

**ANALISIS KENYAMANAN TERMAL RUANG STUDIO DESAIN
GEDUNG ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN**

SKRIPSI PENELITIAN

oleh :

NALDY DUAPADANG

D511 13 332



**PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

2020

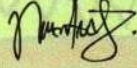


HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KENYAMANAN TERMAL RUANG STUDIO DESAIN
GEDUNG ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN**

Diajukan untuk memenuhi syarat kurikulum tingkat sarjana
pada Program Studi S1 Arsitektur Departemen Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Penyusun



Naldy Duapadang
D511 13 332

Gowa, 26 Oktober 2020

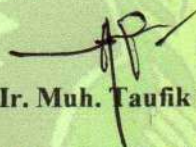
Menyetujui

Pembimbing I



**Prof. Ir. H. Baharuddin Hamzah, ST.,
M.Arch., Ph.D**
NIP. 19690308 199512 1 001

Pembimbing II



Ir. Muh. Taufik Ishak, MT
NIP. 19600119 198903 1 002

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur



Dr. H. Edward Syarif, MT.
NIP. 19690613 199802 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Naldy Duapadang

NIM : D511 13 332

Departemen : S1 Teknik Arsitektur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi tugas akhir yang saya tulis ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 26 Oktober 2020

Penulis,



Naldy Duapadang
D511 13 332



KATA PENGANTAR

Segala puji, syukur dan hormat hanya bagi Tuhan Yang Maha Esa, oleh karena anugerah-Nya yang melimpah, kemurahan dan kasih setia-Nya yang besar akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian ini guna memenuhi persyaratan untuk mendapatkan Gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Adapun judul dari skripsi penelitian ini adalah :

“Analisis Kenyamanan Termal Ruang Studio Desain Gedung Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin”

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi penelitian ini masih jauh dari kata sempurna karena menyadari segala keterbatasan yang ada. Untuk itu demi kesempurnaan skripsi ini, penulis sangat membutuhkan dukungan dan sumbangsih pikiran baik itu kritik dan saran yang bersifat membangun.

Dalam kesempatan ini juga, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas doa, dukungan, bantuan, motivasi, bimbingan dan masukan yang telah diberikan kepada penulis selama mengerjakan skripsi penelitian ini, antara lain kepada yang terhormat :

1. Bapak **Prof. Ir. H. Baharuddin Hamzah, ST., M. Arch., Ph. D** selaku Pembimbing 1 yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan masukan, arahan dan saran dalam proses penyusunan skripsi penelitian ini.



2. Bapak **Ir. Muhammad Taufik Ishak, MT.** selaku Pembimbing 2 yang dengan sabar telah memberikan arahan, bimbingan, saran, masukan dan perbaikan demi menyempurnakan penyusunan skripsi ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. M. Ramli Rahim, M. Eng.** dan Bapak **Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, S.T., MT.** selaku penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu **Dr. Eng. Hj. Asniawaty, ST., MT.** dan **Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT.** selaku dosen Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin atas segala dukungan dan masukannya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin atas segala ilmu, didikan dan arahan yang telah diberikan selama ini kepada penulis.
6. Staf dan pegawai Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang senantiasa membantu penulis dalam mengurus berkas dan administrasi selama perkuliahan.
7. Keluarga tercinta, terutama Ayahanda **Yance**, Ibunda **Marsia**, Adikku **Pendy & Merdy** serta segenap Sanak Keluarga sebagai sumber dukungan dan motivasi bagi penulis.
8. Teman-teman angkatan 2013, **Hasdin S. Ars, Soleman S. Ars, Yetniel ST., Nurul Lathifah S. Ars, Giovanny S. Ars , Haslinda S. Ars, Githa ST., Trinil S. Ars**, teman-teman **KMKO Arsitektur, KMKO Teknik,**



RUMPI 13 serta **Arena Of Valor** yang telah banyak membantu penulis dalam menyusun skripsi penelitian ini.

9. Dan kepada semua pihak yang tidak sempat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam menyelesaikan pendidikan, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala doa dan bantuannya.

Akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenan untuk membaca dan mempelajarinya. Semoga Tuhan senantiasa memberikan berkat dan kasih karunia-Nya kepada kita semua. Amin...

Gowa, 26 Oktober 2020

Penulis



ABSTRAK

Kenyamanan termal pada ruang kuliah menjadi salah satu faktor untuk menunjang produktifitas pengguna ruang. Ruang studio desain menjadi ruangan yang penting bagi mahasiswa Arsitektur dalam belajar, berproses dan menghasilkan karya-karya yang mengandung unsur estektika. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kondisi lingkungan termal dan perbedaan kenyamanan pada ruang studio desain 1, 2 dan 3 dengan menggunakan penghawaan alami dan penghawaan buatan. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan alat ukur yaitu Hobo Data Logger untuk mendapatkan data parameter lingkungan: temperatur dan kelembaban di ruang studio desain. Untuk melengkapi data tersebut, juga dilakukan simulasi menggunakan software Ecotect Analysis 2011 untuk mengetahui tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio 1, 2 dan 3 dengan tiga variabel bebas yaitu bukaan jendela tertutup seluruhnya, terbuka sebagian dan terbuka seluruhnya. Kemudian data hasil pengukuran dan simulasi dianalisis menggunakan metode deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif. Hasil dari penelitian pada pengukuran langsung menunjukkan bahwa ruangan dengan penghawaan alami dan penghawaan buatan berada di luar zona kenyamanan termal dengan temperatur tertinggi pada penghawaan alami menyentuh angka 31,5 °C dan pada penghawaan buatan menyentuh angka 29,9 °C. Sedangkan hasil pengukuran menggunakan simulasi menunjukkan bahwa bukaan terbuka seluruhnya menghasilkan temperatur tertinggi dan mencapai angka 33,3 °C. Dari hasil pengumpulan data baik melalui pengukuran langsung maupun menggunakan software Ecotect, untuk mendapatkan kenyamanan termal yang optimum diperlukan pengkondisian udara buatan dengan memperhatikan jenis, kapasitas dan perletakan AC itu sendiri.



nci: (Ruang studio desain, kenyamanan termal, simulasi, pengkondisian

ABSTRAC

Thermal comfort in the lecture room is one of the supporting factors that can boost the productivity of its users. The design studio is an important room for architecture students to learn, process, and to deliver aesthetic works. This research aims to analyses the thermal environment condition level and the difference of the user's comforts in design studio 1, 2, and 3 using natural and artificial ventilation. The data collection technique is done by using Hobo Data Logger to obtain the environmental parameter data, temperature, and humidity in the design studio. To complete the data, a simulation is also performed by using Ecotect Analysis 2011 to determine the difference between comfort level in studio 1, 2, and 3 with three independent variables (completely closed, partially open, and fully open window). Then the measurement and simulation data were analysed using descriptive evaluative methods with a quantitative approach. The results of the research on direct measurement shows that the room with natural ventilation and artificial ventilation is outside the thermal comfort zone with the highest temperature in natural ventilation touching the number 31.5 ° C and in artificial ventilation 29.9 ° C. While the measurement results using simulation show that all open openings produce the highest temperature and reach 33.3 ° C. From the results of data collection through direct measurements or using the Ecotect software, to obtain optimum thermal comfort artificial air conditioning is required by taking into account the type, capacity and position of the air conditioner itself.

