

Tabel 4.26 Perbandingan Temperatur Ruang pada Lantai 2	128
Tabel 4.27 Perbandingan Temperatur Ruang pada Lantai 3	130
Tabel 4.28 Perbandingan Temperatur Ruang pada Lantai 4	131
Tabel 4.29 Perbandingan Temperatur Ruang dengan Jenis Tanaman pada Lantai 2.....	132
Tabel 4.30 Perbandingan Temperatur Ruang dengan Jenis Tanaman pada Lantai 3.....	132
Tabel 4.31 Perbandingan Temperatur Ruang dengan Jenis Tanaman pada Lantai 4.....	133

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema proses pertukaran panas tubuh manusia	8
Gambar 2.2	Grafik kenyamanan termal	10
Gambar 2.3	Evolution of PPD on the basis of PMV	12
Gambar 2.4	Tampilan program CBE Thermal Comfort Tool	12
Gambar 2.5	Lapisan green roof	13
Gambar 2.6	Lapisan extensive green roof	14
Gambar 2.7	Skematik buangan air hujan	17
Gambar 2.8	Grafik suhu aliran panas dengan atap hijau (kiri) atap biasa (kanan)	20
Gambar 2.9	Elemen pada ecotect	28
Gambar 2.10	Diagram hubungan Thermal Decrement dan Thermal Lag	29
Gambar 2.11	Kerangka Teori	31
Gambar 3.1	Sampel ruang lantai 2	36
Gambar 3.2	Sampel ruang lantai 3	36
Gambar 3.3	Sampel ruang lantai 4	37
Gambar 3.4	Titik pengukuran lantai 2	39
Gambar 3.5	Titik pengukuran lantai 3	40
Gambar 3.6	Titik pengukuran lantai 4	40
Gambar 3.7	Titik penyebaran kuesioner lantai 2	42
Gambar 3.8	Titik penyebaran kuesioner lantai 3	42
Gambar 3.9	Titik penyebaran kuesioner lantai 4	42
Gambar 3.10	Diagram alur penelitian	45
Gambar 4.1	Lokasi objek penelitian	48
Gambar 4.2	Tampak perpustakaan Universitas Indonesia	48
Gambar 4.3	Massa perpustakaan Universitas Indonesia	49
Gambar 4.4	Peta Universitas Indonesia	49
Gambar 4.5	Batas-batas site perpustakaan Universitas Indonesia	50
Gambar 4.6	Ide bentuk prasasti yang muncul	50
Gambar 4.7	Gubahan massa	51
Gambar 4.8	Sketsa awal sumbu skylight	51
Gambar 4.9	Siteplan perpustakaan UI	52

Gambar 4.10	Denah lantai 1	53
Gambar 4.11	Denah lantai 2 perpustakaan UI	54
Gambar 4.12	Ruang koleksi dan ruang baca.....	55
Gambar 4.13	Ruang diskusi lantai 2 perpustakaan UI.....	55
Gambar 4.14	Denah lantai 3 perpustakaan UI	56
Gambar 4.15	Ruang koleksi dan ruang baca lantai 3 perpustakaan UI	57
Gambar 4.16	Denah perpustakaan UI lantai 4	57
Gambar 4.17	Ruang koleksi lantai 4	58
Gambar 4.18	Ruang diskusi lantai 4	58
Gambar 4.19	Denah lantai 5 perpustakaan UI	59
Gambar 4.20	Ruang sidang lantai 5	59
Gambar 4.21	Denah lantai 6 perpustakaan UI	60
Gambar 4.22	Ruang auditorium lantai 6	60
Gambar 4.23	Denah lantai 7 (kiri) denah lantai 8 (kanan) perpustakaan UI	61
Gambar 4.24	Potongan A bangunan	61
Gambar 4.25	Potongan B bangunan.....	62
Gambar 4.26	Tampak utara perpustakaan.....	62
Gambar 4.27	Tampak selatan perpustakaan dan plaza	63
Gambar 4.28	Potongan green roof	63
Gambar 4.29	Detail green roof.....	64
Gambar 4.30	Geogrid uniaxial.....	64
Gambar 4.31	Rumput gajah mini	65
Gambar 4.32	Geotextile woven.....	65
Gambar 4.33	Batu apung.....	66
Gambar 4.34	Waterproofing membrane	66
Gambar 4.35	Titik pengukuran lantai 2	68
Gambar 4.36	Grafik keadaan termal ruang pada lantai 2.....	68
Gambar 4.37	Titik pengukuran lantai 3	69
Gambar 4.38	Grafik keadaan termal ruang pada lantai 3.....	69
Gambar 4.39	Titik pengukuran lantai 4	70
Gambar 4.40	Grafik keadaan termal ruang pada lantai 4.....	70
Gambar 4.41	Grafik sensasi kenyamanan termal pengguna	72
Gambar 4.42	Grafik tingkat kenyamanan pengguna saat beraktivitas.....	72
Gambar 4.43	Grafik preferensi pengguna terhadap temperatur ruang.....	73

Gambar 4.44	Grafik preferensi pengguna terhadap penggunaan AC.....	74
Gambar 4.45	Grafik rata-rata pengukuran temperatur udara	75
Gambar 4.46	Grafik rata-rata pengukuran kelembaban udara	75
Gambar 4.47	Perhitungan PMV dan PPD ruang A11 pagi hari	80
Gambar 4.48	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca A pagi ...	84
Gambar 4.49	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca A siang..	85
Gambar 4.50	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca A sore....	85
Gambar 4.51	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang diskusi pagi ...	86
Gambar 4.52	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang diskusi siang..	87
Gambar 4.53	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang diskusi sore ...	87
Gambar 4.54	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca B pagi....	88
Gambar 4.55	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca B siang..	89
Gambar 4.56	Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca B sore	89
Gambar 4.57	Grafik korelasi temperatur dan sensasi termal	90
Gambar 4.58	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca A pagi.....	91
Gambar 4.59	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca A siang	92
Gambar 4.60	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca A sore.....	92
Gambar 4.61	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang diskusi pagi.....	93
Gambar 4.62	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang diskusi siang	94
Gambar 4.63	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B pagi.....	94
Gambar 4.64	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B pagi.....	95
Gambar 4.65	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B siang	96
Gambar 4.66	Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B sore	96
Gambar 4.67	Grafik korelasi temperatur dan sensasi kenyamanan	97
Gambar 4.68	Grafik hubungan metabolisme tubuh dengan sensasi kenyamanan	98
Gambar 4.69	Grafik hubungan insulasi pakaian dengan sensasi kenyamanan	99
Gambar 4.70	Simulasi ruangan pada lantai 2	99
Gambar 4.71	Simulasi ruangan pada lantai 3	99
Gambar 4.72	Simulasi ruangan pada lantai 4.....	100
Gambar 4.73	Detail dan spesifikasi material dinding	100
Gambar 4.74	Detail dan spesifikasi material jendela	100
Gambar 4.75	Detail dan spesifikasi material pintu kaca	101
Gambar 4.76	Detail dan spesifikasi material lantai.....	101
Gambar 4.77	Detail dan spesifikasi material atap	101

Gambar 4.78	Visualisasi termal lantai 2	102
Gambar 4.79	Visualisasi termal lantai 3	103
Gambar 4.80	Visualisasi termal lantai 4	104
Gambar 4.81	Detail dan spesifikasi material atap tanah liat	104
Gambar 4.82	Grafik temperatur udara dengan material tanah liat lantai 2	105
Gambar 4.83	Diagram perbandingan green roof dan atap tanah liat lantai 2 pagi	105
Gambar 4.84	Diagram perbandingan green roof dan atap tanah liat lantai 2 siang	106
Gambar 4.85	Diagram perbandingan green roof dan atap tanah liat lantai 2 sore	107
Gambar 4.86	Grafik temperatur udara dengan material tanah liat lantai 3	108
Gambar 4.87	Diagram perbandingan green roof dan atap tanah liat lantai 3 pagi	108
Gambar 4.88	Diagram perbandingan green roof dan tanah liat siang hari lantai 3	109
Gambar 4.89	Diagram perbandingan green roof dan tanah liat sore hari lantai 3	110
Gambar 4.90	Grafik temperatur udara dengan tanah liat lantai 4 dengan Ecotect	110
Gambar 4.91	Diagram perbandingan green roof dan tanah liat pagi hari lantai 4	111
Gambar 4.92	Diagram perbandingan green roof dan tanah liat sore hari lantai 4	112
Gambar 4.93	Diagram perbandingan green roof dan tanah liat siang hari lantai 4	112
Gambar 4.94	Detail dan spesifikasi material beton	114
Gambar 4.95	Grafik temperatur udara dengan material beton lantai 2	114
Gambar 4.96	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 2 siang	115
Gambar 4.97	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 2 sore	116
Gambar 4.98	Grafik temperatur udara dengan material beton lantai 3	117
Gambar 4.99	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 3 siang	118
Gambar 4.100	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 3 pagi	118
Gambar 4.101	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 3 sore	119
Gambar 4.102	Grafik temperatur udara lantai 4 dengan ecotect	120
Gambar 4.104	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 4 siang	121
Gambar 4.103	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 4 pagi	121
Gambar 4.105	Diagram perbandingan green roof dan beton lantai 4 sore	122
Gambar 4.106	Tanaman bayam merah	124
Gambar 4.107	Grafik profil temperatur bayam merah	124
Gambar 4.108	Tanaman kucai jepang	125
Gambar 4.109	Grafik profil temperatur kucai jepang	126
Gambar 4.110	Rumput gajah mini	127
Gambar 4.111	Grafik profil temperatur rumput gajah mini	127

Gambar 4.112	Visualisasi termal akhir lantai 2	129
Gambar 4.113	Visualisasi termal akhir lantai 3	130
Gambar 4.114	Visualisasi termal akhir lantai 4	131

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keadaan lingkungan yang tidak terjaga dari pembangunan berakibat pada perubahan iklim. Perubahan iklim berpengaruh terhadap suhu udara yang dirasakan oleh seseorang. Perubahan iklim global akan berdampak pada perubahan parameter iklim yaitu: suhu udara, radiasi, kelembaban, dan kecepatan angin (Karyono, 2010). Suhu udara yang naik dan semakin panas menyebabkan manusia membutuhkan tempat bernaung yang dapat menaungi dan mampu menurunkan suhu agar memberikan kenyamanan manusia saat beraktivitas didalamnya. Maka dari itu, suatu bangunan yang didesain untuk tanggap terhadap iklim sangat erat kaitannya dengan kenyamanan termal yang dirasakan oleh penggunanya. Dalam merancang sebuah bangunan yang tanggap iklim perlu diperhatikannya beberapa faktor, antara lain: orientasi bangunan, bukaan bangunan, serta material bangunan (ASHRAE, 2009).

Di Indonesia, semakin banyaknya pembangunan perkotaan yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan ruang beraktivitas bagi masyarakatnya. Tingkat pembangunan yang kurang mempertimbangkan ketersediaan lahan, sering mengakibatkan keberadaan ruang terbuka hijau dan taman kota menjadi korban dan sasaran penggusuran dengan berbagai alasan. Isu pemanasan globalpun semakin sering terdengar. Hal tersebut dikarenakan hilangnya daerah hijau yang beralih fungsi menjadi pemukiman, perkantoran, maupun daerah terbangun lainnya. Fenomena ini banyak terjadi di perkotaan (*urban heat island*).

Kota Depok merupakan salah satu kota yang termasuk kedalam kawasan Jabodetabek. Kawasan Jabodetabek ini dikenal sebagai wilayah yang menjadi penyangga kota Jakarta karena terlalu padatnya kota Jakarta untuk menampung semua aktivitas mulai dari perdagangan, industri, dan jasa (Pemprov DKI, 1977). Selain sebagai kota permukiman, kota Depok juga dijadikan sebagai kota satelit yang dilengkapi dengan sarana pendukung kota seperti sekolah, pusat perbelanjaan, rumah sakit, dan tempat hiburan.

Berdasarkan visi RPJPD Kota Depok 2006-2025, kota Depok akan dijadikan sebagai kota niaga dan jasa yang religius dan berwawasan lingkungan. Kebijakan pemerintah yang menjadikan kota Depok sebagai penyangga kota Jakarta menyebabkan kepadatan pemukiman yang berlebih di beberapa kawasan di kota Depok. Meningkatnya pembangunan pemukiman warga berakibat terhadap kurangnya ruang terbuka hijau (RTH).

Tercatat pada tahun 2005, RTH menyusut menjadi 50,54% sedangkan kawasan terbangun meningkat sebesar 3% menjadi 49,46%.

Urban heat island adalah sebuah penamaan untuk mendeskripsikan karakteristik tingkat kehangatan atmosfer dan permukaan suatu perkotaan yang lebih panas dibandingkan dengan tingkat kehangatan di daerah luar kota. Penyebab terjadinya *urban heat island* ini dikarenakan semakin banyak penggunaan material penyerap panas seperti aspal dan beton yang dapat menyimpan radiasi matahari di dalamnya dan hilangnya lahan hijau maupun lahan dingin perkotaan. Salah satu pemberdayaan ruang hijau yang tepat ditengah tingginya pembangunan dan kurangnya lahan dapat menyusupkan ruang hijau pada atap-atap gedung bertingkat (*green roof*). Taman atap ini merupakan bentuk penghijauan dengan wadah tanam atau ruang pada atap bangunan.

Penerapan konsep *green roof* di Indonesia sendiri masih jarang digunakan dan diteliti, karena kurangnya tenaga ahli *green roof* juga karena kondisi iklim Indonesia yang berbeda dengan wilayah kebanyakan *green roof* digunakan (subtropis). Konsep *green roof* sebenarnya merupakan turunan dari prinsip *sustainability* (keberlanjutan) yaitu kemampuan berbagai macam sumber daya di bumi ini berinteraksi dengan sistem budaya manusia dan ekonomi serta daya adaptasinya dalam menghadapi kondisi lingkungan yang pastinya terus berubah (Suryandari, 2011).

Keberadaan *green roof* diharapkan dapat mengubah kondisi perkotaan yang selama ini tidak nyaman bagi manusia akibat pemanasan global. Teknologi ini juga dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi masalah kurangnya Ruang Terbuka Hijau (RTH). Lebih jauh, *green roof* ini dapat difungsikan sebagai taman pasif maupun aktif, dapat dikunjungi sebagai taman untuk bersosialisasi. Selain menjadi solusi dalam masalah kurangnya RTH, penerapan konsep *green roof* pada bangunan ini dapat digunakan untuk menurunkan suhu ruangan dibawahnya sehingga dapat menghemat energi yang digunakan untuk pendinginan buatan dalam bangunan.

Contoh bangunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bangunan perpustakaan pusat Universitas Indonesia (UI) yang terletak di kampus Universitas Indonesia, Depok. Pemilihan objek studi ini karena salah satu pendekatan perpustakaan UI terhadap iklim dan menggunakan konsep *green building* berupa penerapan *green roof* sebagai potensi pemanfaatan atap untuk fungsi penghijauan. Perpustakaan UI merupakan bangunan pendidikan yang berfungsi sebagai tempat belajar sekaligus menjadi pusat kegiatan bagi seluruh aktivitas akademika UI, sehingga perlu didesain sedemikian rupa sehingga para

pengguna perpustakaan merasa nyaman saat beraktivitas di dalam bangunan dengan desain yang tidak merusak lingkungan.

Penelitian mengenai pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal perpustakaan UI ini diharapkan dapat memberikan informasi serta menjadi alternatif untuk menggunakan atap bervegetasi yang ramah lingkungan sebagai solusi masalah pemanasan global karena *green roof* dapat menurunkan suhu dan mengurangi beban pendinginan.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi permasalahan yang terkait dengan penelitian adalah:

1. Konsep *green roof* pada perpustakaan pusat UI yang dapat dijadikan salah satu solusi untuk permasalahan pemanasan global yang masih jarang dan kurang diketahui oleh masyarakat di Indonesia.
2. Pengaruh penggunaan *green roof* pada bangunan perpustakaan pusat UI terhadap kenyamanan termal bangunan.

1.3 Rumusan Masalah

Dari identifikasi masalah didapat rumusan masalah dari penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal pada bangunan perpustakaan pusat Universitas Indonesia?

1.4 Batasan Masalah

1. Objek yang akan diteliti adalah bangunan perpustakaan pusat Universitas Indonesia, dengan alasan bangunan tersebut merupakan salah satu contoh bangunan yang menggunakan konsep *green roof*.
2. Kriteria kenyamanan termal dilihat berdasarkan analisis nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) dari kuesioner dan SNI 03-6572-2001.
3. Penelitian dibatasi pada ruang baca dan ruang diskusi yang berada di lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan pusat Universitas Indonesia.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi, rumusan, dan batasan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja penurunan suhu bangunan dengan penggunaan *green roof*.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang sudah dijabarkan, maka manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat memberikan pengetahuan mengenai pengaruh yang diberikan oleh penerapan *green roof* terhadap kenyamanan termal bangunan perpustakaan UI.
2. Dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam pemanfaatan atap sebagai lahan hijau.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tentang pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal bangunan perpustakaan Universitas Indonesia terbagi menjadi beberapa bagian yaitu:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi penjelasan mengenai latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, yang disusun untuk mencapai tujuan dan kegunaan dari penelitian yang akan dicapai.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi studi literatur secara umum maupun khusus mengenai kenyamanan termal dan jenis *green roof* yang digunakan

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian. Cara kerja peneliti dari awal mengumpulkan data hingga menganalisa data untuk mencapai sintesa

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang analisa pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal ruang dalam perpustakaan Universitas Indonesia. Analisa dilakukan dengan menyebarkan kuesioner kepada pengguna perpustakaan tersebut dan pengukuran suhu di lapangan. Hasil analisa tersebut berupa identifikasi pengaruh *green roof* terhadap tingkat kenyamanan termal pada objek penelitian.

BAB V : PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan

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	Humphreys 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 Mangunwijaya, 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

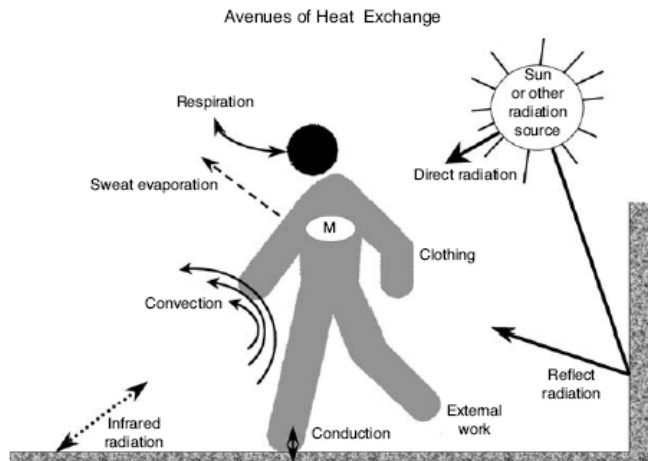
Pertukaran panas melalui proses konveksi bergantung pada perbedaan temperatur antara kulit dan udara yang berada di sekeliling tubuh serta gerakan aliran udara. Pertukaran panas melalui proses konveksi mempengaruhi sekitar 25% - 30% dari total proses pertukaran panas dalam tubuh manusia.

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)

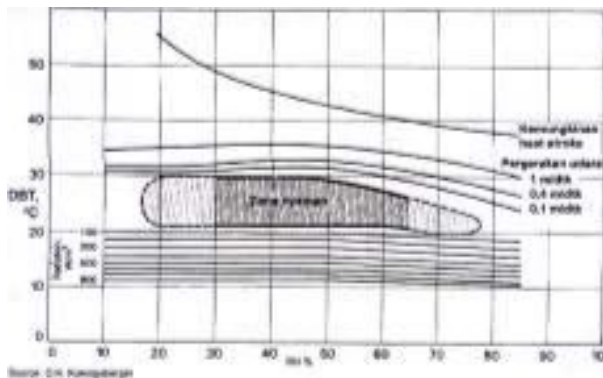
6. Metabolisme Tubuh

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 mendekatkan 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 estesisnya. Dari segi fungsi ekologisnya mampu mengurangi efek *urban heat island* sehingga menyejukan udara, mempunyai nilai isolasi yang tinggi, memperbaiki kualitas udara ketika tanaman menyerap CO_2 dan mengeluarkan O_2 , 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

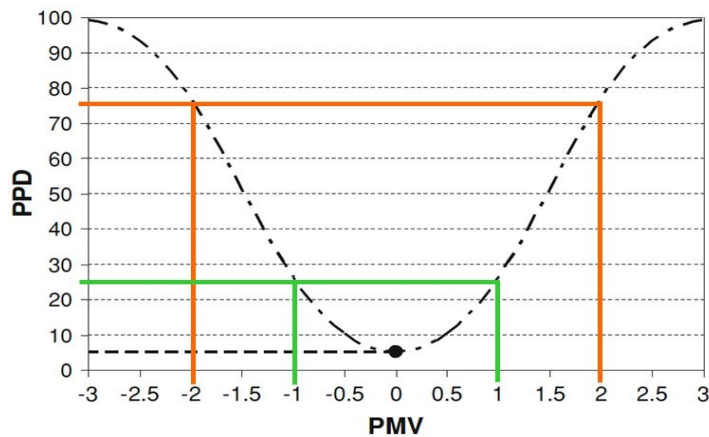
ASHRAE		Bedford		General Comfort		Mc Intyre
<i>Hot</i>	(3)	<i>Much Too Warm</i>	(7)	<i>Very Uncomfortable</i>	(3)	(7)
<i>Warm</i>	(2)	<i>Too Warm</i>	(6)	<i>Uncomfortable</i>	(2)	(6)
<i>Slightly Warm</i>	(1)	<i>Comfortably Warm</i>	(5)	<i>Comfortably Warm</i>	(1)	(5)
<i>Neutral</i>	(0)	<i>Comfortably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

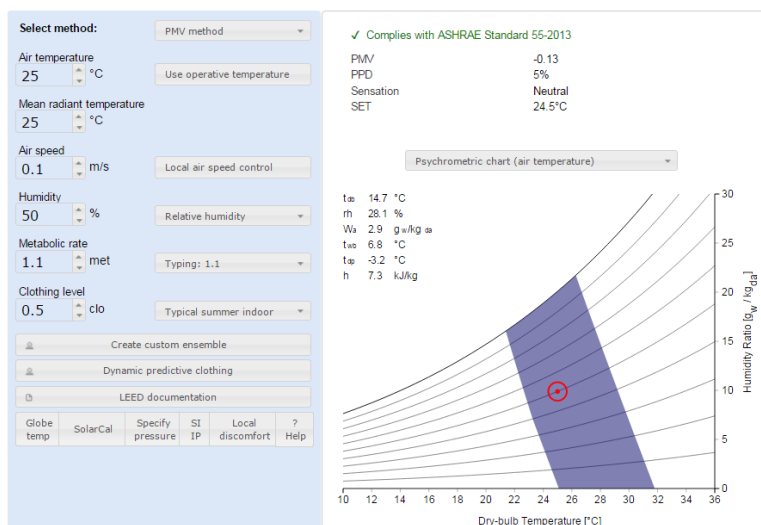


Gambar 2.3 Evolution of PPD on the basis of PMV

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

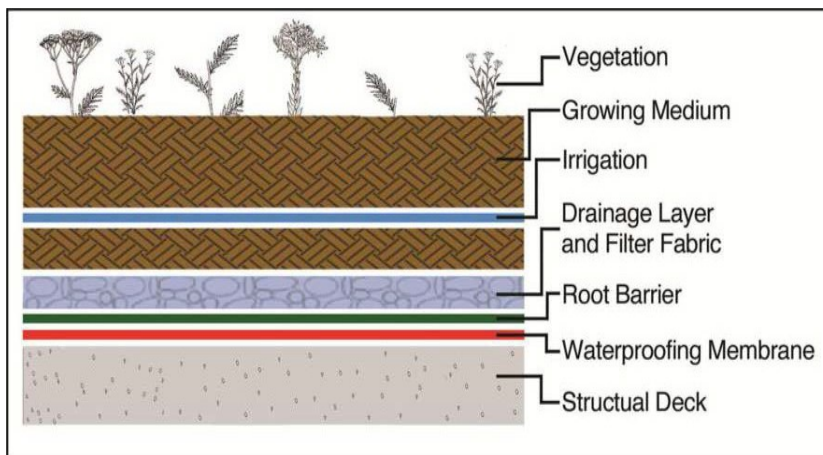
Pada grafik diatas dapat dilihat ketika skala PMV -3 atau 3, maka 100% pengguna tidak puas; Ketika skala PMV -2 atau 2, maka sekitar 75% pengguna tidak puas atau 25% puas; Ketika skala PMV -1 atau 1, maka sekitar 25% pengguna tidak puas atau sekitar 75% puas; Ketika skala PMV 0 (netral), maka sekitar 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 diperkotaan 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.

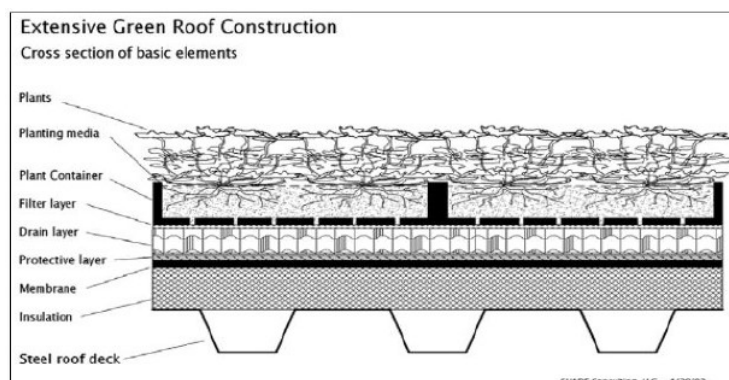
Keterbatasan lahan mendorong optimalisasi setiap lahan dan fungsi setiap ruang sehingga tidak ada ruang yang terbuang. Ketersediaan lahan hijau biasanya dikembangkan di halaman depan, samping, maupun belakang. Selain itu pengembangan lahan hijau dapat dijadikan selubung bangunan, salah satunya dengan 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: Christoper 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 $5.5^{\circ}\text{C} - 7.8^{\circ}\text{C}$ 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.

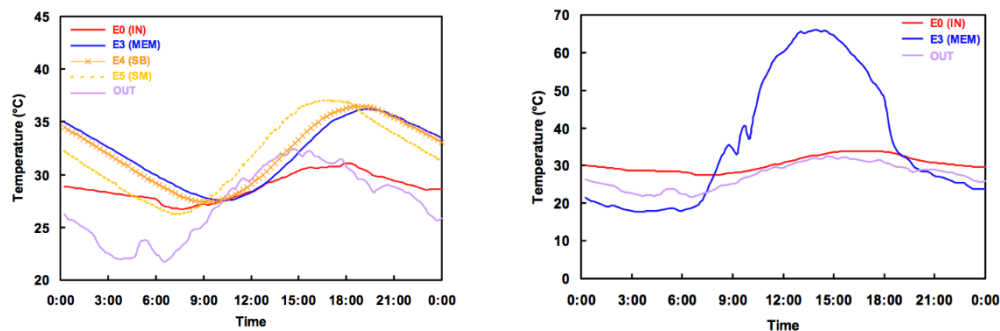
1. Pohon: batang berkayu, percabangan jauh dari tanah, berakar dalam, dan tinggi diatas 3m. Pepohonan yang berkanopi juga bisa digunakan sebagai tabir angin, dan bisa mengurangi vilositas angin, tapi juga pohon dapat digunakan sebagai lorong angin, untuk meningkatkan ventilasi di area tertentu.
2. Perdu: 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 pemanas 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 Minur 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 pustakaan sesuai dengan jenis perpustakaan yang bersangkutan serta dikelola menurut sistem tertentu untuk kepentingan penggunaanya.

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-Value = Nilai ketahanan panas $m^2.K/W$

K = Konduktivitas termal $W/m.K$

D = Ketebalan material 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 $W/m^2.K$. Untuk mencari nilai U dari setiap material dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana:

U-Value = Nilai transmitasi termal $W/m^2.K$

Rt = Total ketahanan termal material $W/m.K$

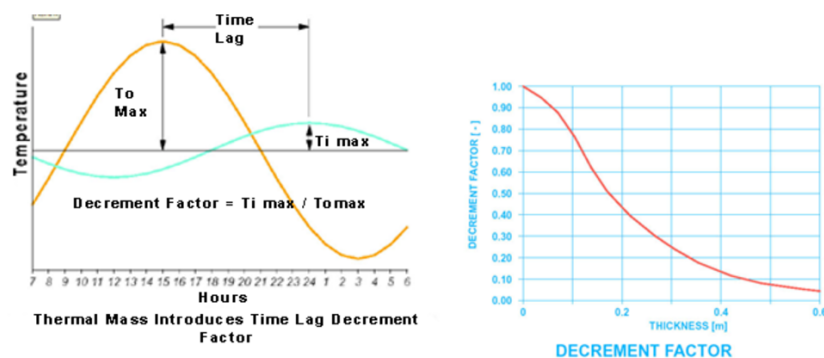
4. Solar Absorption

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. transmitasi 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.

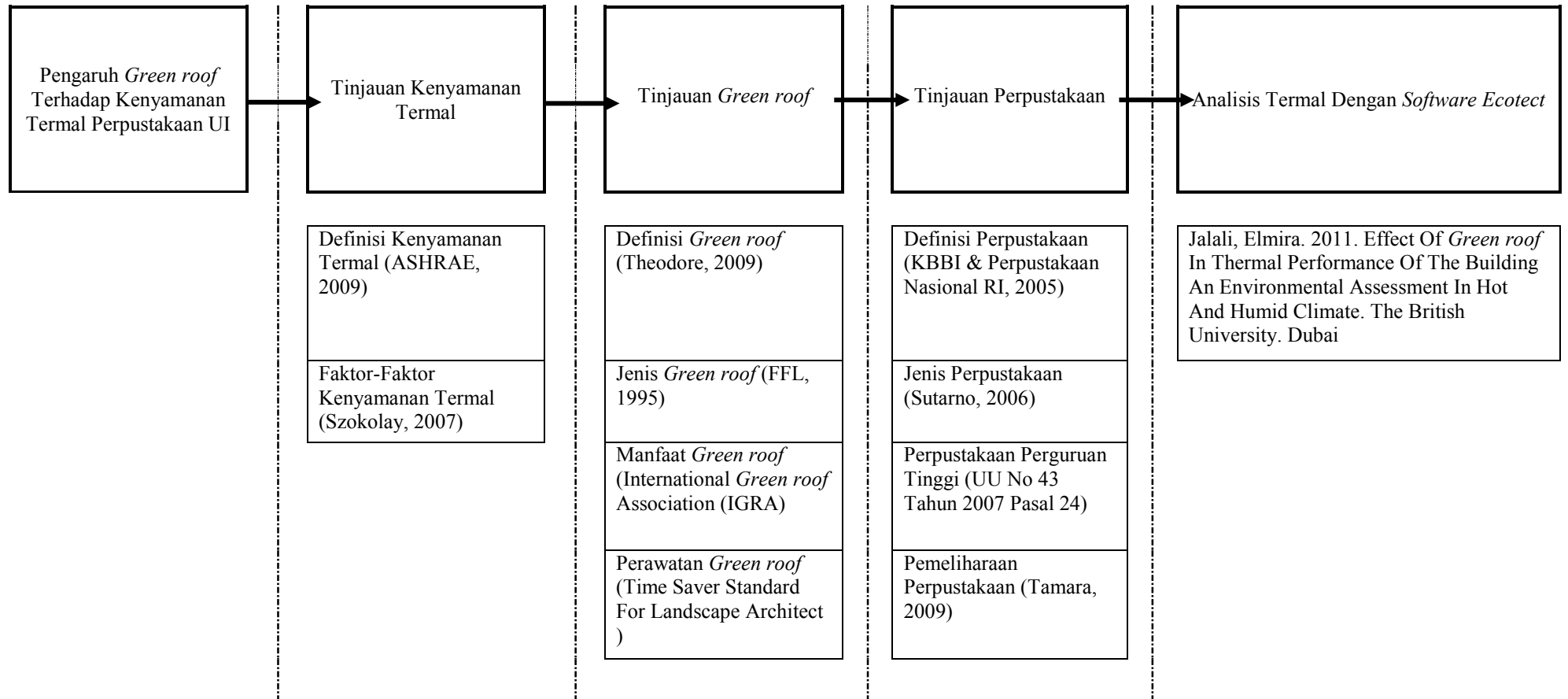
3. Proses Analisis

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 dilakukan 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> Terhadap Kestabilan Suhu dan Kelembaban Bangunan	Memberi pertimbangan dan membuka wawasan terhadap perancangan bangunan tinggi dengan menggunakan teknologi <i>green roof</i> .	Skripsi	Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas 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

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Metode deskriptif dilakukan dengan tujuan untuk menggambarkan secara sistematis fakta dan karakteristik kondisi eksisting objek yang diteliti. Metode ini digunakan saat melakukan tahap awal dalam penelitian, yaitu saat mengumpulkan dan memaparkan data tentang kondisi eksisting objek penelitian (Mardalis, 1999)

Menurut Sugiyono (2013), penelitian kuantitatif adalah metode pengolahan data yang berbentuk angka atau data kualitatif yang diangkakan. Jenis metode kuantitatif digunakan berdasarkan prosedur untuk mengukur variabel penelitiannya. Variabel pada penelitian ini terdiri dari 2 macam variabel yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel penyebab dilakukannya penelitian ini, yaitu *green roof*, temperatur udara, kelembaban udara, serta aktivitas dan insulasi pakaian yang digunakan responden.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel akibat yang merupakan hasil dari penelitian, yaitu kenyamanan termal yang dirasakan responden.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

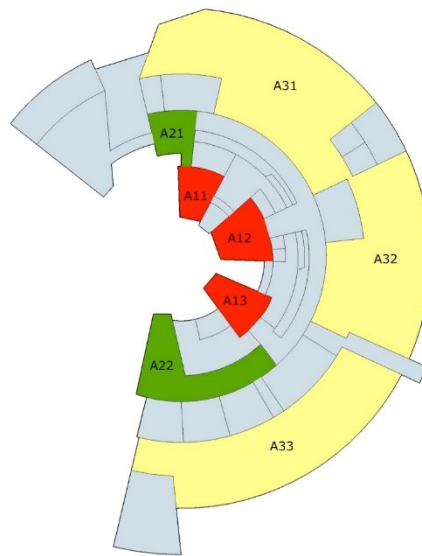
Penelitian ini dilaksanakan di perpustakaan pusat Universitas Indonesia (UI) yang berlokasi di dalam kampus baru UI, Depok. Penelitian ini dimulai pada bulan April – Juli 2017.

3.3 Populasi dan Sampel

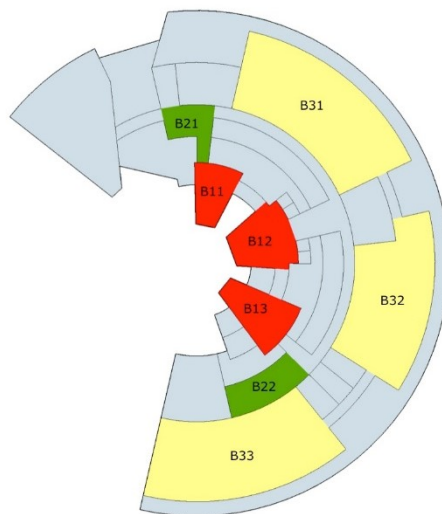
Populasi adalah keseluruhan dari objek penelitian. Populasi merupakan sasaran suatu penelitian untuk mengumpulkan dan mendapatkan data (Arikunto, 1997). Keterbatasan waktu yang ada membuat kurang efektif apabila mengamati keseluruhan individu yang menjadi sebuah populasi. Pemilihan sejumlah individu dari keseluruhan populasi disebut

sampling. Hasil *sampling* disebut sebagai sampel yang kemudian digunakan sebagai variabel penelitian ini.

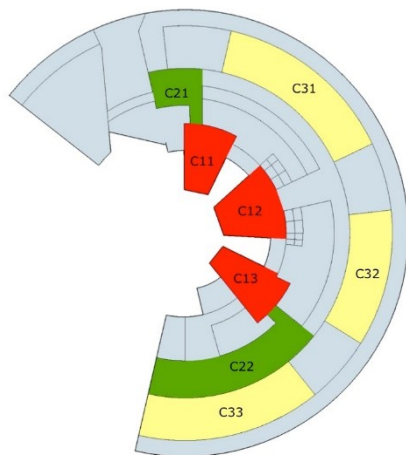
Populasi pada penelitian ini adalah seluruh ruang pada perpustakaan UI. Pemilihan sampel berdasarkan sampel yang memiliki tujuan dan dianggap dapat mewakili suatu populasi yang secara umum homogen (Sugiyono, 2006). Sampel pada penelitian ini adalah sampel ruang. Pemilihan sampel ini didasarkan pada ruang-ruang yang banyak digunakan oleh pengunjung perpustakaan dan dianggap dapat mewakili kenyamanan termal yang dirasakan oleh pengunjung. Ruang yang dipilih adalah ruang baca dan ruang diskusi yang terdapat pada lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan UI.



Gambar 3.2 Sampel ruang lantai 3



Gambar 3.1 Sampel ruang lantai 2



Gambar 3.3 Sampel ruang lantai 4

3.4 Langkah-Langkah Penelitian

Dalam melakukan suatu penelitian dibutuhkan langkah-langkah sistematis untuk mempermudah dalam pengerjaan penelitian. Berikut terdapat beberapa tahap yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, serta tahap analisis dan pembahasan.

3.4.1 Tahap Pendahuluan

1. Studi lapangan

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini adalah melakukan observasi langsung ke Perpustakaan Pusat Universitas Indonesia untuk mendapatkan gambaran sebenarnya mengenai objek yang akan diteliti. Studi lapangan bermanfaat bagi peneliti karena dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai permasalahan yang akan diteliti pada objek penelitian.

2. Studi literatur

Studi literatur yang dilakukan mencakup teori mengenai kenyamanan termal bangunan dan *green roof*. Sumber literatur bisa didapatkan melalui buku, jurnal, internet, maupun penelitian terdahulu yang berhubungan dengan teori yang akan digunakan.

3. Identifikasi masalah

Identifikasi masalah bertujuan untuk mencari permasalahan yang akan diteliti nantinya. Tahapan ini diterapkan dalam membuktikan fakta yang telah dituliskan di latar belakang sebagai awal penentuan pokok permasalahan. Permasalahan yang terdapat pada penelitian ini adalah adanya perubahan suhu dalam bangunan dan seberapa besar peran *green roof* dalam menanggapi perubahan suhu tersebut. Diperlukannya kajian terhadap hal

tersebut untuk melihat kondisi suhu dalam ruangan demi tercapainya kenyamanan bagi penggunanya.

4. Rumusan masalah

Setelah mengidentifikasi masalah, tahap selanjutnya merumuskan masalah. Rumusan masalah merupakan rincian dari permasalahan yang dikaji serta menunjukkan tujuan dari persoalan yang dikemukakan. Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal bangunan perpustakaan UI.

5. Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan-batasan yang perlu dalam pengolahan dan analisis selanjutnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal bangunan perpustakaan UI.

3.4.2 Tahap Pengumpulan Data

1. Data primer

Data primer merupakan data yang didapat langsung dari objek penelitian yang diamati di lokasi penelitian. Pada penelitian ini, data primer diperoleh melalui observasi dan penyebaran kuesioner.

a. Observasi

Observasi dilakukan untuk mendapatkan data primer yang berupa ukuran ruang baca dan ruang diskusi, data temperatur ruangan, data kelembaban *relatif*. Data tersebut diperlukan untuk mengevaluasi kenyamanan termal pada ruangan. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1
Alat dan Bahan

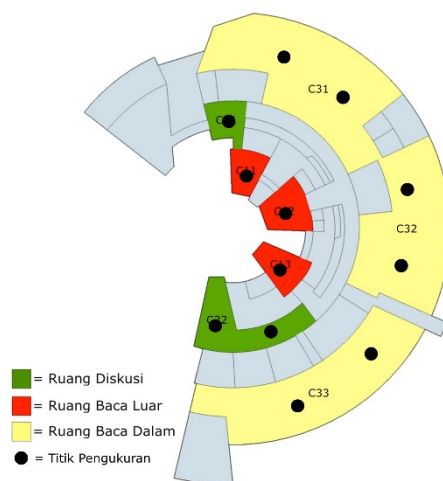
No.	Alat atau Bahan	Keterangan
1.	Alat Tulis dan Kertas	Berfungsi untuk mencatat hasil pengukuran
2.	Kamera	Digunakan untuk dokumentasi foto dan hasil pengukuran
3.	Meteran <i>Digital</i>	Digunakan untuk mengukur luas ruang
4.	<i>Thermo-hygrometer</i>	Digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban ruangan
5.	Denah Perpustakaan	Digunakan untuk menentukan titik ukur suhu dan kelembaban relatif ruang.

