku
3. Penggunaan metode penyekatan untuk mengurangi panas yang diperoleh dan penggunaan kerai untuk melindungi sinar matahari langsung; memastikan bangunan benar-benar dijaga untuk menghindari kelembaban selama musim hujan

2.3.5 Penyebab Kerusakan Bahan Pustaka

Faktor penyebab kerusakan yang terjadi dalam pelestarian bahan pustaka adalah:

1. Karakteristik Bahan

Karakteristik bahan pustaka yang digunakan mempengaruhi cepat atau lambatnya kerusakan yang terjadi. Mulai dari kertas yang mampu bertahan hingga ratusan tahun sampai pada kertas yang rapuh dan hanya mampu bertahan dalam waktu 10 tahun. Mulai dari *negative photo* yang terbuat dari lembaran kaca yang lapisan emulsinya cukup stabil hingga *negative photo* yang terbuat dari *polyester* yang lapisan emulsinya mudah buram.

2. Faktor Lingkungan

a. Temperatur dan Kelembaban Udara

Perubahan temperatur udara akan menyebabkan perubahan kelembaban. Fluktuasi yang sangat drastis akan besar pengaruhnya terhadap kerusakan kertas, karena kertas akan mengendor dan menegang. Jika hal tersebut terjadi berulang kali, maka akan memutuskan ikatan rantai kimia pada serat selulosa.

Kelembaban udara yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan menimbulkan masalah. Kombinasi antara temperatur dan kelembaban yang tinggi akan menyuburkan pertumbuhan jamur dan serangga. Kelembaban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan tinta yang larut dalam air akan menyebar dan kertas pada buku akan saling menempel. Sedangkan jika kelembaban udara yang terlalu rendah dapat menyebabkan kertas menjadi kering dan keriput.

b. Cahaya

Cahaya juga memiliki efek pada bahan pustaka, yaitu cahaya mampu mempercepat oksidasi dari molekul selulosa hingga akhirnya terputus. Cahaya dapat

menyebabkan kertas menjadi pucat dan tinta memudar. Karena pengaruh cahaya, lignin pada kertas akan bereaksi sehingga kertas menjadi kecoklatan.

c. Pencemar Udara

Pencemar udara seperti gas sulfur dioksida, gas *hydrogen sulfide*, dan gas oksida yang berasal dari hasil pembakaran minyak bumi dari pabrik serta kendaraan bermotor dapat merusak bahan pustaka.

d. Faktor Biota

Makhluk hidup seperti jamur, serangga, dan binatang pengerat dapat merusak bahan pustaka. Jamur akan tumbuh dengan subur apabila kondisi lingkungan hangat dengan temperatur antara 32°C – 35°C dengan kelembaban 70%, gelap dan sedikit sirkulasi udara. Jamur ini dapat melemahkan kertas dan menimbulkan noda permanen.

e. Rak dan Lemari Buku yang Tidak Memenuhi Syarat

Rak dan lemari buku yang tidak sesuai dengan standar yang ada dapat merusak bahan pustaka. Seperti, ukuran buku yang lebih besar dari rak atau bahan rak dan lemari terbuat dari material yang menimbulkan kerusakan pada bahan pustaka.

f. Bencana

Bencana alam seperti banjir, kebakaran, gempa bumi, dll merupakan faktor yang sulit dielakkan. Bencana alam ini dapat memusnahkan bahan pustaka dalam waktu singkat. Kerusakan yang terjadi karena banjir dapat menimbulkan noda oleh jamur dan kotoran yang dibawa oleh air. Noda bekas jamur sangat sulit dihilangkan karena jamur berakar disela-sela kertas.

3. Faktor Manusia

Keterlibatan manusia memungkinkan terjadinya kerusakan bahan pustaka. Keterlibatan tersebut antara lain adalah pencurian, penggunaan yang kurang hati-hati ataupun kerusakan secara tidak langsung

2.4 *Ecotect Analysis 2011*

Ecotect Analysis merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh Dr. Andrew J. Mars. Perangkat ini adalah salah satu perangkat yang dapat digunakan dalam melakukan simulasi kondisi bangunan dengan keadaan lingkungan sekitarnya. *Ecotect* tergolong perangkat yang cukup lengkap dalam menyediakan fasilitas untuk mengolah data iklim, akustik, pencahayaan, dan energi. Perangkat ini sudah digunakan secara komersil untuk melakukan evaluasi maupun perencanaan suatu bangunan atau kawasan. Dasar pemikiran dalam *ecotect* adalah prinsip-prinsip desain lingkungan yang berpengaruh terhadap kondisi

bangunan. Geometri, material, dan orientasi merupakan aspek penting yang nantinya mempengaruhi kinerja bangunan, sehingga aspek tersebut perlu diperhatikan pada saat melakukan tahap perancangan bangunan. Beberapa hal yang perlu diketahui dalam menggunakan *ecotect analysis* 2011 (Elmira, 2011) yaitu:

U-Value (W/m ² .K):	0.280
Admittance (W/m ² .K):	3.330
Solar Absorption (0-1):	0.6
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	1
Thermal Lag (hrs):	0.2
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (m):	0.580
Weight (kg):	13.295

Gambar 2.9 Elemen pada *ecotect*

1. Konduktivitas termal

Konduktivitas termal adalah besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuan suatu material saat menghantarkan panas terhadap permukaan area. Satuan dari konduktivitas termal adalah $W/m.K$. Rumus untuk menghitung nilai konduktivitas termal dari setiap material dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta Q}{A \times \Delta t} \times \frac{x}{\Delta T}$$

Dimana:

K = Konduktivitas termal

ΔQ = Total panas

A = Luas penampang material

Δt = Durasi waktu untuk menghantarkan panas

ΔT = Perbedaan suhu permukaan material

x = Ketebalan material

2. Thermal Admittance (R-Value)

R-Value adalah nilai ketahanan material terhadap panas atau kemampuan material untuk merubah panas menjadi dingin. Semakin tinggi nilai R, maka material tersebut semakin baik dalam mencegah perpindahan panas ke dalam bangunan. Satuan dari nilai R adalah $m^2.K/W$ Untuk mencari nilai R dari setiap material dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R - Value = \frac{K}{D}$$

Dimana:

$$R\text{-Value} = \text{Nilai ketahanan panas} \quad m^2 \cdot K / W$$

$$K = \text{Konduktivitas termal} \quad W / m \cdot K$$

$$D = \text{Ketebalan material} \quad m$$

3. *U-value*

U-Value merupakan nilai yang digunakan dalam mengukur seberapa efektif suatu material sebagai isolator panas. Semakin rendah nilai U, maka material tersebut semakin baik sebagai isolator panas. Satuan dari nilai U adalah $W / m^2 \cdot K$. Untuk mencari nilai U dari setiap material dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U - Value = \frac{1}{Rt}$$

Dimana:

$$U\text{-Value} = \text{Nilai transmitasi termal} \quad W / m^2 \cdot K$$

$$Rt = \text{Total ketahanan termal material} \quad W / m \cdot K$$

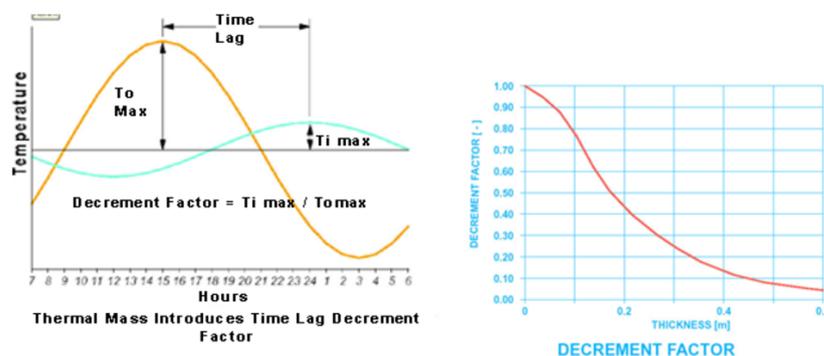
4. *Solar Absorption*

Solar absorption adalah nilai jumlah radiasi matahari yang diserap oleh permukaan pada material

5. *Visible Transmittance*

Visible Transmittance adalah jumlah cahaya yang melewati material kaca. transmittasi tersebut dipengaruhi oleh jenis kaca, jumlah panel, dan lapisan-lapisan pada kaca.

6. *Thermal Decrement* dan *Thermal Lag*



Gambar 2.10 Diagram hubungan *Thermal Decrement* dan *Thermal Lag*

Thermal Decrement dikenal sebagai siklus penurunan suhu pada permukaan material bagian dalam dibandingkan dengan permukaan bagian luar. Sedangkan *Thermal Lag* adalah keterlambatan atau jeda waktu yang diperlukan suatu elemen bangunan dalam menghantarkan panas ke dalam bangunan. Penurunan suhu berbanding terbalik dengan jeda waktu. Dengan kata lain, semakin tinggi jeda waktu maka semakin rendah penurunan suhu yang terjadi pada permukaan material bagian dalam. Faktor penurunan suhu dihitung dengan nilai 0-1 (0%-100%) sedangkan satuan yang digunakan untuk jeda waktu adalah dalam hitungan jam.