Keywords: (Design studio room, thermal comfort, simulation, artificial conditioning)



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Kajian Teori.....	7
1. Kenyamanan.....	7
2. Kenyamanan Termal	8
3. Faktor-faktor Kenyamanan Termal	14
4. Rekayasa Kenyamanan Termal	20
Standar Kenyamanan Termal di Indonesia	25
Standar Kenyamanan Termal Penghawaan Buatan.....	25
Ruang Studio Desain	27



8.	Bukaan Ruang	29
9.	Kebutuhan Beban Pendinginan	32
10.	Perhitungan Beban Pendinginan	34
11.	Jenis jenis Pendingin Ruang.....	38
B.	Penelitian Terdahulu.....	44
C.	Kerangka Konsep	48
BAB III		50
METODE PENELITIAN.....		50
A.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	50
B.	Jenis Penelitian	51
C.	Tempat dan Objek Penelitian	51
D.	Sumber Data	56
1.	Data Primer.....	56
2.	Data Sekunder	57
E.	Teknik Pengumpulan Data.....	57
F.	Instrumen Penelitian.....	60
1.	Hobo Data Logger	61
2.	Dudukan Hobo	62
3.	Meteran.....	62
4.	Software <i>Ecotect</i>	63
5.	Laptop	64
G.	Teknik Analisis Data	65
H.	Alur Penelitian.....	66
I.	67
J.	PENDAHULUAN DAN PEMBAHASAN.....	67



A.	Gambaran Umum Ruang Studio Desain Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.....	67
B.	Hasil Observasi Ruang Studio Desain Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.....	67
1.	Sarana dan Prasarana Dalam Ruang Studio Desain	67
2.	Material Bangunan Ruang Studio Desain	72
C.	Hasil Pengukuran Ruang Studio Desain Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.....	86
1.	Pengukuran Langsung Dengan Penghawaan Alami.....	88
2.	Pengukuran Langsung Dengan Penghawaan Buatan	91
D.	Hasil Simulasi <i>Ecotect</i>	96
1.	Simulasi <i>Ecotect</i> Dengan Bukaannya Seluruhnya Ditutup.....	99
2.	Simulasi <i>Ecotect</i> Dengan Bukaannya Dibuka Setengah Dari Jumlah Unit 101	
3.	Simulasi <i>Ecotect</i> Dengan Bukaannya Seluruhnya Dibuka	103
E.	Perencanaan Kebutuhan Penghawaan Buatan	107
1.	Data Ruang Studio Desain	107
2.	Perhitungan Beban Pendinginan Ruang Studio Desain	109
3.	Pemilihan Unit Pendinginan.....	120
BAB V.....		121
PENUTUP.....		121
A.	Kesimpulan.....	121
B.	Saran.....	122
1.	Bagi Pihak Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.....	122
	Bagi Pihak Peneliti Selanjutnya	122
	DAFTAR PUSTAKA	123
	DAFTAR LAMPIRAN.....	127



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses perolehan panas dan pembuangan gas	11
Gambar 2. Keseimbangan panas dalam tubuh manusia.....	13
Gambar 3. Indikasi kelembaban/kekeringan udara.....	18
Gambar 4. Pola bangunan papan catur.....	21
Gambar 5. Pola bangunan yang grid.....	22
Gambar 6. Gerakan udara antara barisan rumah yang rapat dan sejajar.....	22
Gambar 7. Permukaan tanah akan menentukan perolehan panas ruang atau bangunan	23
Gambar 8. Peneduhan dengan vegetasi yang tepat pada posisi yang tepat.....	24
Gambar 9. Contoh AC jenis split.....	39
Gambar 10. Contoh AC jenis window	40
Gambar 11. Contoh AC jenis sentral	41
Gambar 12. Contoh AC jenis standing	42
<i>Gambar 13. Kerangka konsep.....</i>	49
Gambar 14. Lokasi penelitian	50
Gambar 15. Ukuran jendela	52
Gambar 16. Letak bukaan ruang studio 1	53
Gambar 17. Letak bukaan ruang studio 2	53
Gambar 18. Letak bukaan ruang studio 3	54
Gambar 19. Penampakan denah studio 1 gedung arsitektur Unhas.....	55
Gambar 20. Potongan ruang desain studio 1.....	55
Gambar 21. Penampakan denah studio 2 dan 3 gedung arsitektur Unhas	56
Gambar 22. Potongan ruang studio desain 2.....	56
Gambar 23. Potongan ruang studio desain 3.....	56
Gambar 24. Titik pengukuran ruang studio 1 lt. ground gedung arsitektur.....	58
Gambar 25. Titik pengukuran ruang studio 2 lt.2 gedung arsitektur	58
Gambar 26. Titik pengukuran ruang studio 3 lt. 2 gedung arsitektur	59
Gambar 27. Onset hobo MX1101 temperature/RH data loggers.....	61



Gambar 28. Hobo U12-012 temp/RH/light/ext data logger.....	62
Gambar 29. Dudukan alat ukur hobo	62
Gambar 30. Meteran.....	63
Gambar 31. Aplikasi ecotect.....	63
Gambar 32. Tampilan antar muka aplikasi ecotect.....	64
Gambar 33. Laptop.....	65
Gambar 34. Alur penelitian.....	66
Gambar 35. Penampakan ruang studio desain 1	68
Gambar 36. Penampakan ruang studio desain 2	68
Gambar 37. Penampakan ruang studio desain 3	69
Gambar 38. Bukaan jendela dan ventilasi ruang sudio desain.....	70
Gambar 39. AC Panasonic 2 PK tipe CS-PN18SKP	71
Gambar 40. AC Panasonic 2 PK CU-PN18SKP.....	71
Gambar 41. Pemilihan material dinding ruang studio desain	72
Gambar 42. Material dinding ruang studio desain 1	73
Gambar 43. Pemilihan material lantai ruang studio desain 1.....	74
Gambar 44. Material lantai ruang sutdio desain 1	74
Gambar 45. Pemilihan material lantai ruang studio desain 2 dan studio desain 3	75
Gambar 46. Material lantai ruang studio desain 2 dan studio desain 3.....	76
Gambar 47. Pemilihan material plafond ruang studio desain	76
Gambar 48. Material plafond ruang studio desain	77
Gambar 49. Pemilihan material partisi ruang studio desain	78
Gambar 50. Material partisi ruang studio desain	79
Gambar 51. Selasar ruang studio 2	80
Gambar 52. Selasar ruang studio 3	81
Gambar 53. Pemilihan material jendela utama dan jendela atas ruang studio desain	82
Gambar 54. Material jendela utama ruang studio desain.....	83
Gambar 55. Material jendela atas ruang studio desain	84
Gambar 56. Pemilihan material pintu ruang studio desain	84
Gambar 57. Material pintu ruang studio desain	85