Pada saat melakukan observasi lapangan yang dilakukan adalah dokumentasi berupa foto yang memperlihatkan kondisi ruang baca dan ruang diskusi serta aktivitas yang dilakukan pengguna perpustakaan. Selain itu dilakukan pengukuran suhu,

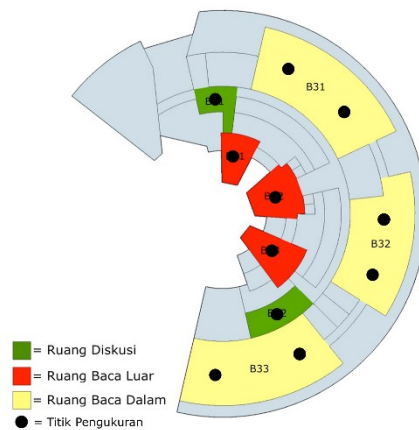
kelembaban, dan kecepatan angin pada ruang baca dan ruang diskusi yang berada di lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan pusat UI.

Pengukuran dilakukan 3 kali dalam sehari yaitu pada rentang waktu jam 09.00 – 10.00 WIB, jam 13.00-14.00, dan jam 16.00-17.00. Pengukuran tersebut dilakukan pada setiap ruang baca dan ruang diskusi yang terdapat di lantai 2, 3, dan 4. Waktu tersebut dipilih karena dapat mewakili suhu ruangan pada pagi, siang, maupun sore hari. Selain itu waktu tersebut sesuai dengan jam operasional perpustakaan.

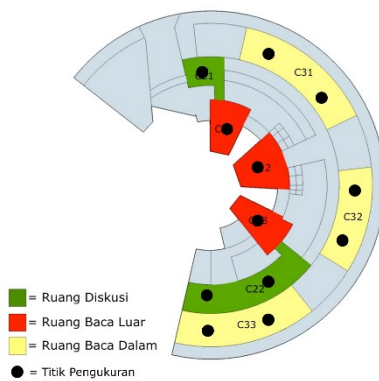
Pengukuran pada setiap lantai dilakukan pada setiap sampel ruang,. Pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, dan Gambar 3.6 dapat dilihat titik-titik yang merupakan titik pengukuran yang dilakukan pada lantai 2, 3, dan 4. Penentuan titik ukur dilakukan secara random dilihat dari luas ruangan yang akan diukur. Pengukuran suhu yang dilakukan sebanyak 3 kali dalam range waktu 1 jam untuk 3 lantai. Pengukuran yang dilakukan disetiap titik selama 1 menit untuk memastikan *thermo-hygrometer* sudah menyesuaikan dengan keadaan termal titik tersebut. Setelah dilakukan pengukuran, data yang didapat dicatat kedalam tabel pengukuran.



Gambar 3.4 Titik pengukuran lantai 2



Gambar 3.5 Titik pengukuran lantai 3



Gambar 3.6 Titik pengukuran lantai 4

b. Kuesioner

Penyebaran kuesioner dilakukan untuk mendapat data primer berupa persepsi termal yang dirasakan oleh pengguna perpustakaan. Kuesioner akan diberikan kepada pengguna perpustakaan yang sedang beraktivitas di ruang baca A, ruang diskusi, dan ruang baca B pada lantai 2, 3, dan 4. Kuesioner ini disusun berdasarkan faktor individu yang dapat mempengaruhi kenyamanan termal yang dirasakan oleh seseorang yaitu seperti usia, jenis kelamin, tinggi badan, dan berat badan. Penyebaran kuesioner dilakukan pada waktu yang bersamaan dengan dilakukannya pengukuran kondisi termal pada ruang tersebut. Selanjutnya kuesioner juga menanyakan pakaian yang sedang digunakan untuk nantinya dihitung menjadi nilai insulasi pakaian berdasarkan standar ASHRAE serta aktivitas yang sedang dilakukan di perpustakaan sebagai nilai metabolisme responden.

Penentuan jumlah responden menggunakan teknik *probability sampling* yaitu *proportionate statisfied random sampling* dengan menggunakan rumus Slovin

(Sugiyono, 2014). Besarnya sampel dalam penelitian ini ditentukan dengan rumus *slovin* sebagai berikut :

$$n = \frac{N}{1+N \cdot e^2}$$

Dimana :

n = jumlah sampel

N = Jumlah populasi

e = Tingkat kesalahan

Populasi yang terdapat pada penelitian ini adalah rata-rata total pengunjung perpustakaan pusat UI yaitu berjumlah 500 orang perharinya dan presisi yang ditetapkan atau tingkat signifikansi 0.05 maka besarnya sampel adalah :

$$n = \frac{500}{1 + 500 \times 0.05^2}$$

$$n = \frac{500}{1 + 500 \times 0.0025}$$

$$n = \frac{500}{2.25}$$

$$n = 222 \text{ responden}$$

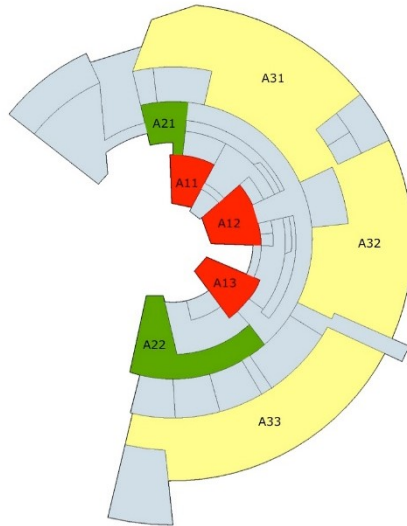
Jadi jumlah keseluruhan responden dalam penelitian ini adalah 222 orang. Untuk menentukan jumlah sampel per lantai maka menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Jumlah responden} = \frac{\text{jumlah sampel}}{\text{jumlah populasi}} \times \text{jumlah tiap orang per lantai}$$

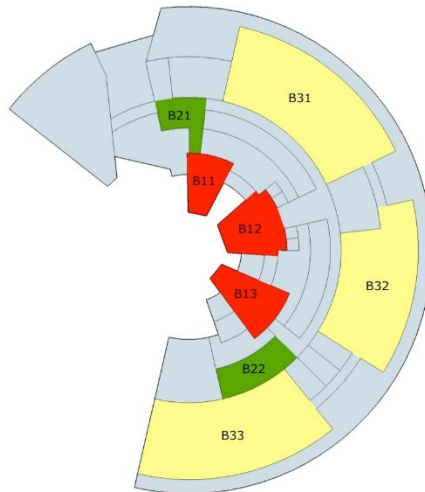
$$\text{Jumlah responden} = \frac{222}{500} \times 50$$

$$\text{Jumlah responden} = 20 \text{ orang}$$

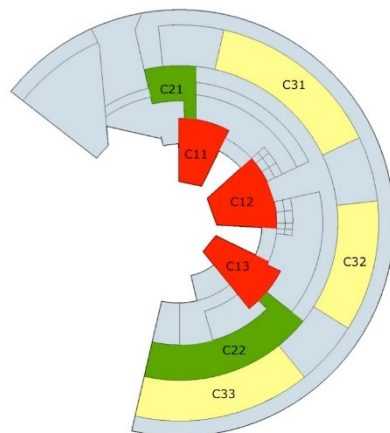
Maka setiap lantai akan diambil 20 responden sebagai sampel. Teknik penyebaran kuesioner dilakukan pada sampel ruang yang juga menjadi titik pengukuran temperatur. Penyebaran kuesioner dilakukan dengan membagikan kuesioner pada kelompok ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 2, lantai 3, dan lantai 4. Setiap ruang disebarkan kepada pada Gambar 3.7, Gambar 3.8, dan Gambar 3.9. hasil kuesioner ini kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar mudah dalam proses menganalisis data hasil penelitian.



Gambar 3.7 Titik penyebaran kuesioner lantai 2



Gambar 3.8 Titik penyebaran kuesioner lantai 3



Gambar 3.9 Titik penyebaran kuesioner lantai 4

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung, baik berupa data hasil pengolahan data primer maupun data yang didapatkan dari referensi berupa dokumen maupun arsip-arsip pengelola. Selain itu data sekunder dapat diperoleh melalui buku-buku, internet, dan artikel penunjang penelitian ini. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa profil perpustakaan Universitas Indonesia, denah bangunan, material bangunan, serta informasi detail mengenai lapisan-lapisan *green roof*.

3.4.3 Tahap Pengolahan Data

Data-data yang sudah diperoleh kemudian diolah dan dianalisis, adapun langkah pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Perekapan Hasil Kuesioner

Data yang diperoleh dari kuesioner yang sudah disebarakan kepada responden untuk mengetahui persepsi termal yang dirasakan oleh responden saat beraktivitas di perpustakaan kemudian disajikan dalam bentuk tabel. Sebelum data tersebut diolah lebih lanjut, dilakukan uji validitas dan reliabilitas dari kuesioner tersebut.

2. Perekapan Hasil Keadaan Termal Ruang

Data pengukuran termal yang dilakukan pada ruang baca dan ruang diskusi yang terdapat pada lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan kemudian disajikan dalam bentuk tabel agar mempermudah proses analisis yang dilakukan.

3. Perhitungan Nilai Insulasi Pakaian (*Clothing Insulation*)

Nilai insulasi pakaian ini nantinya akan digunakan dalam menghitung nilai PMV. Nilai insulasi pakaian didapatkan melalui kuesioner yang diberikan kepada responden. Responden diminta untuk mengisi kombinasi pakaian yang sedang digunakan saat beraktivitas di perpustakaan. Kemudian kombinasi pakaian tersebut dihitung menggunakan standar ASHRAE. Satuan untuk insulasi pakaian adalah *clo*.

4. Perhitungan Nilai Metabolisme Tubuh

Nilai metabolisme tubuh seseorang juga digunakan untuk menghitung nilai PMV. Nilai metabolisme tubuh diperoleh dari kuesioner yang menanyakan aktivitas yang sedang dilakukan di perpustakaan. Satuan untuk nilai metabolisme adalah *met*.

5. Membuat Model *Digital* / Simulasi

Ruang baca dan ruang diskusi yang menjadi fokus penelitian digambarkan dalam bentuk 3D mencakup bukaan-bukaan yang terdapat pada objek.

6. Melakukan Simulasi Menggunakan *Ecotect*

Setelah dibuat model *digital* dari ruang baca dan ruang diskusi, kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software ecotect* untuk mengetahui pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal ruang.

3.4.4 Tahap Analisis dan Pembahasan

Tahap analisis dan pembahasan dilakukan setelah semua tahap pengolahan data selesai. Analisis kuesioner dilakukan dengan menggunakan metode analisis regresi linear sederhana atau yang biasa disingkat SLR (*simple linear regression*). Regresi linear sederhana ini merupakan metode statistik yang biasa digunakan untuk menguji seberapa besar hubungan antara sebab dan akibat antara variabel penyebab (X) dengan variabel akibatnya (Y). Model persamaan regresi linear sederhana adalah:

$$Y = a + bX$$

Dimana:

Y = variabel akibat

X = variabel penyebab

a = konstanta

b = koefisien regresi (besaran respon yang ditimbulkan oleh penyebab)

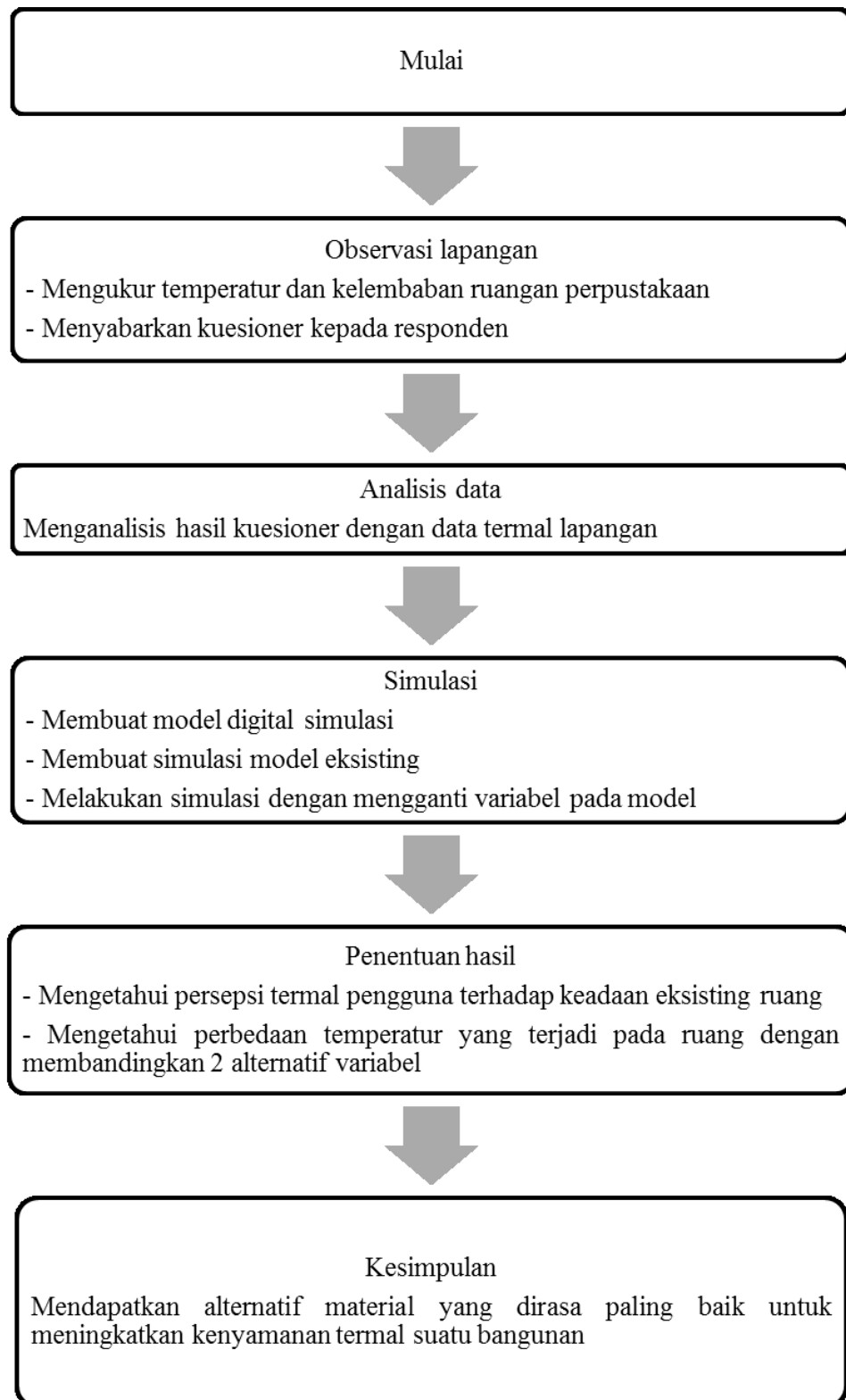
Analisis dan pembahasan dilakukan setelah melihat hasil perhitungan regresi linear sederhana yang dilakukan pada beberapa variabel X maupun variabel Y.

3.4.5 Tahap Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan tahap akhir dari penelitian ini. Kesimpulan merupakan ringkasan yang diperoleh dari hasil pada tahap pengumpulan, pengolahan, dan analisis yang mampu menjawab tujuan penelitian yang sudah ditetapkan. Saran berisi masukan yang ditujukan kepada berbagai pihak dalam menindaklanjuti penelitian ini.

3.5 Diagram Alur Penelitian

Diagram alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.10. Diagram ini menjelaskan bagaimana tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini. Diawali dengan munculnya permasalahan yang menjadi dasar penelitian ini hingga bagaimana penyelesaian yang dilakukan untuk memecahkan masalah tersebut.



Gambar 3.10 Diagram alur penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Iklim Lokasi Objek Penelitian

Kota Depok berada dalam posisi yang strategis karena terletak pada poros wilayah Jabodetabek (Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi). Secara geografis Kota Depok terletak pada koordinat $6^{\circ} 19' 00'' - 6^{\circ} 28' 00''$ Lintang Selatan dan $106^{\circ} 43' 00'' - 106^{\circ} 55' 30''$ Bujur Timur. Bentang alam Kota Depok dari selatan ke utara merupakan daerah dataran rendah - perbukitan bergelombang lemah, dengan elevasi antara 50 – 140 meter diatas permukaan laut dan kemiringan lerengnya kurang dari 15%.

Wilayah Depok termasuk kedalam daerah yang beriklim tropis dengan perbedaan curah hujan yang cukup kecil. Berdasarkan data yang diperoleh dari pemerintah kota Depok bahwa rata-rata suhu Kota Depok adalah $24,3^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban rata-rata 25%, kecepatan angin sebesar 14.5 knot, dan lama penyinaran matahari rata-rata adalah 49.8% (data pemkot Depok tahun 2016)

Wilayah kota Depok berbatasan dengan tiga kabupaten dan satu provinsi, antara lain:

- Sebelah utara : Kecamatan Ciputat Kabupaten Tangerang dan Wilayah DKI Jakarta
- Sebelah timur : Kecamatan Pondok Gede Kota Bekasi dan Kecamatan Gunung Putri Kabupaten Bogor
- Sebelah selatan : Kecamatan Cibinong dan Kecamatan Bojonggede, Kabupaten Bogor
- Sebelah barat : Kecamatan Parung dan Kecamatan Gunung Sindur, Kabupaten Bogor



Gambar 4.1 Lokasi objek penelitian

Lokasi objek penelitian berada di dalam kampus baru universitas Indonesia (UI) Depok. Objek penelitian adalah perpustakaan pusat UI. Pemilihan objek penelitian dilihat berdasarkan perpustakaan UI merupakan salah satu bangunan dengan konsep yang tanggap terhadap iklim.

4.2 Gambaran Umum Perpustakaan Universitas Indonesia

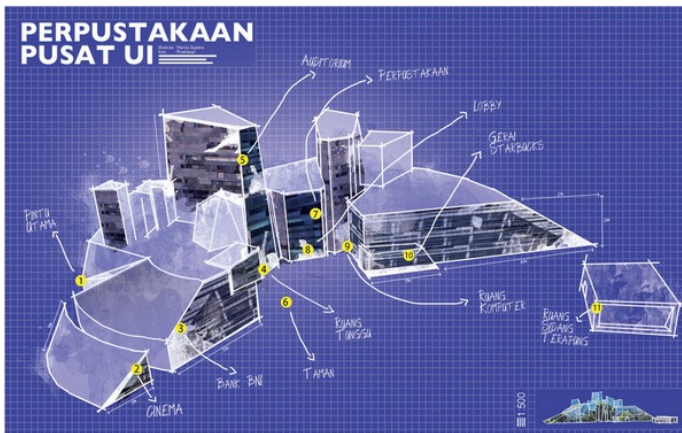
4.2.1 Penjelasan Objek Penelitian

Perpustakaan Universitas Indonesia (UI) atau yang diberi nama *The Crystal Knowledge* ini dibangun atas dasar filosofi bahwa perpustakaan UI adalah sebuah ruang publik yang paling terbuka dan demokratis bagi seluruh warga UI. Desain bangunan perpustakaan ini diambil dari model perpustakaan masa kini yang tidak hanya dilihat dari banyak koleksi bukunya saja, melainkan dari perilaku dan kebutuhan penggunaannya.

Perpustakaan UI merupakan salah satu unit pendukung utama kegiatan akademik yang berjalan di UI. Saat ini koleksi yang dimiliki sejumlah lebih dari 1.5 juta koleksi. Perpustakaan UI terus berusaha untuk menambah koleksi terbaru, mengembangkan sistem perpustakaan berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi, serta memberikan layanan prima kepada penggunaannya. Saat ini, perpustakaan UI merupakan salah satu perpustakaan rujukan bagi perguruan tinggi yang ada di Indonesia.



Gambar 4.2 Tampak perpustakaan Universitas Indonesia

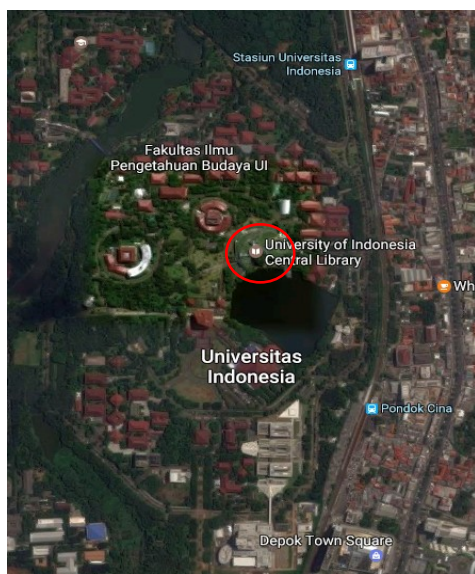


Gambar 4.3 Massa perpustakaan Universitas Indonesia

Bangunan perpustakaan ini memiliki luas sebesar 33.000 m² dengan luas tanah sebesar 2.5 Ha. Bangunan ini terbagi menjadi beberapa massa yaitu cinema, auditorium, retail, dan perpustakaan itu sendiri. Perpustakaan ini memiliki 8 lantai, dimana lantai 1-4 merupakan area publik sedangkan untuk lantai 5-8 merupakan area pengelola yang tidak bisa diakses oleh semua orang.

4.2.2 Kondisi Lingkungan

Perpustakaan UI berada didalam kawasan kampus baru UI Depok. Bangunan ini dikelilingi oleh bangunan-bangunan akademik yang ada di dalam lingkungan UI.



Gambar 4.4 Peta Universitas Indonesia

Batas-batas site perpustakaan UI adalah sebagai berikut:

1. Batas utara

Sebelah utara bangunan berbatasan dengan Fakultas Ilmu Komputer.

2. Batas timur

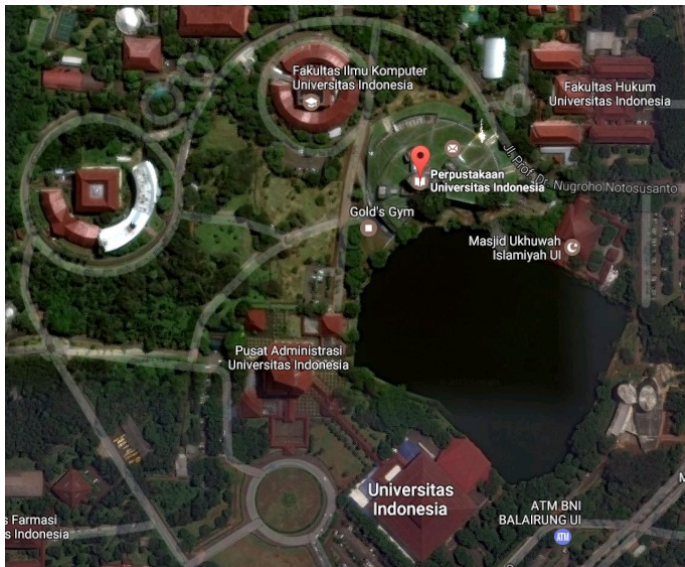
Sebelah timur berbatasan dengan masjid UI.

3. Batas selatan

Sebelah selatan berbatasan dengan Danau Kenanga.

4. Batas barat

Sebelah barat berbatasan dengan gedung Rektorat UI.



Gambar 4.5 Batas-batas site perpustakaan Universitas Indonesia

4.2.3 Konsep Perancangan Perpustakaan Universitas Indonesia

Desain awal perpustakaan UI ini diperoleh dari sayembara yang dimenangkan oleh PT Daya Cipta Mandiri (DCM) dengan mengambil filosofi sebuah prasasti. Prasasti merupakan batu tertulis yang dapat menyimpan catatan sejarah maupun peristiwa yang terjadi di masa lampau. Prasasti dapat menjadi sumber pengetahuan penting yang dapat disampaikan kepada generasi berikutnya. Pemikiran tentang filosofi prasasti yang dapat melestarikan alam dan pendidikan yang kemudian diterjemahkan secara arsitektural oleh arsitek dalam rancangan desain Perpustakaan Pusat Universitas Indonesia.



Gambar 4.6 Ide bentuk prasasti yang muncul

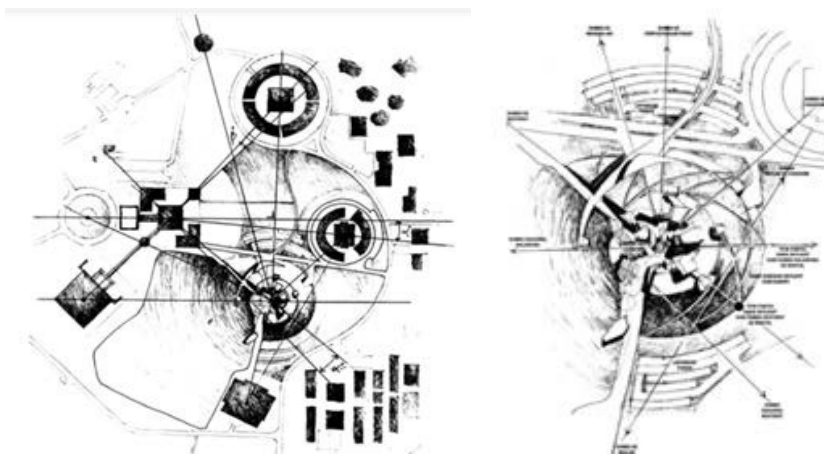
Sumber: CENTRAL LIBRARY UI_DCM GREEN UNIVERSITIES in Indonesia.pps



Gambar 4.7 Gubahan massa

Sumber: CENTRAL LIBRARY UI_DCM GREEN UNIVERSITIES in Indonesia.pps

Model yang menghadirkan bangunan masa depan dengan mengambil sisi danau sebagai orientasi perancangannya. Analogi prasasti ini ditampilkan melalui konfigurasi bangunan yang menyerupai batu hitam yang bermunculan diantara bukit hijau. Bukit itu sebenarnya adalah bangunan besar berlantai tiga melingkar dan atap miring yang landai dengan material penutup atap berupa rumput sehingga menyerupai bukit. Penggunaan bukit buatan sebagai potensi pemanfaatan konsep penghijauan, dengan pencahayaan alami yang diperoleh melalui *skylight*. Dibawah bukit buatan ini terdapat ruang-ruang perpustakaan beserta penunjangnya. Sedangkan untuk batu-batu prasasti yang muncul merupakan bangunan tinggi dengan beragam fungsi ruang yaitu ruang seminar, ruang pertemuan, dll.



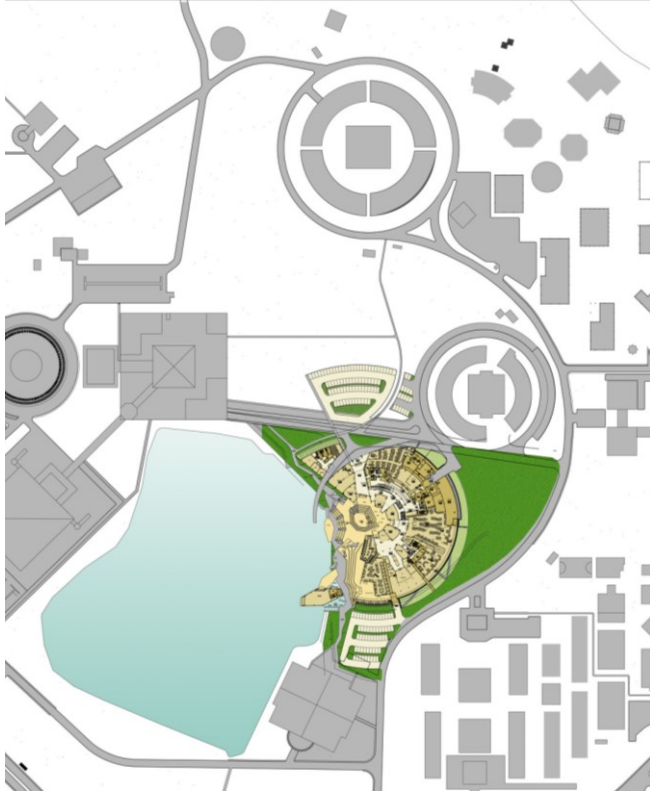
Gambar 4.8 Sketsa awal sumbu *skylight*

Sumber: CENTRAL LIBRARY UI_DCM GREEN UNIVERSITIES in Indonesia.pps

Penggunaan *skylight* pada atap bukit ini berfungsi untuk memasukan cahaya matahari kedalam ruang. *Skylight* disusun saling silang dengan bentuk garis-garis. Cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang menciptakan suasana yang alami. Untuk bangunan tinggi yang berpenampilan seperti batu menggunakan jendela sebagai pencahayaannya. Posisi jendela

yang digunakan tersembunyi di dalam bangunan, sehingga apabila melihat penampilan bangunan dari luar hanya terlihat seperti batu utuh yang berada diantara bukit hijau.

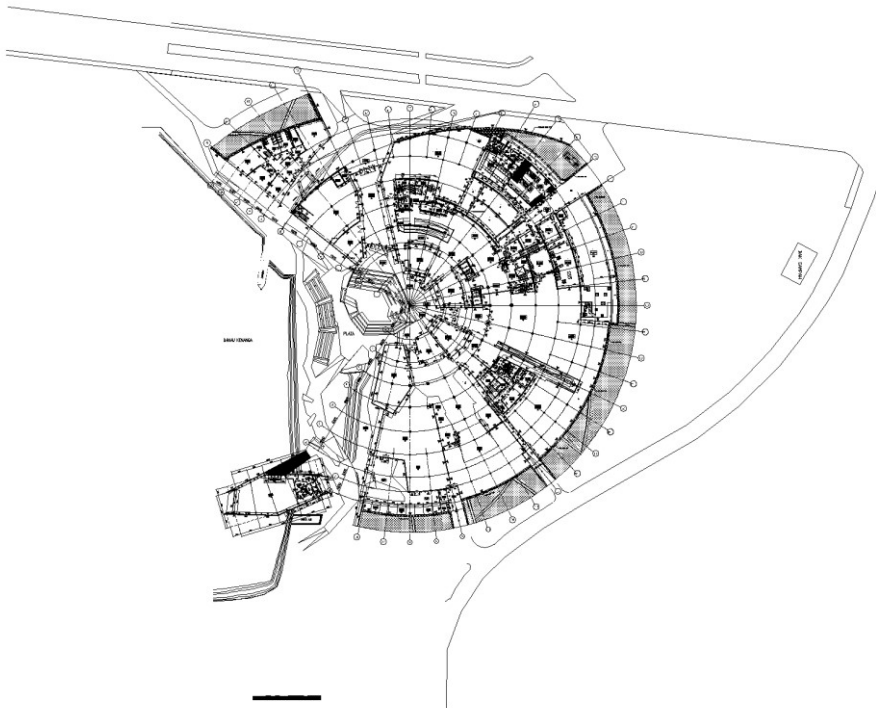
4.2.4 Denah, Potongan, dan Tampak Bangunan



Gambar 4.9 Siteplan perpustakaan UI

Bentuk bangunan perpustakaan UI ini jika dilihat dari denah, tampak, dan potongannya organisasi ruang bersifat terpusat. Pola sirkulasi ruang dalam suatu organisasi terpusat umumnya berbentuk radial.

1. Denah Lantai 1



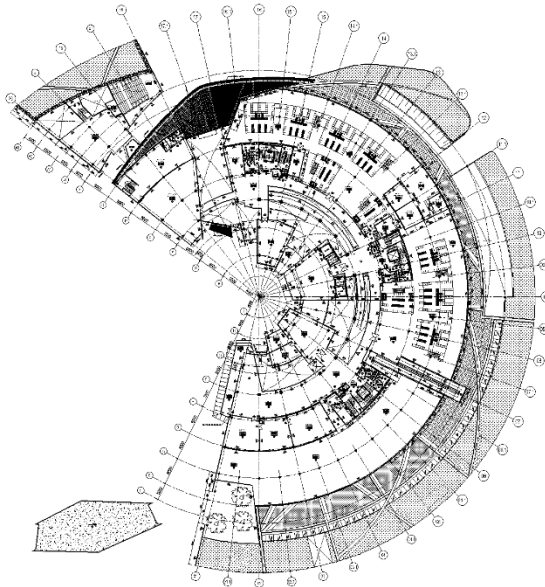
Gambar 4.10 Denah lantai 1

Lantai 1 perpustakaan UI merupakan area publik yang dapat diakses oleh semua orang baik seluruh *civitas* UI maupun umum. Pada lantai 1 terdapat pusat kegiatan dan bisnis mahasiswa berupa toko buku, toko cendera mata, ruang komputer, serta ruang musik dan teater. Selain itu ada restoran dan kafe, pusat kebugaran, ruang pertemuan, ruang pameran, dan bank. Fasilitas-fasilitas tersebut dapat digunakan oleh semua orang kecuali ruang komputer yang hanya bisa diakses oleh anggota *civitas* UI. Pada lantai ini terdapat pintu akses untuk masuk ke area koleksi yang berada di lantai 2. Untuk melewati pintu ini untuk *civitas* UI dapat menggunakan kartu tanda mahasiswa maupun nomor induk mahasiswa untuk masuk kedalamnya, apabila masyarakat umum yang ingin masuk dapat melakukan registrasi sebelumnya di meja informasi. Setelah melewati pintu akses tersebut akan menuju ruang loker. Untuk naik ke lantai 2 dapat menggunakan lift, tangga, dan *ramp*.

Bentuk penerapan bangunan tropis pada perpustakaan ini dapat dilihat pada penggunaan materialnya. Pintu masuk utama pada lantai 1 ini menggunakan pasangan batu andesit 60x60 yang bersifat batu marmer dingin sehingga efek panas dari luar dapat dikurangi dengan material ini. Interior bangunan perpustakaan ini juga menggunakan material lokal yaitu seperti penggunaan pada area restoran dan ruang komputer yang menggunakan lantai kayu. Dari dalam bangunan dapat dilihat cahaya masuk melalui

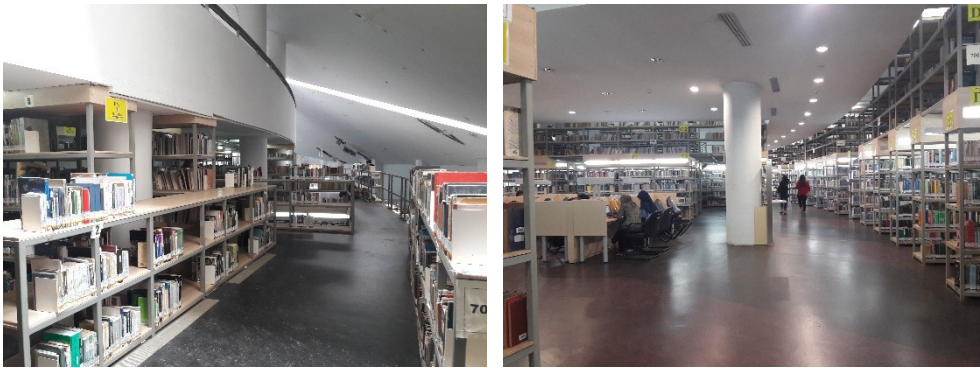
tempered glass 10mm bening yang dapat mengurangi pembiasan sehingga daya pantul dan cahaya yang masuk dapat berkurang, selain itu kaca ini juga dapat mengurangi kebisingan. Selain penggunaan material, terdapat *void* di area *lobby* sehingga memperlancar sirkulasi udara dalam bangunan.

2. Denah Lantai 2



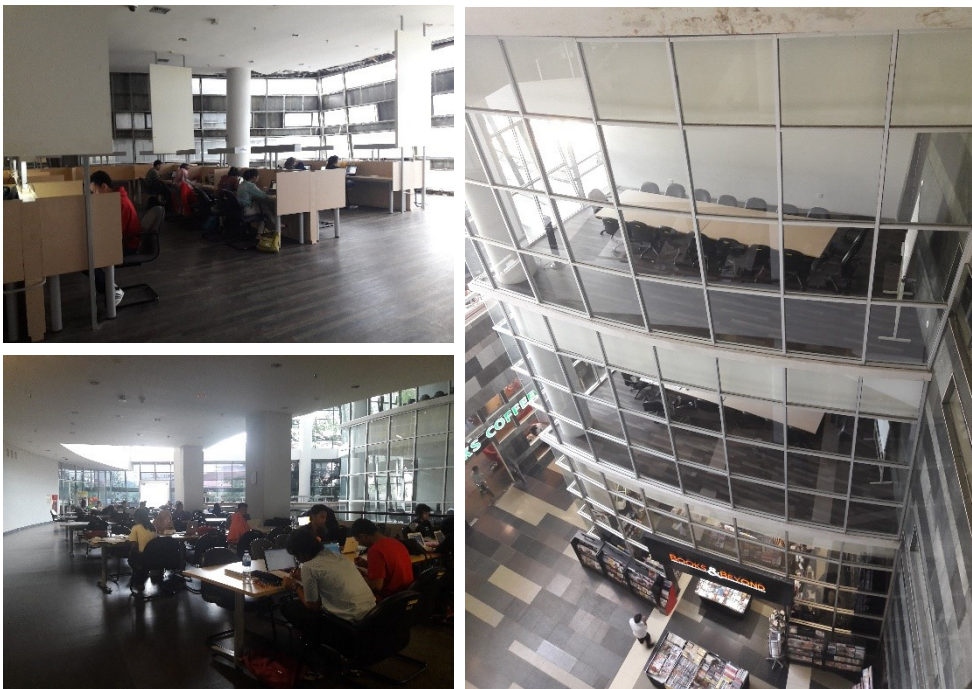
Gambar 4.11 Denah lantai 2 perpustakaan UI

Lantai 2 merupakan area semi publik, dimana yang dapat mengakses lantai ini hanyalah yang sudah melakukan registrasi apabila masyarakat umum dan mahasiswa UI maupun pengelola perpustakaan yang mempunyai kartu identitas. Pada lantai 2 terdapat ruang koleksi buku, ruang baca, ruang diskusi, dan ruang multimedia. Dalam ruang koleksi buku terdapat buku yang dikelompokkan sesuai dengan kategorinya. Untuk mempermudah pencarian buku disediakan komputer untuk mencari letak buku sesuai nomor rak yang tersedia. Proses mencari buku dapat melalui judul buku maupun penulis buku tersebut. Peminjaman buku untuk dibawa keluar perpustakaan dapat dilakukan bagi yang memiliki kartu identitas yang bertanda UI, dengan jangka waktu pinjam selama 2 minggu dari tanggal peminjaman. Pada ruang koleksi ini pencahayaan alami yang didapat melalui *skylight* yang berada pada *green roof*, namun masih ada beberapa sisi yang belum mendapatkan cahaya dari *skylight* sehingga masih menggunakan lampu sebagai bantuan pencahayaan buatan.



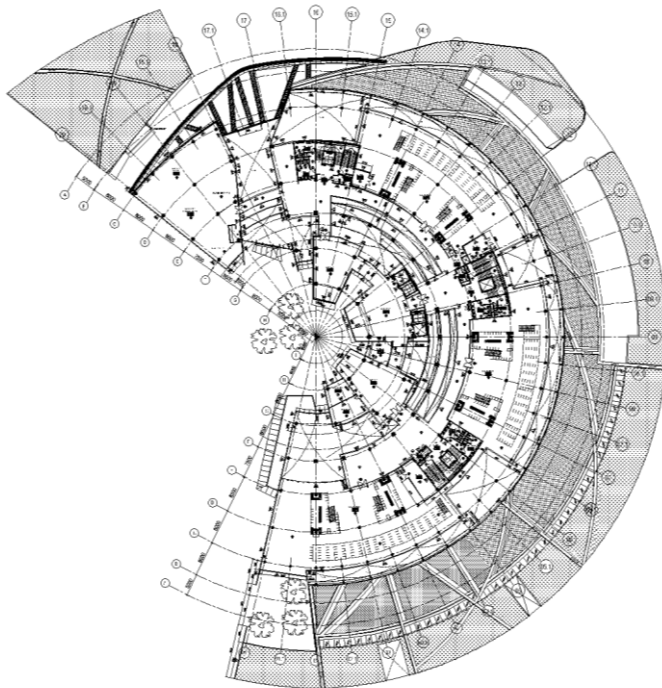
Gambar 4.12 Ruang koleksi dan ruang baca

Ruang diskusi yang terdapat di lantai 2 ini terbagi menjadi 2 lokasi yaitu ruang diskusi dalam dan ruang diskusi luar. Untuk ruang diskusi ini sudah terlihat sangat memanfaatkan pencahayaan alami baik yang di dalam maupun yang di luar. Hal tersebut terlihat dari adanya jendela yang cukup besar dan banyak.