2.4.1 Kelebihan Ecotect Analysis 2011

1. Modeling and Visualization

Model digital pada *ecotect* dapat dibuat menyerupai kondisi eksisting dari material yang digunakan, kondisi bukaan bangunan, orientasi bangunan dll. Modelling dapat dilakukan dengan memasukan model 3D yang sudah dibuat di *software* lain seperti autocad, sketchup, dll. Model yang sudah di *import* ke *ecotect* masih dapat diedit kembali karena model yang masuk adalah berupa garis. Hasil visualisasi yang ditampilkan dalam *ecotect* juga mudah dimengerti karena mampu menunjukkan diagram pergerakan matahari, pembayangan bangunan, pencahayaan pada bangunan dalam bulan dan tahun yang pasti.

2. Database Material

Pilihan material yang terdapat pada perangkat *ecotect* ini terbilang cukup lengkap. Karena setiap material dapat menyimpan dan menunjukkan berbagai informasi seperti; sifat termal material, karakteristik permukaan, performa akustik, hingga penjelasan lapisan-lapisan yang terdapat pada material tersebut serta bagaimana pengaruhnya terhadap lingkungan.

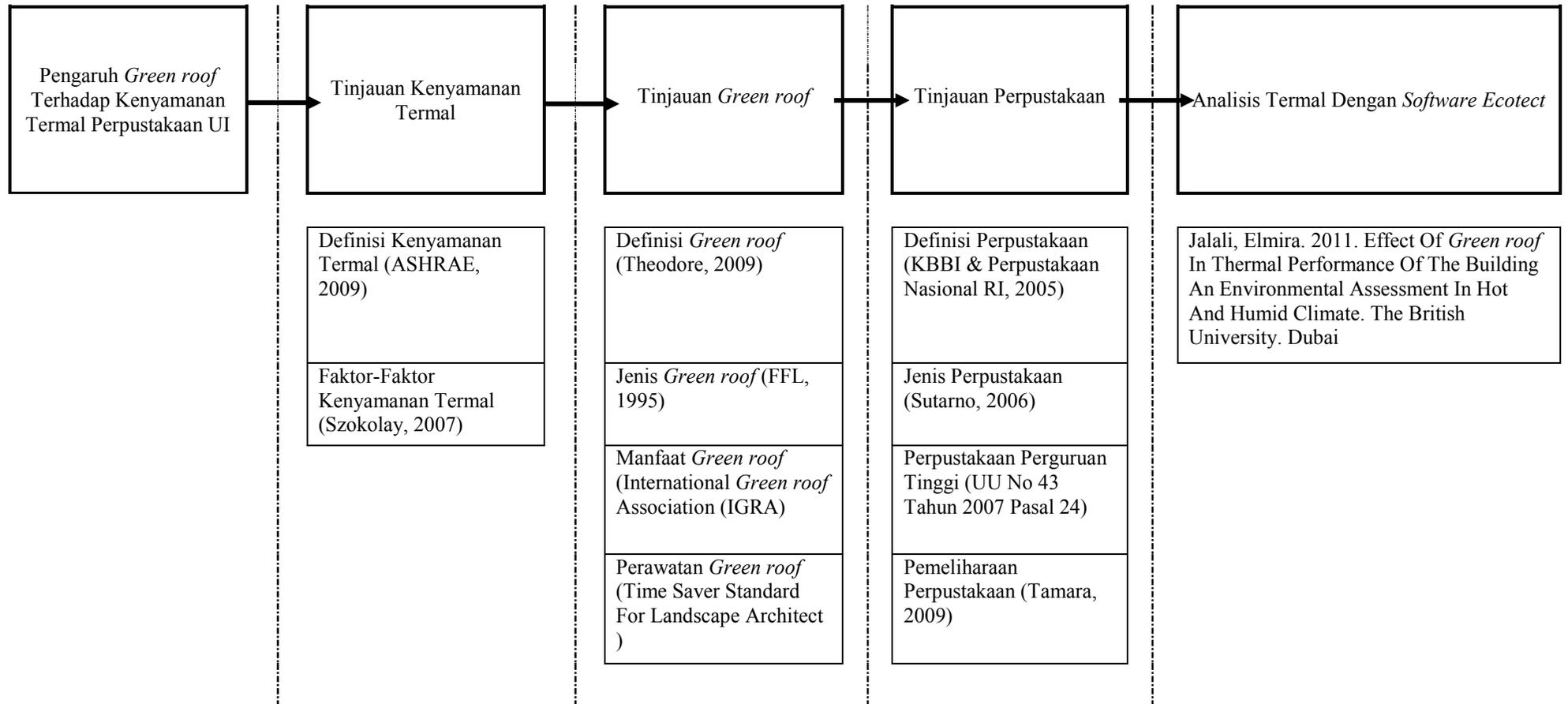
3. Proses Analisis

Mudahnya proses analisis dengan menggunakan *ecotect* juga menjadi nilai tambah dari perangkat ini. *Ecotect* mampu menganalisa berbagai macam hal pada model seperti radiasi matahari, kinerja termal, pencahayaan pada ruang, penyerapan panas hingga mengukur kinerja *shading device*.

4. Import dan Export

Selain dapat memasukan model 3D *ecotect* juga dapat mengekspor ke perangkat lainnya seperti *energy plus* dan *radiance*. Hal ini dapat membantu proses desain sehingga proses desain dapat dilakkan pada satu model yang mencakup pencahayaan dan analisa termal.

2.5 Kerangka Teori



Gambar 2.11 Kerangka Teori

2.6 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.5
Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Keterangan Penelitian	Institusi
1.	Manfred Köhler , Marco Schmidt, Friedrich W. Grimme, Michael Laar, Fernando Gusmão (2001)	Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate	Menganalisis pengaruh dari <i>Green roof</i> terhadap suhu/temperatur ambien pada iklim tropis	Jurnal	International Federation of Landscape Architects,Singapore
2.	Henry Feriadi, dan Nyuk Hien Wong (2004)	Kenyamanan Termal Untuk Rumah Ventilasi Alami di Indonesia	Menyelidiki persepsi kenyamanan termal penghuni yang tinggal di rumah – Indonesia dan mengevaluasi kesesuaian prediksi kenyamanan termal didasarkan pada model adaptif	Jurnal	Department of Building, School of Design and Environment National, University of Singapore