Gambar 58. Ketinggian titik ukur dari permukaan lantai	87
Gambar 59. Titik ukur ruang studio 1	87
Gambar 60. Titik ukur ruang studio 2	88
Gambar 61. Titik ukur ruang studio 3	88
Gambar 62. Grafik temperatur dengan penghawaan alami.....	89
Gambar 63. Grafik kelembaban dengan penghawaan alami.....	90
Gambar 64. Grafik temperatur dengan penghawaan buatan.....	91
Gambar 65. Grafik kelembaban dengan penghawaan buatan	93
Gambar 66. Dampak kelembaban tidak ideal	95
Gambar 67. Model simulasi ecotect ruang studio desain 1	97
Gambar 68. Model simulasi ecotect ruang studio desain 2.....	97
Gambar 69. Model simulasi ecotect ruang studio desain 3.....	98
Gambar 70. Grafik simulasi ruang studio desain dalam kondisi tertutup semua	100
Gambar 71. Grafik simulasi ruang studio desain dalam kondisi terbuka sebagian	102
.....	102
Gambar 72. Grafik simulasi ruang studio desain dalam kondisi terbuka seluruhnya	104
.....	104
Gambar 73. Grafik perbandingan kondisi pada studio 1.....	105
Gambar 74. Grafik perbandingan kondisi pada studio 2.....	105
Gambar 75. Grafik perbandingan kondisi pada studio 3.....	106
Gambar 76. Ruang studio desain 1	107
Gambar 77. Ruang studio desain 2	108
Gambar 78. Ruang studio desain 3	108
Gambar 79. Flooring R values	127
Gambar 80. GFRC R and U Values	128



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas kenyamanan termal	25
Tabel 2. Jenis AC berdasarkan jumlah PK	26
Tabel 3. Jenis bukaan jendela	30
Tabel 4. Faktor koefisien transmisi kalor peralatan listrik.....	35
Tabel 5. Faktor koefisien manusia dan faktor kelompok.....	35
Tabel 6. Faktor koefisien transmisi kalor jendela	36
Tabel 7. Faktor koefisien transmisi kalor dinding	36
Tabel 8. Temperatur ekivalen radiasi matahari.....	37
Tabel 9. Harga substitusi t	37
Tabel 10. Hambatan kalor permukaan	38
Tabel 11. Jumlah pergantian	38
Tabel 12. Luas ruang dan bukaan ruang studio.....	52
Tabel 13. Metode pengukuran	60
Tabel 14. Sarana ruang studio desain.....	69
Tabel 15. Prasarana ruang studio desain	69
Tabel 16. Pengukuran temperatur dengan menggunakan penghawaan alami	88
Tabel 17. Pengukuran kelembaban dengan menggunakan penghawaan alami	90
Tabel 18. Pengukuran temperatur dengan menggunakan penghawaan buatan.....	91
Tabel 19. Pengukuran kelembaban dengan menggunakan penghawaan buatan... 92	
Tabel 20. Perbandingan temperatur penghawaan alami dan penghawaan buatan 93	
Tabel 21. Perbandingan kelembaban penghawaan alami dan penghawaan buatan	95
Tabel 22. Hasil simulasi ruang studio desain dengan kondisi tertutup semua.....	99
Tabel 23. Hasil simulasi ruang studio desain dengan kondisi terbuka sebagian	101
Hasil simulasi ruang studio desain dengan kondisi terbuka seluruhnya	103
Luas dinding sisi utara	112



Tabel 26. Luas dinding sisi timur.....	112
Tabel 27. Luas dinding sisi selatan	112
Tabel 28. Luas dinding sisi barat	112
Tabel 29. Hasil perhitungan total beban pendinginan di ruang studio desain 1 .	114
Tabel 30. Luas dinding sisi utara	117
Tabel 31. Luas dinding sisi timur.....	117
Tabel 32. Luas dinding sisi selatan	117
Tabel 33. Luas dinding sisi barat	117
Tabel 34. Hasil perhitungan total beban pendinginan di ruang studio desain 2 dan studio desain 3.....	119



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Manusia selalu berupaya untuk mencari kondisi nyaman terhadap lingkungan. Dewasa ini hampir semua orang menghabiskan 90% waktu mereka di dalam gedung atau ruang. Secara geografis Indonesia berada dalam garis khatulistiwa atau tropis, namun secara themis (suhu) tidak semua wilayah Indonesia merupakan daerah tropis. Daerah tropis menurut pengukuran suhu adalah daerah tropis dengan suhu rata-rata 20°C, sedangkan rata-rata suhu di wilayah Indonesia umumnya dapat mencapai 35°C dengan tingkat kelembaban tinggi, dapat mencapai 85% (iklim tropis panas lembab) (Talarosha, 2005). Oleh karena itu pengaturan suhu menjadi sangat penting untuk mendapatkan kenyamanan dan kesehatan optimal.

Kenyamanan termal sangat dibutuhkan tubuh agar manusia dapat beraktifitas dengan baik, baik aktifitas di dalam ruangan maupun di luar ruangan. Kondisi iklim tersebut juga berdampak pada kenyamanan termal di gedung-gedung perkuliahan. Salah satu faktor kenyamanan proses belajar mengajar ditentukan oleh keadaan lingkungan tempat dimana proses tersebut dilakukan. Suhu yang terlalu panas atau dingin dan tingkat kelembaban yang tinggi atau rendah dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengguna ruangan. Tingkat kenyamanan lingkungan belajar juga mencakup lingkungan fisik, sosial, budaya, politis, dan nilai-nilai.