Gambar 4.13 Ruang diskusi lantai 2 perpustakaan UI

3. Denah Lantai 3



Gambar 4.14 Denah lantai 3 perpustakaan UI

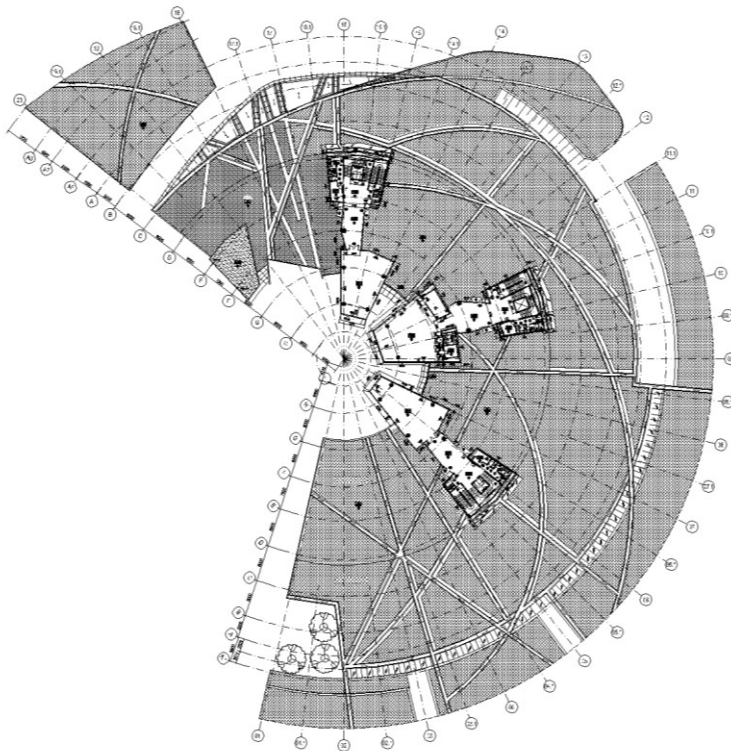
Lantai 3 merupakan lantai yang dilengkapi dengan fasilitas yang sama seperti lantai 2 yaitu berupa ruang koleksi, ruang baca, dan ruang diskusi. Namun berbeda dengan lantai 2, untuk ruang koleksi yang berada di lantai 3 ini diisi dengan koleksi tugas akhir mahasiswa UI, mulai dari skripsi maupun tesis. Pada ruang koleksi tugas akhir ini juga disediakan komputer untuk mempermudah pencarian nomor buku sesuai nomor rak yang sudah disediakan. Tugas akhir disusun berdasarkan kelompok skripsi atau tesis, kemudian dikelompokkan lagi sesuai dengan fakultas, dan diurutkan sesuai dengan tahun tugas akhir tersebut selesai. Tugas akhir tidak dapat dipinjam keluar ruangan koleksi namun para pembaca dapat memfotokopi halaman yang diperlukan.

Sama halnya seperti ruang koleksi dan ruang baca yang berada di lantai 2, ruang koleksi dan ruang baca di lantai 3 memanfaatkan *skylight* yang terdapat pada atap sebagai pencahayaan alaminya. Area tengah ruang ini digunakan sebagai area baca, namun pada area ini sudah menggunakan pencahayaan buatan berupa lampu. Bentuk atap miring yang landai hanya dapat menutupi sisi pinggir ruang saja sehingga sisi tengah ruang tidak mendapatkan cahaya langsung yang masuk dari *skylight*.



Gambar 4.15 Ruang koleksi dan ruang baca lantai 3 perpustakaan UI

4. Denah Lantai 4



Gambar 4.16 Denah perpustakaan UI lantai 4

Lantai 4 masih merupakan lantai yang dilengkapi dengan ruang-ruang penunjang aktivitas membaca maupun berdiskusi. Terdapat 2 ruang koleksi di lantai 4 ini, yaitu ruang koleksi yang berisi kumpulan jurnal dan buku sastra. Pada ruang koleksi di lantai 4 ini sudah tidak mendapatkan cahaya matahari yang masuk melalui *skylight*, sehingga pencahayaan yang digunakan hanya menggunakan pencahayaan buatan berupa lampu. Setiap ruang koleksi yang terdapat di lantai 2, 3, maupun 4 menggunakan kaca sebagai batas ruang antara ruang koleksi dengan sirkulasi. Untuk mempermudah pengunjung dalam mencari buku sesuai nomor rak dapat menggunakan komputer yang tersedia di area sirkulasi depan ruang koleksi. Pengunjung yang ingin masuk ke dalam ruang koleksi tidak boleh membawa tas namun diperbolehkan membawa tas yang bisa dipinjam saat menitipkan barang di ruang loker.



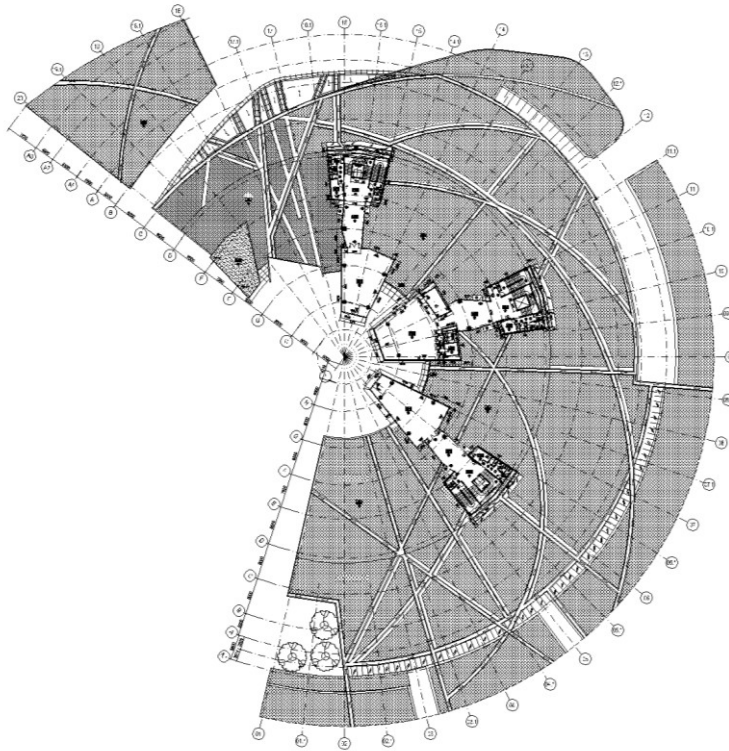
Gambar 4.17 Ruang koleksi lantai 4

Pada bagian ruang diskusi di lantai 4 masih sama seperti yang berada di lantai 2 dan 3. Penggunaan *tempered glass* 10mm masih diterapkan di sekeliling ruang diskusi sehingga cahaya dapat masuk ke dalam ruang.



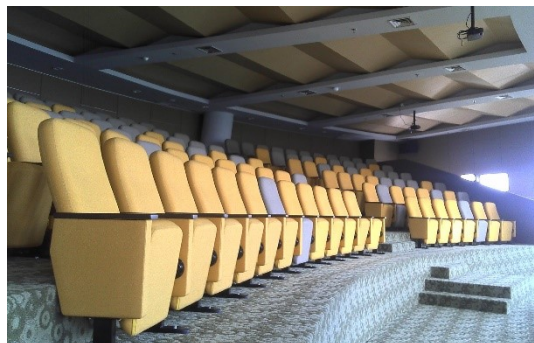
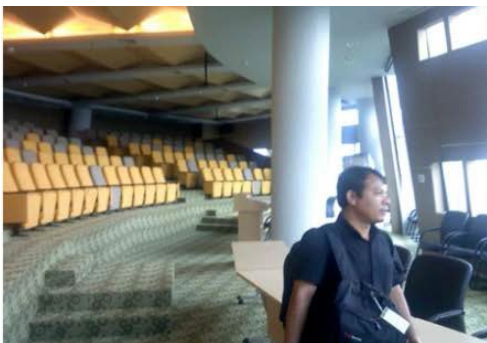
Gambar 4.18 Ruang diskusi lantai 4

5. Denah Lantai 5



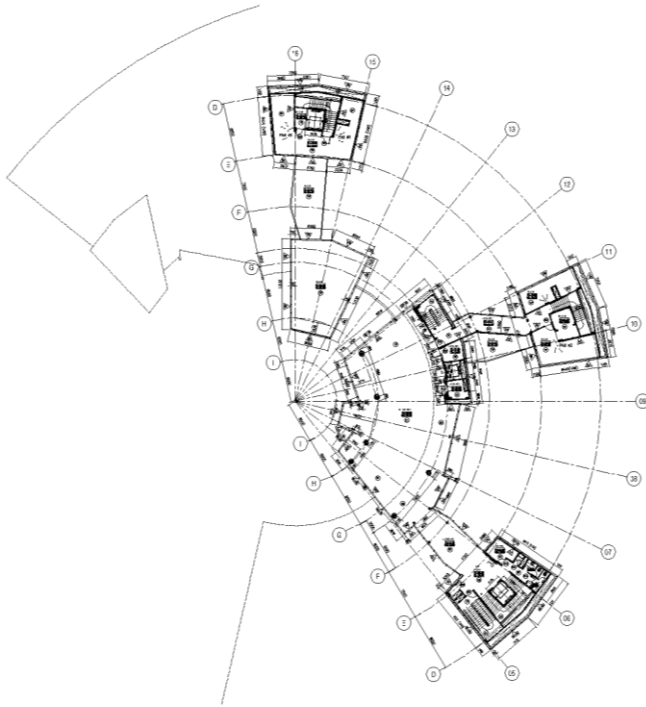
Gambar 4.19 Denah lantai 5 perpustakaan UI

Fungsi ruang yang terdapat pada lantai 5 berbeda dengan lantai 1-4, sudah tidak terdapat ruang koleksi dan ruang diskusi pada lantai ini. Lantai 5 merupakan area yang hanya dapat diakses oleh beberapa orang saja yaitu seperti pengelola perpustakaan dan orang-orang yang memiliki keperluan. Pada lantai ini terdapat ruang sidang dan lab komputer. Ruang sidang dengan luas 124.3 m² mampu menampung 70 – 80 orang. Ruang diskusi berada di sisi selatan bangunan dan memiliki bukaan yang dapat memasukan cahaya alami ke dalam ruang.



Gambar 4.20 Ruang sidang lantai 5

6. Denah Lantai 6

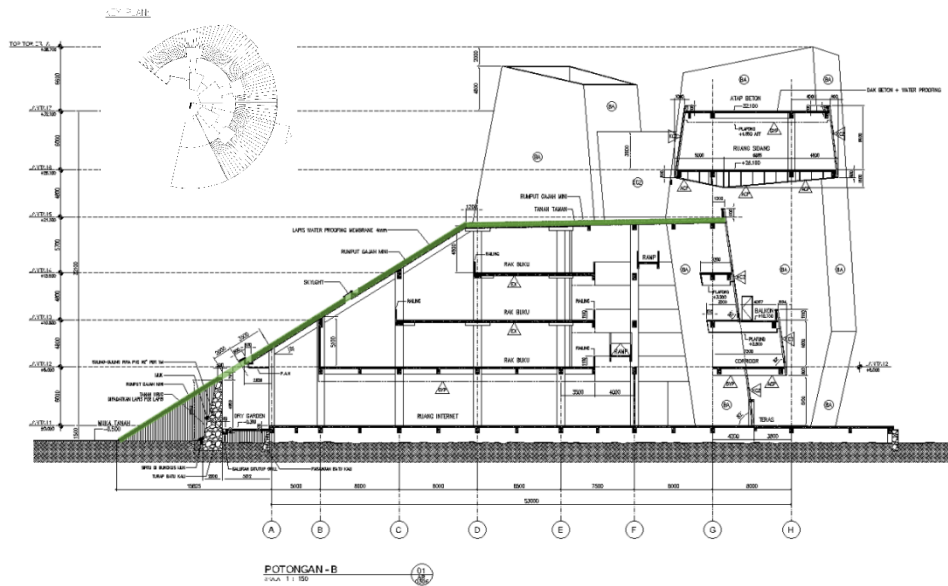


Gambar 4.21 Denah lantai 6 perpustakaan UI

Ruang yang berada pada lantai 6 memiliki fungsi ruang sebagai ruang auditorium dengan luas ruang yang lebih besar dibandingkan dengan ruang sidang pada lantai 5 yaitu sebesar 191.4 m², sehingga ruang auditorium ini mampu menampung hingga 200 orang. Ruang auditorium pada lantai ini juga memanfaatkan pencahayaan alami sebagai penerangan dalam ruang saat siang hari.



Gambar 4.22 Ruang auditorium lantai 6



Gambar 4.25 Potongan B bangunan

9. Tampak Bangunan

Bangunan perpustakaan UI memiliki tampak yang cukup berbeda apabila dilihat dari sisi selatan dengan sisi utara. Sisi utara bangunan perpustakaan ini menghadap ke gedung fakultas hukum dan fakultas ilmu komputer. Apabila bangunan perpustakaan ini dilihat dari sisi utara, yang terlihat adalah bangunan dengan penutup atap berupa *green roof*. Sehingga penampilan bangunan dari sisi utara seperti bukit hijau dengan bebatuan yang muncul pada area tengah bukit. Penggunaan *green roof* dan sedikit bukaan pada sisi utara disebabkan karena matahari panas berada di sisi utara.

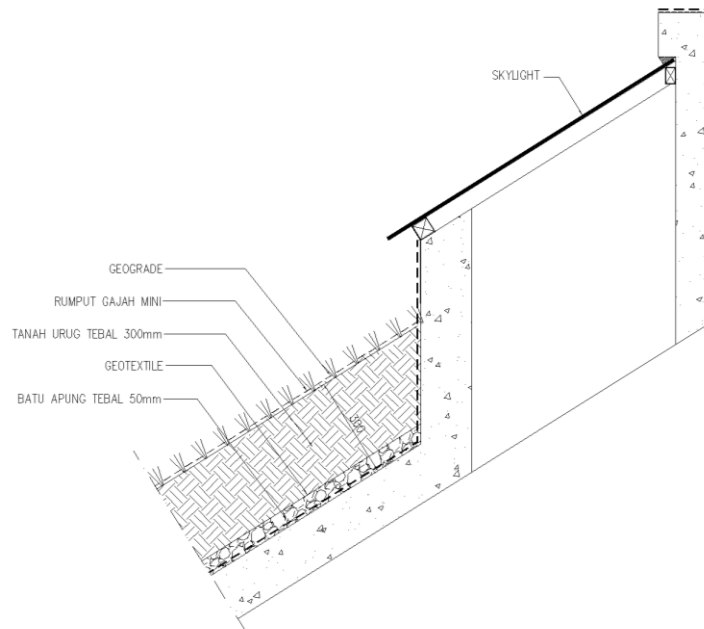


Gambar 4.26 Tampak utara perpustakaan

Sisi selatan bangunan perpustakaan ini menghadap ke danau kenanga dengan view gedung rektorat UI. Tampak sisi selatan cukup bertolak belakang dengan sisi utara. Penggunaan batu andesit sebagai penutup material dinding yang menambah estetika bangunan dan banyaknya bukaan berupa *curtain wall* dengan *tempered glass* 10mm dapat menjaga kelembaban udara di dalam. Danau kenanga sebagai view di sisi utara dapat

yang ketebalannya mencapai 300 mm dan lapisan *geotextile* yang terdapat pada *green roof* mampu menahan panas matahari mengenai beton penahan *green roof* sehingga udara panas sudah dikembalikan lagi ke udara sebelum memasuki ruangan.

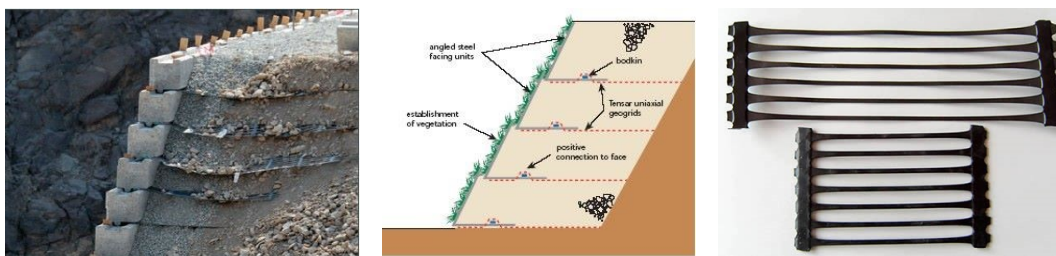
Material *green roof* perpustakaan Universitas Indonesia yaitu:



Gambar 4.29 Detail *green roof*

1. Geograde

Geogrid adalah bahan Geosintetik yang berfungsi sebagai Perkuatan (*reinforcement*) dan Stabilisasi (*stabilization*). Pada *green roof* perpustakaan UI ini menggunakan jenis geogrid uniaxial yang berfungsi sebagai material perkuatan pada sistem konstruksi dinding penahan tanah (*Retaining Wall*) dan perkuatan lereng (*Slope reinforcement*).



Gambar 4.30 Geogrid uniaxial

2. Rumput Gajah Mini

Tanaman yang digunakan sebagai penutup atap dari perpustakaan UI ini adalah rumput gajah mini (*Pennisetum Purpureum Schamach*). Rumput gajah mini ini merupakan salah satu kategori tanaman penutup tanah (*Ground cover*). Tanaman ini memiliki karakteristik mempunyai daun yang panjang, cukup lebar, tumbuh di atas lapisan tanah,

dengan keadaan tanah yang cenderung lembab dan kuat tanpa pengairan yang cukup. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Retsa tahun 2012 menyatakan bahwa model *green roof* yang paling stabil dari sisi fluktuasi temperaturnya adalah model *green roof* dengan menggunakan tumbuhan rumput gajah mini. Karena karakter daunnya tidak tumbuh ke atas, melainkan menyamping, dan tahan cuaca, dari pola nya yang rapat dan pola tumbuh kesamping, rumput gajah mini cocok untuk menjadi pelindung pada penggunaan atap *green roof*, dan dapat menahan panas cahaya hingga 30% .



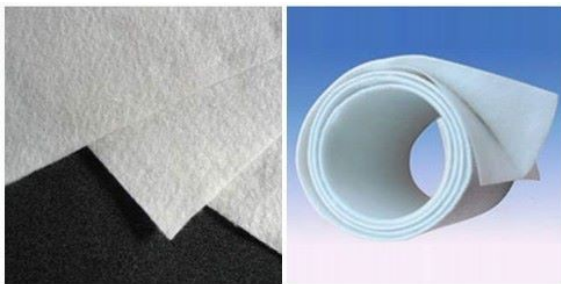
Gambar 4.31 Rumput gajah mini

3. Tanah Urug

Tanah urug dalam lapisan *green roof* ini merupakan lahan untuk menanam rumput gajah mini. Pasir / batu dapat digunakan untuk meratakan / meninggikan tanah urug tersebut. Pada perpustakaan UI ini tanah urug pada *green roof* mencapai ketebalan 300 mm.

4. Geotextile

Geotextile (Geotekstil / *Filter Fabrics*) adalah salah satu bahan *Geosynthetics* (Geosintetik) yang tembus air, yang dapat digunakan / berfungsi sebagai separator, *filter*, proteksi, dan perkuatan. Bahan dasar pembuatannya adalah *Polyesther* atau *Polypropyphilene*. Dalam perpustakaan UI penempatan lapisan *geotextile* tepat berada diatas batu apung, dan tepat dibawah tanah urug, lapisan *geotextile* menjadi pemisah diantara keduanya.



Gambar 4.32 Geotextile woven

5. Batu Apung



Gambar 4.33 Batu apung

Karakteristik batu apung adalah kedap suara, mudah dibentuk atau dipahat menjadi blok-blok yang berukuran besar, sehingga dapat mengurangi pelesteran. Selain itu batu apung juga tahan terhadap api, kondensi, jamur dan panas, serta cocok untuk akustik. Dalam sektor industri lain, batu apung digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*), pemoles/penggosok (*polishing*), pembersih (*cleaner*), *stonewashing*, abrasif, isolator temperatur tinggi dll. Dengan karakteristik batu apung yang mampu menjadi isolator panas maka dengan adanya material batu apung pada lapisan *green roof* ini dapat menurunkan suhu udara.

6. *Waterproofing* Membrane



Gambar 4.34 *Waterproofing* membrane

Waterproofing adalah sebuah lapisan kedap air yang biasa digunakan pada atap dak beton, GWT (*ground water tank*), STP (*Steward treatment Planning*), dinding *basement* dan sebagainya. Jenis *waterproofing* yang digunakan adalah jenis *membrane*. Jenis ini biasa digunakan pada atap dak beton. Lembaran tersebut terbuat dari bahan bitumen yang telah dimodifikasi resin khusus, penstabil dan antioksidan dan diperkuat dengan serat polyester tidak ditentukan (*non woven polyester fabric*) 200 gram/m² dengan tebal lembaran 3mm. Kelebihan dari *waterproofing* sistem *membrane* adalah tidak mudah terpengaruh cuaca dan suhu, aman digunakan di daerah terbuka, cepat dan praktis dalam pemasangan

pada daerah yang luas, dll. Pada perpustakaan UI penggunaan lembaran ini untuk menahan akar-akar tanaman serta mampu menahan panas masuk kedalam bangunan.

7. Cat Primer

Cat Primer adalah lapisan pertama yang dicat-kan pada permukaan bahan / *medium*. Fungsi cat primer ini adalah untuk memberikan daya lekat yang baik terhadap permukaan bahan, mampu memberikan daya lekat yang baik terhadap cat berikutnya, dan memberikan daya tahan yang baik terhadap karat.

8. Plat Lantai Miring Tebal 150mm

Plat lantai yang dimaksud adalah plat lantai yang tidak terletak di atas tanah langsung, jadi merupakan lantai tingkat. Plat lantai ini didukung oleh balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom bangunan. Fungsi dari plat lantai ini adalah untuk memisahkan ruang bawah dan ruang atas, sebagai tempat berpijak penghuni di lantai atas, untuk menempatkan kabel listrik dan lampu pada ruang bawah, meredam suara dari ruang atas maupun dari ruang bawah, dan menambah kekakuan bangunan pada arah horisontal.

4.2.6 Kondisi Termal Bangunan

Dilihat dari kondisi termal bangunan ini, ruangan-ruangan yang terdapat di dalam perpustakaan termasuk kedalam kategori panas. Hal ini diketahui dari hasil studi pustaka yang kemudian dibuktikan dengan melakukan pengukuran suhu ruangan dengan menggunakan *thermo-hygrometer* dan mendapat rata-rata suhu ruangan adalah 29°C-32°C dengan kelembaban rata-rata 56-70%. Rasa nyaman saat beraktivitas di dalam ruangan dapat diperoleh apabila suhu berkisar 23°C pada kelembaban 50% sampai 26°C pada kelembaban 70% (ASHRAE, 2004), sedangkan menurut rekomendasi SNI menyebutkan bahwa daerah kenyamanan suhu hangat untuk wilayah tropis adalah 25,8°C-27,1°C. Selain menurut hasil studi pustaka, rata-rata pengguna perpustakaan juga mengatakan bahwa ruangan tersebut termasuk kedalam kategori hangat. Hal ini diketahui melalui kuesioner yang disebar kepada pengguna perpustakaan sebagai respondennya.

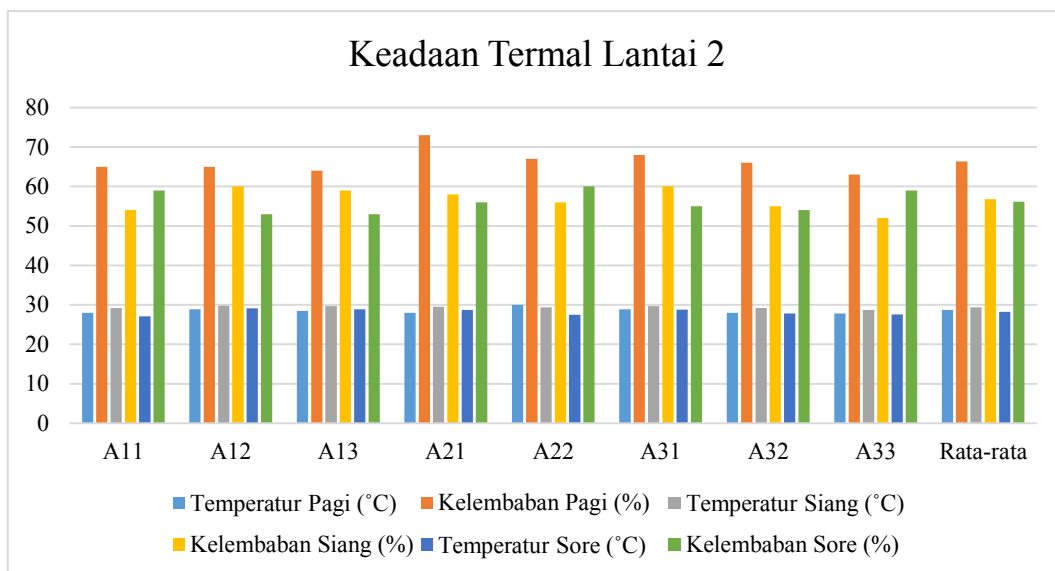
4.3 Perekapan Hasil Pengukuran Suhu dan Kelembaban

Hasil pengukuran suhu yang dilakukan pada perpustakaan disusun dalam sebuah tabel agar mempermudah proses pengolahan data tersebut. Data ini menunjukkan pengukuran suhu ruangan dan kelembaban udara yang dilakukan di lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 pada titik-titik yang sudah ditentukan dan dilakukan selama 3 waktu yaitu pada rentang pukul 9.00-10.00 WIB, 13.00-14.00 WIB, dan 16.00-17.00 WIB. Gambar 4.35 , Gambar 4.37 ,

dan Gambar 4.39 merupakan denah titik pengukuran suhu dan kelembaban ruang yang dilakukan pada lantai 2, lantai 3, dan lantai 4.



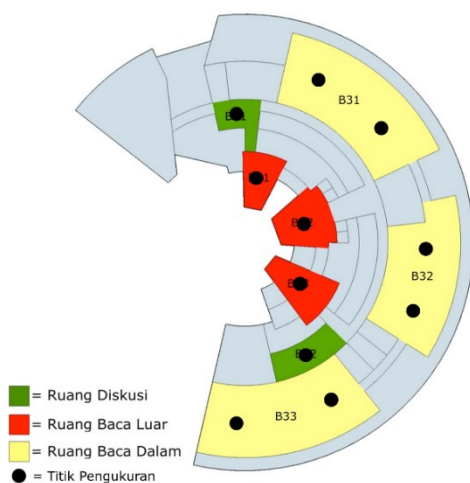
Gambar 4.35 Titik pengukuran lantai 2



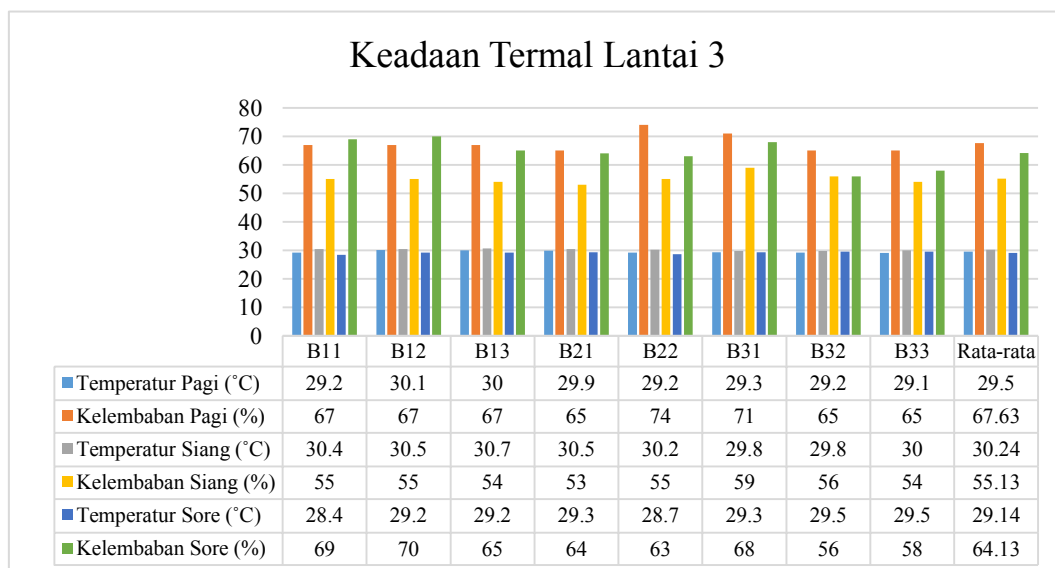
Gambar 4.36 Grafik keadaan termal ruang pada lantai 2

Pada gambar 4.36 dapat dilihat grafik yang menunjukkan keadaan termal yang terjadi di lantai 2 perpustakaan selama satu hari pada 3 waktu pengukuran yaitu pagi, siang, dan sore. Pada ruang A11 temperatur udara pada pagi hari sebesar 28.0°C, kemudian mengalami kenaikan suhu menjadi 29.2°C pada siang hari, dan pada sore hari suhu ruangan turun kembali menjadi 27.1°C. Hal yang sama juga terjadi di beberapa ruang. Sehingga jika diambil rata-rata suhu ruangan lantai 2 perpustakaan pada pagi hari adalah 28.6°C, pada siang hari adalah 29.3°C, dan pada sore hari adalah 28.3°C. Untuk kelembaban relatif juga diukur pada titik yang sama dengan waktu yang sama juga.

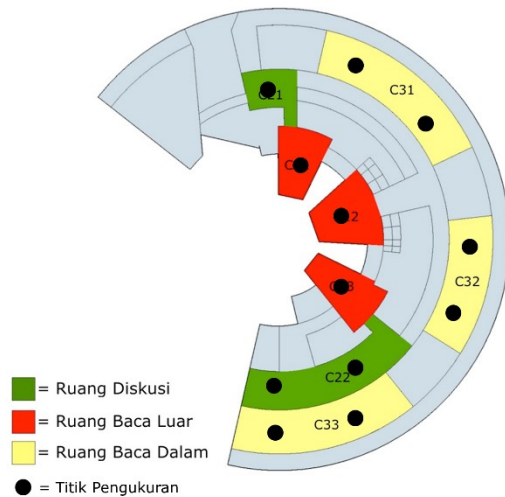
Sehingga rata-rata kelembaban dari ruangan dilantai 2 pada pagi hari adalah sebesar 66.4%, pada siang hari sebesar 56.8%, dan pada sore hari sebesar 56.1%.



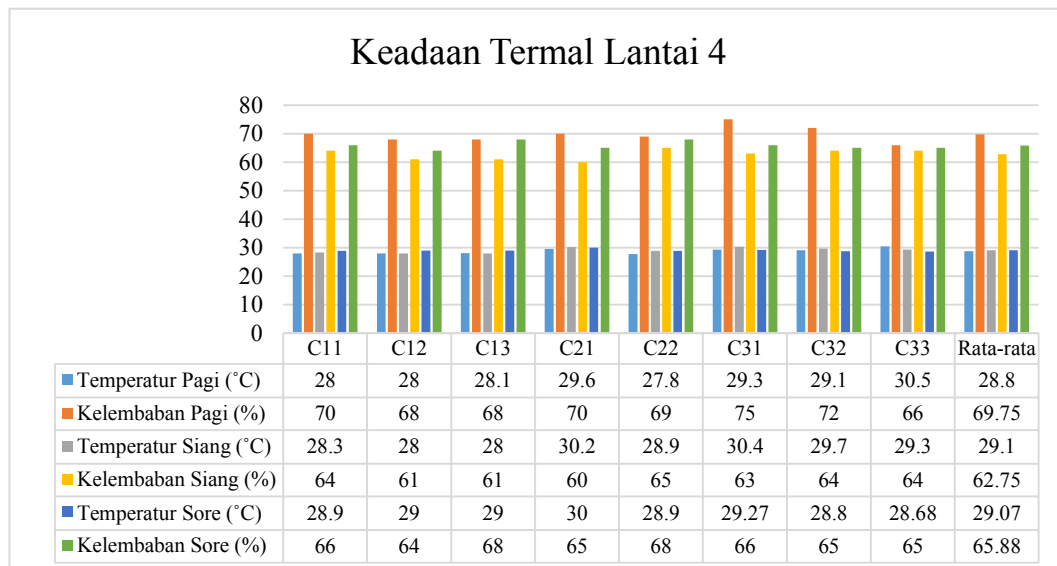
Gambar 4.37 Titik pengukuran lantai 3



Gambar 4.38 Grafik keadaan termal ruang pada lantai 3



Gambar 4.39 Titik pengukuran lantai 4



Gambar 4.40 Grafik keadaan termal ruang pada lantai 4

Pada gambar 4.38 dapat dilihat grafik yang menunjukkan keadaan termal yang terjadi di lantai 3 perpustakaan selama satu hari pada 3 waktu pengukuran yaitu pagi, siang, dan sore. Pada ruang B11 temperatur udara pada pagi hari sebesar 29.2°C, kemudian mengalami kenaikan suhu menjadi 30.4°C pada siang hari, dan pada sore hari suhu ruangan turun kembali menjadi 28.4°C. Hal yang sama juga terjadi di beberapa ruang. Sehingga jika diambil rata-rata suhu ruangan lantai 3 perpustakaan pada pagi hari adalah 29.5°C, pada siang hari adalah 30.2°C, dan pada sore hari adalah 29.2°C. Untuk kelembaban relatif juga diukur pada titik yang sama dengan waktu yang sama juga. Sehingga rata-rata kelembaban dari ruangan dilantai 3 pada pagi hari sebesar 67.6%, pada siang hari sebesar 55.1%, dan pada sore hari sebesar 64.1%.

Pada gambar 4.40 dapat dilihat grafik yang menunjukkan keadaan termal yang terjadi di lantai 3 perpustakaan selama satu hari pada 3 waktu pengukuran yaitu pagi, siang, dan

sore. Pada ruang C11 temperatur udara pada pagi hari sebesar 29.2°C, kemudian mengalami kenaikan suhu menjadi 30.4°C pada siang hari, dan pada sore hari suhu ruangan turun kembali menjadi 28.4°C. Hal yang sama juga terjadi di beberapa ruang. Sehingga jika diambil rata-rata suhu ruangan lantai 3 perpustakaan pada pagi hari adalah 29.4°C, pada siang hari adalah 30.2°C, dan pada sore hari adalah 29.2°C. Untuk kelembaban relatif juga diukur pada titik yang sama dengan waktu yang sama juga. Sehingga rata-rata kelembaban dari ruangan dilantai 3 pada pagi hari adalah sebesar 68.6%, pada siang hari sebesar 55.3%, dan pada sore hari sebesar 62.3%.

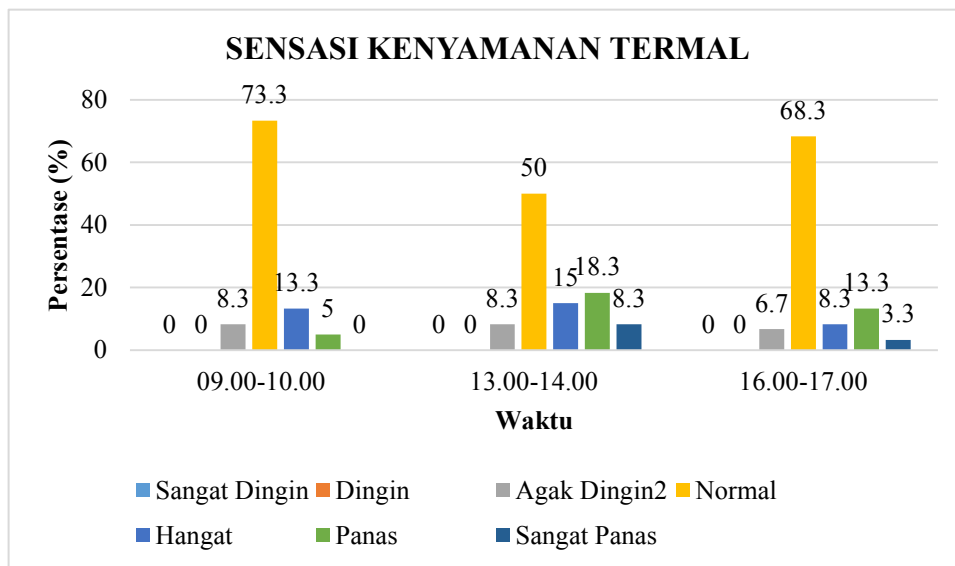
4.4 Perekapan Hasil Kuesioner

Kuesioner yang disebarakan kepada pengguna perpustakaan sebagai respondennya dilakukan untuk mengetahui bagaimana persepsi termal yang dirasakan, selain itu juga untuk mengetahui sejauh mana pengetahuan masyarakat mengenai *green roof* dan pengaruhnya terhadap kenyamanan termal ruangan. Bentuk kuesioner yang disebarakan dapat dilihat pada lampiran 1. Untuk identitas responden yang diisikan adalah berupa usia, jenis kelamin, tinggi badan, dan berat badan. Selain itu responden diminta untuk memilih kombinasi pakaian yang sedang digunakan saat mengisi kuesioner. Informasi tersebut nantinya akan dianalisis untuk mengetahui bagaimana pengaruh faktor setiap individu terhadap kenyamanan termal yang dirasakan. Terdapat 4 pertanyaan yang nantinya harus dijawab oleh responden. Pertanyaan tersebut dibuat untuk mengetahui bagaimana sensasi termal yang dirasakan oleh setiap responden dan kenyamanan yang dirasakan oleh responden. Hasil rekap kuesioner untuk lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 4.1
Rekap Identitas Responden

	Pertanyaan	Jumlah
a.	Jenis kelamin	
	Laki-laki	52
	Perempuan	127
b.	Usia	
	≤ 15 Tahun	3
	16 – 20 Tahun	86
	21 – 25 Tahun	84
	26 – 30 Tahun	4
	≥ 31 Tahun	3
c.	Nilai Rata-rata insulasi pakaian	0.7
d.	Nilai rata-rata metabolisme responden	1.2

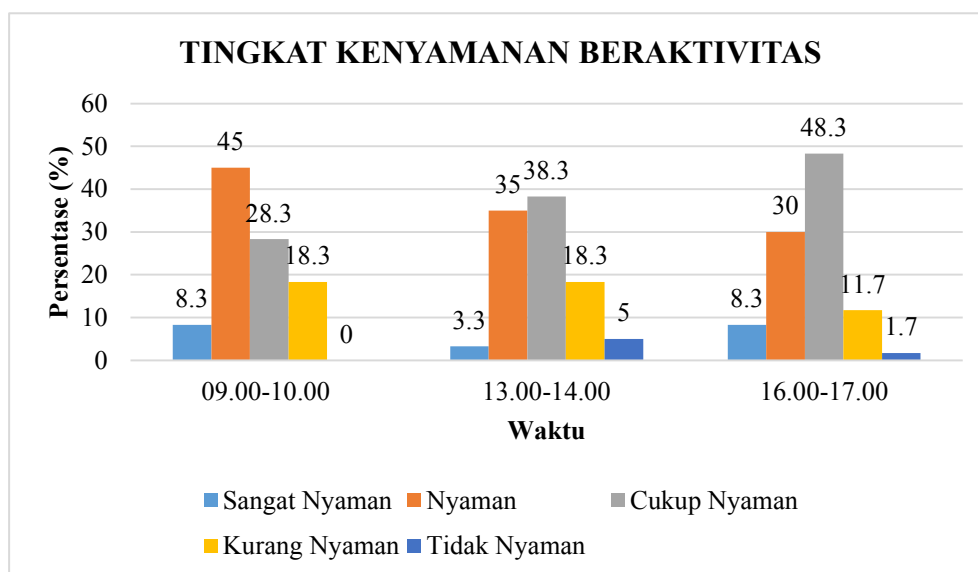
4.4.1 Sensasi Kenyamanan Termal Pengguna



Gambar 4.41 Grafik sensasi kenyamanan termal pengguna

Berdasarkan gambar 4.41, dapat dilihat sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna perpustakaan yang sedang beraktivitas di ruang baca maupun ruang diskusi. Mayoritas pengguna perpustakaan memberi tanggapan netral terhadap sensasi termal pada ruang ini, yaitu sebanyak 73% pada pukul 09.00-10.00 WIB, sebanyak 50% pada pukul 12.00-14.00 WIB, dan 80% pada pukul 16.00-17.00 WIB. Rata-rata suhu dan kelembaban ruang pada lantai 2 ini pada pukul 09.00-10.00 WIB adalah 28.6°C dan 66.7%. pada pukul 13.00-14.00 WIB adalah 29.4°C dan 61%. Pada pukul 16.00-17.00 WIB adalah 28.3°C dan 57%.