3.	Karen Liu, John Minor (2005)	Performance Evaluation of An Extensive <i>Green roof</i>	Memberikan data teknis terhadap kinerja atap hijau di Kota Toronto, dan untuk menggambarkan keuntungan atap hijau dalam konteks perkotaan.	Jurnal	National Research Council of Canada
4.	1Mert EKŞİ dan 2Adnan UZUN	Investigation of Thermal Benefits Of An Extensive <i>Green roof</i> In Istanbul Climate	Menyelidiki sifat termal atap hijau yang luas khas dalam kondisi iklim Istanbul melalui pengukuran lapangan komparatif	Jurnal	1Landscape Architecture Department, Faculty of Forestry, Istanbul University, 2Landscape Architecture Department, Faculty of Fine Arts, Isik University,
5.	Elmira Jalali Saeid (2011)	<i>Effect Of Geen Roof In Thermal Performance Of The Building</i>	Mengevaluasi bagaimana pengaruh <i>green roof</i> terhadap kenyamanan termal bangunan residensial di kondisi panas dan lembab di kota Dubai, UEA.	Jurnal	<i>Faculty of Engineering & IT, The British University, Dubai</i>
6.	Gery Suseno (2012)	Analisis Penggunaan <i>Green roof</i>	Memberi pertimbangan dan	Skripsi	Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas

		Terhadap Kestabilan Suhu dan Kelembaban Bangunan	membuka wawasan terhadap perancangan bangunan tinggi dengan menggunakan teknologi <i>green roof</i> .		Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
7.	Retsa Anugrah Menteng (2012)	Investigasi Kinerja Termal <i>Green roof</i> Sebagai Pendingin Pasif Di Iklim Tropis	Mengetahui kinerja termal <i>green roof</i> di daerah tropis dengan menggunakan 7 model tanaman	Skripsi	Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
8.	Nur Laela Latifah, Harry Perdana, Agung Prasetya, Oswald P. M Siahaan (2012)	Kajian Kenyamanan Termal Pada Bangunan Student Center Itenas Bandung	Menjadi rujukan saat mendesain student center yang menunjang kenyamanan termal	Jurnal	Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional
9.	Ratna Dewi Nur'aini (2017)	Analisis Konsep <i>Green roof</i> pada Kampus School Of Art, Design And Media Ntu Singapore dan Perpustakaan UI Depok	Mengidentifikasi konsep <i>green roof</i> yang digunakan pada bangunan kampus School of Art, Design and Media NTU Singapore dan bangunan Perpustakaan UI Depok dan menganalisisnya untuk dapat diterapkan di Kota Jakarta	Jurnal	Pogram Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Halaman ini sengaja dikosongkan