Kenyamanan termal suatu ruangan dapat disebabkan oleh faktor lingkungan maupun faktor internal yang disebabkan oleh pengguna itu sendiri termasuk arah bangunan dan ventilasi yang ada. Arah bangunan yang menghadap atau membelakangi sinar matahari berpengaruh terhadap kenyamanan, selain itu letak maupun jumlah ventilasi yang terkait dengan pertukaran udara juga berpengaruh terhadap kenyamanan (Susanti & Nike, 2013). Seiring kemajuan teknologi, dalam mengusahakan lingkungan



menjadi lebih nyaman secara termal, salah satu caranya adalah dengan memasang mesin penyejuk yang biasa dikenal dengan air conditioner (Satwiko P. , 2008). Faktor-faktor tersebut kurang diperhatikan dalam membangun sebuah ruangan. Karena kebanyakan hanya mempertimbangkan bentuk, estetika dan lahan yang tersedia.

Dalam proses pembelajaran kuliah selain karena ventilasi ruangan, pakaian yang digunakan mahasiswa mempunyai pengaruh terhadap kenyamanan termal yang dirasakan. Hal ini sesuai dengan standar kenyamanan termal yang dikeluarkan (ASHRAE Standard 55, 2017) bahwa tingkat kenyamanan dapat dipengaruhi oleh suhu udara ruangan, kelembaban ruangan, pakaian, metabolisme, suhu radiasi dan kecepatan angin dalam ruangan. Oleh karena itu penting pengetahuan tentang kenyamanan termal agar tercipta suasana belajar mengajar yang lebih baik di pandang dari segi kenyamanan udara.

Pada dasarnya tubuh setiap orang menghasilkan panas. Sebanyak 20% panas yang dihasilkan untuk metabolisme basal dan muscular. Lalu sisanya ? Sebanyak 80% sisanya dilepaskan keluar. Ketika berada dalam suatu ruangan, tubuh beradaptasi dengan suhu di ruangan tersebut. Di saat suhu ruangan terlalu tinggi atau rendah, bisa mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan kita. Lalu bagaimana cara mengetahui suhu suatu ruangan yang ideal ? Untuk mengetahuinya dapat dilakukan dengan cara mengukur menggunakan alat ukur kelembaban udara. Bila terjadi perubahan suhu tiba-tiba lebih dari 7°C dari temperatur seharusnya, dapat memicu terjadinya pengerutan saluran darah. Oleh karena itu, sebaiknya perbedaan suhu di dalam maupun di luar ruangan berada kurang dari 7°C. Untuk menciptakan kualitas udara yang sehat dalam ruangan, tentu harus diseimbangkan dengan kombinasi temperatur dan kelembaban udara guna terciptanya ruangan yang nyaman dan sehat untuk ditempati. Jika tidak tepat maka kelembaban udara yang rendah kurang dari 20% dapat menyebabkan keringnya selaput lendir membran. Sementara itu, jika kelembaban udaranya terlalu tinggi juga bisa memicu munculnya berbagai mikroorganisme yang membawa penyakit.



Kenyamanan ini juga disebabkan oleh faktor pemakaian jenis pakaian. Mahasiswa pada saat melakukan aktifitas perkuliahan tidak memperhatikan jenis bahan pakaian yang digunakan, mereka hanya mempertimbangkan desain dan gaya pakaian saja. Hal ini dapat menyebabkan ketidaknyamanan dalam melakukan aktifitas perkuliahan.

Masalah kenyamanan termal juga terjadi pada proses perkuliahan di salah satu universitas ternama di timur yakni Universitas Hasanuddin. Terdapat beberapa ruangan yang tidak sesuai dengan standar kriteria kenyamanan. Beberapa pengguna sering mengeluhkan kondisi termal yang cukup panas sehingga dapat mengganggu proses perkuliahan. Oleh karena itu, peneliti berinisiatif untuk meneliti dan menganalisis ruangan-ruangan yang sering dipakai oleh mahasiswa agar dapat digunakan secara efektif dan produktif. Penelitian ini dilakukan pada ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 gedung Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Material penyusun ruangan ini pada sisi dalam sebagian besar menggunakan bahan GRC (*glass reinforced concrete*). Ruang kuliah ini menggunakan ventilasi berupa jendela utama dan jendela atas serta telah dilengkapi AC untuk mendinginkan suhu ruangan. Namun pada kenyataannya jika dilihat secara fisik dan dirasakan secara langsung, AC yang terpasang di ruang studio desain dapat dikatakan belum bekerja secara maksimal. Sebelum digunakan penghawaan buatan, ruangan studio ini cukup panas karena ventilasi cenderung tertutup sebab lokasinya yang cukup jauh dari jangkauan untuk membukanya sehingga sirkulasi udara di dalam ruangan tidak berjalan lancar. Ruang studio desain 2 dan studio desain 3 juga memudahkan pencahayaan alami masuk namun kondisi ini membuat efek radiasi sinar matahari juga lebih mudah masuk ke dalam ruangan.



B. Batasan Masalah

1. Tingkat kondisi lingkungan termal ruangan pada ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3.
2. Tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 dengan menggunakan penghawaan alami dan penghawaan buatan.
3. Tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 dengan mensimulasikan ke dalam *ecotect*.
4. Tingkat preferensi termal pengguna ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3

C. Rumusan Masalah

1. Bagaimana tingkat kondisi lingkungan termal ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 ?
2. Bagaimana tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 dengan menggunakan penghawaan alami dan penghawaan buatan ?
3. Bagaimana tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 dengan mensimulasikan ke dalam *ecotect* ?
4. Bagaimana tingkat preferensi termal pengguna ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 ?



D. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis tingkat kondisi lingkungan termal pada ruang studio desain 1, 2 dan 3.
2. Menganalisis tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio 1, 2 dan 3 dengan menggunakan penghawaan alami dan penghawaan buatan.
3. Menganalisis tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3 dengan mensimulasikan ke dalam *ecotect*.
4. Menganalisis tingkat preferensi termal pengguna ruang studio desain 1, studio desain 2 dan studio desain 3.

E. Manfaat Penelitian

- 1) Manfaat Akademik
 - a. Untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal ruangan studio desain 1, studio 3 dan studio 3 sudah memenuhi standar kenyamanan termal atau belum agar menjadi tempat yang nyaman dan produktif.
 - b. Sebagai pengembangan keilmuan bagi para peneliti selanjutnya yang akan mengangkat tema yang serupa dengan penelitian yang akan peneliti laksanakan.
- 2) Manfaat Praktis

Sebagai acuan bagi para arsitek-arsitek dalam mendesain dan merancang ruang studio sehingga memenuhi standarisasi tingkat kenyamanan termal.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian awal, bagian isi, dan bagian akhir. Pada bagian awal meliputi halaman judul, halaman pengesahan, kata pengantar, halaman abstrak, daftar isi, daftar



tabel, daftar gambar, daftar grafik dan daftar lampiran. Pada bagian isi terdiri dari beberapa bab yang masing- masing menguraikan tentang:

BAGIAN I : PENDAHULUAN

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAGIAN II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar-dasar pengetahuan (teori) yang digunakan sebagai acuan dalam pemecahan masalah pada penelitian ini.