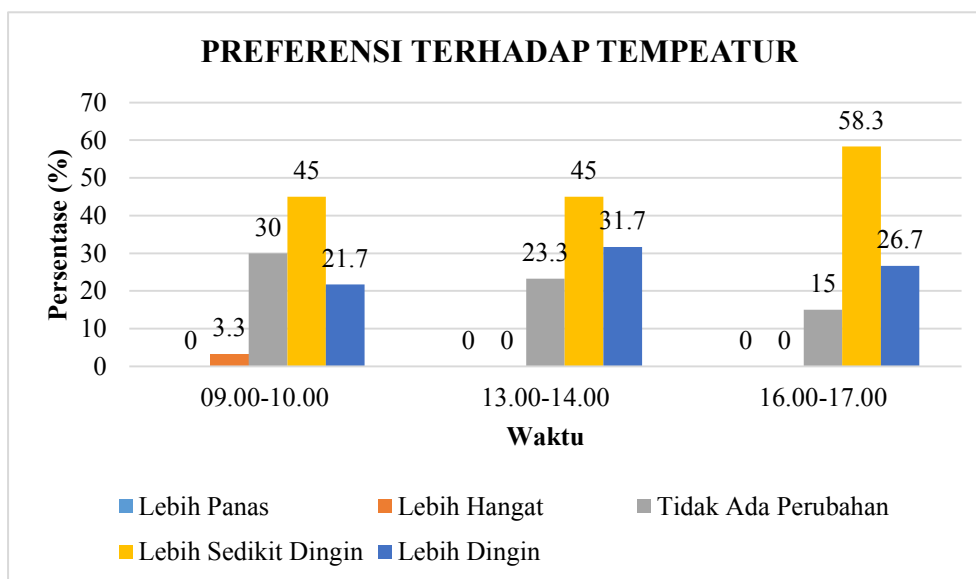
4.4.2 Tingkat Kenyamanan Pengguna



Gambar 4.42 Grafik tingkat kenyamanan pengguna saat beraktivitas

Tingkat kenyamanan pengguna saat beraktivitas di dalam ruang baca dan ruang diskusi dapat dilihat pada grafik kenyamanan diatas. Pada pukul 09.00-10.00 WIB sebanyak 45% yaitu sejumlah 27 pengguna merasa nyaman beraktivitas di perpustakaan dengan keadaan temperatur udara 29°C dan kelembaban udara pada ruang adalah 68.7%. Pada pukul 13.00-14.00 WIB sebanyak 38% yaitu sejumlah 23 pengguna merasa cukup nyaman beraktivitas di perpustakaan. Sebanyak 35% yaitu sejumlah 21 pengguna merasa sudah nyaman untuk beraktivitas di perpustakaan dengan keadaan temperatur udara 29.7°C dan kelembaban udara pada ruang adalah 58.3%. Sedangkan pada pukul 16.00-17.00 WIB sebanyak 48.3% yaitu sejumlah 29 pengguna merasa cukup nyaman beraktivitas di perpustakaan dengan keadaan temperatur udara 29°C dan kelembaban udara pada ruang adalah 61.8%. Pada gambar 4.42 dapat dilihat bahwa mayoritas pengguna perpustakaan pada pagi hari merasa nyaman untuk beraktivitas di perpustakaan, sedangkan pada siang hari menjelang sore hari mayoritas merasa cukup nyaman untuk beraktivitas di perpustakaan karena adanya kenaikan temperatur udara pada ruang.

4.4.3 Preferensi Pengguna Terhadap Temperatur



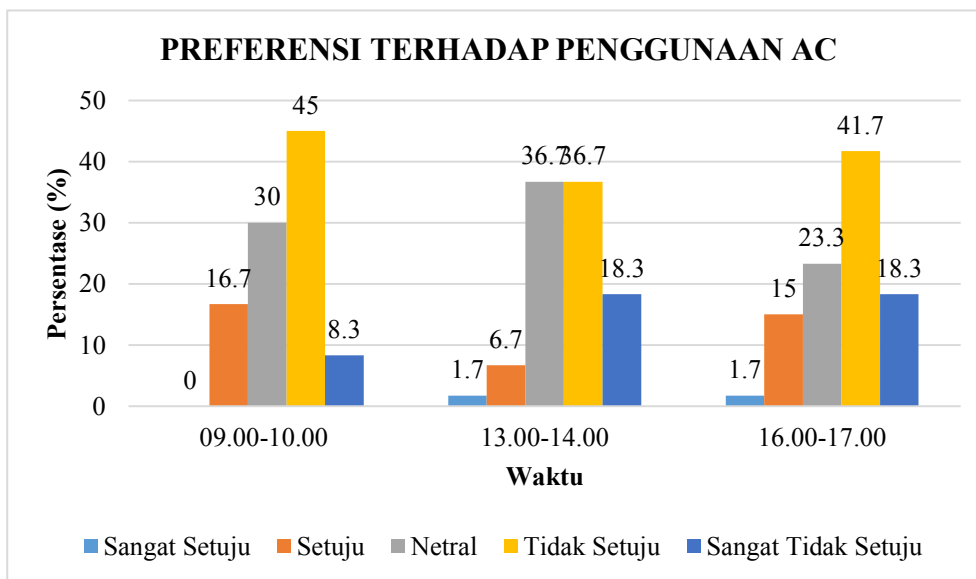
Gambar 4.43 Grafik preferensi pengguna terhadap temperatur ruang

Pada gambar 4.43 dapat dilihat bagaimana preferensi pengguna perpustakaan terhadap temperatur udara pada ruang baca dan ruang diskusi perpustakaan. Pada pukul 09.00-10.00 WIB dan 13.00-14.00 WIB sebanyak 45% yaitu 27 pengguna mengatakan temperatur ruangan menjadi sedikit lebih dingin dibandingkan temperatur awal yaitu sebesar 29°C. Preferensi tersebut juga dirasakan pengguna pada pukul 16.00-17.00 WIB sebanyak 58.3% sejumlah 35 pengguna. Dapat dilihat bahwa preferensi pengguna terhadap temperatur

udara dalam ruang diskusi maupun ruang baca perpustakaan mengatakan bahwa ingin lebih sedikit dingin baik pagi hari, siang hari, maupun sore hari.

4.4.4 Preferensi Pengguna terhadap Penggunaan AC

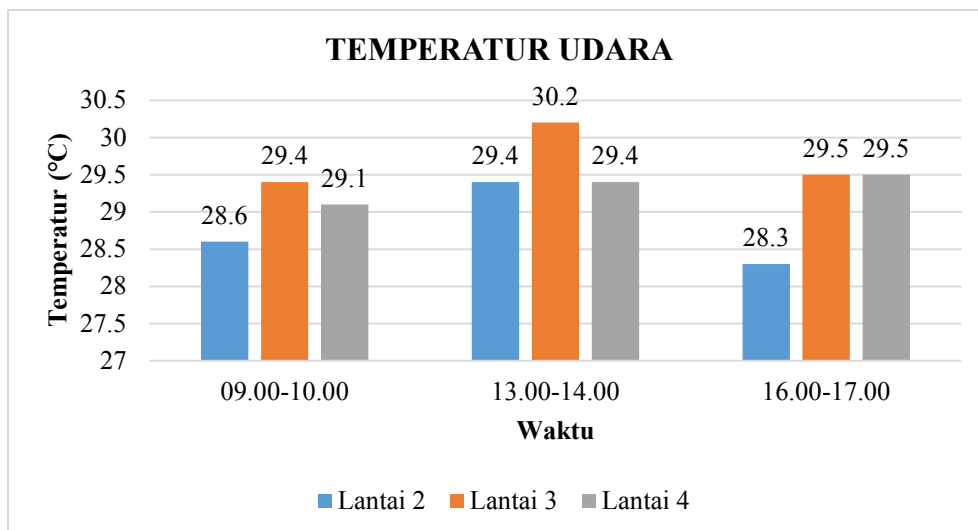
Preferensi pengguna terhadap penggunaan penghawaan buatan (AC) pada ruang diskusi dan ruang baca perpustakaan dapat dilihat pada Gambar 4.44. Dari ketiga waktu penyebaran kuesioner yang dilakukan mayoritas para pengguna perpustakaan mengatakan tidak setuju terhadap kondisi termal perpustakaan yang sudah baik tanpa menggunakan AC.



Gambar 4.44 Grafik preferensi pengguna terhadap penggunaan AC

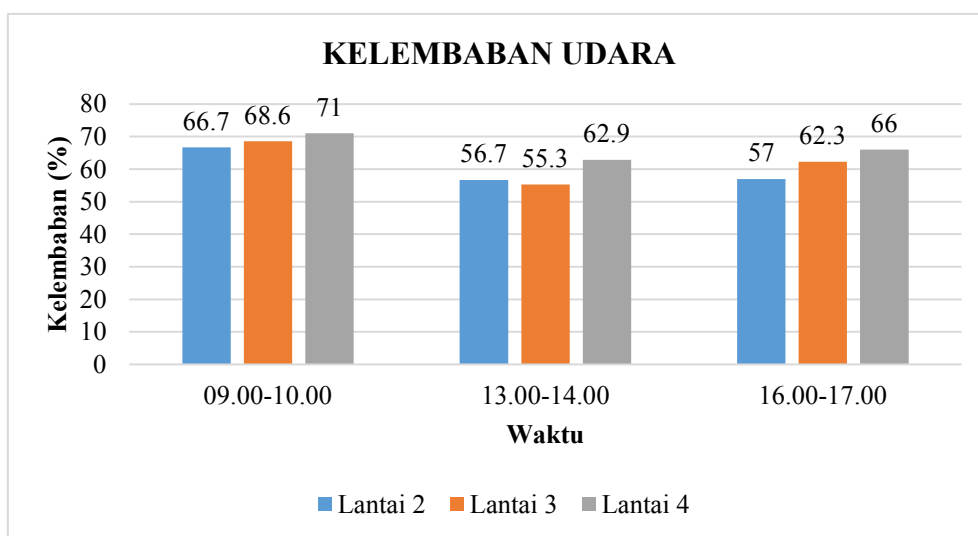
4.5 Pengolahan Data

Setelah memasukan data pengukuran keadaan termal kedalam tabel, data tersebut disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah proses analisis. Grafik ini dikelompokkan berdasarkan waktu pengukuran dan lantai pada perpustakaan UI. Gambar 4.45 merupakan grafik rata-rata temperatur udara pada setiap lantai dalam 3 waktu pengukuran. Sedangkan pada gambar 4.46 menunjukan grafik rata-rata kelembaban udara pada setiap lantai pada 3 waktu pengukuran.



Gambar 4.45 Grafik rata-rata pengukuran temperatur udara

Berdasarkan Gambar 4.45 dapat dilihat bahwa rata-rata temperatur udara paling tinggi pada pukul 09.00-10.00 WIB maupun 13.00-14.00 WIB terdapat pada lantai 3 yaitu 29.4°C dan 30.2°C. Sedangkan pada pukul 16.00-17.00 WIB rata-rata temperatur udara antara lantai 3 dan lantai 4 memiliki rata-rata temperatur yang sama yaitu 29.5°C.



Gambar 4.46 Grafik rata-rata pengukuran kelembaban udara

Berdasarkan Gambar 4.46 yang telah dilakukan terdapat pada lantai 4, yaitu sebesar 71% pada pukul 09.00-10.00 WIB, 62.9% pada pukul 13.00-14.00 WIB, dan 66% pada pukul 16.00-17.00.

4.5.1 Penilaian *Metabolic Rate* (Laju Metabolisme)

Dalam penelitian ini perhitungan laju metabolisme (met) didapatkan dari aktivitas yang dilakukan responden saat di perpustakaan. Aktivitas yang dilakukan cukup beragam, yaitu ada yang tidur, duduk sambil membaca, menulis, maupun mengetik. Kegiatan yang

dilakukan dari masing-masing responden diketahui saat mengisi kolom aktivitas yang sudah disediakan pada kuesioner. Tabel 4.2 merupakan nilai metabolisme yang dilakukan responden, sedangkan pada tabel 4.3 dapat dilihat rata-rata nilai met yang dilakukan oleh semua responden.

Tabel 4.2
Penilaian Laju Metabolisme

Aktivitas	Met
Tidur	0,7
Duduk, membaca	0,9
Duduk, menulis	1,0
Duduk, mengetik atau berbicara	1,2 - 1,4

Tabel 4.3
Output Laju Metabolisme SPSS 2.0

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
met	180	.70	1.40	1.1944	.23511
Valid N (listwise)	180				

Metabolisme tubuh adalah tingkat transformasi energi kimia menjadi panas dan mekanik kerja oleh aktivitas metabolik suatu organisme (ASHRAE, 2004). Metabolisme diukur dalam satuan Met ($1 \text{ Met} = 58.15 \text{ W/m}^2$). Berdasarkan perhitungan nilai rata-rata metabolisme responden adalah sebesar 1.2, sehingga laju metabolismenya adalah $1.2 \times 58.15 = 69.78 \text{ W/m}^2$.

4.5.2 Perhitungan Nilai Insulasi Pakaian (*Clothing Insulation*)

Nilai *Clothing Insulation* (Clo) didapatkan melalui perhitungan rata-rata antara nilai Clo laki-laki dan perempuan yang diambil berdasarkan data pakaian responden saat mengisi kuesioner. Rata-rata responden adalah mahasiswa, sehingga diasumsikan menggunakan pakaian standar perkuliahan seperti pada umumnya.

Berdasarkan data yang diperoleh dari kuesioner yang diisi oleh responden pada identitas dan kombinasi pakaian yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.3 yaitu penilaian clo dari responden laki-laki dan perempuan.

Tabel 4.4
Penilaian Clothing Insulation

Perempuan		Laki-laki	
Pakaian	Clo	Pakaian	Clo
Bra	0.01	Underwear	0.04
Underwear	0.03	Kaos oblong	0.08
Baju lengan pendek	0.19	Kemeja lengan pendek	0.19
Baju lengan panjang	0.25	Kemeja lengan panjang	0.25
Sweater/Jaket	0.36	Sweater/Jaket	0.36
Rok/Celana	0.23	Celana	0.23
Kaos kaki panjang	0.06	Kaos kaki panjang	0.06
Kaos kaki ankle	0.02	Kaos kaki ankle	0.02
Sepatu	0.02	Sepatu	0.02

(Sumber: ASHRAE (2005))

Berdasarkan perhitungan nilai clo dengan menggunakan SPSS 2.0 yang sudah dilakukan dalam menghitung rata-rata clo dari seluruh responden didapatkan sebesar 0.70 dengan nilai clo paling rendah adalah 0.32 dan paling tinggi adalah 1.13.

Tabel 4.5
Output Clothing Insulation SPSS 2.0

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
clo	180	.32	1.13	.7001	.14313
Valid N (listwise)	180				

4.5.3 Penentuan Standar Kenyamanan Termal

Terdapat beberapa referensi yang menyebutkan batas-batas untuk menentukan kenyamanan termal. Pada tabel 4.6 terdapat skala sensasi termal yang menentukan batas kenyamanan termal menurut standar ASHRAE. Batas netral sesuai standar itu sendiri apabila nilai *Predicted Mean Vote* (PMV) berkisar $-0.5 < PMV < +0.5$ dengan nilai PPD $< 10\%$. Namun untuk nilai PMV sebesar $-1 < PMV < +1$ dengan nilai PPD 25% dianggap masih memasuki batas nyaman walaupun bukan berada di batas netral, di mana PMV -1 berarti keadaan termal sedikit dingin, dan +1 berarti keadaan termal sedikit hangat.

Tabel 4.6
Skala Kenyamanan Termal

Skala ASHRAE	Nilai
Sangat Panas	+3
Panas	+2
Hangat	+1
Normal	0
Agak Dingin	-1
Dingin	-2
Sangat Dingin	-3

(sumber: ASHRAE)

Dalam penelitian ini menggunakan kuesioner untuk mengetahui bagaimana persepsi termal yang dirasakan oleh responden selama beraktivitas di perpustakaan. Kuesioner disebarkan kepada responden yang sedang beraktivitas di ruang diskusi maupun ruang

baca lantai 2, 3, dan 4. Kuesioner yang disebar perlu dilakukannya uji validitas dan reliabilitas. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS 2.0 dengan mengkorelasikan antaran jawaban setiap pertanyaan dengan total jawaban dari setiap responden. Hasil korelasi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7
Output Korelasi SPSS 2.0

		p1	p2	p3	p4	Total
p1	Pearson Correlation	1	.457**	.493**	.172*	.717**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.021	.000
	N	180	180	180	180	180
p2	Pearson Correlation	.457**	1	.330**	.212**	.692**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.004	.000
	N	180	180	180	180	180
p3	Pearson Correlation	.493**	.330**	1	.206**	.665**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000		.006	.000
	N	180	180	180	180	180
p4	Pearson Correlation	.172*	.212**	.206**	1	.594**
	Sig. (2-tailed)	.021	.004	.006		.000
	N	180	180	180	180	180
Total	Pearson Correlation	.717**	.692**	.665**	.594**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	
	N	180	180	180	180	180

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Dalam melakukan uji validitas kuesioner dilihat dari nilai *pearson correlation*-nya. Berdasarkan tabel r statistika untuk jumlah sampel 180 dengan signifikansi 5% maka nilai $df = 180 - 2$, $df = 178$. Untuk nilai $df = 178$ maka nilai r adalah 0.1463, sehingga apabila nilai *pearson correlation* lebih dari 0.1463 maka pertanyaan tersebut dikatakan valid. Dapat dilihat pada tabel 4.7 output dari SPSS 2.0 menunjukkan bahwa nilai *pearson correlation* dari pertanyaan 1 sampai pertanyaan 4 memiliki nilai lebih dari 0.1463, maka dari itu pertanyaan pada kuesioner ini dinyatakan valid. Setelah melakukan uji validitas dilakukan uji reliabilitas, tabel 4.8 menunjukkan hasil output uji reliabilitas.

Tabel 4.8
Output Uji Reliabilitas SPSS 2.0

Cronbach's Alpha	N of Items
.630	4

Kuesioner dapat dikatakan reliabel apabila nilai *Cronbach's Alpha* ≥ 0.6 (Riduwan, 2011). Dilihat dari tabel 4.8 bahwa nilai *Cronbach's Alpha* dari kuesioner yang disebarkan adalah 0.630, sehingga kuesioner ini dapat dikatakan reliabel.

Setelah dilakukan uji validitas dan uji reliabilitas yang menyatakan bahwa kuesioner tersebut valid dan reliabel, maka kuesioner dapat digunakan. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan nilai PMV dan PPD yang dilakukan berdasarkan kuesioner yang disebarakan kepada pengguna perpustakaan. Hasil perhitungan nilai PMV dan PPD perpustakaan UI dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9
Hasil Perhitungan Nilai PMV dan PPD dari Kuesioner

Waktu	Lantai	Sensasi Termal							PMV	PPD
		-3	-2	-1	0	1	2	3		
Pagi	2	0	2	4	7	5	2	0	0.05	20%
	3	0	2	0	10	5	3	0	0.35	25%
	4	0	0	4	10	2	4	0	0.30	20%
Siang	2	0	2	3	7	3	2	3	0.45	35%
	3	0	0	1	8	10	0	1	0.70	20%
	4	0	5	3	7	5	0	0	-0.40	25%
Sore	2	0	1	0	11	6	1	1	0.45	15%
	3	0	1	3	6	2	6	2	0.75	45%
	4	0	0	5	5	8	1	1	0.40	10%

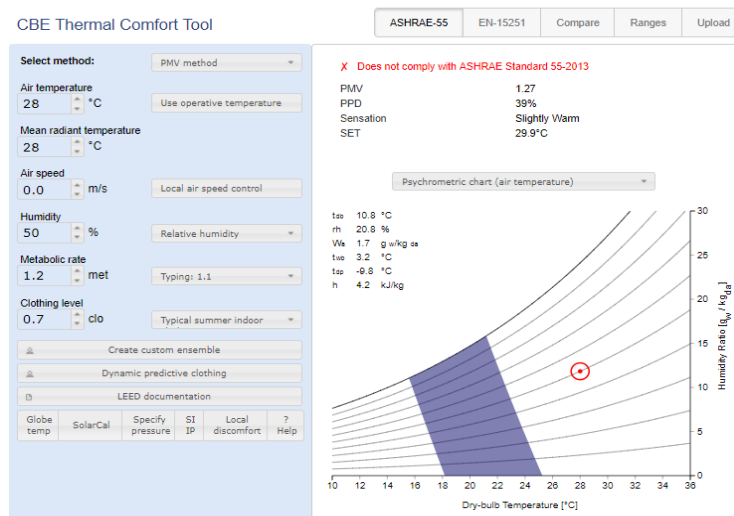
Nilai PMV didapatkan dengan merata-ratakan nilai persepsi kenyamanan termal yang dirasakan responden.. sesuai dengan standar kenyamanan termal yang sudah ditentukan sebelumnya, batas kenyamanan termal berkisar $-0.5 < PMV < +0.5$. sehingga untuk perhitungan PPD adalah dengan mencari persentase responden yang memilih sensasi termal -3, -2, -1, +1, +2, dan +3.

Berdasarkan tabel perhitungan PMV yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai PMV yang berada diluar batas kenyamanan termal adalah ruang baca dan ruang diskusi yang berada pada lantai 3. Pada siang hari sebanyak 20% responden merasa kurang nyaman saat beraktivitas di ruang baca maupun ruang diskusi lantai 3. Sedangkan pada sore hari sebanyak 45% responden merasa kurang nyaman atau bahkan tidak nyaman beraktivitas di ruang baca maupun ruang diskusi lantai 3.

Selain menentukan standar kenyamanan termal melalui kuesioner yang disebarakan pada reponden, nilai PMV dan PPD dapat menggunakan perhitungan berdasarkan pengukuran keadaan termal di lapangan. Perhitungan tersebut dapat menggunakan *software* CBE Thermal Comfort Tools.

Untuk melakukan perhitungan PMV dan PPD menggunakan *CBE Thermal Comfort Tools* ini harus diketahui elemen-elemen termal yang mempengaruhi kenyamanan termal. Dimana elemen-elemen tersebut adalah *air temperatur* ($^{\circ}\text{C}$), *mean radiant temperatur* ($^{\circ}\text{C}$), *air speed* (m/s), *humidity* (%), *metabolic rate* (met) dan *cloting level* (clo). Pada penelitian ini nilai *air temperatur* dan *mean radiant temperatur* diasumsikan sama. Setelah semua elemen dimasukan kedalam *software*, maka secara otomatis akan muncul *output* berupa

keterangan mengenai keadaan termal tersebut berdasarkan standar ASHRAE. Kemudian akan muncul nilai PMV, PPD, *sensation*, serta SET. Selain itu juga akan muncul *psychrometric chart* (air temperatur) dari keadaan termal yang sudah diinputkan.



Gambar 4.47 Perhitungan PMV dan PPD ruang A11 pagi hari

Berdasarkan gambar 4.47 dapat dilihat bahwa untuk ruang A11 pada pagi hari memiliki nilai PMV sebesar 1.27 dan nilai PPD sebesar 39%. Dari *software* ini dapat dilihat bahwa ruang A11 masuk kedalam kategori sedikit hangat (*slightly warm*), karena untuk tingkat netral pada ASHRAE Standard 55-2013 nilai PPD adalah sebesar $\leq 10\%$. Jadi ketika nilai $PPD > 10\%$, maka sudah dikategorikan kurang nyaman dan tidak nyaman. Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan PMV dan PPD untuk seluruh nilai keadaan termal pada setiap ruang pagi, siang, dan sore hari. Untuk titik PMV optimal adalah nilai yang mendekati angka 0,00. Dimana 0,00 merupakan keadaan netral bagi manusia pada umumnya. Dan untuk nilai PPD merupakan nilai yang paling kecil, karena PPD menunjukkan prosentase individu yang kurang atau bahkan tidak nyaman dengan keadaan termal berjumlah sedikit.

Tabel 4.10
 Nilai PMV dan PPD Berdasarkan Keadaan Termal Lantai 2

	Ruang	<i>Air Tempt.</i> °C	<i>RH</i> %	<i>Radiant Tempt.</i> °C	<i>Air Speed</i> m/s	Met	Clo	PMV	PPD	<i>Thermal Sensation</i>
Pagi	A11	28	65	28	0.0	1.2	0.7	1.27	39%	<i>Slightly Warm</i>
	A12	28.9	65	28.9	0.0	1.2	0.7	1.58	55%	<i>Warm</i>
	A13	28.5	64	28.5	0.0	1.2	0.7	1.46	49%	<i>Slightly Warm</i>
	A21	28	73	28	0.0	1.2	0.7	1.4	46%	<i>Slightly Warm</i>
	A22	30	67	30	0.0	1.2	0.7	1.91	73%	<i>Warm</i>
	A31	28.9	68	28.9	0.0	1.2	0.7	1.61	57%	<i>Warm</i>
	A32	28	66	28	0.0	1.2	0.7	1.34	42%	<i>Slightly Warm</i>
	A33	27.8	63	27.8	0.0	1.2	0.7	1.26	38%	<i>Slightly Warm</i>
Siang	A11	29.2	54	29.2	0.0	1.2	0.7	1.57	55%	<i>Warm</i>
	A12	29.8	60	29.8	0.0	1.2	0.7	1.79	66%	<i>Warm</i>
	A13	29.7	59	29.7	0.0	1.2	0.7	1.75	64%	<i>Warm</i>
	A21	29.5	58	29.5	0.0	1.2	0.7	1.69	61%	<i>Warm</i>
	A22	29.4	56	29.4	0.0	1.2	0.7	1.64	59%	<i>Warm</i>
	A31	29.7	60	29.7	0.0	1.2	0.7	1.76	65%	<i>Warm</i>
	A32	29.2	55	29.2	0.0	1.2	0.7	1.58	55%	<i>Warm</i>
	A33	28.7	52	28.7	0.0	1.2	0.7	1.41	46%	<i>Slightly Warm</i>
Sore	A11	27.1	59	27.1	0.0	1.2	0.7	1.04	28%	<i>Slightly Warm</i>
	A12	29.1	53	29.1	0.0	1.2	0.7	1.53	53%	<i>Warm</i>
	A13	28.9	53	28.9	0.0	1.2	0.7	1.48	50%	<i>Slightly Warm</i>
	A21	28.7	56	28.7	0.0	1.2	0.7	1.45	48%	<i>Slightly Warm</i>
	A22	27.5	60	27.5	0.0	1.2	0.7	1.15	33%	<i>Slightly Warm</i>
	A31	28.8	55	28.8	0.0	1.2	0.7	1.47	49%	<i>Slightly Warm</i>
	A32	27.8	54	27.8	0.0	1.2	0.7	1.19	35%	<i>Slightly Warm</i>
	A33	27.6	59	27.6	0.0	1.2	0.7	1.17	34%	<i>Slightly Warm</i>

Pada tabel 4.10 dapat dilihat hasil perhitungan nilai PMV dan PPD pada lantai 2. Berdasarkan pengolahan data tersebut didapatkan bahwa keseluruhan ruang pada lantai 2 baik pagi, siang, maupun sore masih memiliki nilai PMV > 1, sehingga masih berada diatas kategori nyaman. Ruangan yang paling tidak optimal adalah A22 pada pagi hari dengan temperatur udara 30°C, kelembaban relatif 67%, dan kecepatan angin 0.0 m/s dengan nilai PMV 1.91 dan nilai PPD 73%.

Nilai PMV sebesar 1.91 berdasarkan standar ASHRAE memberikan sensasi hangat terhadap seseorang. Dan titik tersebut sudah berada di luar batas nyaman dari metabolisme manusia. Sedangkan nilai PPD yang ditunjukkan adalah 75%, berarti lebih dari setengah responden yang berada di ruang baca maupun ruang diskusi merasa kurang nyaman atau bahkan tidak nyaman saat beraktivitas di dalam ruang A22.

Tabel 4.11
Nilai PMV dan PPD Berdasarkan Keadaan Termal Lantai 3

	Ruang	<i>Air Tempt.</i>	<i>RH</i>	<i>Radiant Tempt.</i>	<i>Air Speed</i>	Met	Clo	PMV	PPD	<i>Thermal Sensation</i>
		°C	%	°C	m/s					
Pagi	B11	29.2	67	29.2	0.0	1.2	0.7	1.66	61%	<i>Warm</i>
	B12	30.1	67	30.1	0.0	1.2	0.7	1.94	74%	<i>Warm</i>
	B13	30	67	30	0.0	1.2	0.7	1.91	73%	<i>Warm</i>
	B21	29.9	65	29.9	0.0	1.2	0.7	1.86	70%	<i>Warm</i>
	B22	29.2	74	29.2	0.0	1.2	0.7	1.75	64%	<i>Warm</i>
	B31	29.3	71	29.3	0.0	1.2	0.7	1.75	64%	<i>Warm</i>
	B32	29.2	65	29.2	0.0	1.2	0.7	1.67	60%	<i>Warm</i>
	B33	29.1	65	29.1	0.0	1.2	0.7	1.64	58%	<i>Warm</i>
Siang	B11	30.4	55	30.4	0.0	1.2	0.7	1.91	72%	<i>Warm</i>
	B12	30.5	55	30.5	0.0	1.2	0.7	1.93	74%	<i>Warm</i>
	B13	30.7	54	30.7	0.0	1.2	0.7	1.98	76%	<i>Warm</i>
	B21	30.5	53	30.5	0.0	1.2	0.7	1.91	73%	<i>Warm</i>
	B22	30.2	55	30.2	0.0	1.2	0.7	1.85	70%	<i>Warm</i>
	B31	29.8	59	29.8	0.0	1.2	0.7	1.78	66%	<i>Warm</i>
	B32	29.8	56	29.8	0.0	1.2	0.7	1.75	64%	<i>Warm</i>
	B33	30	54	30	0.0	1.2	0.7	1.81	66%	<i>Warm</i>
Sore	B11	28.4	69	28.4	0.0	1.2	0.7	1.48	50%	<i>Slightly Warm</i>
	B12	29.2	70	29.2	0.0	1.2	0.7	1.71	62%	<i>Warm</i>
	B13	29.2	65	29.2	0.0	1.2	0.7	1.67	60%	<i>Warm</i>
	B21	29.3	64	29.3	0.0	1.2	0.7	1.68	61%	<i>Warm</i>
	B22	28.7	63	28.7	0.0	1.2	0.7	1.51	51%	<i>Warm</i>
	B31	29.3	68	29.3	0.0	1.2	0.7	1.72	63%	<i>Warm</i>
	B32	29.5	56	29.5	0.0	1.2	0.7	1.67	60%	<i>Warm</i>
	B33	29.5	58	29.5	0.0	1.2	0.7	1.69	61%	<i>Warm</i>

Pada tabel 4.11 dapat dilihat hasil perhitungan nilai PMV dan PPD pada lantai 3. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa ruang pada lantai 3 memiliki nilai $PMV > 1$ sama seperti ruangan pada lantai 2. Ruangan yang paling tidak optimal adalah B13 pada siang hari dengan temperatur udara 30.7°C, kelembaban relatif 54%, dan kecepatan angin 0.0 m/s dengan nilai PMV 1.98 dan nilai PPD 76%.

Nilai PMV sebesar 1.98 berdasarkan standar ASHRAE memberikan sensasi hangat terhadap seseorang. Dan titik tersebut sudah berada di luar batas nyaman dari metabolisme manusia. Sedangkan nilai PPD yang ditunjukkan adalah 76%, berarti lebih dari setengah responden yang berada di ruang baca maupun ruang diskusi merasa kurang nyaman atau bahkan tidak nyaman saat beraktivitas di dalam ruang B13.

Tabel 4.12
 Nilai PMV dan PPD Berdasarkan Keadaan Termal Lantai 4

	Ruang	<i>Air Tempt.</i>	<i>RH</i>	<i>Radiant Tempt.</i>	<i>Air Speed</i>	Met	Clo	PMV	PPD	<i>Thermal Sensation</i>
		°C	%	°C	m/s					
Pagi	C11	28	70	28	0.0	1.2	0.7	1.37	44%	<i>Slightly Warm</i>
	C12	28	68	28	0.0	1.2	0.7	1.36	43%	<i>Slightly Warm</i>
	C13	28.1	68	28.1	0.0	1.2	0.7	1.39	45%	<i>Slightly Warm</i>
	C21	29.6	70	29.6	0.0	1.2	0.7	1.82	68%	<i>Warm</i>
	C22	27.8	69	27.8	0.0	1.2	0.7	1.31	41%	<i>Slightly Warm</i>
	C31	29.3	75	29.3	0.0	1.2	0.7	1.78	66%	<i>Warm</i>
	C32	29.1	72	29.1	0.0	1.2	0.7	1.7	62%	<i>Warm</i>
	C33	30.5	66	30.5	0.0	1.2	0.7	2.04	79%	<i>Warm</i>
Siang	C11	28.3	64	28.3	0.0	1.2	0.7	1.41	46%	<i>Slightly Warm</i>
	C12	28	61	28	0.0	1.2	0.7	1.3	40%	<i>Slightly Warm</i>
	C13	28	61	28	0.0	1.2	0.7	1.3	40%	<i>Slightly Warm</i>
	C21	30.2	60	30.2	0.0	1.2	0.7	1.9	72%	<i>Warm</i>
	C22	28.9	65	28.9	0.0	1.2	0.7	1.58	55%	<i>Warm</i>
	C31	30.4	63	30.4	0.0	1.2	0.7	1.98	76%	<i>Warm</i>
	C32	29.7	64	29.7	0.0	1.2	0.7	1.8	67%	<i>Warm</i>
	C33	29.3	64	29.3	0.0	1.2	0.7	1.68	61%	<i>Warm</i>
Sore	C11	28.9	66	28.9	0.0	1.2	0.7	1.59	56%	<i>Warm</i>
	C12	29	63	29	0.0	1.2	0.7	1.59	56%	<i>Warm</i>
	C13	29	68	29	0.0	1.2	0.7	1.64	58%	<i>Warm</i>
	C21	30	65	30	0.0	1.2	0.7	1.89	72%	<i>Warm</i>
	C22	28.9	68	28.9	0.0	1.2	0.7	1.61	57%	<i>Warm</i>
	C31	29.27	66	29.27	0.0	1.2	0.7	1.69	61%	<i>Warm</i>
	C32	28.8	65	28.8	0.0	1.2	0.7	1.55	54%	<i>Warm</i>
	C33	28.68	65	28.68	0.0	1.2	0.7	1.52	52%	<i>Warm</i>

Pada tabel 4.12 dapat dilihat hasil perhitungan nilai PMV dan PPD pada ruangan di lantai 4 masih sama seperti pada ruangan lantai 2 dan 3. Berdasarkan pengolahan data tersebut didapatkan nilai $PMV > 1$, sehingga masih berada diatas kategori nyaman. Ruangan yang paling tidak optimal adalah C33 pada pagi hari dengan temperatur udara 30.5°C , kelembaban relatif 66%, dan kecepatan angin 0.0 m/s dengan nilai PMV 2.04 dan nilai PPD 79%.

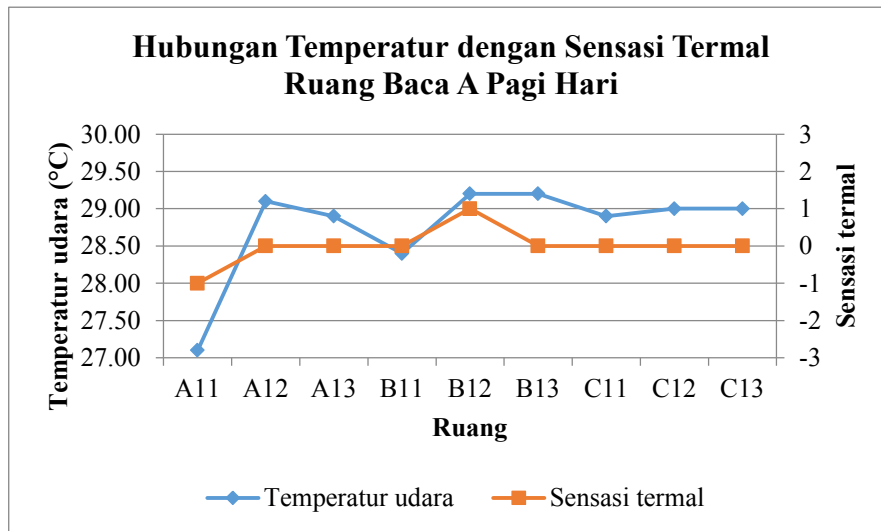
Nilai PMV sebesar 2.04 berdasarkan standar ASHRAE memberikan sensasi hangat terhadap seseorang, dan angka tersebut sudah berada di luar batas nyaman dari metabolisme manusia. Sedangkan nilai PPD yang ditunjukkan adalah 79%, berarti lebih dari setengah responden yang berada di ruang baca maupun ruang diskusi merasa kurang nyaman atau bahkan tidak nyaman saat beraktivitas di dalam ruang B13.

4.5.4 Hubungan Temperatur Udara dengan Sensasi Termal

Untuk mengetahui hubungan antara temperatur udara dengan sensasi termal yang dirasakan oleh responden dikelompokkan berdasarkan waktu dan lokasi pengukuran serta penyebaran kuesioner.

1. Hubungan temperatur udara dengan sensasi termal pada ruang baca A

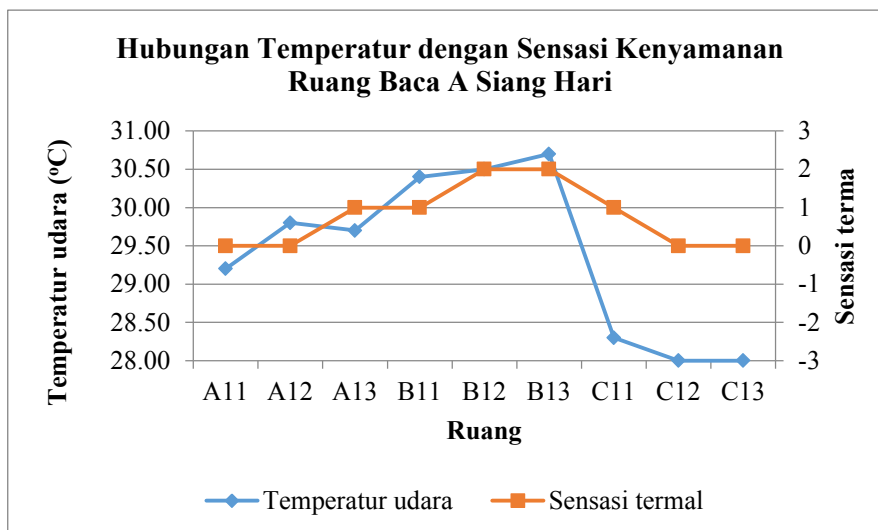
Hubungan antara temperatur udara dengan sensasi termal yang dirasakan oleh responden di dalam ruang baca A pada pukul 09.00 – 10.00 WIB yaitu:



Gambar 4.48 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca A pagi

Rata-rata temperatur ruang baca A yang terdapat pada lantai 2 adalah 28.8°C. Pada lantai 2, pengguna perpustakaan merasa agak dingin hingga netral pada keadaan suhu 27.1°C - 29.1°C. Sedangkan pada ruang baca A lantai 3, pengguna perpustakaan merasa netral hingga hangat pada keadaan suhu 28.4°C - 29.2°C. Pada lantai 3 terdapat ruang dengan suhu yang sama yaitu sebesar 29.2°C, namun terdapat pengguna perpustakaan yang merasakan sensasi termal berbeda. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya faktor individu yang mempengaruhi sensasi kenyamanan termal yang dirasakan oleh seseorang. Pada ruang baca A lantai 4, responden merasa netral terhadap keadaan suhu 28.9°C - 29°C.

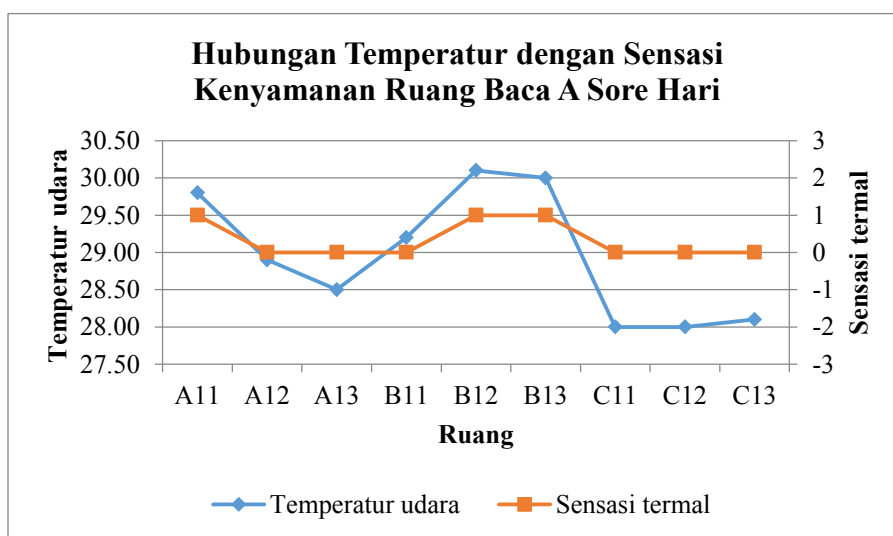
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang baca A pada pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu:



Gambar 4.49 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca A siang

Rata-rata temperatur udara pada ruang baca A saat pukul 13.00 – 14.00 WIB adalah 29.4°C . Terjadi kenaikan temperatur sebesar 0.6°C dibandingkan pada pukul 09.00 – 10.00 WIB. Saat siang hari, temperatur udara paling tinggi berada pada lantai 3 yaitu sebesar 30.7°C . Jika dilihat berdasarkan sensasi termal responden, pada lantai 2 dengan keadaan temperatur udara sebesar 29.2°C – 29.8°C pengguna merasa netral hingga hangat. Sedangkan pada ruang baca A yang terdapat di lantai 3, para pengguna cenderung merasa hangat hingga panas dalam keadaan temperatur 30.4°C – 30.7°C . Pada ruang baca A di lantai 4 terjadi penurunan temperatur mencapai 2.4°C yang membuat pengguna merasa hangat hingga netral dalam keadaan temperatur 28°C – 28.3°C .

Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang baca A pada pukul 16.00 – 17.00 WIB yaitu:



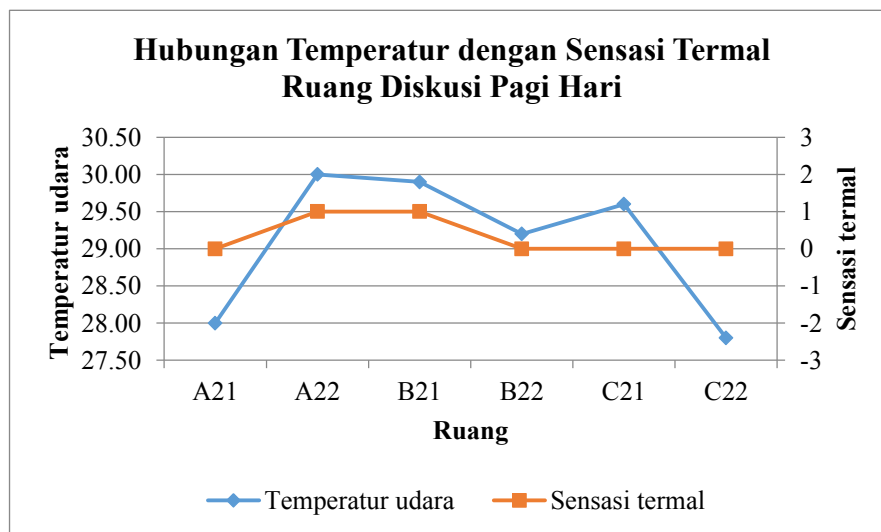
Gambar 4.50 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca A sore

Rata-rata temperatur ruang baca A yang terdapat pada lantai 2 adalah 29.1°C . Terjadi penurunan temperatur dibandingkan saat pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu sebesar 0.3°C . Temperatur udara saat sore hari pada ruang baca A paling tinggi terletak pada lantai 3 yaitu sebesar 30.1°C . Sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna ruang baca lantai 2 hangat hingga normal dalam keadaan temperatur udara 29.8°C – 28.5°C . Pada ruang baca lantai 3, para pengguna ruang baca merasa netral hingga hangat pada keadaan temperatur 29.2°C – 30.1°C . Sedangkan sensasi termal yang dirasakan pada keadaan temperatur udara sebesar 28°C – 28.1°C para pengguna ruang baca A di lantai 4 merasa netral.

Letak ruang baca A yang terdapat pada lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan Universitas Indonesia berorientasi ke barat, sehingga temperatur udara pada ruang-ruang ini cenderung lebih panas saat sore hari karena terkena sinar langsung oleh matahari sore.

2. Hubungan temperatur dengan sensasi termal pada ruang diskusi.

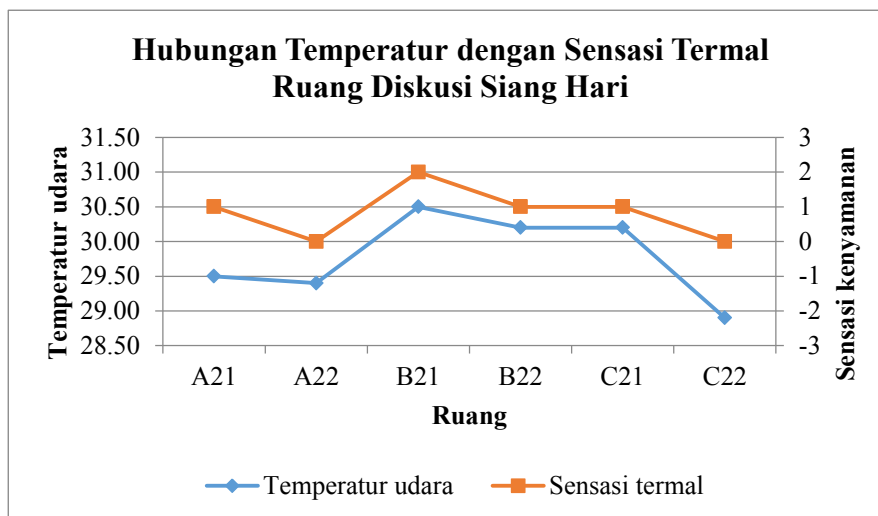
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang diskusi pada pukul 09.00 – 10.00 WIB yaitu:



Gambar 4.51 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang diskusi pagi

Rata-rata temperatur udara ruang diskusi pada pukul 09.00 – 10.00 WIB adalah 29.1°C . Saat pagi hari temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang diskusi lantai 2 yaitu sebesar 30°C . Pada ruang diskusi yang terletak di lantai 2 dan lantai 3 perpustakaan, pengguna ruang diskusi merasa netral hingga hangat dalam keadaan temperatur udara 28°C - 30°C . Sedangkan pada ruang diskusi lantai 4, pengguna merasa netral dalam keadaan temperatur 27.8°C – 29.6°C .

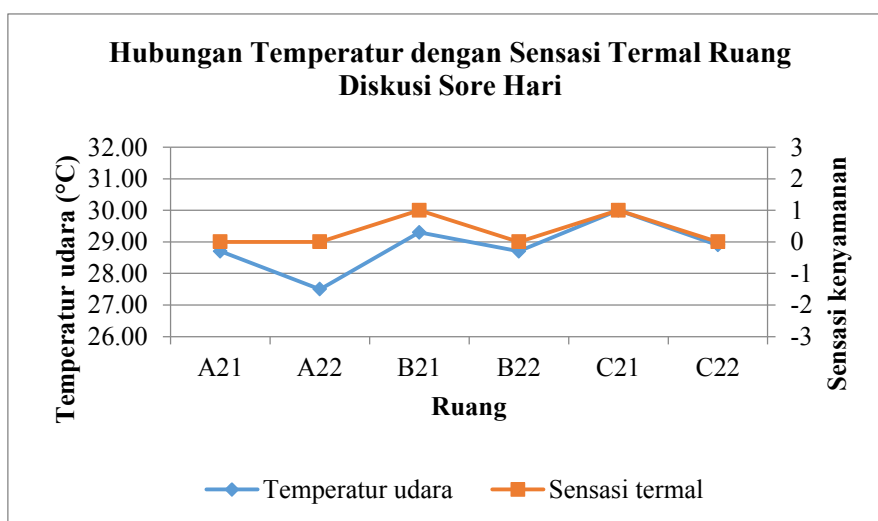
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang diskusi pada pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu:



Gambar 4.52 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang diskusi siang

Rata-rata temperatur udara ruang diskusi pada pukul 13.00 – 14.00 WIB adalah 29.8°C. Pada siang hari terjadi kenaikan temperatur sebesar 0.7°C dibandingkan pada waktu pagi hari. Sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna ruang diskusi pada lantai 2 adalah hangat hingga netral dalam keadaan temperatur 29.4°C - 29.5°C. Sedangkan pada ruang diskusi lantai 3, para pengguna cenderung merasa hangat hingga panas karena temperatur udara pada ruang ini mencapai 30.2°C – 30.5°C. Pada ruang diskusi lantai 4, pengguna merasa hangat hingga netral pada keadaan temperatur sebesar 28.9°C – 30.2°C.

Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang diskusi pada pukul 16.00 – 17.00 WIB yaitu:



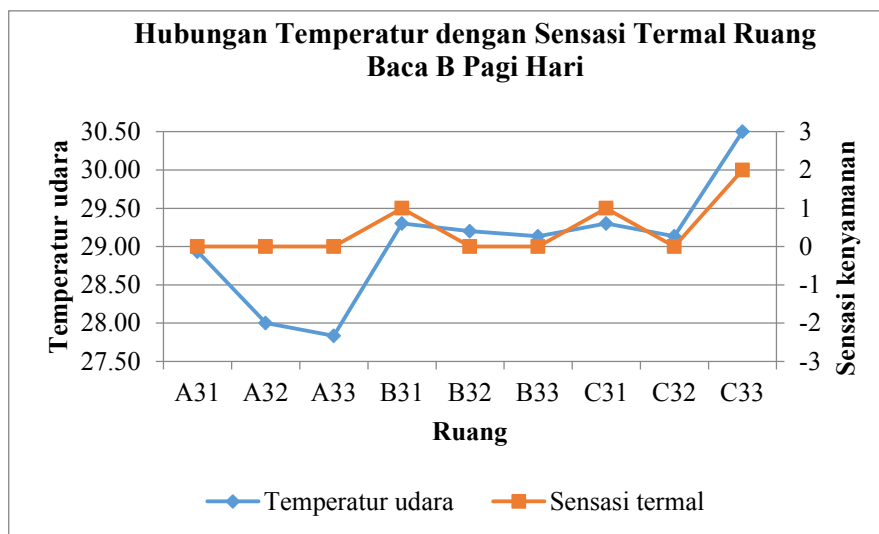
Gambar 4.53 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang diskusi sore

Rata-rata temperatur udara ruang diskusi pada pukul 16.00 – 17.00 WIB adalah 28.9°C . Terjadi penurunan temperatur sebesar 0.9°C dibandingkan dengan temperatur pada siang hari yaitu menjadi 28.9°C . Para pengguna ruang diskusi lantai 2 merasa normal dalam keadaan temperatur ruangan sebesar 27.5°C – 28.7°C . Sedangkan pada ruang diskusi yang terletak di lantai 3 dan lantai 4 perpustakaan, para pengguna cenderung merasa normal hingga hangat dalam keadaan temperatur udara ruang sebesar 28.7°C – 30°C .

Letak ruang diskusi yang terdapat pada lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan Universitas Indonesia berorientasi ke utara dan selatan, sehingga temperatur udara pada ruang-ruang ini cenderung stabil atau tidak mengalami perubahan temperatur yang signifikan karena tidak terkena langsung matahari pagi maupun sore hari.

3. Hubungan temperatur dengan sensasi termal pada ruang baca B

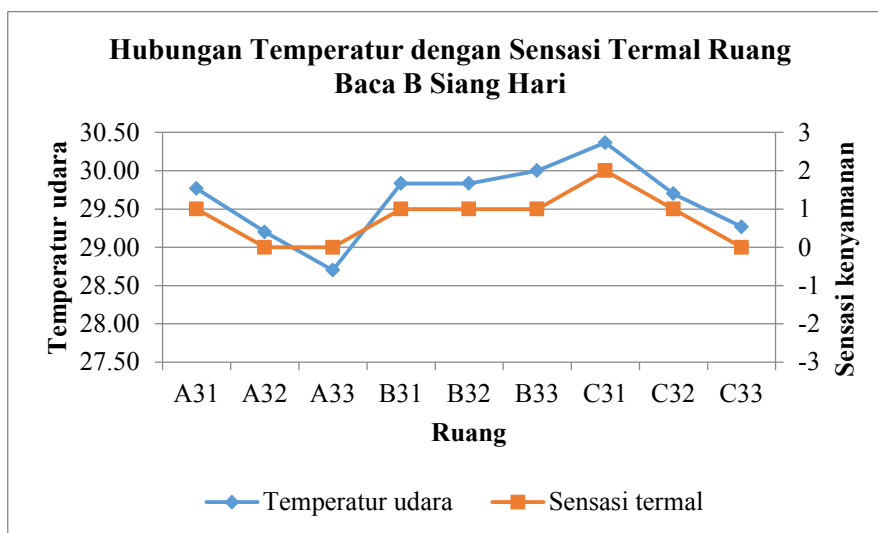
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden pada ruang baca B pada pukul 09.00 – 10.00 WIB yaitu:



Gambar 4.54 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca B pagi

Rata-rata temperatur udara pada ruang baca B saat pagi hari adalah 29.1°C . Pada ruang baca B lantai 2, para pengguna ruang ini merasa netral dalam keadaan temperatur udara 27.8°C – 28.9°C . Pada ruang baca B lantai 3, para pengguna merasa netral hingga hangat dalam keadaan temperatur 29.1°C – 29.3°C . sedangkan pada lantai 4, pengguna ruang diskusi cenderung merasa netral hingga panas dalam keadaan temperatur 29.1°C – 30.5°C .

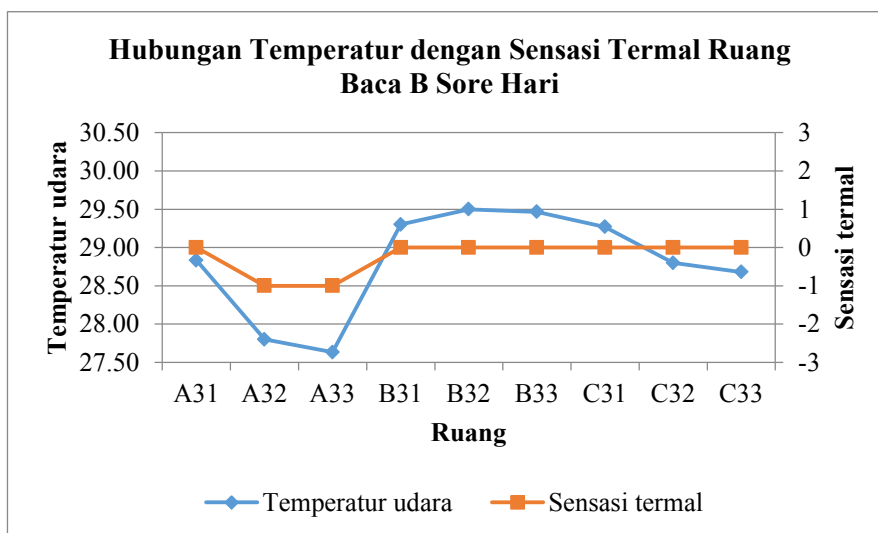
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden pada ruang baca B pada pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu:



Gambar 4.55 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca B siang

Rata-rata temperatur udara pada ruang baca B saat siang hari adalah 29.6°C. terjadi kenaikan temperatur sebesar 0.5°C dibandingkan saat pagi hari. Pada lantai 2, pengguna ruang baca B ini merasa netral hingga hangat untuk keadaan temperatur ruang sebesar 28.7°C – 29.8°C. Sedangkan pada lantai 3, temperatur udara sebesar 29.8°C - 30°C para pengguna merasa hangat saat beraktivitas di dalam ruang. Pada lantai 4, para pengguna cenderung merasa netral hingga panas karena keadaan temperatur udara dalam ruang mencapai 29.8°C - 30.4°C.

Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden pada ruang baca B pada pukul 16.00 – 17.00 WIB yaitu:



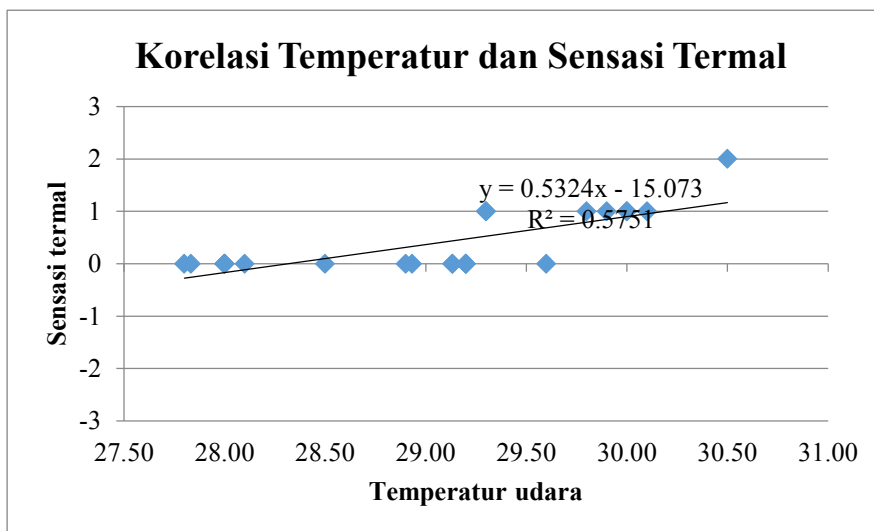
Gambar 4.56 Grafik hubungan temperatur dengan sensasi termal ruang baca B sore

Rata-rata temperatur udara ruang baca B pada sore hari mengalami penurunan temperatur sebesar 0.8°C jika dibandingkan saat siang hari yaitu menjadi 28.8°C. Pada lantai 2, pengguna cenderung merasa netral hingga agak dingin dalam keadaan temperatur

27.6°C – 28.3°C. Sedangkan pada lantai 3 dan lantai 4, para pengguna ruang baca B ini merasa netral terhadap sensasi termal dalam keadaan temperatur 28.7°C – 29.5°C.

Orientasi ruang baca B yang menghadap timur menyebabkan rata-rata temperatur ruang saat pagi hari lebih panas dibandingkan saat sore hari, hal tersebut disebabkan oleh paparan sinar matahari pagi yang langsung masuk kedalam ruang melalui *skylight* pada *green roof*. Hubungan sensasi termal yang dirasakan pengguna ruang dengan temperatur udara adalah semakin tinggi temperatur udara di dalam ruang, maka sensasi termal yang dirasakan oleh pengguna ruang baca tersebut akan semakin panas.

Untuk mengetahui hubungan antara temperatur udara dengan sensasi termal yang dirasakan pengguna ruang dapat menggunakan regresi linear dari variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y). Keselarasan model regresi dapat dilihat dari nilai r^2 . Semakin besar nilai r^2 , maka model regresi semakin baik. Jika nilai r^2 mendekati 1 maka hubungan antara X dan Y semakin baik. Namun sebaliknya, apabila nilai r^2 mendekati 0 maka tidak ada hubungan antara X dan Y.



Gambar 4.57 Grafik korelasi temperatur dan sensasi termal

Jika dilihat dari grafik hasil regresi linear antara hubungan temperatur udara dengan sensasi termal yang dirasakan pengguna ruang didapat persamaan regresinya adalah $Y = 0,5324X - 15,073$ dengan nilai $R^2 = 0,5751$, dimana variabel Y adalah sensasi termal yang dirasakan pengguna dan variabel X adalah temperatur udara. Temperatur netral didefinisikan sebagai temperatur dimana nilai dari variabel Y adalah 0 (nol). Nilai R (korelasi) adalah hubungan korelasi antara temperatur udara dengan sensasi termal yang dirasakan pengguna. Temperatur nyaman didefinisikan sebagai selang antara sensasi termal -0.5 (antara sejuk dan nyaman) dan +0.5 (antara hangat dan nyaman).

Tabel 4.13
Analisis Regresi

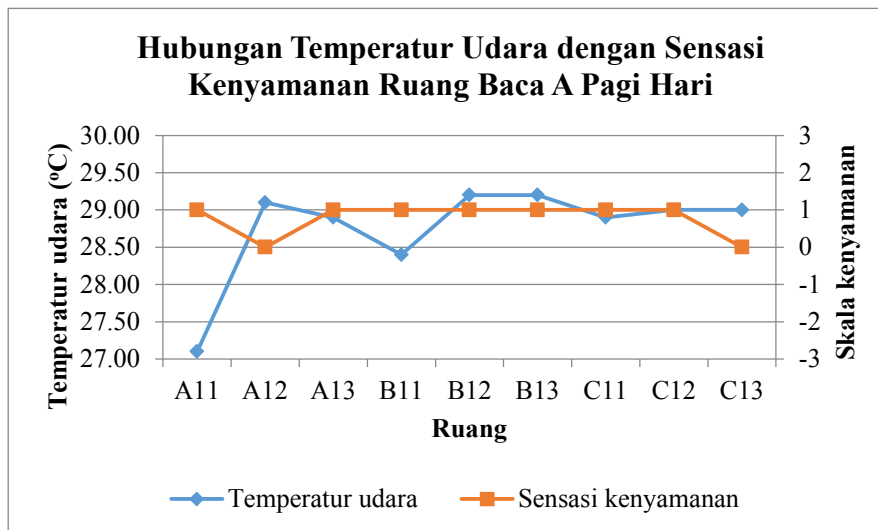
Temperatur nyaman	Rentang nyaman (-0.5)	Rentang nyaman(0.5)	Korelasi
$Y = 0$	$Y = -0.5$	$Y = +0.5$	$R^2 = 0,5751$
$Y = 0.5324X - 15.073$	$Y = 0.5324X - 15.073$	$Y = 0.5324X - 15.073$	$R = \sqrt{0.5751}$
$15.073 + 0 = 0.5324X$	$15.073 - 0.5 = 0.5324X$	$15.073 + 0.5 = 0.5324X$	$R = 0.758$
$15.073 = 0.5324$	$14.573 = 0.5324X$	$15.573 = 0.5324X$	
$X = 15.073/0.5324$	$X = 14.573/0.5324$	$X = 14.573/0.5324$	
$X = 28.3^{\circ}\text{C}$	$X = 27.3^{\circ}\text{C}$	$X = 29.3^{\circ}\text{C}$	

Berdasarkan hasil perhitungan sensasi termal pengguna terhadap temperatur ruang dalam perpustakaan, diketahui bahwa temperatur nyaman dicapai pada angka 28.3°C . rentang temperatur nyaman dimana semua responden merasa nyaman adalah pada angka 27.3°C sampai 29.3°C . Nilai regresi menunjukkan angka $R = 0.758$ yang berarti memiliki korelasi atau keterkaitan yang tinggi. Persamaan garis yang naik menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur, maka semakin tinggi sensasi termal yang dirasakan (panas)

4.5.5 Hubungan Temperatur Udara dengan Kenyamanan Beraktivitas

1. Hubungan temperatur udara dengan sensasi kenyamanan pada ruang baca A.

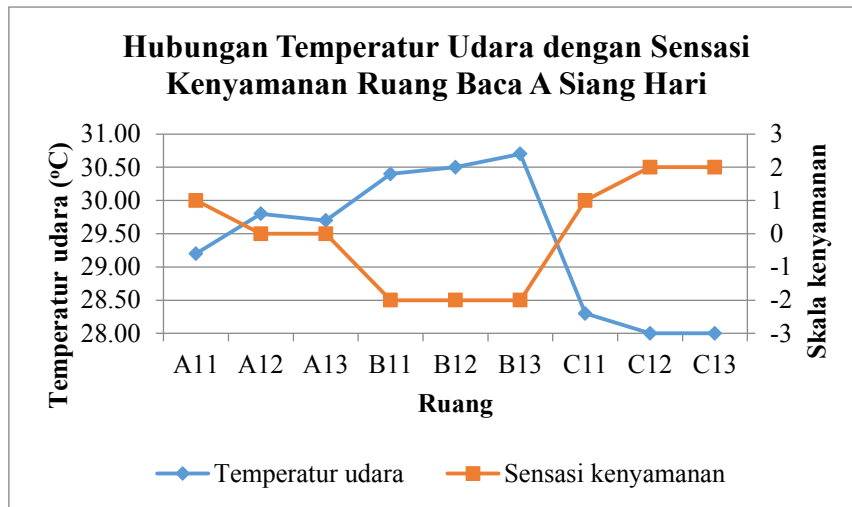
Hubungan temperatur dengan sensasi kenyamanan yang dirasakan responden pada ruang baca A pada pukul 09.00 – 10.00 WIB yaitu:



Gambar 4.58 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca A pagi

Rata-rata temperatur ruang baca A yang terdapat pada lantai 2 adalah 28.8°C . Pada lantai 2, pengguna perpustakaan merasa biasa saja hingga cukup nyaman saat beraktivitas di dalam ruang dengan keadaan suhu 27.1°C - 29.1°C . Sedangkan pada ruang baca A lantai 3, pengguna perpustakaan merasa cukup nyaman beraktivitas dengan keadaan suhu 28.4°C - 29.2°C . Pada lantai ruang baca A lantai 4, responden merasa biasa saja hingga cukup nyaman beraktivitas dalam keadaan suhu 28.9°C - 29°C .

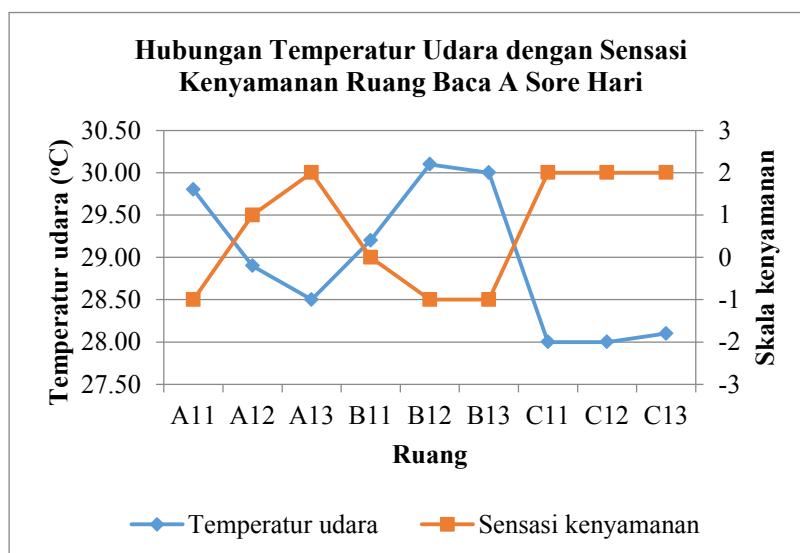
Hubungan temperatur dengan sensasi kenyamanan yang dirasakan responden di dalam ruang baca A pada pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu:



Gambar 4.59 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca A siang

Rata-rata temperatur udara pada ruang baca A saat pukul 13.00 – 14.00 WIB adalah 29.4°C. Terjadi kenaikan temperatur sebesar 0.6°C dibandingkan saat pukul 09.00 – 10.00 WIB. Saat siang hari, temperatur udara paling tinggi berada pada lantai 3 yaitu mencapai 30.7°C. Jika dilihat berdasarkan sensasi kenyamanan responden, pada lantai 2 dengan keadaan temperatur udara sebesar 29.2°C – 29.8°C pengguna masih merasa biasa saja hingga cukup nyaman saat beraktivitas. Sedangkan pada ruang baca A di lantai 3, para pengguna cenderung merasa tidak nyaman beraktivitas dalam keadaan temperatur 30.4°C – 30.7°C. Pada ruang baca A di lantai 4 terjadi penurunan temperatur mencapai 2.4°C yang membuat pengguna merasa cukup nyaman hingga nyaman beraktivitas pada keadaan temperatur 28°C – 28.3°C.

Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang baca A pada pukul 16.00 – 17.00 WIB yaitu:



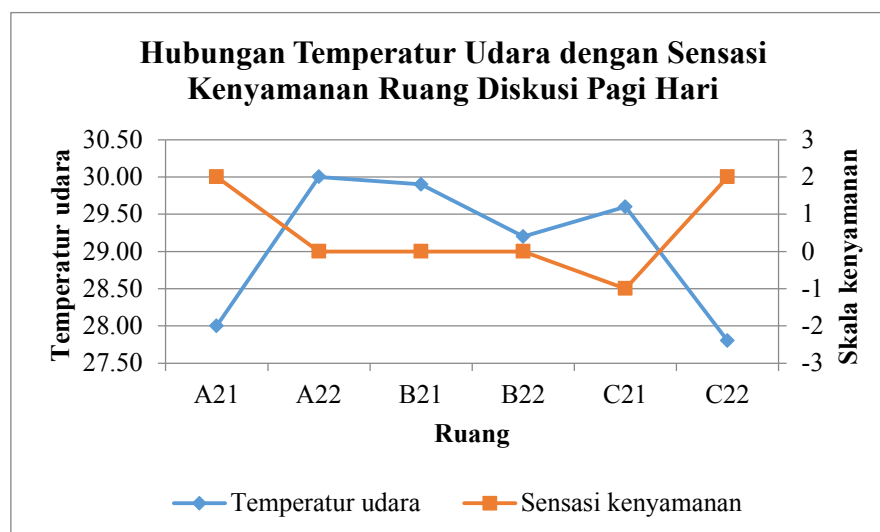
Gambar 4.60 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca A sore

Rata-rata temperatur ruang baca A yang terdapat pada sore hari adalah 29.1°C . Terjadi penurunan temperatur dibandingkan dengan pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu sebesar 0.3°C . Temperatur udara pada ruang baca A paling tinggi terletak pada lantai 3 yaitu sebesar 30.1°C . Sensasi kenyamanan yang dirasakan oleh pengguna ruang baca lantai 2 adalah biasa hingga nyaman saat beraktivitas dalam keadaan temperatur udara 29.8°C – 28.5°C . Pada ruang baca A lantai 3, para pengguna merasa kurang nyaman beraktivitas dalam keadaan temperatur 29.2°C – 30.1°C . Sedangkan sensasi termal yang dirasakan pada keadaan temperatur udara sebesar 28°C – 28.1°C para pengguna ruang baca di lantai 4 merasa nyaman saat beraktivitas di dalam ruang.

Letak ruang baca A yang terdapat pada lantai 2, 3, dan 4 perpustakaan Universitas Indonesia berorientasi ke barat, sehingga temperatur udara pada ruang ini cenderung lebih panas saat sore hari karena terkena paparan sinar matahari secara langsung.

2. Hubungan temperatur udara dengan sensasi kenyamanan pada ruang diskusi.

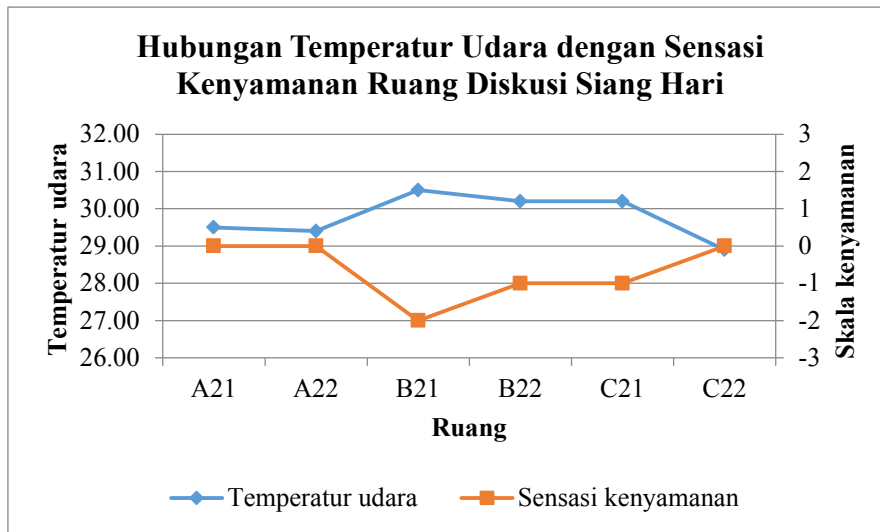
Hubungan temperatur dengan sensasi kenyamanan yang dirasakan responden di dalam ruang diskusi pada pukul 09.00 – 10.00 WIB yaitu:



Gambar 4.61 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang diskusi pagi

Rata-rata temperatur udara ruang diskusi pada pukul 09.00 – 10.00 WIB adalah 29.1°C . Saat pagi hari temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang diskusi lantai 2 yaitu sebesar 30°C . Pada ruang diskusi yang terletak di lantai 2 dan lantai 3 perpustakaan, pengguna ruang diskusi merasa biasa saja hingga nyaman saat beraktivitas dengan keadaan temperatur udara 28°C - 30°C . Sedangkan pada ruang diskusi lantai 4, pengguna merasa kurang nyaman beraktivitas dengan keadaan temperatur udara 29.6°C dan merasa nyaman beraktivitas pada keadaan temperatur 27.8°C .

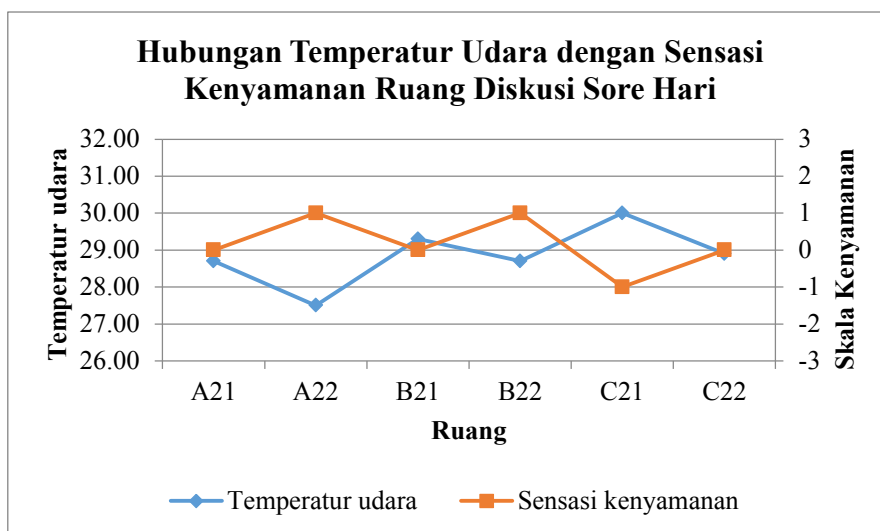
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang diskusi pada pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu:



Gambar 4.62 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang diskusi siang

Rata-rata temperatur udara ruang diskusi pada pukul 13.00 – 14.00 WIB adalah 29.8°C. Saat siang hari temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang diskusi lantai 2 yaitu sebesar 30.5°C. Pada ruang diskusi yang terletak di lantai 2 perpustakaan, pengguna ruang diskusi merasa netral saat beraktivitas dengan keadaan temperatur udara 28.9°C – 29.5°C. Sedangkan pada ruang diskusi lantai 3 dan lantai 4, pengguna merasa kurang nyaman hingga tidak nyaman saat beraktivitas dengan keadaan temperatur udara 30.2°C – 30.5°C.

Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden di dalam ruang diskusi pada pukul 16.00 – 17.00 WIB yaitu:



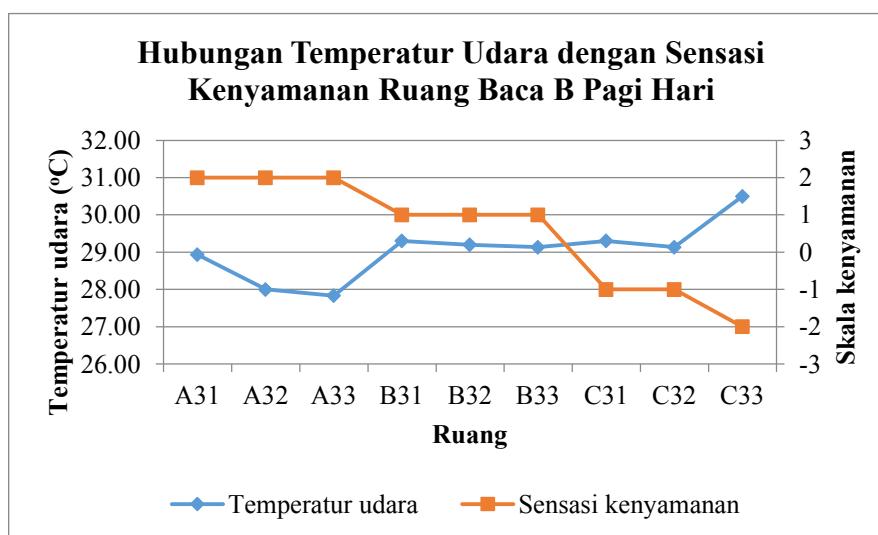
Gambar 4.63 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B pagi

Rata-rata temperatur udara ruang diskusi pada pukul 16.00 – 17.00 WIB adalah 28.9°C . Saat sore hari temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang diskusi lantai 4 yaitu sebesar 30°C . Pada keadaan temperatur udara 28.7°C – 29.3°C pengguna ruang merasa netral saat beraktivitas di dalam ruang. Sedangkan pada keadaan temperatur udara 27.5°C – 28.7°C pengguna merasa cukup nyaman beraktivitas di dalam ruang dan pada temperatur udara 30°C pengguna merasa kurang nyaman saat beraktivitas.

Rata-rata temperatur udara pada ruang diskusi lantai 2, lantai 3, dan lantai 4 perpustakaan masih berada diatas kategori temperatur nyaman optimal menurut standar SNI yaitu sebesar 22.5°C - 25°C namun masih berada dalam kategori nyaman menurut hasil perhitungan regresi linear yang telah dilakukan sebelumnya.

3. Hubungan temperatur udara dengan sensasi kenyamanan pada ruang baca B.

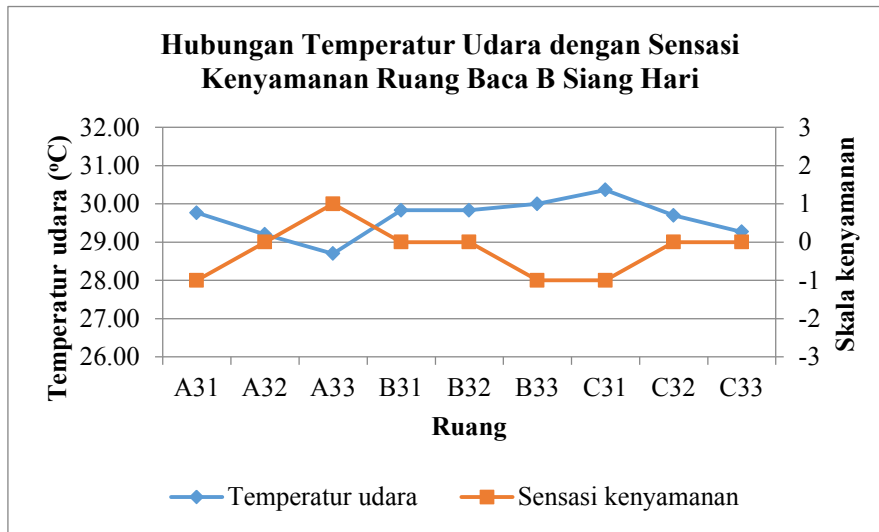
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden pada ruang baca B pada pukul 09.00 – 10.00 WIB yaitu:



Gambar 4.64 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B pagi

Rata-rata temperatur udara pada ruang baca B saat pagi hari adalah 29.1°C . Pada ruang baca B lantai 2, para pengguna ruang ini merasa nyaman beraktivitas dalam keadaan temperatur udara 27.8°C – 28.9°C . Pada ruang baca B lantai 3, para pengguna merasa cukup nyaman saat beraktivitas dalam keadaan temperatur 29.1°C – 29.3°C . Sedangkan pada lantai 4, pengguna ruang diskusi cenderung merasa kurang nyaman hingga tidak nyaman beraktivitas dalam keadaan temperatur 29.1°C – 30.5°C .

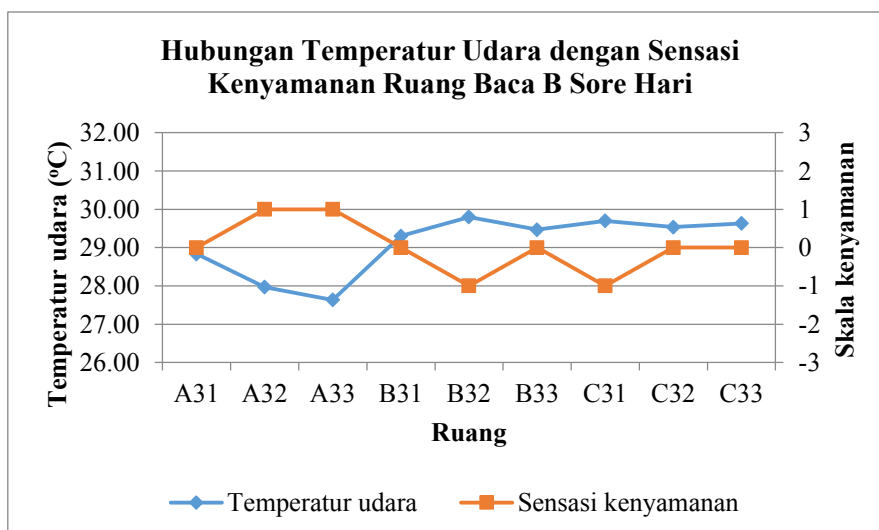
Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden pada ruang baca B pada pukul 13.00 – 14.00 WIB yaitu:



Gambar 4.65 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B siang

Rata-rata temperatur udara pada ruang baca B saat siang hari adalah 29.6°C. Terjadi kenaikan temperatur sebesar 0.5°C dibandingkan saat pagi hari. Pada lantai 2, pengguna ruang baca B ini merasa kurang nyaman hingga netral saat beraktivitas untuk keadaan temperatur ruang sebesar 28.7°C – 29.8°C. Sedangkan pada lantai 3 dan lantai 4, para pengguna merasa kurang nyaman hingga netral temperatur udara sebesar 29.8°C – 30.4°C saat beraktivitas di dalam ruang.