BAGIAN III : METODE PENELITIAN

Bab ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian mulai dari tahapan pertama sampai dengan selesai penelitian.

BAGIAN IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan uraian data hasil penelitian serta pembahasannya.

BAGIAN V : PENUTUP

Pada bab ini merupakan bab terakhir atau bab penutup dari penulisan yang berisi kesimpulan dan saran.

Pada bagian akhir dalam penulisan ini meliputi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi dan tabel-tabel yang digunakan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Kenyamanan

Kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka tunggal. Menurut KBBI, nyaman adalah segar; sehat sedangkan kenyamanan adalah keadaan nyaman; kesegaran; kesejukan. Manusia menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang masuk ke dalam dirinya lewat keenam indera melalui syaraf dan dicerna oleh otak untuk dinilai. Dalam hal ini yang terlibat tidak hanya masalah fisik biologis, namun juga perasaan. Suara, cahaya, bau, suhu dan lain-lain rangsangan itu ditangkap sekaligus, lalu diolah oleh otak. Kemudian otak akan memberikan penilaian relatif apakah kondisi itu nyaman atau tidak (Satwiko P. , 2004).

Dengan latar belakang arsitektur dan fisika bangunan menjelaskan bahwa kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya (Satwiko P. , 2009). Manusia menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang masuk ke dalam dirinya. Kenyamanan ditentukan oleh beberapa unsur pembentuk dalam perancangan yakni sirkulasi, daya alam/iklim, kebisingan, aroma/bau-bauan, bentuk, keamanan, kebersihan, keindahan dan penerangan (Hakim, 2012). Dari hasil pemikiran para ahli mengenai pengertian kenyamanan, maka dapat disimpulkan bahwa kenyamanan adalah kondisi dimana seseorang merasa tenang baik secara fisik dan mental. Tak ada beban yang menghambat produktifitas.

Kenyamanan dalam segi arsitektur sendiri yang turut mempengaruhi dalam sebuah ruangan adalah kenyamanan visual dan kenyamanan akustikal.



a. Kenyamanan Visual

Kenyamanan visual yang dimaksud disini adalah kenyamanan dalam hal pencahayaan baik itu secara alami maupun menggunakan pencahayaan buatan. Ruangan sebagai ruang kerja membutuhkan tingkat kenyamanan pencahayaan yang memadai agar pengguna di dalamnya dapat melakukan aktifitas dengan lancar dan memiliki produktifitas kerja yang baik. Kenyamanan visual tercapai jika poin-poin kenyamanan visual teraplikasikan secara optimal antara lain kesesuaian rancangan dengan standar pencahayaan. Namun mendasarkan penilaian kenyamanan hanya pada standar yang direkomendasikan belum cukup karena pengguna bangunan sebagai subjek yang merasakan kenyamanan memiliki perilaku yang berbeda tiap individu yang mempengaruhi persepsi mereka terhadap kenyamanan pencahayaan dalam ruang (Widiyantoro, Muladi, & Vidiyanti, 2017).

b. Kenyamanan Akustikal

Kenyamanan akustik sebuah ruangan berpengaruh besar terhadap suasana, lingkungan bekerja dan belajar seseorang. Terutama dalam sebuah ruang studio, suasana ruang yang sunyi dan tenang menjadi sesuatu yang amat penting bagi para pengunjung untuk mencapai konsentrasi optimal saat memproses suatu karya. Kebisingan dan sumber suara yang mengganggu tentunya dapat membuat kenyamanan pengguna ruang berkurang.

2. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal merupakan suatu kondisi dari pikiran manusia yang menunjukkan kepuasan dengan lingkungan termal (Nugroho, 2007). Kenyamanan dalam kaitannya dengan bangunan dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan dimana dapat memberikan perasaan nyaman dan menyenangkan bagi penghuninya (Karyono, 2001). Kenyamanan termal merupakan suatu keadaan yang berhubungan dengan alam yang



mempengaruhi manusia dan dapat dikendalikan oleh arsitektur (Snyder & Anthony, 1989).

Kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal yang dirasakan oleh manusia yang dipengaruhi oleh lingkungan dan benda-benda disekitar arsitekturnya (Frick, Ardiyanto, & Darmawan, 2008). Pandangan ini menunjukkan bahwa kenyamanan termal dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah lingkungan arsitekturnya, bilamana arsitekturnya tidak sesuai dengan kaidah perencanaan maka dapat mempengaruhi kenyamanan termal suatu ruangan.

Manusia merasa nyaman di ruangan apabila suhu yang dirasakan berada pada kondisi nyaman termal. Proses tersebut dapat diartikan secara sederhana bahwa kecepatan produksi panas badan dan kecepatan buang panas badan ke lingkungan harus seimbang dengan kata lain yaitu bersifat *homeostatis*. *Homeostatis* adalah kondisi ketika badan dalam posisi seimbang. Hal ini tercapai bila produk panas badan internal dari proses metabolisme dikurangi evaporasi karena penguapan dari kulit dan pernafasan, dikurangi atau ditambah panas radiasi dan konveksi akibat transfer panas dari badan ke atau dari lingkungan sama dengan nol (Sugini, 2014).

Kenyamanan termal dapat diperoleh dengan cara mengendalikan atau mengatasi perpindahan panas yang dilakukan oleh tubuh manusia. Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses perpindahan kalor dari benda panas ke benda lain yang kurang panas. Sumber panas yang berasal dari tubuh manusia berasal dari pembakaran karbohidrat dalam tubuh, suhu udara sekitar yang meningkat dan radiasi matahari. Tubuh manusia dapat melepaskan panas dengan empat cara diantaranya dengan:



a. Konduksi

Konduksi ialah perpindahan panas yang dihasilkan dari kontak langsung antara permukaan-permukaan. Tubuh manusia mungkin memperoleh panas dari lingkungan atau pengeluaran panas ke lingkungan berdasarkan konduksi. Ini terjadi hanya dengan menyentuh atau menghubungkan permukaan yang panas atau sejuk. Misalkan dengan memegang benda yang dingin atau berpindah ke tempat yang lebih dingin.