Hubungan temperatur dengan sensasi termal yang dirasakan responden pada ruang baca B pada pukul 16.00 – 17.00 WIB yaitu:



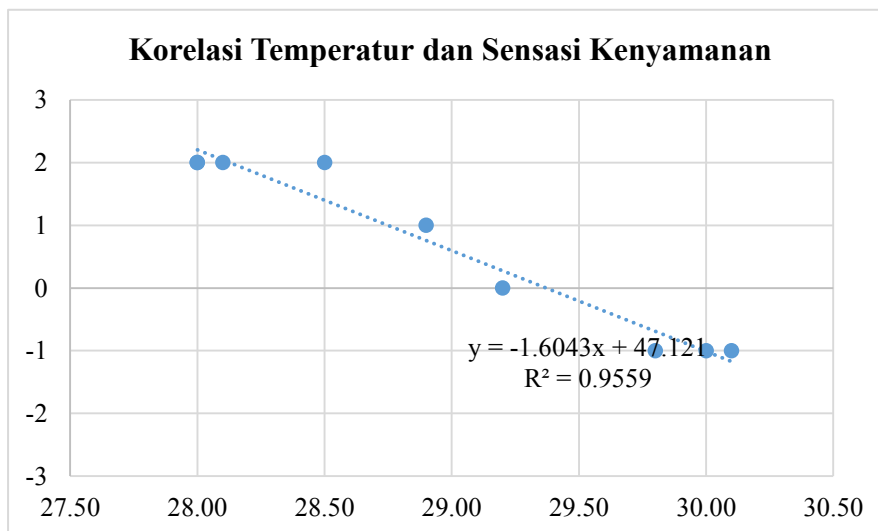
Gambar 4.66 Grafik hubungan temperatur dengan kenyamanan ruang baca B sore

Rata-rata temperatur udara ruang baca B ada sore hari mengalami penurunan temperatur udara sebesar 0.8°C jika dibandingkan saat siang hari yaitu menjadi 28.8°C.

Pada lantai 2, pengguna cenderung merasa netral hingga cukup nyaman saat beraktivitas dengan keadaan temperatur $27.6^{\circ}\text{C} - 28.3^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada lantai 3 dan lantai 4, para pengguna ruang baca B ini merasa netral hingga kurang nyaman saat beraktivitas dengan keadaan temperatur $28.7^{\circ}\text{C} - 29.5^{\circ}\text{C}$.

Orientasi ruang baca B yang menghadap timur menyebabkan rata-rata temperatur ruang saat pagi hari lebih panas dibandingkan saat sore hari, hal tersebut disebabkan oleh paparan sinar matahari pagi yang langsung masuk kedalam ruang melalui *skylight* pada *green roof*. Hubungan sensasi kenyamanan beraktivitas yang dirasakan pengguna ruang dengan temperatur udara adalah semakin tinggi temperatur udara di dalam ruang, maka sensasi kenyamanan yang dirasakan oleh pengguna ruang tersebut akan semakin tidak nyaman untuk beraktivitas.

Untuk mengetahui hubungan antara temperatur udara dengan sensasi kenyamanan yang dirasakan pengguna ruang juga dapat menggunakan regresi linear dari variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y). Keselarasan model regresi dapat dilihat dari nilai r^2 . Semakin besar nilai r^2 , maka model regresi semakin baik. Jika nilai r^2 mendekati 1 maka hubungan antara X dan Y semakin baik. Namun sebaliknya, apabila nilai r^2 mendekati 0 maka tidak ada hubungan antara X dan Y.



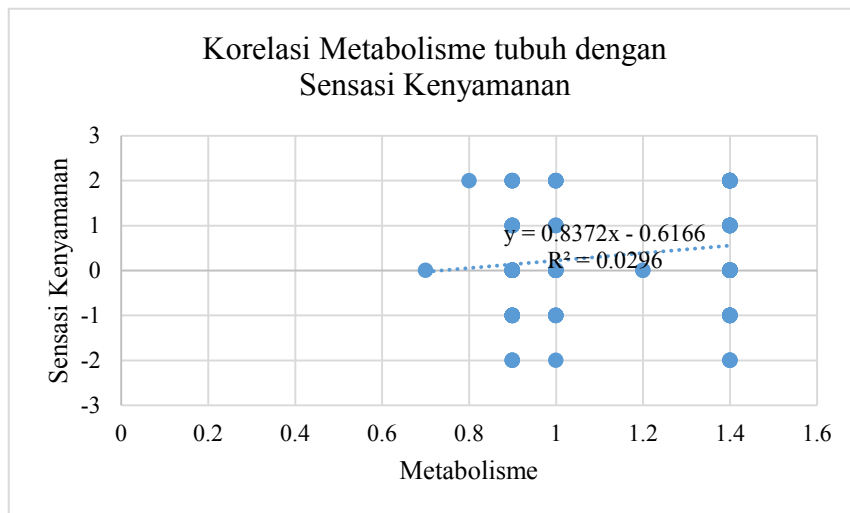
Gambar 4.67 Grafik korelasi temperatur dan sensasi kenyamanan

Jika dilihat dari grafik hasil regresi linear antara hubungan temperatur udara dengan sensasi termal yang dirasakan pengguna ruang didapat persamaan regresinya adalah $Y = -1.6043X + 47.121$ dengan nilai $R^2 = 0.9559$, dimana variabel Y adalah sensasi kenyamanan yang dirasakan pengguna saat beraktivitas dan variabel X adalah temperatur udara. Nilai regresi $R = 0.977$, hal tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara temperatur udara dan sensasi kenyamanan pengguna saat beraktivitas mempunyai korelasi yang tinggi.

Persamaan garis yang menurun menunjukkan bahwa hubungannya berbanding terbalik, yaitu apabila temperatur udara semakin tinggi maka kenyamanan pengguna saat beraktivitas semakin rendah.

4.5.6 Hubungan Laju Metabolisme dengan Kenyamanan Termal

Untuk mengetahui hubungan antara laju metabolisme pengguna dengan kenyamanan termal yang dirasakan oleh responden saat beraktivitas di dalam perpustakaan dapat menggunakan analisis regresi linear sederhana sebagai berikut :

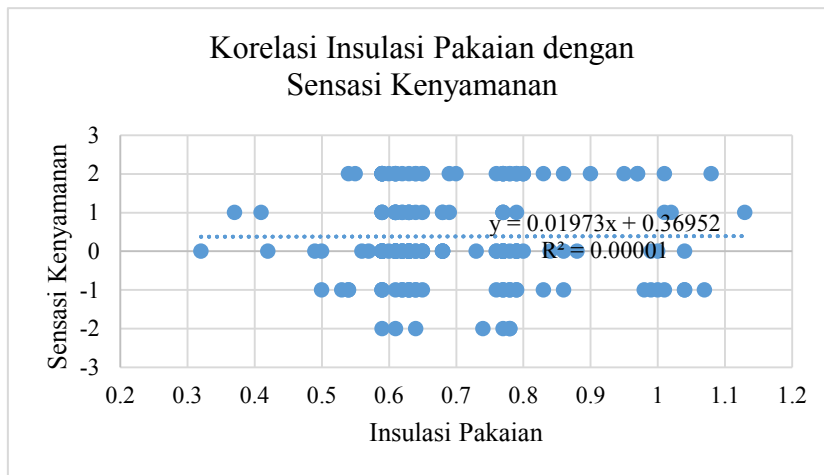


Gambar 4.68 Grafik hubungan metabolisme tubuh dengan sensasi kenyamanan

Berdasarkan grafik hasil regresi linear didapatkan persamaan $Y = 0.8372X - 0.6166$ dengan nilai $R^2 = 0.0296$. Nilai regresi $R = 0.172$, angka tersebut menunjukkan bahwa pada penelitian ini hubungan antara laju metabolisme pengguna dengan sensasi kenyamanan saat beraktivitas mempunyai korelasi yang rendah.

4.5.7 Hubungan Insulasi Pakaian dengan Kenyamanan Termal

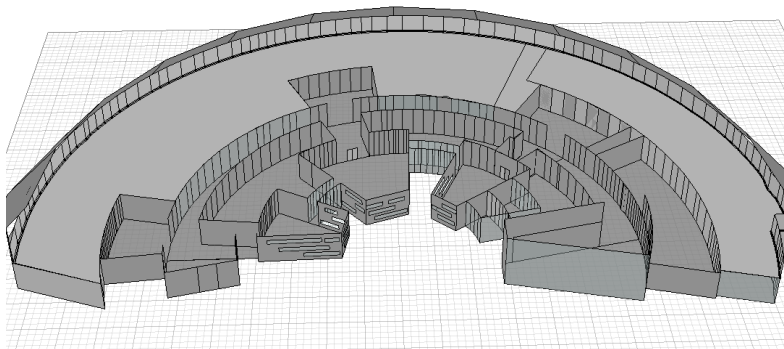
Untuk mengetahui hubungan antara laju metabolisme pengguna dengan kenyamanan termal yang dirasakan oleh responden saat beraktivitas di dalam perpustakaan dapat menggunakan analisis regresi linear sederhana sebagai berikut :



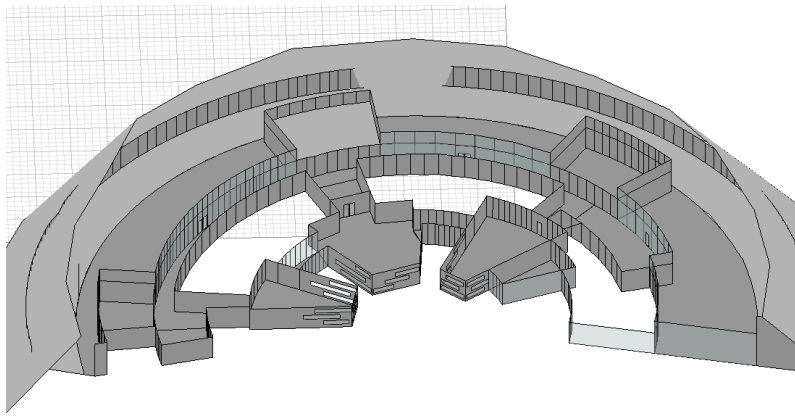
Gambar 4.69 Grafik hubungan insulasi pakaian dengan sensasi kenyamanan

Berdasarkan grafik hasil regresi linear didapatkan persamaan $Y = 0.01973X + 0.36952$ dengan nilai $R^2 = 0.00001$. Nilai regresi $R = 0.0031$, angka tersebut menunjukkan bahwa pada penelitian ini hubungan antara insulasi pakaian pengguna dengan sensasi kenyamanan saat beraktivitas mempunyai korelasi yang rendah.

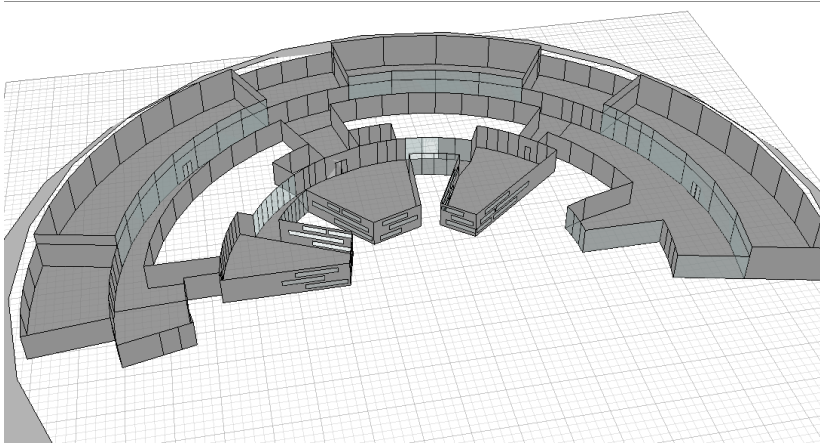
4.6 Model simulasi bangunan



Gambar 4.70 Simulasi ruangan pada lantai 2



Gambar 4.71 Simulasi ruangan pada lantai 3



Gambar 4.72 Simulasi ruangan pada lantai 4

Model digital ruangan-ruangan pada simulasi ini dibuat untuk merepresentasikan kondisi ruangan eksisting beserta material yang digunakan. Sehingga ketika dilakukan simulasi, temperatur yang didapatkan tidak jauh dari keadaan eksisting. Model digital simulasi dibuat berdasarkan ruang yang diteliti. Material yang digunakan pada model ini adalah sebagai berikut :

1. Dinding

Material pembatas ruang di setiap lantai menggunakan dinding bata yang di plaster.

	U-Value (W/m ² .K):	2.620
	Admittance (W/m ² .K):	4.380
	Solar Absorption (0-1):	0.418
	Visible Transmittance (0-1):	0
	Thermal Decrement (0-1):	0.7
	Thermal Lag (hrs):	3
	[SBEM] CM 1:	0
	[SBEM] CM 2:	0
	Thickness (m):	0.130
	Weight (kg):	245.000

Gambar 4. 73 Detail dan spesifikasi material dinding

2. Jendela

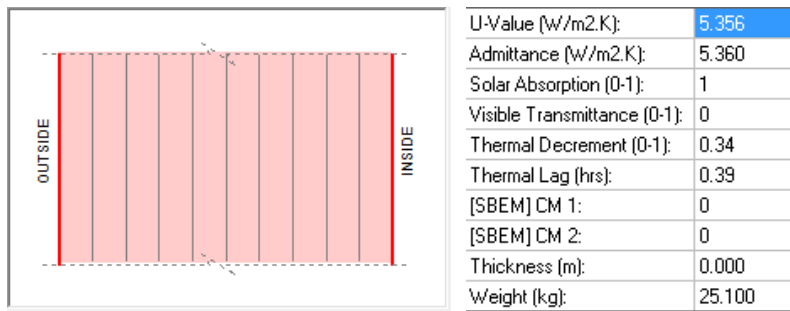
Jendela yang digunakan pada setiap lantai adalah jendela jenis curtain wall.

	U-Value (W/m ² .K):	5.000
	Admittance (W/m ² .K):	5.000
	Solar Heat Gain Coeff. (0-1):	0.78
	Visible Transmittance (0-1):	0.658
	Refractive Index of Glass:	1.74
	Alt Solar Gain (Heavywt):	0.38
	Alt Solar Gain (Lightwt):	0.47
	Thickness (m):	0.000
	Weight (kg):	0.000

Gambar 4.74 Detail dan spesifikasi material jendela

3. Pintu kaca

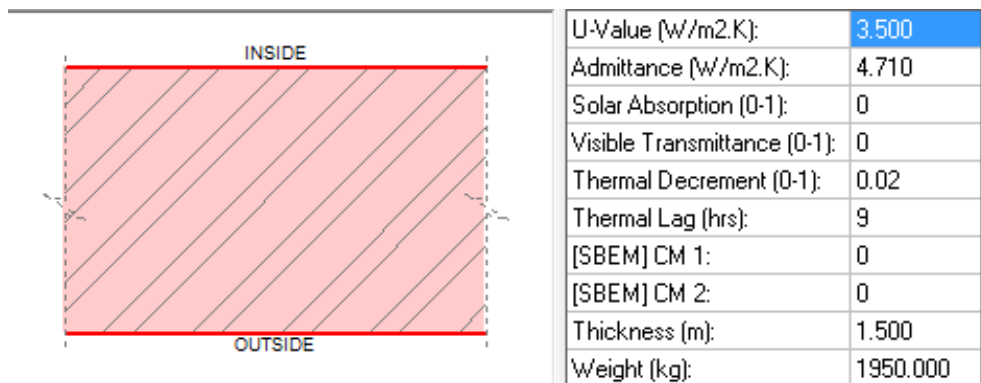
Pintu yang digunakan adalah pintu kaca



Gambar 4.75 Detail dan spesifikasi material pintu kaca

4. Lantai

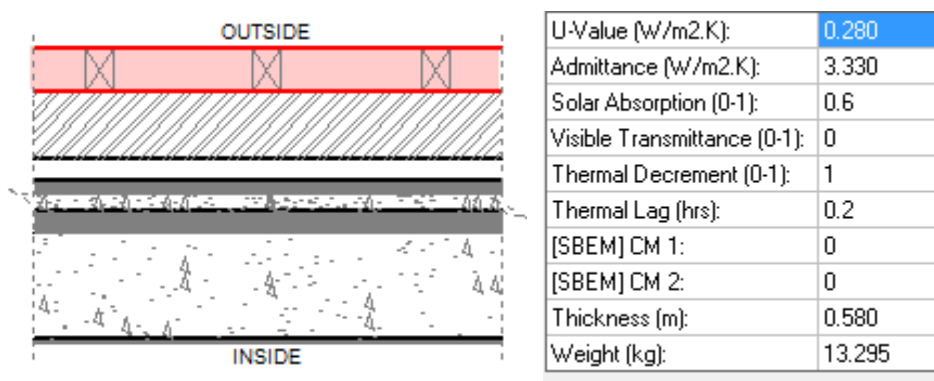
Lantai yang digunakan adalah beton ekspose



Gambar 4.76 Detail dan spesifikasi material lantai

5. Atap

Atap yang digunakan adalah rumput (*green roof*)



Gambar 4.77 Detail dan spesifikasi material atap

4.7 Validasi Hasil Simulasi

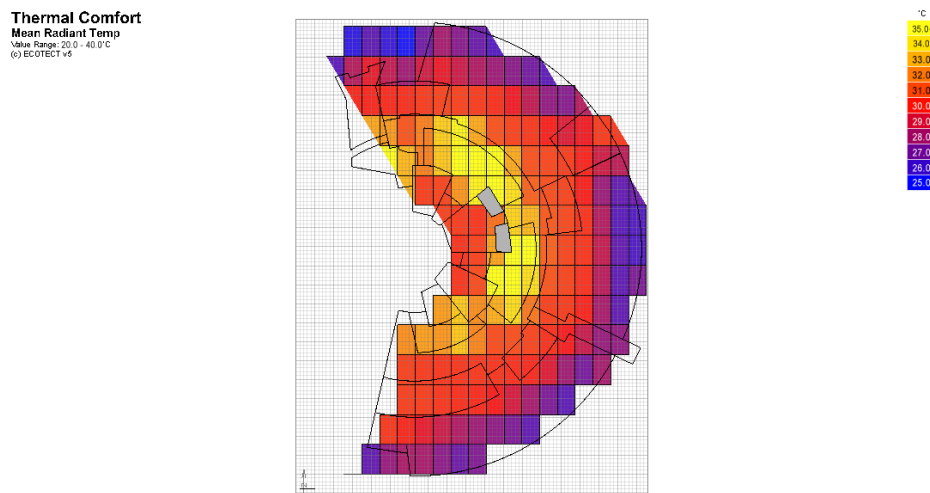
Setelah membuat model simulasi bangunan, selanjutnya akan dilakukan simulasi untuk mengetahui perbandingan temperatur eksisting dengan temperatur setelah dilakukan

simulasi. Model simulasi bangunan dapat digunakan atau dikatakan valid apabila perbedaan antara temperatur eksisting dengan hasil simulasi tidak lebih dari 10%.

Hasil simulasi pada ruang baca dan ruang diskusi yang terdapat pada lantai 2, didapati adanya perbedaan temperatur dibandingkan dengan keadaan eksisting. Data temperatur eksisting dan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.14 persentase perbedaan tertinggi terdapat pada ruang A11 pada pukul 16.00 yaitu sebesar 7.90%. Pada lantai 2 model simulasi dapat dikatakan valid karena hasil perbedaan temperatur tidak ada yang melebihi 10%.

Tabel 4.14
Validasi Hasil Simulasi Lantai 2

Ruang	Pukul 09.00			Pukul 13.00			Pukul 16.00		
	Asli	Simulasi	Perbedaan	Asli	Simulasi	Perbedaan	Asli	Simulasi	Perbedaan
A11	30.00	28.90	3.67%	29.20	30.10	3.08%	29.10	31.40	7.90%
A12	28.90	28.90	0.00%	29.80	29.90	0.34%	29.10	30.70	5.50%
A13	28.50	29.00	1.75%	29.70	29.90	0.67%	28.90	30.30	4.84%
A21	28.00	29.90	6.79%	29.50	30.60	3.73%	28.70	30.70	6.97%
A22	30.00	29.50	1.67%	29.40	30.60	4.08%	29.00	30.70	5.86%
A31	28.20	28.20	0.00%	29.67	28.60	3.60%	28.33	28.70	1.29%
A32	28.00	28.20	0.71%	29.07	28.40	2.29%	27.80	28.90	3.96%
A33	27.75	28.00	0.90%	28.60	28.40	0.70%	27.65	29.50	6.69%

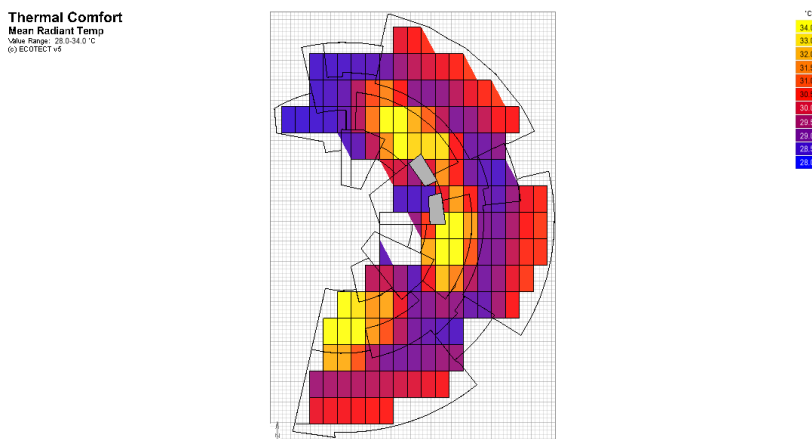


Gambar 4.78 Visualisasi termal lantai 2

Hasil simulasi pada ruang baca dan ruang diskusi yang terdapat pada lantai 3, didapatkan adanya perbedaan temperatur dibandingkan dengan keadaan eksisting. Data temperatur eksisting dan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.15 persentase perbedaan tertinggi terdapat pada ruang B33 pada pukul 09.00 yaitu sebesar 8.93%. Pada lantai 3 model simulasi dapat dikatakan valid dan dapat digunakan karena hasil perbedaan temperatur tidak ada yang melebihi 10%.

Tabel 4.15
Validasi Hasil Simulasi Lantai 3

Ruang	Pukul 09.00			Pukul 13.00			Pukul 16.00		
	Asli	Simulasi	Perbedaan	Asli	Simulasi	Perbedaan	Asli	Simulasi	Perbedaan
B11	29.20	29.50	1.03%	30.40	31.10	2.30%	28.40	29.70	4.58%
B12	30.10	28.90	3.99%	30.50	29.70	2.62%	29.20	29.60	1.37%
B13	30.00	29.00	3.33%	30.70	30.40	0.98%	29.20	30.10	3.08%
B21	29.90	31.10	4.01%	30.50	31.60	3.61%	29.30	30.10	2.73%
B22	29.20	28.80	1.37%	30.20	29.90	0.99%	28.70	30.70	6.97%
B31	29.13	31.20	7.09%	29.90	31.80	6.35%	29.57	31.40	6.20%
B32	29.20	31.30	7.19%	29.80	32.10	7.72%	29.70	31.30	5.39%
B33	29.10	31.70	8.93%	30.05	32.10	6.82%	29.45	30.90	4.92%

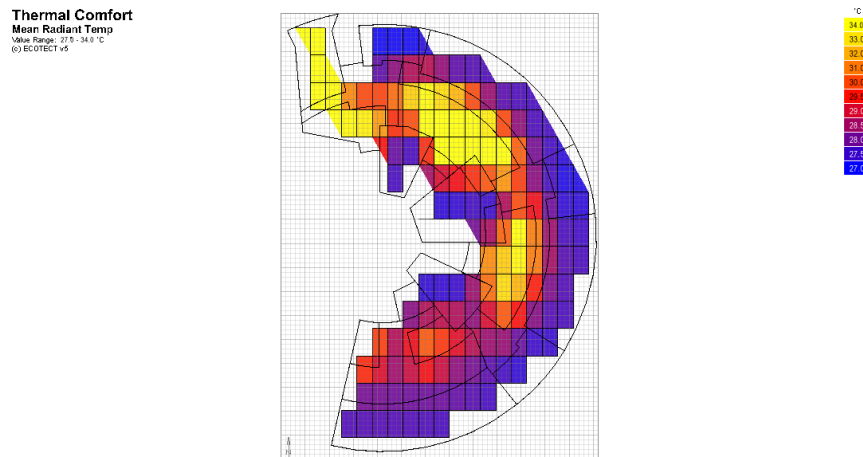


Gambar 4.79 Visualisasi termal lantai 3

Hasil simulasi pada ruang baca dan ruang diskusi yang terdapat pada lantai 4, didapatkan adanya perbedaan temperatur dibandingkan dengan keadaan eksisting. Data temperatur eksisting dan hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.17. Persentase perbedaan tertinggi terdapat pada ruang C12 pada pukul 13.00 yaitu sebesar 7.53%. Pada lantai 4 model simulasi dapat dikatakan valid karena hasil perbedaan temperatur tidak ada yang melebihi 10%.

Tabel 4.16
Validasi hasil simulasi lantai 4

Ruang	Pukul 09.00			Pukul 13.00			Pukul 16.00		
	Asli	Simulasi	Perbedaan	Asli	Simulasi	Perbedaan	Asli	Simulasi	Perbedaan
C11	28.00	29.90	6.79%	28.30	30.20	6.71%	28.90	31.00	7.27%
C12	29.60	30.30	2.36%	27.90	30.00	7.53%	29.00	31.20	7.59%
C13	28.10	30.00	6.76%	27.90	30.40	8.96%	29.00	31.30	7.93%
C21	29.70	30.60	3.03%	30.00	31.20	4.00%	29.90	31.30	4.68%
C22	27.80	29.80	7.19%	28.90	30.20	4.50%	28.90	30.20	4.50%
C31	29.73	29.90	0.56%	30.57	29.80	-2.51%	29.83	30.30	1.56%
C32	29.33	30.10	2.61%	29.50	30.50	3.39%	29.47	31.00	5.20%
C33	30.70	30.50	-0.65%	29.25	30.40	3.93%	29.55	30.40	2.88%



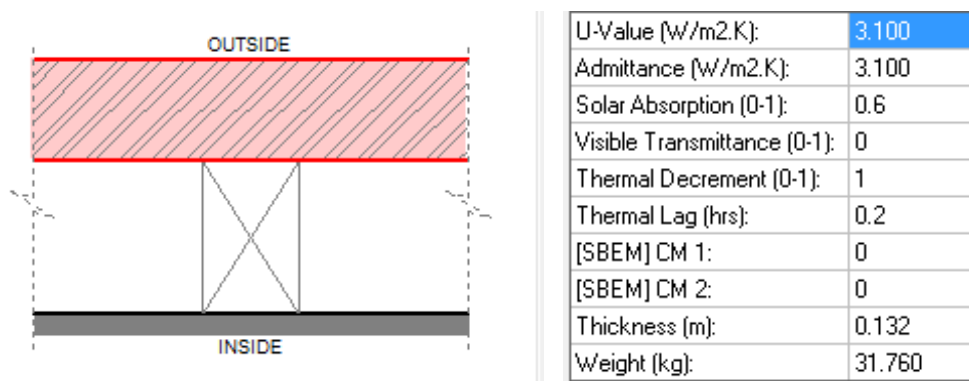
Gambar 4.80 Visualisasi termal lantai 4

Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan material yang sama dengan keadaan eksisting, dan hasil simulasi pada ketiga lantai menunjukkan hasil yang valid karena persentase perbedaan temperatur tidak lebih dari 10%. Sehingga model digital ini bisa digunakan untuk dilakukannya simulasi. Setelah itu dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material lain untuk mengetahui bagaimana pengaruh *green roof* terhadap temperatur ruang dibawahnya.

4.8 Simulasi Material Atap

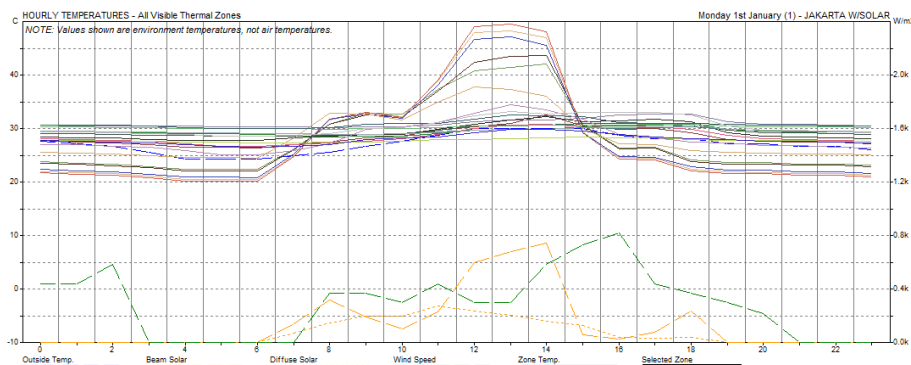
4.8.1 Simulasi Material Atap Tanah Liat

Simulasi menggunakan material tanah liat sebagai penutup atap dilakukan untuk membandingkan temperatur udara pada ruang baca dan ruang diskusi perpustakaan. Spesifikasi material tanah liat yang digunakan untuk simulasi yaitu:



Gambar 4.81 Detail dan spesifikasi material atap tanah liat

1. Lantai 2



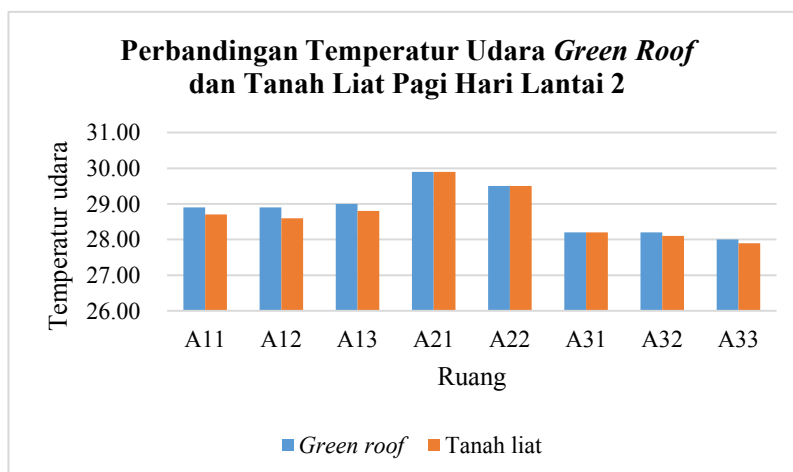
Gambar 4.82 Grafik temperatur udara dengan material tanah liat lantai 2

Setelah dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material tanah liat, didapatkan adanya beberapa perbedaan temperatur yang terjadi dalam ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 2 perpustakaan UI. Perbandingan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4.17

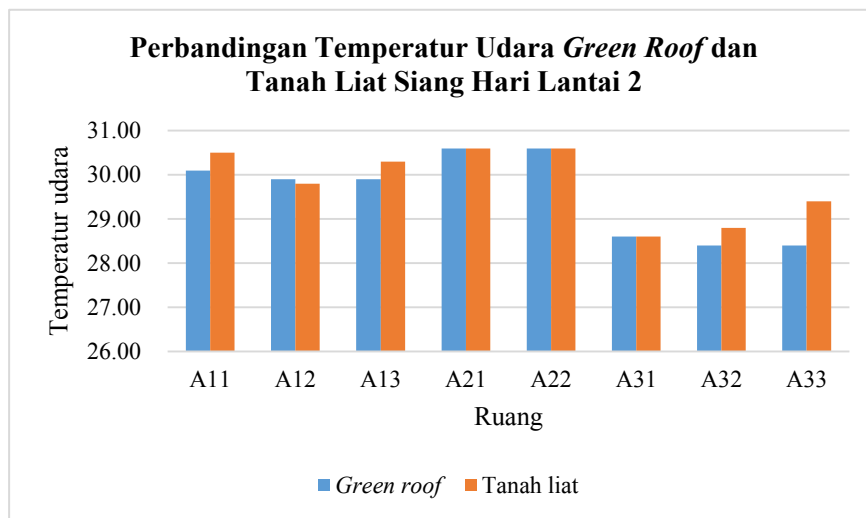
Perbandingan Temperatur *Green Roof* dengan Tanah Liat Lantai 2

RUANG	GREEN ROOF			TANAH LIAT		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
A11	28.90	30.10	31.40	28.70	30.50	31.60
A12	28.90	29.90	30.70	28.60	29.80	30.50
A13	29.00	29.90	30.30	28.80	30.30	30.50
A21	29.90	30.60	30.70	29.90	30.60	30.70
A22	29.50	30.60	30.70	29.50	30.60	30.70
A31	28.20	28.60	28.70	28.20	28.60	28.70
A32	28.20	28.40	28.90	28.10	28.80	29.00
A33	28.00	28.40	29.50	27.90	29.40	30.00
Rata-rata	28.83	29.56	30.11	28.71	29.83	30.21
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60



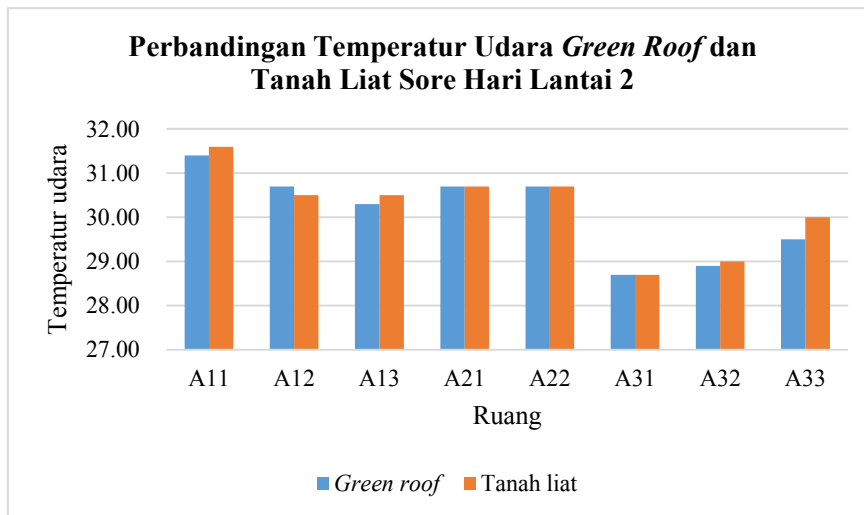
Gambar 4.83 Diagram perbandingan *green roof* dan atap tanah liat lantai 2 pagi

Pada pagi hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Temperatur udara pada ruang A11, A12, A13, A32, dan A33 lebih tinggi saat menggunakan material green roof sebagai penutup atap, sedangkan untuk ruang A21 dan A22 memiliki temperatur udara yang sama saat menggunakan green roof maupun atap tanah liat. Perbedaan temperatur udara antara green roof dan atap tanah liat pada ruang lantai 2 pagi hari hanya memberikan selisih 0.2°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 2, temperatur udara saat pagi hari pada ruang yang menggunakan material tanah liat lebih rendah dibandingkan dengan material green roof yaitu sebesar 0.12°C .



Gambar 4.84 Diagram perbandingan *green roof* dan atap tanah liat lantai 2 siang

Pada siang hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Temperatur udara pada ruang A11, A13, A32, dan A33 lebih tinggi saat menggunakan atap tanah liat sebagai penutup atap, sedangkan untuk ruang A12 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap. Pada ruang A21 dan A22 tidak mengalami perbedaan temperatur dengan menggunakan material penutup atap yang berbeda. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang A33, yaitu sebesar 1°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 2, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 0.27°C .

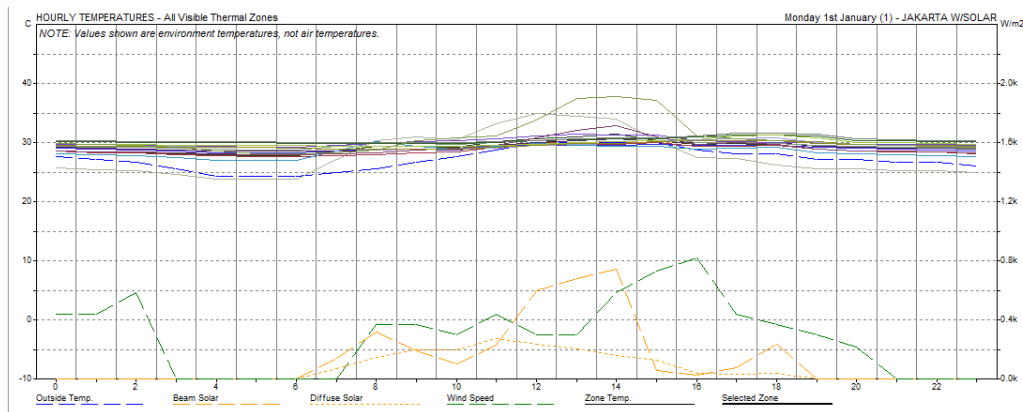


Gambar 4.85 Diagram perbandingan *green roof* dan atap tanah liat lantai 2 sore

Pada sore hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang, yaitu untuk ruang A11, A13, A32, dan A33 memiliki temperatur yang lebih tinggi jika menggunakan material penutup atap tanah liat. Sedangkan pada ruang A12, temperatur ruangan lebih tinggi jika menggunakan material *green roof* dengan selisih temperatur sebesar 0.1°C . Pada ruang A21, A22, dan A31 tidak mengalami perbedaan temperatur dengan penggunaan material atap yang berbeda. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang A33, yaitu sebesar 0.5°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 2, temperatur udara saat sore hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 0.1°C .

Setelah melakukan perbandingan temperatur udara yang terjadi pada setiap ruang dalam lantai 2 perpustakaan UI dengan menggunakan 2 material yang berbeda, dapat dilihat bahwa material *green roof* mampu memberikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat pada siang hingga sore hari. Sedangkan pada pagi hari rata-rata ruang dengan material *green roof* masih lebih tinggi daripada material tanah liat. Hal ini bisa disebabkan karena matahari pagi yang langsung masuk ke dalam ruang melalui *skylight* pada *green roof*. Perbedaan rata-rata temperatur yang terjadi saat pagi, siang, dan sore hari hanya sebesar 0.1°C – 0.27°C . Perbedaan temperatur yang tidak terlalu signifikan pada ruang lantai 2 ini disebabkan karena ruang-ruang tersebut tidak berbatasan langsung dengan atap.