b. Konveksi

Konveksi ialah perpindahan panas berdasarkan gerakan fluida. Dalam hal ini, fluida adalah udara, panas dapat diperoleh atau hilang tergantung pada suhu udara yang melintasi tubuh manusia. Sebagai contoh, ketika tubuh mengalami kepanasan otomatis manusia keluar untuk mencari udara segar atau fluida bergerak.

c. Evaporasi

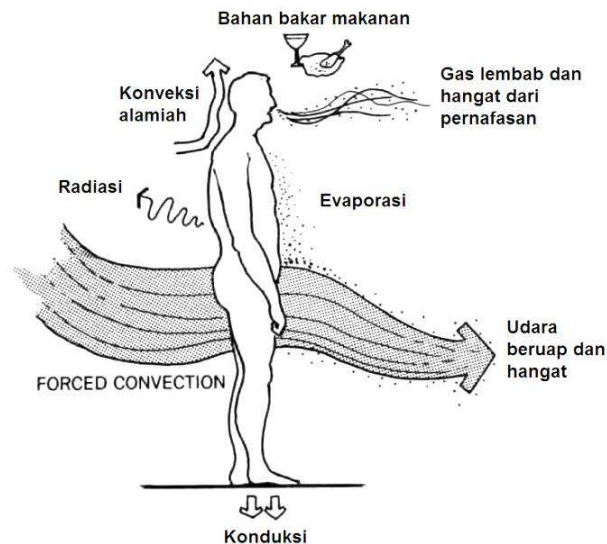
Dalam perpindahan panas didasarkan pada evaporasi, tubuh manusia hanya dapat kehilangan panas. Ini terjadi karena kelembaban di permukaan kulit menguap ketika udara melintasi tubuh. Penguapan terjadi melalui kulit dan pernafasan. Penguapan keringat dari permukaan kulit mendinginkan tubuh, karena perubahan keadaan cair ke uap membutuhkan panas yang diambil dari tubuh. Besar kecilnya penguapan dari permukaan kulit dipengaruhi juga oleh pakaian yang dikenakan.

d. Radiasi

Radiasi ialah perpindahan panas berdasarkan gelombang-gelombang elektromagnetik. Tubuh manusia akan mendapatkan panas pancaran dari setiap permukaan yang suhunya lebih tinggi dan akan kehilangan panas atau memancarkan panas ke setiap objek atau permukaan yang lebih dingin dari diri sendiri. Panas pancaran yang diperoleh atau



hilang tidak dipengaruhi oleh gerakan udara, juga tidak oleh suhu udara antara permukaan-permukaan atau objek-objek yang memancar.



Gambar 1. Proses perolehan panas dan pembuangan gas

(Sumber : Lechner, 1991 dalam Sugini, 2014)

Jumlah keseluruhan perpindahan panas yang dihasilkan oleh masing-masing cara hampir seluruhnya ditentukan oleh kondisi lingkungan yang ada. Misalkan, udara yang jenuh tak dapat menerima kelembaban dari tubuh, jadi perpindahan panas tak dapat terjadi melalui penguapan.

Ruangan yang panas atau lembab dapat menimbulkan reaksi-reaksi psikologis dari seseorang. Kenyamanan termal yang berubah di luar normal dapat berpengaruh terhadap kondisi seseorang baik itu ketidaknyamanan fisik (berkeringat/ evaporasi, cepat lelah, kurang oksigen sehingga menjadi mudah mengantuk), maupun ketidaknyamanan mental seperti munculnya berbagai macam negatif terhadap penghuni ruangan tersebut.

Agar dapat hidup baik dan nyaman, suhu tubuh manusia harus dipertahankan sekitar 37 °C. Bertambah tingginya suhu tubuh manusia merupakan tanda bahwa yang bersangkutan menderita sakit. Oleh karena



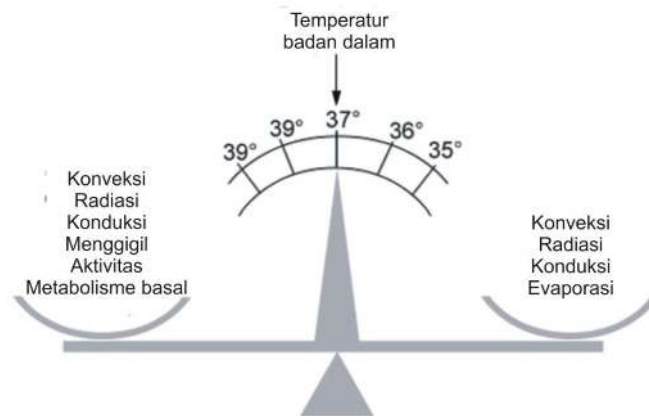
itu di dalam tubuh manusia terdapat organ tertentu yang mempertahankan suhu tubuh agar tetap normal atau seimbang. Kondisi seimbang ini disebut *homeostatis*.

Apabila terjadi kondisi tidak seimbang, maka *hypothalamus* (bagian otak yang berfungsi sebagai termostat) akan memerintah sistem termoregulator badan untuk melakukan aktifitas internal dalam badan yang akan mengembalikan kesetimbangan panas tersebut. Aktifitas-aktifitas tersebut berupa mekanisme berkeringat, sistem isolator tubuh, perubahan aliran darah, dsb (Guyton, 1992 dalam Sugini, 2014). Demikian seterusnya proses fisiologis pencapaian keseimbangan panas itu terjadi. Sistem termoregulator akan mengalami pembiasaan dengan lingkungan klimatis dan bentuk aktifitasnya sehingga akan tercapai *aklimatisasi*.

Gejala yang akan terjadi, ketika *hypothalamus* tidak dapat mempertahankan suhu tubuh manusia pada suhu normal, maka gejala yang akan terjadi:

- a. *Heat exhaustion* : akan menimbulkan rasa lelah akibat panas yang berlebihan, disertai rasa mual, sakit kepala dan gelisah.
- b. *Heat Stroke* : akan mengakibatkan delirium (mengigau), pingsan (tidak sadar), dan akan mengakibatkan meninggal dunia akibat panas yang berlebihan.
- c. *Heat Aesthemia* : akan mengakibatkan kejenuhan, sakit kepala, gelisah, susah untuk tidur (*insomnia*) dan mudah tersinggung.
- d. Mengakibatkan serangan jantung, karena suhu lingkungan yang tinggi daya kerja jantung lebih cepat mengalirkan darah ke seluruh tubuh untuk menurunkan suhu.





Gambar 2. Keseimbangan panas dalam tubuh manusia
(Sumber : koenigsberger, 1975 dalam Sugini, 2014)

Beberapa faktor yang berkaitan dengan kenyamanan termal adalah sebagai berikut (Fanger, 1982 dalam Sugini 2014):

- a. Produksi panas internal yang ditentukan oleh tingkat metabolisme dalam badan dan tingkat aktifitas.
- b. Kehilangan panas karena respirasi melalui paru-paru.
- c. Kehilangan panas melalui penguapan kulit.
- d. Kehilangan panas melalui radiasi dan konveksi dari permukaan luar badan ke bagian tubuh yang tertutup pakaian.

Empat hal tersebut akan berkaitan dengan enam faktor sebagai berikut:

- a. Temperatur udara
- b. Temperatur radiasi rata-rata
- c. Kecepatan udara
- d. Kelembaban udara
- e. Tingkat aktifitas
- f. *Thermal resistance* dari pakaian



3. Faktor-faktor Kenyamanan Termal

Kenyamanan yang paling dominan pengaruhnya terhadap kenyamanan fisik manusia yang berada dalam bangunan adalah kenyamanan termal. Apabila suhu udara di sekitar tubuh manusia lebih tinggi dari suhu normal tubuh (37°C), aliran darah pada anggota badan akan meningkatkan suhu kulit sehingga proses pelepasan panas dalam tubuh secara radiasi ke udara akan terjadi dan tubuh akan mengeluarkan keringat. Jika suhu rendah dari suhu tubuh normal tubuh, peredaran darah ke permukaan tubuh berkurang sehingga tubuh mengurangi pelepasan panas ke udara sekitarnya. Pada suhu yang lebih rendah lagi, tangan dan kaki menjadi pucat dan dingin, otot-otot akan berkontraksi dan tubuh akan menggigil. Hal ini merupakan usaha terakhir tubuh untuk mengimbangi suhu di dalam tubuh (Baharuddin; Ishak, Muhammad Taufik; Beddu, Syarif; Yahya, M., 2013).

Koenigsberger, dkk (1973) menyatakan bahwa sesungguhnya sangat sukar sekali menentukan ukuran-ukuran kenikmatan secara tepat oleh karena kombinasi dari pergerakan udara dengan kecepatan $4,57\text{ m} - 7,62\text{ m/menit}$, suhu udara $20,4^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban 70% , kelembaban 20% dari kecepatan pergerakan udara sama seperti yang disebutkan di atas. Kombinasi temperature udara, kelembaban dan kecepatan angin yang membentuk temperature nyaman pada saat tersebut dikatakan sebagai *temperatur efektif*.

Faktor kenyamanan termal dikelompokkan menjadi dua. Pertama, faktor klimatis yang meliputi temperatur udara, temperatur radiasi, kecepatan angin, dan kelembaban. Kedua, faktor personal, yang meliputi tingkat metabolisme yang ditentukan oleh faktor aktifitas dan faktor tingkat resistensi dari pakaian yang ditentukan oleh faktor pakaian (ASHRAE, Handbook of Fundamental, 2017).



a. Temperatur udara

Kenyamanan temperatur merupakan hal penting dalam menciptakan suatu kenyamanan di dalam ruang. Temperatur udara adalah keadaan panas atau dinginnya udara di suatu tempat pada waktu tertentu yang dipengaruhi oleh banyak atau sedikitnya panas matahari yang diterima bumi. Temperatur udara suatu tempat tidaklah sama meskipun kita tinggal di suatu daerah yang berdekatan.

Umumnya daerah yang paling panas adalah daerah khatulistiwa, karena paling banyak menerima radiasi matahari. Intensitas radiasi matahari berbanding lurus dengan temperatur suatu daerah. Intensitas radiasi matahari menentukan jumlah kalor yang diterima suatu daerah. Salah satu faktor yang mempengaruhi intensitas radiasi matahari suatu tempat adalah sudut datang sinar matahari tersebut. Maka daerah-daerah yang berada di dekat ekuator menjadi daerah yang lebih panas daripada daerah yang jauh dari ekuator bumi. Hal ini disebabkan sudut datang radiasi matahari pada daerah ekuator adalah 90° . Makin kecil sudut datang radiasi matahari makin kecil pula radiasi yang didapat.

Tetapi temperatur udara juga dipengaruhi oleh faktor derajat lintang (musim), atmosfer, serta daratan dan air. Temperatur terendah pada 1-2 jam sebelum matahari terbit dan temperatur tertinggi pada 1-2 jam setelah posisi matahari tertinggi, dengan 43% radiasi matahari dipantulkan kembali, 43% diserap oleh permukaan bumi, dan 14% diserap oleh atmosfer. Penyinaran langsung dari sebuah dinding bergantung pada orientasinya pada matahari, dimana pada iklim tropis paling banyak terkena radiasi matahari, sehingga dapat disolusikan dengan beberapa bahan yang mampu menyerap 50%-95% radiasi matahari.



b. Temperatur radiasi

Temperatur radiasi adalah temperatur yang disebabkan karena panas yang ditimbulkan radiasi. Untuk ruang luar, temperatur radiasi akan bersumber pada radiasi matahari dan pengukuran dilakukan dengan solarimeter. Radiasi dari matahari diukur dengan satuan watt perluas area. Untuk didalam ruang temperatur radiasi dominan disebabkan karena radiasi benda sekitar dan elemen ruang. Alat ukur yang digunakan adalah solar power meter digital.