2. Lantai 3



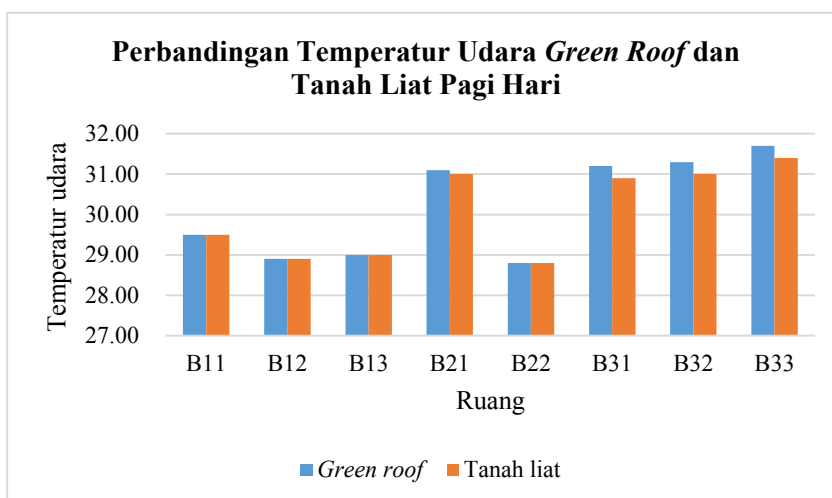
Gambar 4.86 Grafik temperatur udara dengan material tanah liat lantai 3

Setelah dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material tanah liat, didapati beberapa perbedaan temperatur yang terjadi dalam ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 3 perpustakaan UI. Perbandingan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.18

Tabel 4.18

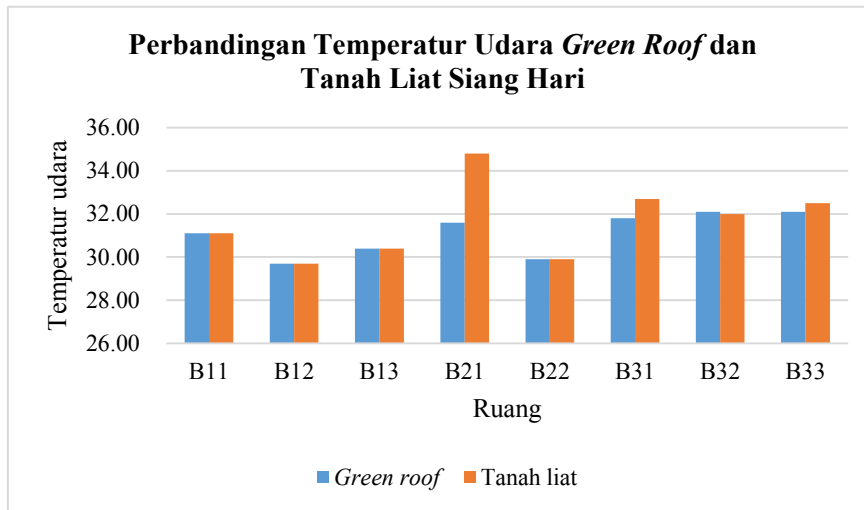
Perbandingan Temperatur *Green Roof* dengan Tanah Liat Lantai 3

Ruang	GREEN ROOF			TANAH LIAT		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
B11	29.50	31.10	29.70	29.50	31.10	29.70
B12	28.90	29.70	29.60	28.90	29.70	29.60
B13	29.00	30.40	30.10	29.00	30.40	30.10
B21	31.10	31.60	30.10	31.00	34.80	30.10
B22	28.80	29.90	30.70	28.80	29.90	30.70
B31	31.20	31.80	31.40	30.90	32.70	31.70
B32	31.30	32.10	31.30	31.00	32.00	31.50
B33	31.70	32.10	30.90	31.40	32.50	31.20
Rata-Rata	30.19	31.09	30.48	30.06	31.64	30.58
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60



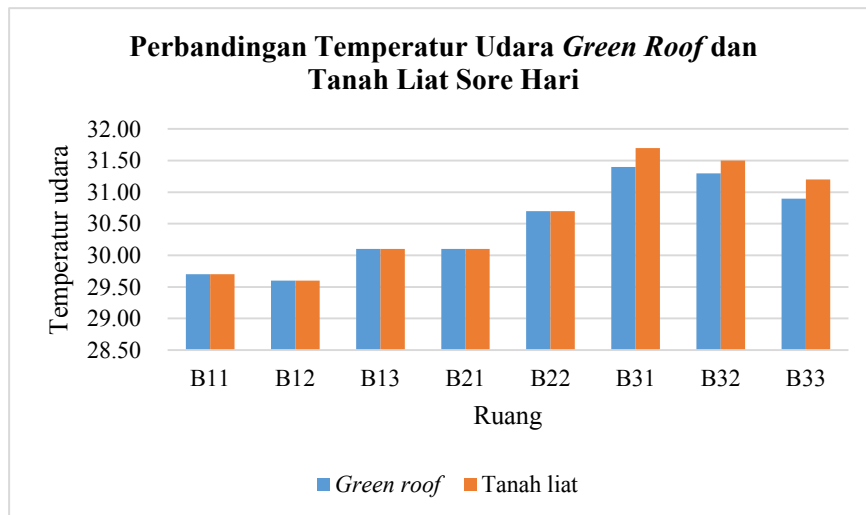
Gambar 4.87 Diagram perbandingan *green roof* dan atap tanah liat lantai 3 pagi

Pada pagi hari terjadi perbedaan temperatur dalam beberapa ruang pada lantai 3. Temperatur udara pada ruang B11, B12, B13, dan B22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan penggunaan material yang berbeda. Sedangkan untuk ruang B21, B31, B32, dan B33 lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap dibandingkan saat menggunakan material tanah liat. Perbedaan temperatur udara hanya sebesar 0.3°C yaitu pada ruang B33.



Gambar 4.88 Diagram perbandingan *green roof* dan tanah liat siang hari lantai 3

Pada siang hari terjadi perbedaan temperatur dalam beberapa ruang pada lantai 3, yaitu pada ruang B21, B31, dan B33 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material tanah liat sebagai penutup atap. Sedangkan untuk ruang B32 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* yaitu selisihnya hanya sebesar 0.1°C . Pada ruang B11, B12, B13, dan B22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan penggunaan material yang berbeda. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang B21, yaitu sebesar 3.2°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 3, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 1.78°C .

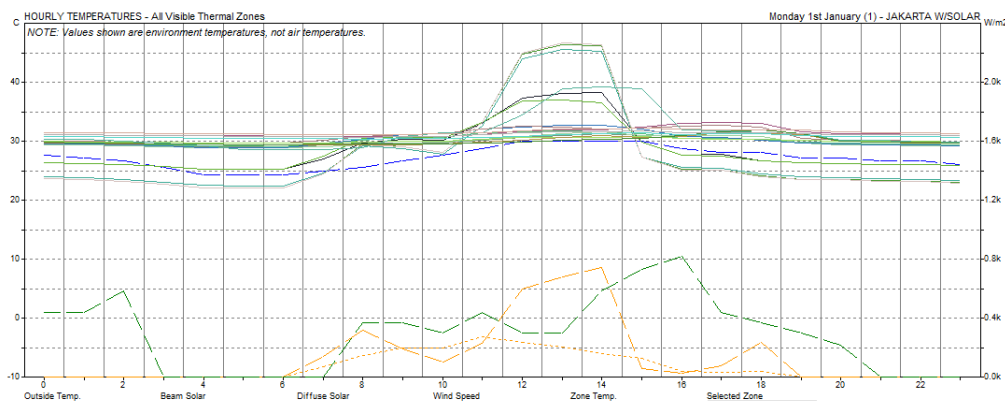


Gambar 4.89 Diagram perbandingan *green roof* dan tanah liat sore hari lantai 3

Pada sore hari terjadi perbedaan temperatur hanya pada ruang yang berbatasan langsung dengan atap yaitu pada ruang B31, B32, dan B33. Pada ketiga ruang tersebut menyatakan bahwa temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material tanah liat. Perbedaan temperatur udara sebesar 0.3°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 3, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 0.1°C .

Setelah melakukan perbandingan temperatur udara yang terjadi pada setiap ruang saat menggunakan material penutup atap *green roof* dan tanah liat, dapat dilihat bahwa material *green roof* mampu memberikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat. Perbedaan rata-rata temperatur yang terjadi saat pagi, siang, dan sore hari sebesar $0.1^{\circ}\text{C} - 0.55^{\circ}\text{C}$.

3. Lantai 4

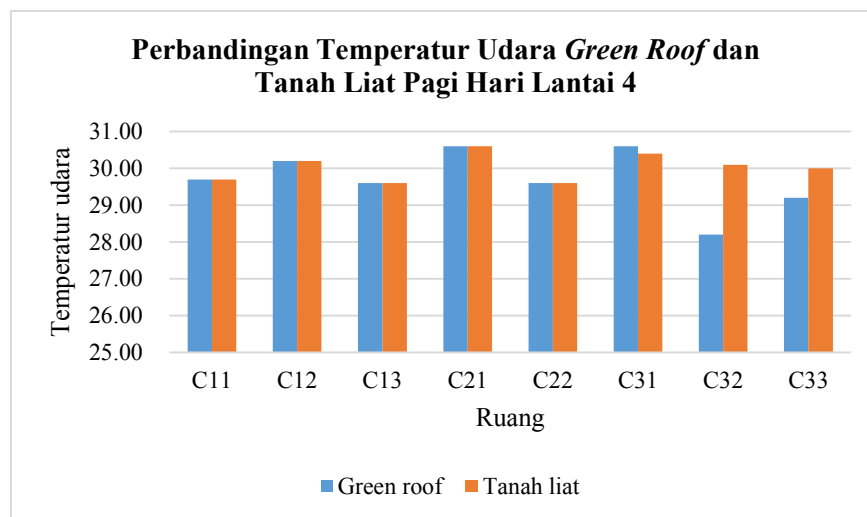


Gambar 4.90 Grafik temperatur udara dengan tanah liat lantai 4 dengan *Ecotect*

Setelah dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material tanah liat, didapatkan adanya beberapa perbedaan temperatur yang terjadi dalam ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 4 perpustakaan UI. Perbandingan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.19

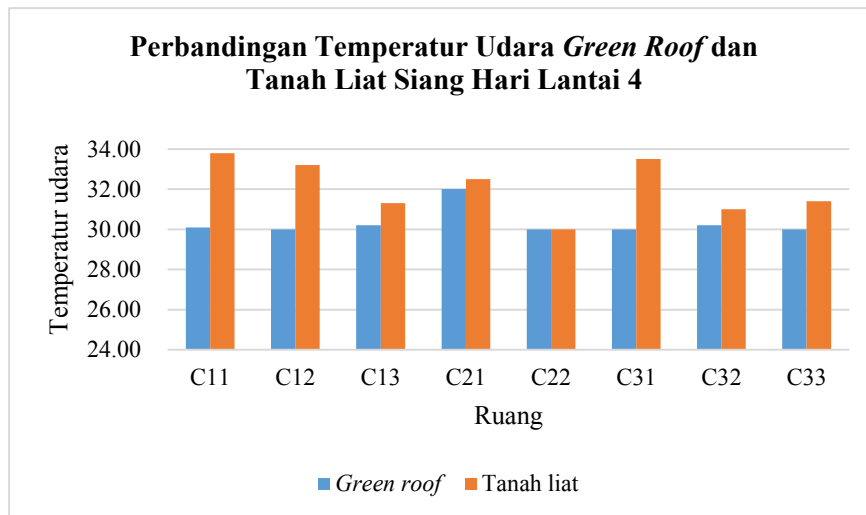
Tabel 4.19
Perbandingan Temperatur *Green Roof* dengan Tanah Liat Lantai 4

RUANG	GREEN ROOF			TANAH LIAT		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
C11	29.70	30.10	30.20	29.70	33.80	30.80
C12	30.20	30.00	30.90	30.20	33.20	30.60
C13	29.60	30.20	31.00	29.60	31.30	31.00
C21	30.60	32.00	30.80	30.60	32.50	30.80
C22	29.60	30.00	30.70	29.60	30.00	30.70
C31	30.60	30.00	30.00	30.40	33.50	32.90
C32	28.20	30.20	30.10	30.10	31.00	30.70
C33	29.20	30.00	30.00	30.00	31.40	30.60
Rata-rata	29.71	30.31	30.46	30.03	32.09	31.01
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60



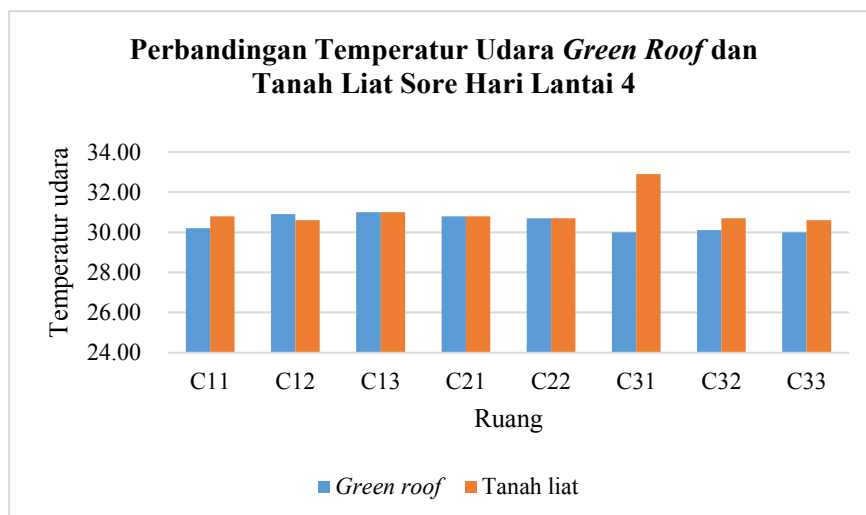
Gambar 4.91 Diagram perbandingan *green roof* dan tanah liat pagi hari lantai 4

Pada pagi hari terjadi perbedaan temperatur pada ruang yang berbatasan langsung dengan *green roof* yaitu ruang C31, C32, dan C33. Pada ruang C31 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap dengan selisih temperatur sebesar 0.2°C . Sedangkan untuk ruang C32 dan C33 memiliki temperatur yang lebih tinggi dengan menggunakan material tanah liat dibandingkan dengan material *green roof*. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang C32, yaitu sebesar 1.9°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 4, temperatur udara saat pagi hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 0.32°C .



Gambar 4.93 Diagram perbandingan *green roof* dan tanah liat siang hari lantai 4

Pada siang hari, mayoritas ruang pada lantai 4 mengalami perbedaan temperatur, hanya ruang C22 yang memiliki temperatur yang sama dengan penggunaan material yang berbeda. Seluruh ruang yang mengalami perbedaan temperatur menunjukkan bahwa penggunaan material tanah liat sebagai penutup atap memiliki temperatur udara yang lebih tinggi dibandingkan dengan material *green roof*. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang C31, yaitu sebesar 3.7°C. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 4, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 1.78°C.



Gambar 4.92 Diagram perbandingan *green roof* dan tanah liat sore hari lantai 4

Pada sore hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Temperatur udara pada ruang C11, C31, C32, dan C33 lebih tinggi saat menggunakan material tanah liat sebagai penutup atap. Sedangkan untuk ruang C12 memiliki temperatur udara yang lebih

tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap dengan selisih temperatur sebesar 0.3°C . Temperatur udara pada ruang C13, C21, dan C22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan penggunaan material yang berbeda. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang C31, yaitu sebesar 2.9°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 4, temperatur udara saat sore hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat yaitu sebesar 0.55°C .

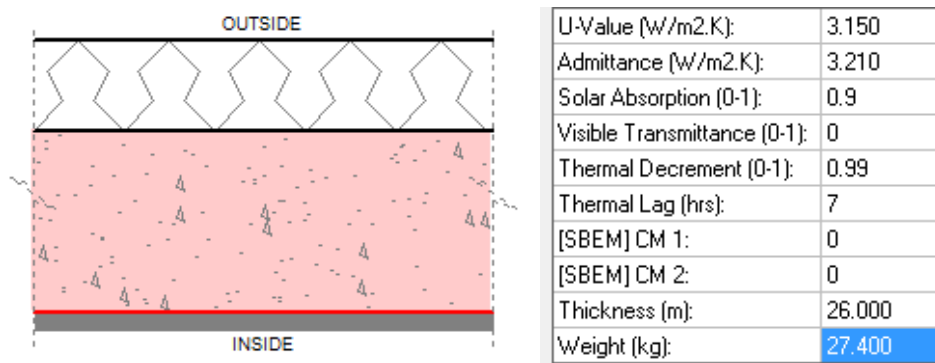
Setelah melakukan perbandingan temperatur udara yang terjadi pada setiap ruang dalam lantai 4 perpustakaan UI dengan menggunakan 2 material yang berbeda, dapat dilihat bahwa material *green roof* mampu memberikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat. Perbedaan rata-rata temperatur yang terjadi saat pagi, siang, dan sore hari sebesar $0.32^{\circ}\text{C} - 1.78^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan dengan membandingkan penggunaan material *green roof* dengan material tanah liat pada ruang baca dan ruang diskusi perpustakaan UI, dapat dilihat bahwa pada penelitian ini material *green roof* dapat menurunkan temperatur udara mulai dari $0.1^{\circ}\text{C} - 1.78^{\circ}\text{C}$. Penurunan temperatur paling tinggi terjadi pada ruangan yang berada di lantai 4. Tingginya perbedaan temperatur pada ruang lantai 4, hal tersebut dapat disebabkan karena ruang-ruang pada lantai 4 berbatasan langsung dengan atap. Sehingga material atap mampu memberikan pengaruh yang besar terhadap temperatur ruangan dibawahnya.

Penggunaan material tanah liat dapat dikatakan kurang efektif karena berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, rata-rata temperatur udara pada ruang baca dan ruang diskusi adalah $28.7^{\circ}\text{C} - 32.1^{\circ}\text{C}$. Nilai tersebut berada diatas temperatur nyaman optimal dengan nilai $22,5^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ yang telah ditentukan SNI maupun standar kenyamanan termal yang diperoleh berdasarkan analisis regresi dengan nilai $27.3^{\circ}\text{C} - 29.3^{\circ}\text{C}$. Selain itu jika dibandingkan dengan temperatur luar bangunan, material tanah liat hanya mampu menurunkan temperatur sebesar 2.9°C sedangkan material *green roof* mampu menurunkan hingga 4.7°C .

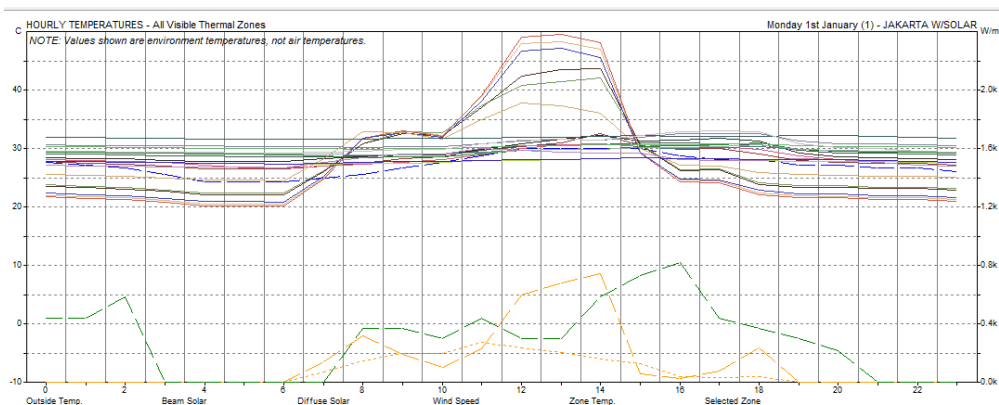
4.8.2 Simulasi Material Beton

Simulasi menggunakan material beton sebagai penutup atap dilakukan untuk membandingkan temperatur udara pada ruang baca dan ruang diskusi perpustakaan. Spesifikasi material beton yang digunakan untuk simulasi yaitu :



Gambar 4.94 Detail dan spesifikasi material beton

1. Lantai 2



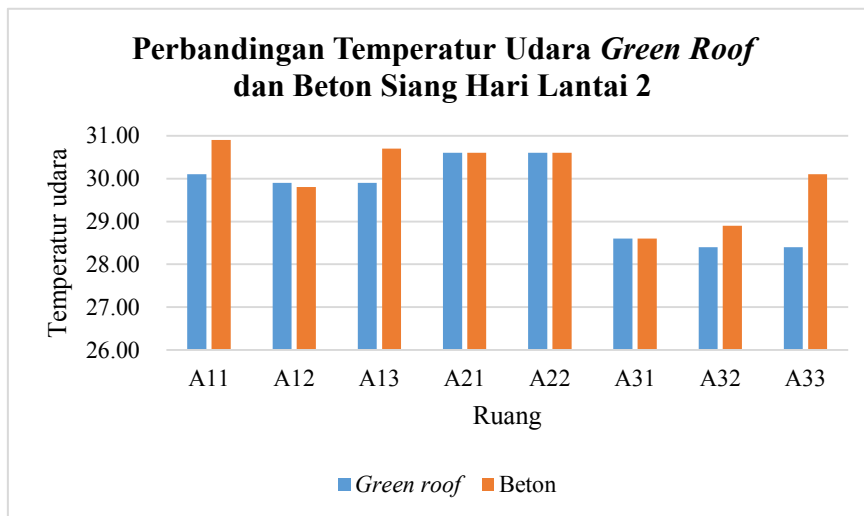
Gambar 4.95 Grafik temperatur udara dengan material beton lantai 2

Setelah dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material beton, didapati beberapa perbedaan temperatur yang terjadi dalam ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 2 perpustakaan universitas Indonesia. perbandingan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.20
Perbandingan Temperatur *Green Roof* dengan Beton Lantai 2

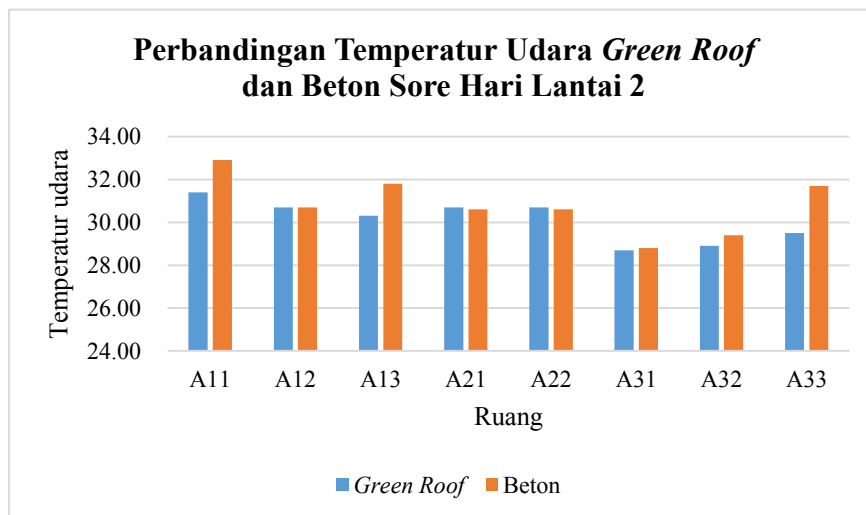
RUANG	GREEN ROOF			BETON		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
A11	28.90	30.10	31.40	28.60	30.90	32.90
A12	28.90	29.90	30.70	28.30	29.80	30.70
A13	29.00	29.90	30.30	28.70	30.70	31.80
A21	29.90	30.60	30.70	29.90	30.60	30.60
A22	29.50	30.60	30.70	29.50	30.60	30.60
A31	28.20	28.60	28.70	28.20	28.60	28.80
A32	28.20	28.40	28.90	27.90	28.90	29.40
A33	28.00	28.40	29.50	27.50	30.10	31.70
Rata-rata	28.83	29.56	30.11	28.58	30.03	30.81
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

Pada pagi hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang yang berada di lantai 2. Pada ruang-ruang yang mengalami perbedaan temperatur menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* dengan selisih paling tinggi sebesar 0.6°C yaitu pada ruang A12. Sedangkan pada ruang A21, A22, dan A31 tidak mengalami perbedaan temperatur dengan menggunakan material yang berbeda. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 2, temperatur udara saat pagi hari pada ruang yang menggunakan material beton lebih rendah dibandingkan dengan material *green roof* yaitu sebesar 0.25°C.



Gambar 4.96 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 2 siang

Pada siang hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Pada ruang-ruang yang berada di lantai 2 cenderung memiliki temperatur yang lebih tinggi dengan menggunakan material beton dibandingkan dengan material *green roof*. Namun pada ruang A12, temperatur ruangan lebih tinggi jika menggunakan material *green roof* dengan selisih temperatur sebesar 0.1°C . Sedangkan untuk ruang A21, A22, dan A31 tidak mengalami perbedaan temperatur. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang A33, yaitu sebesar 1.7°C dengan menggunakan material tanah liat yang lebih panas. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 2, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 0.47°C .

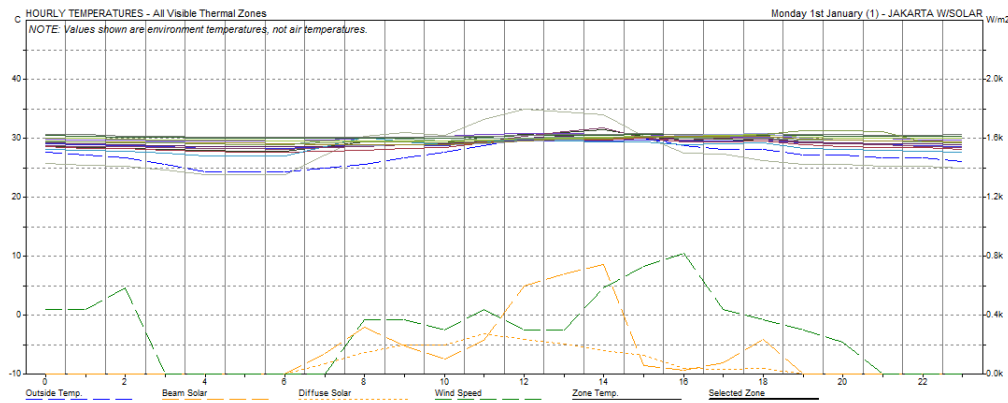


Gambar 4.97 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 2 sore

Pada sore hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang yang berada di lantai 2. Mayoritas menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material beton. Sedangkan untuk ruang A21 dan A22 memiliki temperatur yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* dengan selisih 0.1°C . Perbedaan temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang A33, yaitu sebesar 2.2°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 2, temperatur udara saat sore hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 0.7°C .

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada ruang diskusi dan ruang baca yang berada pada lantai 2 perpustakaan UI dengan menggunakan 2 material yang berbeda, dapat dilihat bahwa material *green roof* mampu memberikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan material beton saat siang dan sore hari. Perbedaan rata-rata temperatur yang terjadi saat siang dan sore hari sebesar $0.47^{\circ}\text{C} - 0.77^{\circ}\text{C}$.

2. Lantai 3



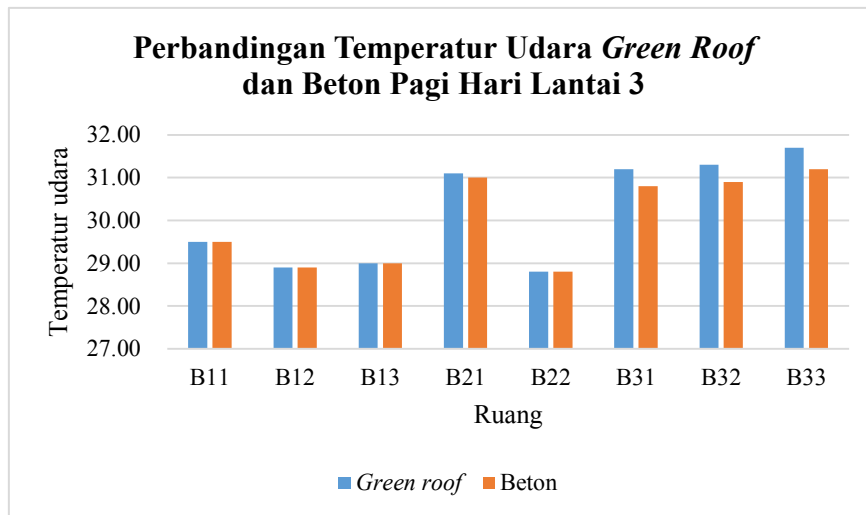
Gambar 4.98 Grafik temperatur udara dengan material beton lantai 3

Setelah dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material beton, didapatkan adanya beberapa perbedaan temperatur yang terjadi dalam ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 3 perpustakaan UI. Perbandingan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4.21

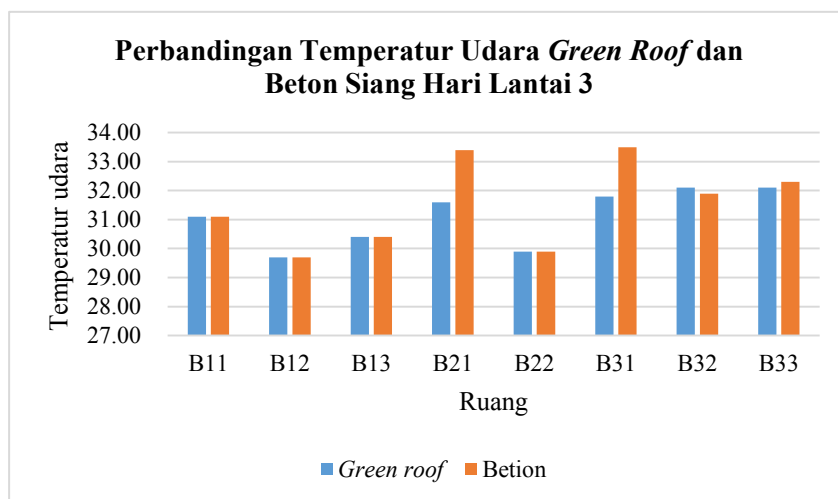
Perbandingan Temperatur *Green Roof* dengan Beton Lantai 3

Ruang	GREEN ROOF			BETON		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
B11	29.50	31.10	29.70	29.50	31.10	29.70
B12	28.90	29.70	29.60	28.90	29.70	29.60
B13	29.00	30.40	30.10	29.00	30.40	30.10
B21	31.10	31.60	30.10	31.00	33.40	31.70
B22	28.80	29.90	30.70	28.80	29.90	30.70
B31	31.20	31.80	31.40	30.80	33.50	31.70
B32	31.30	32.10	31.30	30.90	31.90	31.70
B33	31.70	32.10	30.90	31.20	32.30	31.40
Rata-Rata	30.19	31.09	30.48	30.01	31.53	30.83
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60



Gambar 4.100 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 3 pagi

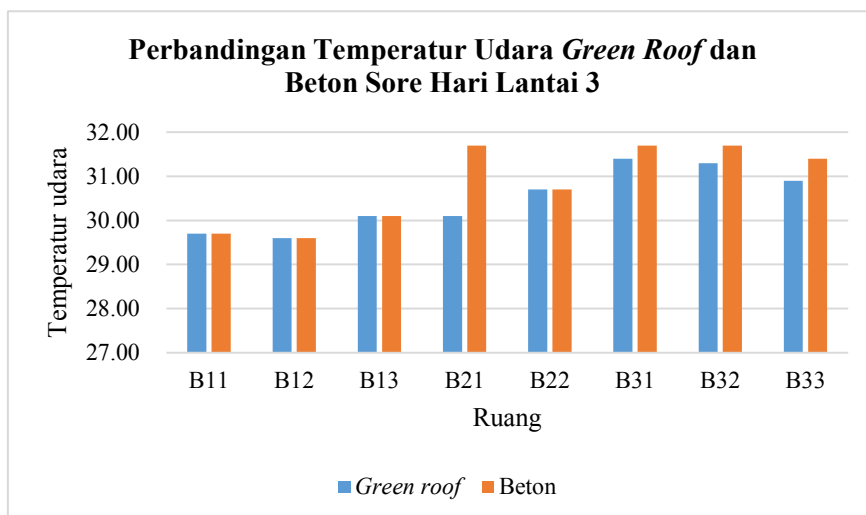
Saat pagi hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang di lantai 3. Temperatur udara pada ruang B11, B12, B13 dan B22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan menggunakan material yang berbeda. Sedangkan untuk ruang B21, B31, B32, dan B33 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang B33, yaitu sebesar 0.5°C . Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 3, temperatur udara saat pagi hari pada ruang yang menggunakan material beton lebih rendah dibandingkan dengan material *green roof* yaitu sebesar 0.18°C .



Gambar 4.99 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 3 siang

Pada siang hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Temperatur udara pada ruang B21, B31, dan B33 lebih tinggi saat menggunakan material beton sebagai penutup atap. Sedangkan untuk ruang B32 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap dengan selisih hanya sebesar

0.2°C. Temperatur udara pada ruang B11, B12, B13, dan B22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan penggunaan material yang berbeda. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang B21, yaitu sebesar 1.8°C. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 3, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 0.44°C.

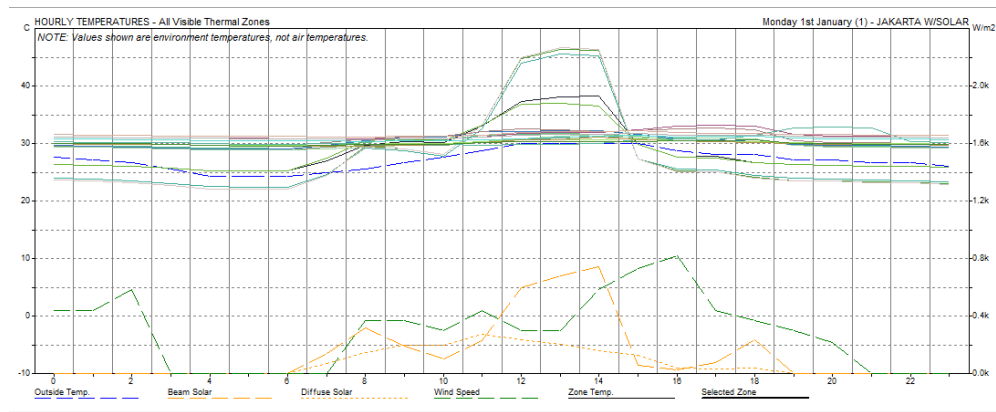


Gambar 4.101 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 3 sore

Saat sore hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang yang berada di lantai 3. Mayoritas ruang menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material beton. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang B21, yaitu sebesar 1.6°C. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 3, temperatur udara saat sore hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 0.4°C.

Setelah melakukan perbandingan temperatur udara yang terjadi pada setiap ruang baca dan ruang diskusi di lantai 3 perpustakaan UI dengan menggunakan 2 material yang berbeda, dapat dilihat bahwa material *green roof* mampu memberikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan material beton. Perbedaan rata-rata temperatur yang terjadi saat pagi, siang, dan sore hari sebesar 0.18°C – 0.44°C. Jika dilihat perbedaan temperatur udara pada setiap ruang, material *green roof* mampu menurunkan temperatur udara hingga 1.8°C. Perbedaan temperatur udara yang terjadi pada setiap ruang lantai 3 hanya terjadi pada ruang B21, B31, B32, dan B33, hal tersebut karena ruang-ruang tersebut berbatasan langsung dengan atap sehingga perlakuan pada material penutup atap cukup berpengaruh terhadap ruang dibawahnya.

3. Lantai 4



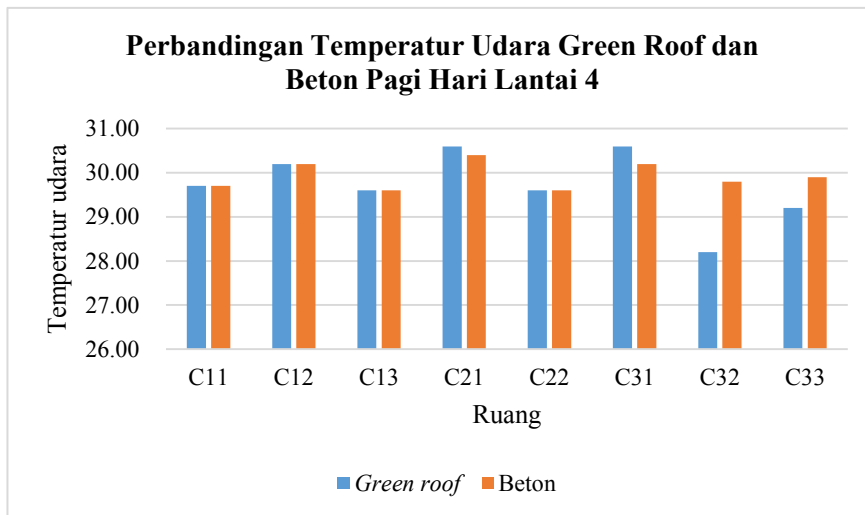
Gambar 4.102 Grafik temperatur udara lantai 4 dengan ecotect

Setelah dilakukan simulasi dengan mengganti material *green roof* dengan material beton, didapati beberapa perbedaan temperatur yang terjadi dalam ruang diskusi dan ruang baca pada lantai 4 perpustakaan universitas Indonesia. perbandingan temperatur dapat dilihat pada tabel 4.22

Tabel 4.22

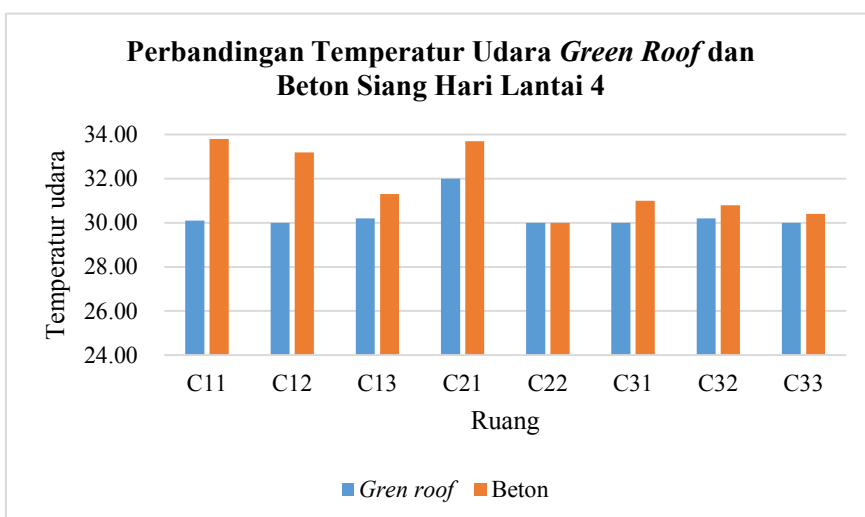
Perbandingan Temperatur *Green roof* dengan Beton Pada Lantai 4

RUANG	GREEN ROOF			BETON		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
C11	29.70	30.10	30.20	29.70	33.80	30.80
C12	30.20	30.00	30.90	30.20	33.20	30.60
C13	29.60	30.20	31.00	29.60	31.30	31.00
C21	30.60	32.00	30.80	30.40	33.70	31.00
C22	29.60	30.00	30.70	29.60	30.00	30.70
C31	30.60	30.00	30.00	30.20	31.00	30.60
C32	28.20	30.20	30.10	29.80	30.80	30.50
C33	29.20	30.00	30.00	29.90	30.40	30.50
Rata-rata	29.71	30.31	30.46	29.93	31.78	30.71
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60



Gambar 4.104 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 4 pagi

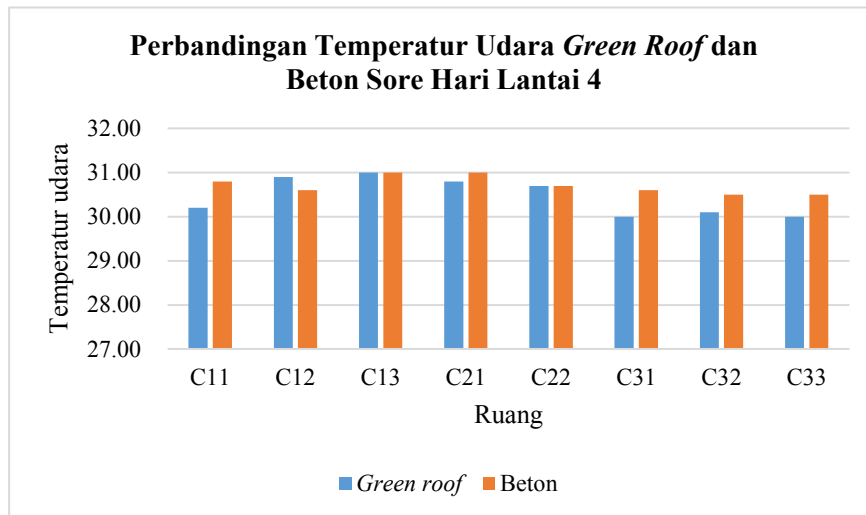
Pada pagi hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Pada ruang-B32 dan B33 memiliki temperatur yang lebih tinggi dengan menggunakan material beton dibandingkan dengan material *green roof*. Namun pada ruang C21 dan C31, temperatur ruangan lebih tinggi jika menggunakan material *green roof* dengan selisih temperatur mencapai 0.4°C. Ruang C11, C12, C13, dan C22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan perbedaan material penutup atap. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang C21, yaitu sebesar 1.6°C. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 4, temperatur udara saat pagi hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 0.22°C.



Gambar 4.103 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 4 siang

Pada siang hari terjadi perbedaan temperatur pada hampir keseluruhan ruang yang berada di lantai 4. Mayoritas ruang menunjukkan temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material beton dibandingkan material *green roof*. Namun pada ruang C22 tidak mengalami perbedaan temperatur dengan penggunaan material yang berbeda.

Perbedaan temperatur udara paling tinggi terdapat pada ruang C11, yaitu sebesar 3.7°C. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 4, temperatur udara saat siang hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 1.47°C.



Gambar 4.105 Diagram perbandingan *green roof* dan beton lantai 4 sore

Pada sore hari terjadi perbedaan temperatur pada beberapa ruang. Mayoritas temperatur udara pada ruang di lantai 4 menunjukkan bahwa temperatur udara lebih tinggi saat menggunakan material beton sebagai penutup atap. Sedangkan untuk ruang C12 memiliki temperatur udara yang lebih tinggi saat menggunakan material *green roof* sebagai penutup atap. Temperatur udara pada ruang C13 dan C22 tidak mengalami perubahan temperatur dengan penggunaan material yang berbeda. Perbedaan temperatur udara paling tinggi terjadi pada ruang C21 dan C31, yaitu sebesar 0.6°C. Jika dilihat dari rata-rata keseluruhan ruangan pada lantai 4, temperatur udara saat sore hari pada ruang yang menggunakan material *green roof* lebih rendah dibandingkan dengan material beton yaitu sebesar 0.25°C.

Setelah melakukan perbandingan temperatur udara yang terjadi pada setiap ruang dalam lantai 4 perpustakaan UI dengan menggunakan 2 material yang berbeda, dapat dilihat bahwa material *green roof* mampu memberikan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan material tanah liat. Perbedaan rata-rata temperatur yang terjadi saat pagi, siang, dan sore hari sebesar 0.22°C – 1.47°C. Jika dilihat dari setiap ruang pada lantai 4, material *green roof* mampu menurunkan temperatur hingga 3.7°C dibandingkan dengan material beton.

Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan dengan membandingkan penggunaan material *green roof* dengan material beton pada ruang baca dan ruang diskusi perpustakaan

UI, dapat dilihat bahwa pada penelitian ini material *green roof* dapat menurunkan rata-rata temperatur udara hingga 1.47°C. Jika dibandingkan dengan material beton, penurunan rata-rata temperatur paling tinggi terjadi pada ruangan yang berada di lantai 4. Hal tersebut disebabkan karena ruang-ruang pada lantai 4 berada langsung dibawah *green roof*, sehingga kinerja *green roof* terhadap penurunan suhu dapat bekerja maksimal.

Penggunaan material beton dapat dikatakan kurang efektif karena berdasarkan hasil simulasi dengan material beton, rata-rata temperatur udara pada ruang baca dan ruang diskusi adalah 29.93°C – 31.78°C. Nilai tersebut berada diatas temperatur nyaman optimal dengan nilai 22,5°C - 25°C yang telah ditentukan SNI maupun standar kenyamanan termal yang diperoleh berdasarkan analisis regresi dengan nilai 27.3°C - 29.3°C. Setelah dilakukan simulasi material atap terhadap model bangunan perpustakaan Uniersitas Indonesia, didapatkan bahwa penggunaan material *green roof* sebagai penutup atap dirasa paling efektif dibandingkan dengan material beton dan material tanah liat.

4.9 Simulasi Jenis Tanaman *Green roof*

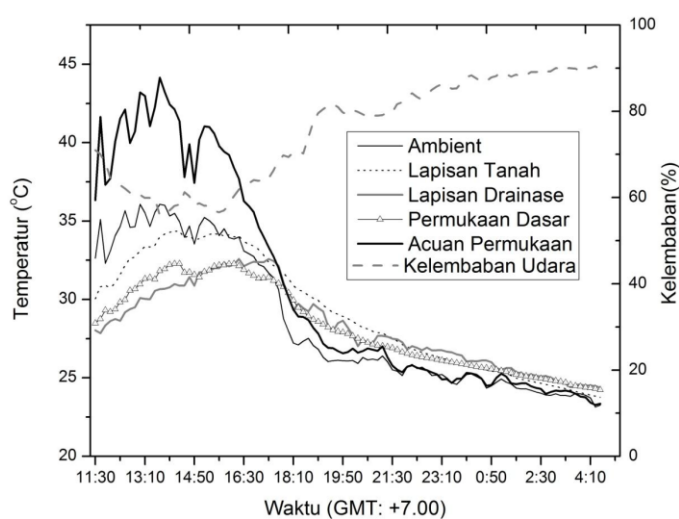
Setelah diperoleh hasil bahwa penggunaan material *green roof* sebagai penutup atap perpustakaan UI merupakan penutup atap yang paling efektif dibandingkan dengan material beton dan tanah liat. Selanjutnya akan dilakukan simulasi material *green roof* dengan menggunakan jenis tanaman yang sebelumnya sudah pernah diteliti oleh Retsa Anugrah Menteng pada tahun 2012 dengan judul penelitian ”Investigasi Kinerja Termal *Green Roof* Sebagai Pendingin Pasif di Iklim Tropis”. Simulasi dilakukan dengan memasukan nilai *U-Value* yang berbeda dari setiap tanaman. Simulasi ini dilakukan untuk mencari tahu jenis tanaman mana yang dirasa paling efektif untuk dijadikan *green roof* pada suatu bangunan. Simulasi ini menggunakan 3 sampel tanaman terbaik dalam menurunkan termal dari 7 sampel tanaman yang diuji pada penelitian sebelumnya.

4.9.1 Tanaman Bayam Merah



Gambar 4.106 Tanaman bayam merah

Bayam merah (*Althenantera ficoidea*) memiliki karakteristik daun yang berwarna merah, kepadatan daun yang cukup tinggi, tumbuh ke atas (tidak menjalar), dan cukup kuat apabila tidak mendapatkan pengairan yang cukup. Berdasarkan hasil uji kinerja termal pada tanaman bayam merah ini bahwa temperatur permukaan dasar wadah maksimal mencapai 34.5°C pada pukul 16.30 dan minimal 23.5°C pada pukul 04.30. Sedangkan *temperatur* pada lapisan tanah dengan model tamanan ini maksimal mencapai 41°C pada pukul 16.30 dan minimal 24°C pada pukul 04.30. Penggunaan tanaman bayam merah menyebabkan *temperatur* lapisan tanah menjadi tinggi pada siang hari dan kembali dingin pada malam hari disebabkan karena cara tumbuh tanaman yang tidak menjalar dan membuat rongga, sehingga tanah menjadi lebih panas.



Gambar 4.107 Grafik profil temperatur bayam merah
Ssumber: Retsa AM (2012)

Nilai konduktivitas termal (*R-Value*) tanaman bayam merah adalah $0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$. Nilai yang digunakan pada *software ecotect* yang nantinya di simulasikan pada bangunan adalah gabungan nilai dari beberapa material (*U-Value*), dimana nilai *U-Value* merupakan kebalikan dari *R-Value*. Maka nilai *U-Value* dari tanaman bayam merah adalah:

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

$$U - Value = \frac{1}{0.2} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tabel 4.23

Temperatur Ruang dengan Tanaman Bayam Merah

Ruang	Lantai 2 (A)			Lantai 3 (B)			Lantai 4 (C)		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
11	28.80	30.00	31.40	29.50	31.10	29.70	30.00	30.30	31.10
12	28.80	29.70	30.80	28.90	29.70	29.60	30.40	31.00	31.30
13	28.80	29.80	30.30	29.00	30.40	30.10	30.10	30.40	31.50
21	29.90	30.60	30.70	31.10	31.60	30.10	30.70	31.30	31.40
22	29.50	30.60	30.70	28.80	29.90	30.70	29.90	30.20	30.30
31	28.20	28.60	28.70	31.20	31.80	31.40	30.20	30.00	30.60
32	28.20	28.40	29.20	31.30	32.10	31.30	30.00	30.30	30.80
33	28.00	28.30	29.70	31.70	32.10	30.90	30.40	30.20	30.20
Rata-rata	28.78	29.50	30.19	30.19	31.09	30.48	30.21	30.46	30.90
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

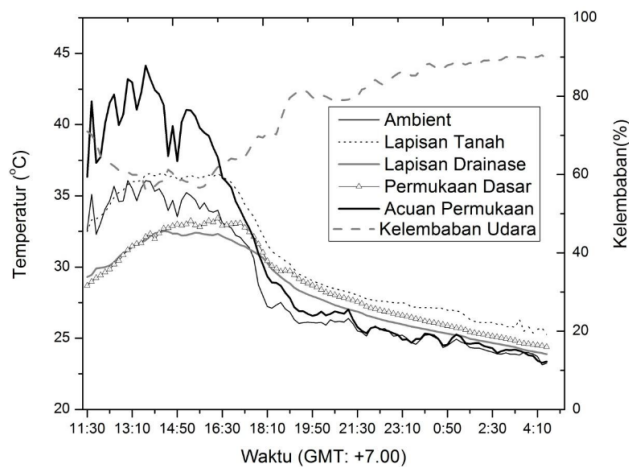
4.9.2 Tanaman Kucai Jepang



Gambar 4.108 Tanaman kucai jepang

Kucaai Jepang (*Carex Morrowii*) memiliki karakteristik daun yang panjang (tidak lebar namun cukup tebal), kepadatan daun sedang, dan kuat tanpa pengairan yang cukup. Berdasarkan hasil uji kinerja termal pada tanaman kucai jepang ini bahwa temperatur permukaan dasar wadah maksimal mencapai 33°C pada pukul 16.30 dan minimal 24.7°C pada pukul 04.30. Sedangkan temperatur pada lapisan tanah dengan model tamanan ini maksimal mencapai 37°C pada pukul 16.30 dan minimal 26°C pada pukul 04.30.

Penggunaan tanaman kucai menyebabkan temperatur lapisan tanah menjadi tinggi pada siang hari dan kembali dingin pada malam hari disebabkan kepadatan daun yang tidak terlalu tinggi membuat temperatur tanah menjadi lebih tinggi.



Gambar 4.109 Grafik profil temperatur kucai Jepang
Sumber: Retsa AM (2012)

Nilai konduktivitas termal (*R-Value*) tanaman bayam merah adalah $0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$. Nilai yang digunakan pada *software ecotect* yang nantinya di simulasikan pada bangunan adalah gabungan nilai dari beberapa material (*U-Value*), dimana nilai *U-Value* merupakan kebalikan dari *R-Value*. Maka nilai *U-Value* dari tanaman bayam merah adalah:

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

$$U - Value = \frac{1}{0.22} = 4.5 \frac{W}{m^2K}$$

Tabel 4.24
Temperatur Ruang dengan Tanaman Kucai Jepang

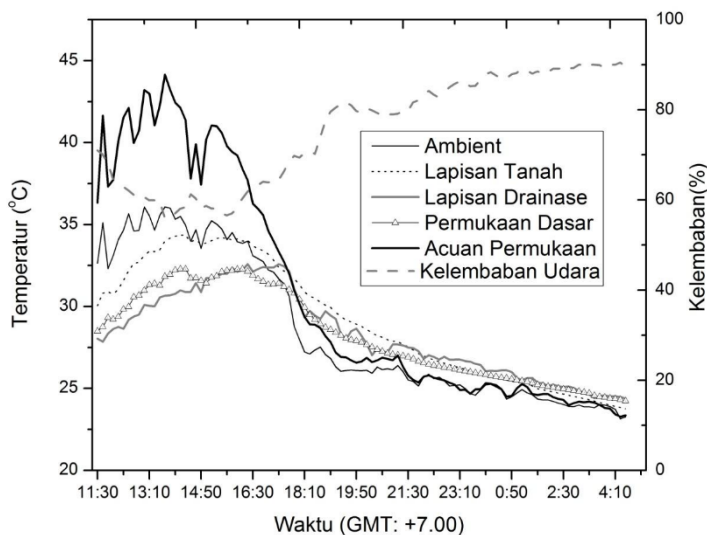
Ruang	Lantai 2 (A)			Lantai 3 (B)			Lantai 4 (C)		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
11	28.80	30.10	31.40	29.50	31.10	29.70	29.80	30.20	31.00
12	28.80	29.80	30.70	28.90	29.70	29.60	30.30	30.90	31.20
13	28.90	29.80	30.30	29.00	30.40	30.10	30.00	30.30	31.30
21	29.90	30.60	30.70	31.00	31.60	29.60	30.60	31.20	31.30
22	29.50	30.60	30.70	28.80	29.90	30.70	29.80	30.10	30.10
31	28.20	28.60	28.70	31.10	31.70	31.30	29.70	29.80	30.20
32	28.20	28.40	28.90	31.20	32.00	31.20	30.00	30.40	30.90
33	28.00	28.30	29.50	31.60	32.10	30.90	30.40	30.40	30.40
Rata-rata	28.79	29.53	30.11	30.14	31.06	30.39	30.08	30.41	30.80
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

4.9.3 Tanaman Rumput Gajah Mini



Gambar 4.110 Rumput gajah mini

Rumput Gajah Mini (*Pennisetum Purpureum schamach*) memiliki karakteristik daun yang panjang, cukup lebar, tumbuh di atas lapisan tanah. Berdasarkan hasil uji kinerja termal pada tanaman rumput gajah mini bahwa temperatur permukaan dasar wadah maksimal mencapai 32°C pada pukul 14.30 dan pukul 16.30, serta minimal sebesar 25°C pada pukul 4.30. Sedangkan temperatur pada lapisan tanah dengan model tanaman ini maksimal mencapai 34°C pada pukul 14.30 dan pukul 16.30. Tanah yang cenderung lembab dan daun yang menutupi hampir semua bagian tanah menyebabkan temperatur tanah yang tidak terlalu tinggi dan cukup stabil.



Gambar 4.111 Grafik profil temperatur rumput gajah mini
Sumber: Retsa AM (2012)

Nilai konduktivitas termal (*R-Value*) tanaman bayam mini adalah 0.24 m²K/W. Nilai yang digunakan pada *software* ecotec yang nantinya di simulasikan pada bangunan adalah gabungan nilai dari beberapa material (*U-Value*), dimana nilai *U-Value* merupakan kebalikan dari *R-value*. Maka nilai *U-Value* dari tanaman bayam mini adalah:

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

$$U - Value = \frac{1}{0.22} = 4.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tabel 4.25

Temperatur Ruang dengan Tanaman Rumput Gajah Mini

Ruang	Lantai 2 (A)			Lantai 3 (B)			Lantai 4 (C)		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
11	28.90	30.10	31.40	29.50	31.10	29.70	29.90	30.20	31.00
12	28.90	29.90	30.70	28.90	29.70	29.60	30.30	31.00	31.20
13	29.00	29.90	30.30	29.00	30.40	30.10	30.00	30.40	31.30
21	29.90	30.60	30.70	31.00	31.50	29.60	30.60	31.20	31.30
22	29.50	30.60	30.70	28.80	29.90	30.70	29.80	30.20	30.20
31	28.20	28.60	28.70	31.10	31.70	31.20	29.90	29.80	30.30
32	28.20	28.40	28.90	31.20	32.00	31.20	30.10	30.50	31.00
33	28.00	28.40	29.50	31.60	32.00	30.90	30.50	30.40	30.40
Rata-rata	28.83	29.56	30.11	30.14	31.04	30.38	30.14	30.46	30.84
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

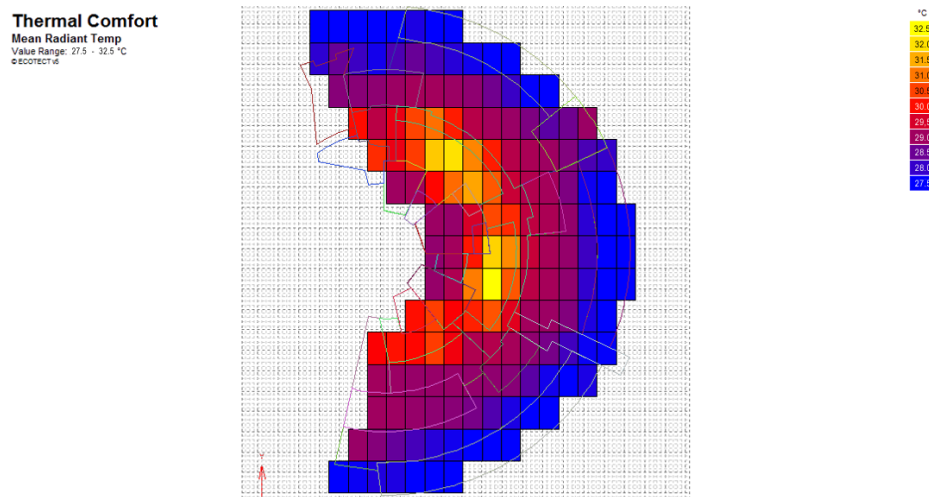
4.10 Hasil Akhir

Setelah dilakukannya simulasi dengan membandingkan material *green roof*, atap tanah liat, dan beton didapatkan bahwa material penutup atap yang dirasa paling berpengaruh terhadap kenyamanan termal ruang baca dan ruang diskusi perpustakaan universitas Indonesia adalah material *green roof*. Terlihat pada diagram dan tabel hasil simulasi bahwa atap *green roof* memiliki rata-rata temperatur paling rendah dibandingkan material lain saat siang hari. Selain itu *green roof* juga berpengaruh tidak hanya terhadap ruang yang berada langsung dibawahnya, namun juga memberikan efek penurunan temperatur pada ruang-ruang yang berada di lantai 2 dan 3 perpustakaan UI. Hasil perbandingan temperatur setiap ruang dan rata-rata dari ketiga material dapat dilihat pada tabel 4.26, tabel 4.27, dan tabel 4.28.

Tabel 4.26

Perbandingan Temperatur Ruang pada Lantai 2

Ruang	Green roof			Tanah Liat			Beton		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
A11	28.90	30.10	31.40	28.70	30.50	31.60	28.60	30.90	32.90
A12	28.90	29.90	30.70	28.60	29.80	30.50	28.30	29.80	30.70
A13	29.00	29.90	30.30	28.80	30.30	30.50	28.70	30.70	31.80
A21	29.90	30.60	30.70	29.90	30.60	30.70	29.90	30.60	30.60
A22	29.50	30.60	30.70	29.50	30.60	30.70	29.50	30.60	30.60
A31	28.20	28.60	28.70	28.20	28.60	28.70	28.20	28.60	28.80
A32	28.20	28.40	28.90	28.10	28.80	29.00	27.90	28.90	29.40
A33	28.00	28.40	29.50	27.90	29.40	30.00	27.50	30.10	31.70
Rata-Rata	28.83	29.56	30.11	28.71	29.83	30.21	28.58	30.03	30.81
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

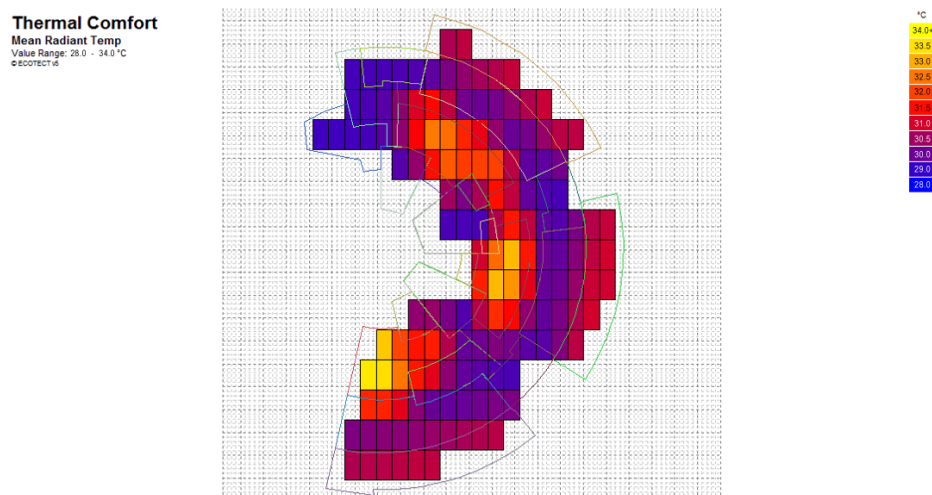


Gambar 4.112 Visualisasi termal akhir lantai 2

Jika dilihat berdasarkan hasil visualisasi termal yang terjadi pada ruang lantai 2, warna biru hingga ungu menunjukkan temperatur udara pada ruang yang lebih rendah dibandingkan yang berwarna merah hingga kuning. Warna biru dan ungu pada gambar 4.112 menunjukkan temperatur ruang 27.5°C – 29.5°C. Ruang yang berwarna biru hingga ungu merupakan ruang baca yang berada langsung dibawah atap. Sehingga dapat dilihat bahwa ruang yang berada langsung dibawah atap terpengaruh oleh material penutup atap yang membuat temperatur udara lebih dingin dibandingkan ruang lainnya.

Tabel 4.27
Perbandingan Temperatur Ruang pada Lantai 3

Ruang	<i>Green roof</i>			Tanah Liat			Beton		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
B11	29.50	31.10	29.70	29.50	31.10	29.70	29.50	31.10	29.70
B12	28.90	29.70	29.60	28.90	29.70	29.60	28.90	29.70	29.60
B13	29.00	30.40	30.10	29.00	30.40	30.10	29.00	30.40	30.10
B21	31.10	31.60	30.10	31.00	34.80	30.10	31.00	33.40	31.70
B22	28.80	29.90	30.70	28.80	29.90	30.70	28.80	29.90	30.70
B31	31.20	31.80	31.40	30.90	32.70	31.70	30.80	33.50	31.70
B32	31.30	32.10	31.30	31.00	32.00	31.50	30.90	31.90	31.70
B33	31.70	32.10	30.90	31.40	32.50	31.20	31.20	32.30	31.40
Rata-Rata	30.19	31.09	30.48	30.06	31.64	30.58	30.01	31.53	30.83
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

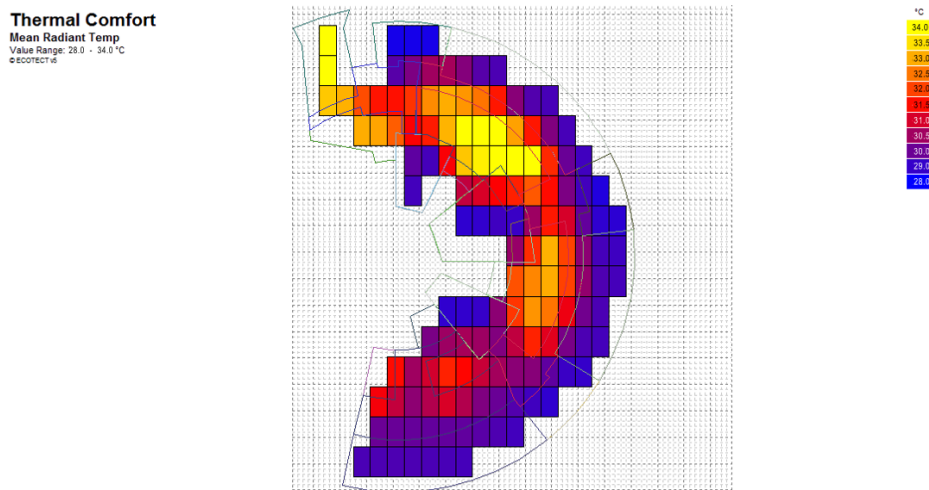


Gambar 4.113 Visualisasi termal akhir lantai 3

Berdasarkan hasil visualisasi termal yang terjadi pada ruang lantai 3, warna biru hingga ungu menunjukkan temperatur udara pada ruang yang lebih rendah dibandingkan yang berwarna merah hingga kuning. Warna biru dan ungu pada gambar 4.113 menunjukkan temperatur ruang 28.0°C – 31.0°C. Ruang yang berwarna biru hingga ungu merupakan ruang baca yang berada langsung dibawah atap. Sehingga dapat dilihat bahwa ruang yang berada langsung dibawah atap terpengaruh oleh material penutup atap yang membuat teperatur udara lebih dingin dibandingkan ruang lainnya.

Tabel 4.28
Perbandingan Temperatur Ruang pada Lantai 4

Ruang	Green roof			Tanah Liat			Beton		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
C11	29.70	30.10	30.20	29.70	33.80	30.80	29.70	33.80	30.80
C12	30.20	30.00	30.90	30.20	33.20	30.60	30.20	33.20	30.60
C13	29.60	30.20	31.00	29.60	31.30	31.00	29.60	31.30	31.00
C21	30.60	32.00	30.80	30.60	32.50	30.80	30.40	33.70	31.00
C22	29.60	30.00	30.70	29.60	30.00	30.70	29.60	30.00	30.70
C31	30.60	30.00	30.00	30.40	33.50	32.90	30.20	31.00	30.60
C32	28.20	30.20	30.10	30.10	31.00	30.70	29.80	30.80	30.50
C33	29.20	30.00	30.00	30.00	31.40	30.60	29.90	30.40	30.50
Rata-rata	29.71	30.31	30.46	30.03	32.09	31.01	29.93	31.78	30.71
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60



Gambar 4.114 Visualisasi termal akhir lantai 4

Berdasarkan hasil visualisasi termal yang terjadi pada ruang lantai 4, warna biru hingga ungu menunjukkan temperatur udara pada ruang yang lebih rendah dibandingkan yang berwarna merah hingga kuning. Warna biru dan ungu pada gambar 4.113 menunjukkan temperatur ruang 28.0°C – 31.0°C . Ruang yang berwarna biru hingga ungu merupakan ruang baca yang berada langsung dibawah atap. Sehingga dapat dilihat bahwa ruang yang berada langsung dibawah atap terpengaruh oleh material penutup atap yang membuat teperatur udara lebih dingin dibandingkan ruang lainnya.

Apabila rata-rata temperatur ruang yang menggunakan atap *green roof* dibandingkan dengan temperatur ruang yang menggunakan atap tanah liat maka atap *green roof* mampu menurunkan temperatur pada siang hari hingga 1.78°C , namun jika dilihat dari setiap ruang maka *green roof* mampu menurunkan temperatur hingga 3.7°C yaitu terjadi pada ruang C31 yang berada di lantai 4 saat siang hari. Sedangkan apabila atap *green roof* dibandingkan dengan atap beton maka akan terjadi penurunan temperatur hingga 1.47°C ,

namun jika dilihat dari setiap ruang maka *green roof* mampu menurunkan temperatur hingga 2.2°C yaitu terjadi pada ruang A33 yang berada di lantai 2 saat siang hari. Saat dibandingkan dengan temperatur pada luar bangunan, *green roof* mampu memberikan selisih temperatur hingga 4.74°C . Hal tersebut bisa disebabkan karena material *green roof* memiliki nilai Thermal Admittance yang tinggi dibandingkan dengan material lain, besaran *U-Value* yang paling kecil dibandingkan dengan material lain, serta *Thermal Lag* yang cukup lama dibandingkan dengan material lain.

Sedangkan untuk perbandingan penggunaan jenis tanaman pada simulasi perpustakaan UI ini mendapatkan hasil bahwa penggunaan tanaman rumput gajah mini (*Pennisetum Purpureum schamach*). Hasil perbandingan temperatur setiap ruang dari ketiga jenis tanaman dapat dilihat pada tabel 4.29, tabel 4.30, dan tabel 4.31.

Tabel 4.29

Perbandingan Temperatur Ruang dengan Jenis Tanaman pada Lantai 2

Ruang	Bayam Merah			Kucai Jepang			Rumput Gajah Mini		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
A11	28.80	30.00	31.40	28.80	30.10	31.40	28.90	30.10	31.40
A12	28.80	29.70	30.80	28.80	29.80	30.70	28.90	29.90	30.70
A13	28.80	29.80	30.30	28.90	29.80	30.30	29.00	29.90	30.30
A21	29.90	30.60	30.70	29.90	30.60	30.70	29.90	30.60	30.70
A22	29.50	30.60	30.70	29.50	30.60	30.70	29.50	30.60	30.70
A31	28.20	28.60	28.70	28.20	28.60	28.70	28.20	28.60	28.70
A32	28.20	28.40	29.20	28.20	28.40	28.90	28.20	28.40	28.90
A33	28.00	28.30	29.70	28.00	28.30	29.50	28.00	28.40	29.50
Rata-rata	28.78	29.50	30.19	28.79	29.53	30.11	28.83	29.56	30.11
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

Tabel 4.30

Perbandingan Temperatur Ruang dengan Jenis Tanaman pada Lantai 3

Ruang	Bayam Merah			Kucai Jepang			Rumput Gajah Mini		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
B11	29.50	31.10	29.70	29.50	31.10	29.70	29.50	31.10	29.70
B12	28.90	29.70	29.60	28.90	29.70	29.60	28.90	29.70	29.60
B13	29.00	30.40	30.10	29.00	30.40	30.10	29.00	30.40	30.10
B21	31.10	31.60	30.10	31.00	31.60	29.60	31.00	31.50	29.60
B22	28.80	29.90	30.70	28.80	29.90	30.70	28.80	29.90	30.70
B31	31.20	31.80	31.40	31.10	31.70	31.30	31.10	31.70	31.20
B32	31.30	32.10	31.30	31.20	32.00	31.20	31.20	32.00	31.20
B33	31.70	32.10	30.90	31.60	32.10	30.90	31.60	32.00	30.90
Rata-rata	30.19	31.09	30.48	30.14	31.06	30.39	30.14	31.04	30.38
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

Tabel 4.31
Perbandingan Temperatur Ruang dengan Jenis Tanaman pada Lantai 4

Ruang	Bayam merah			kucai jepang			Rumput Gajah Mini		
	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00	9.00	13.00	16.00
C11	30.00	30.30	31.10	29.80	30.20	31.00	29.90	30.20	31.00
C12	30.40	31.00	31.30	30.30	30.90	31.20	30.30	31.00	31.20
C13	30.10	30.40	31.50	30.00	30.30	31.30	30.00	30.40	31.30
C21	30.70	31.30	31.40	30.60	31.20	31.30	30.60	31.20	31.30
C22	29.90	30.20	30.30	29.80	30.10	30.10	29.80	30.20	30.20
C31	30.20	30.00	30.60	29.70	29.80	30.20	29.90	29.80	30.30
C32	30.00	30.30	30.80	30.00	30.40	30.90	30.10	30.50	31.00
C33	30.40	30.20	30.20	30.40	30.40	30.40	30.50	30.40	30.40
Rata-rata	30.21	30.46	30.90	30.08	30.41	30.80	30.14	30.46	30.84
Temp. Luar	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60	32.80	35.00	33.60

Pada tabel 4.29, tabel 4.30, dan tabel 4.31, dapat dilihat perbandingan temperatur udara pada ruang dengan menggunakan perbandingan tanaman bayam merah, kucai jepang, dan rumput gajah mini. Perbedaan temperatur dengan mengganti jenis tanaman ternyata tidak terlalu signifikan yaitu hanya mendapatkan selisih sebesar 0.4°C. Dapat dilihat bahwa rata-rata temperatur dengan menggunakan tanaman rumput gajah mini paling efektif untuk digunakan pada simulasi perpustakaan UI.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang sudah dilakukan untuk menjawab tujuan utama dalam penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal perpustakaan pusat universitas Indonesia, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kenyamanan termal yang dirasakan oleh pengguna perpustakaan pusat universitas Indonesia dikelompokkan berdasarkan ruang dan waktu pengambilan data.
 - a. Pada ruang baca luar, para pengguna merasa nyaman beraktivitas saat temperatur ruang menunjukkan angka $28.4^{\circ}\text{C} - 29.9^{\circ}\text{C}$.
 - b. Pada ruang diskusi, para pengguna merasa nyaman beraktivitas saat temperatur ruang menunjukkan angka $28^{\circ}\text{C} - 29.4^{\circ}\text{C}$.
 - c. Pada ruang baca dalam, para pengguna merasa nyaman beraktivitas saat temperatur ruang menunjukkan angka $27.8^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C}$.
2. Simulasi yang dilakukan terhadap penggunaan material penutup atap, didapatkan kesimpulan bahwa penerapan atap *green roof* adalah alternatif atap yang paling efektif dibandingkan dengan atap tanah liat dan beton, karena atap *green roof* mampu menurunkan temperatur hingga 1.78°C . Jika melihat selisih dari temperatur luar bangunan, *green roof* mampu menurunkan hingga 4.74°C .
3. Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan jenis tanaman yang berbeda mendapatkan bahwa tanaman rumput gajah mini adalah yang paling efektif dibandingkan dengan tanaman bayam merah dan tanaman kucai jepang. Namun perbedaan temperatur yang terjadi tidak terlalu signifikan karena hanya memberikan selisih temperatur sebesar 0.4°C .

5.2. Saran

Saran yang dapat penulis berikan adalah penerapan atap *green roof* dapat menjadi salah satu solusi dari masalah pemanasan global serta kurangnya Ruang Terbuka Hijau pada wilayah perkotaan. Selain itu saran untuk penelitian yang akan dilakukan terkait pengaruh *green roof* terhadap kenyamanan termal bangunan masih dapat dikembangkan

lagi, yaitu dengan mengubah spesifikasi atau jenis tanaman yang berpengaruh terhadap kinerja *green roof* dalam menurunkan temperatur ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. 2004. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Copyright 2004 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc. 1791 Tullie Circle NE Atlanta, GA 30329, ISSN 1041-2336:1-26
- Boutet, Terry S; 1987; *Controlling Air Movement - A Manual For Architects and Builders*; New York; McGrawHill Book Co
- EKŞİ, Mert., & UZUN, Adnan, Investigation of Thermal Benefits of an Extensive *Green roof* in Istanbul Climate, Istanbul, Turkey, 2013
- FiBRE, 2007. Findings in Built and Rural Environments, Can Greenery Make Commercial Buildings More Green? Cambridge University.
- Frick, H., & Sukisyanto, F. X. (2007). *Dasar-dasar Arsitektur Ekologis: Konsep*
- Jalali, Elmira. 2011. Effect of *Green roof* in Thermal Performance of the Building An Environmental Assessment in Hot and Humid Climate. The British University. Dubai
- Kanter, R. 2005. Environmental Almanac: Trees, Green Space, and Human Well-being, Toronto.
- Karyono, T. H. 2010. *Report on The relationship between building design and indoor temperatures: A case study in three different buildings in Indonesia*. School of Architecture, Tarumanagara University, Jakarta.
- Lippsmeier, G. 1994. *Bangunan Tropis* (Syahrir Nasution, penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- Moore, F. 1993. *Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Satwiko, Prasasto; 2004; *Fisika Bangunan1*; Yogyakarta; Andi
- Sugini. 2004. *Pemaknaan Istilah – istilah Kualitas Kenyamanan Termal Ruang Dalam Kaitan dengan Variabel Iklim Ruang*. Jurnal Logika Volume 1, No. 2.
- Suryandari, L. dan Danusastro, Y. (2011). Peranan Riset dan Peningkatan Keterampilan Arsitek Lanskap dalam Menghadapi Penerapan Konsep Green Building, Jurnal Lanskap Indonesia Volume 3 Nomor 2.
- Susanti, Lusi. 2013. Evaluasi Kenyamanan Termal Sekolah SMA Negeri di Kota Padang. Universitas Andalas. Padang.

Suseno, G. 2012. Analisis Penggunaan *Green roof* Terhadap Kestabilan Suhu Dan Kelembaban Bangunan, Penulisan Ilmiah Jenjang Setara Sarjana Muda, Teknik Arsitektur Universitas Gunadarma.

Talarosha, Basaria. 2005. Menciptakan Kenyamanan Termal dalam Bangunan. Teknik Industri. Universitas Sumatra Utara

Theodore Theodosiou, 2009. "*Green roofs* in Building: Thermal and Environmental Behaviour," in Advances in Building Energy Research.: Earthscan.

Pustaka Online:

Pembangunan Berlanjutan dan Ramah Lingkungan. Semarang: Kanisius & ITB.

<http://commons.bcit.ca/greenroof/faq/why-green-roofs-benefits/> diakses pada 3 Januari 2017

SkyScape™ Vegetative Roof System. <http://www.satuatap.com/Produk-ResidensialRoof%20Garden.html> diakses pada 20 Agustus 2017

Lampiran 1

Saya mahasiswa Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Saat ini saya sedang melakukan penelitian skripsi tentang pengaruh *Green Roof* terhadap kenyamanan termal bangunan perpustakaan Universitas Indonesia. Kuisioner ini disusun untuk mendukung penelitian tersebut, mohon partisipasi anda untuk ikut serta sebagai responden. Data yang saya peroleh hanya akan digunakan sebagai data penelitian semata dan tidak akan mencantumkan identitas pribadi para partisipannya. Atas kesediaannya mengisi angket ini, saya ucapkan terima kasih.

Usia :	Tinggi Badan : ±	
Jenis Kelamin :	Berat Badan : ±	
Pekerjaan :	Ruang :	Jam :

Untuk Pria: 1. Baju lengan pendek tipis 2. Baju lengan pendek tebal 3. Baju lengan panjang tipis 4. Baju lengan panjang tebal 5. Celana panjang 6. Celana pendek 7. Jaket tebal 8. Jaket tipis 9. Sweater 10. Kaos kaki panjang 11. Kaos kaki pendek 12. Sandal 13. Sepatu 14. ...	Untuk wanita: 1. Baju lengan pendek tipis 2. Baju lengan pendek tebal 3. Baju lengan panjang tipis 4. Baju lengan panjang tebal 5. Celana panjang 6. Celana pendek 7. Rok 8. Kerudung 9. Jaket tebal 10. Jaket tipis 11. Sweater 12. Kaos kaki panjang 13. Kaos kaki pendek 14. Sandal 15. Sepatu 16. ...	Aktivitas yang dilakukan 1. Duduk, membaca 2. Duduk, menulis 3. Duduk, mengetik 4. Duduk, berbicara 5. Berdiri, tenang 6. Tidur
--	---	---

Pilihlah dengan menggunakan tanda ceklis pada pertanyaan dibawah ini

Apa yang anda rasakan terhadap keadaan suhu ruang saat ini?

Sangat dingin ☐	Dingin ☐	Agak dingin ☐	Normal ☐	Hangat ☐	Panas ☐	Sangat panas ☐
---	------------------------------------	---	------------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	--

Bagaimana perasaan anda saat beraktivitas di ruangan saat ini?

Sangat nyaman ☐	Nyaman ☐	Cukup nyaman ☐	Netral ☐	Kurang nyaman ☐	Tidak nyaman ☐	Sangat tidak nyaman ☐
---	------------------------------------	--	------------------------------------	---	--	---

Apa yang anda harapkan terhadap keadaan suhu ruang saat ini?

Lebih dingin ☐	Lebih sedikit dingin ☐	Tidak ada perubahan ☐	Lebih hangat ☐	Lebih panas ☐
--	--	---	--	---

Apakah menurut anda suhu ruang ini sudah baik tanpa menggunakan AC?

Sangat setuju ☐	Setuju ☐	Netral/Kurang setuju ☐	Tidak setuju ☐	Sangat tidak setuju ☐
---	------------------------------------	--	--	---

Apa yang anda ketahui tentang *green roof*? Jelaskan pendapat anda

.....

.....

Pilihlah jawaban dibawah ini (boleh lebih dari satu) yang menurut anda kaitannya dengan keberadaan *green roof*

- | | |
|---|--|
| a. Berpengaruh pada suhu ruangan | b. Penampilan bangunan menjadi menarik |
| c. Berpengaruh pada penggunaan AC | d. Menyaring udara kotor |
| e. Berpengaruh pada cahaya yang masuk kedalam ruang | f. Sirkulasi udara menjadi baik |

HASIL DATA KUESIONER

1. Identitas diri

Pertanyaan	Jumlah
e. Jenis kelamin	
Laki-laki	52
Perempuan	127
f. Usia	
≤ 15 Tahun	3
16 – 20 Tahun	86
21 – 25 Tahun	84
26 – 30 Tahun	4
≥ 31 Tahun	3
g. Nilai Rata-rata insulasi pakaian	0.7
h. Nilai rata-rata metabolisme responden	1.2

2. Pertanyaan

Pertanyaan	Jawaban	Jumlah
Apa yang anda rasakan terhadap keadaan suhu ruang saat ini?	Sangat dingin	0
	Dingin	13
	Agak dingin	23
	Normal	60
	Hangat	52
	Panas	24
	Sangat panas	8
Bagaimana perasaan anda saat beraktivitas di ruangan saat ini?	Sangat nyaman	0
	Nyaman	43
	Cukup nyaman	29
	Netral	69
	Kurang nyaman	32
	Tidak nyaman	7
	Sangat tidak nyaman	0
Apa yang anda harapkan terhadap keadaan suhu ruang saat ini?	Lebih dingin	46
	Lebih sedikit dingin	87
	Tidak ada perubahan	41
	Lebih hangat	6
	Lebih panas	0
Apakah menurut anda suhu ruang ini sudah baik tanpa menggunakan AC?	Sangat setuju	2
	Setuju	23
	Netral/kurang setuju	54
	Tidak setuju	74
	Sangat tidak setuju	27

3. Apa yang anda ketahui tentang *green roof*?

Jawaban	Jumlah
Atap dengan tanaman	61
Atap ramah lingkungan	17
Atap hijau	10
Sebagai ruang terbuka hijau	9
Berpengaruh pada penggunaan AC	7
Berpengaruh pada kenyamanan	2
Berpengaruh pada penggunaan listrik	2
Memperindah tampilan bangunan	4
Tidak tahu	68

4. Pertanyaan terbuka “yang ada kaitannya dengan keberadaan *green roof*”

Jawaban	Jumlah
Berpengaruh pada suhu ruangan	115
Penampilan bangunan menjadi menarik	102
Berpengaruh pada penggunaan AC	47
Menyaring udara segar	56
Berpengaruh pada cahaya yang masuk kedalam ruang	78
Sirkulasi udara menjadi baik	68
Ramah lingkungan	1
Sebagai ekosistem mini	1
Atap menjadi bocor	3