c. Kelembaban udara

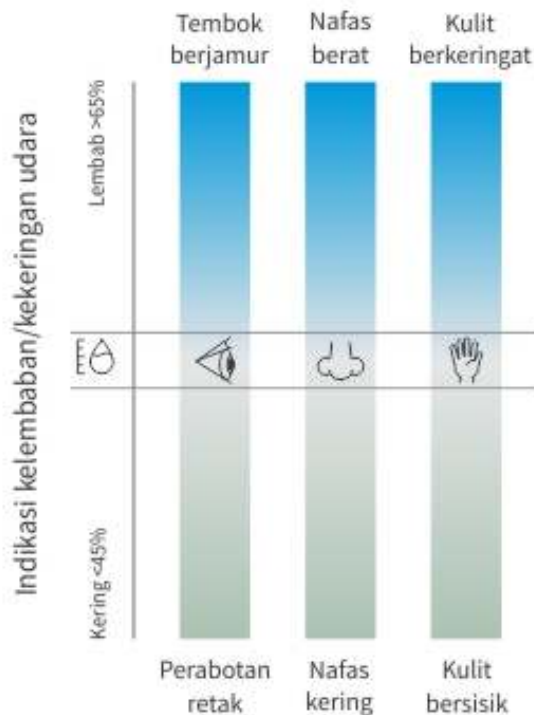
Udara berkaitan berkualitas bukan sekedar bersih dan bersuh nyaman. Tingkat kelembaban udara yang tepat juga penting bagi kenyamanan dan kesehatan kita. Kelembaban udara adalah jumlah uap air di udara yang diekspresikan dengan presentasi. Kelembaban adalah banyaknya kadar uap air di udara. Istilah ini hanya mewakili air yang hadir dalam bentuk gas (Allaby, 2007). Tanpa terlihat secara kasat mata, uap air ada di sekitar kita. Banyaknya uap air mempengaruhi tingkat kelembaban di udara. Di negara-negara tropis seperti di Indonesia, tingkat kelembaban pada umumnya relative tinggi dengan suhu yang relative konstan, tingkat kelembaban tidak banyak mengalami perubahan sepanjang tahun. Perubahan drastic biasanya terjadi pada saat memasuki musim penghujan dan musim kemarau. Kelembaban dapat dihitung dalam beragam cara yaitu *mixing ratio*, *specific humidity* dan *relative humidity*. Berkaitan dengan laporan cuaca, kelembaban yang dimaksud atau umum digunakan adalah *relative humidity* (kelembaban udara) dimana biasa disingkat RH. Kelembaban udara adalah rasio antara massa uap air yang ada dalam satuan massa udara kering (*mixing ratio*) dengan jumlah yang dibutuhkan untuk menghasilkan saturasi (*saturation mixing ratio*) dalam udara tersebut. Angka kelembaban bernilai 0-100 % dimana 0% artinya udara kering dan 100 % berarti udara jenuh dengan uap air dimana akan terjadi titik-titik air (saturasi). Kelembaban



udara adalah kandungan uap air dalam udara. Biasanya kelembaban udara menjadi penting saat suhu udara mendekati atau melampaui ambang batas daerah kenyamanan termal dan kelembaban udara mencapai lebih dari 70% atau kurang dari 40% (Mangunwijaya, 1997). Kelembaban udara yang tinggi mengakibatkan sulit terjadinya penguapan dipermukaan kulit sehingga mekanisme pelepasan panas bisa terganggu. Dalam pergerakan seperti itu pergerakan udara akan sangat membantu penguapan (Frick, 2008). Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya ketidaknyamanan termal sehingga harus diimbangi dengan kecepatan angin yang cukup dan menerus.

Berbeda dengan di luar ruangan (outdoor), tingkat kelembaban di dalam ruangan lebih mudah berubah, tergantung aktifitas yang dilakukan. Sebagai contoh, kegiatan mandi dan mencuci akan membuat tingkat kelembaban di dalam ruangan menjadi tinggi. Sementara kegiatan lain yang tidak menggunakan air dan dilakukan di ruangan ber-AC akan membuat ruangan menjadi kering karena sifat dari udara dingin yang hanya dapat menampung sedikit uap air. Idealnya, kelembaban udara harus dijaga dalam kisaran 45-65 % (RH).





Gambar 3. Indikasi kelembaban/kekeringan udara
(Sumber : higienis.com)

d. Kecepatan aliran udara

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya gaya yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dan perbedaan suhu (Satwiko P. , 2009). Angin pada daerah iklim tropis-lembab cenderung minim, biasanya berhembus agak kuat di siang hari atau pada musim pancaroba. Kenyamanan di daerah tropis-lembab hanya dapat dicapai dengan bantuan aliran angin yang cukup pada tubuh manusia.

Kecepatan aliran udara adalah pergerakan udara pada suatu ruangan yang mempengaruhi kenyamanan penghuni yang ada di dalamnya. Standarnya, kecepatan aliran udara dalam ruangan adalah berada dikisaran 0,15 hingga 1,5 m/s. Jika kecepatan aliran udara lebih rendah dari kisaran tersebut, kondisi udara dalam ruangan akan tak mengenakan dikarenakan



tidak adanya gerakan atau pergantian udara. Begitu pula sebaliknya, saat kecepatan udara terlalu tinggi akan memunculkan perasaan tidak nyaman dan suara bising.

Pergerakan aliran udara adalah aspek yang penting untuk kenyamanan termal, terlebih di daerah panas, seperti halnya di daerah tropis. Di daerah dingin pergerakan udara tidak terlalu berpengaruh karena biasanya jendela-jendela ditutup untuk mencegah masuknya angin yang dingin. Pergerakan udara atau angin yang menyapu permukaan kulit mempercepat pelepasan panas secara konveksi. Bila permukaan kulit basah, maka penguapan yang terjadi mengakibatkan terjadinya pelepasan panas yang lebih besar (Frick, 2008:48). Gerakan udara tidak dapat mencegah terjadinya radiasi dari lapisan luar ke kelapisan dalam tetapi dapat menyalurkan panas yang terbentuk di dalam ruang kosong tersebut.

e. Aktifitas

Kenyamanan termal dilandasi oleh tercapai keseimbangan panas badan. Badan akan memelihara panas badan dalam kondisi $37^{\circ} C \pm 2$. Dengan demikian produksi panas badan dan pelepasan panas badan harus seimbang. Produksi panas badan dihasilkan dari ujud sampingan proses metabolisme perubahan energi kimia dari makanan menjadi energi mekanik gerakan yang akan terujud dalam aktifitas tertentu. Semakin besar dan cepat metabolisme semakin besar produksi panas badan internal (Moore, 1993 dalam Sugini, 2014).

Aktifitas manusia menimbulkan energi atau panas tertentu dalam tubuh yang bersangkutan. Makin tinggi aktifitas seseorang, makin besar pua kecepatan metabolisme di dalam tubuhnya sehingga makin besar enegi atau panas yang dihasilkan. Bila faktor alam tidak dapat menyerap panas yang terjadi (dan harus dilepas demi kenyamanan termal orang itu) maka ia akan merasa tidak nyaman. Agar mendapatkan kenyamanan termalnya kembali, dapat memilih kegiatan lain yang lebih tenang dan yang tidak menimbulkan banyak panas. Dengan kata lain, pada saat suhu udara dan



kelembaban udara tinggi dan angin kurang tersedia, kegiatan yang paling nyaman adalah tidur atau berbaring. Semakin aktif gerak tubuh maka panas yang dipancarkan akan semakin besar.

f. Pakaian

Kenyamanan akan ditentukan pada keseimbangan panas antara produksi panas internal dengan pelepasan panas badan. Pelepasan panas badan terjadi melalui evaporasi, konveksi, radiasi, dan konduksi. Yang menentukan konveksi, radiasi, dan konduksi adalah resistensi pakaian. Faktor pakaian diukur dengan *level of clothing* atau clo. Skala dimulai dengan 0 untuk tidak berpakaian sampai yang tertinggi menunjukkan tingkat ketertutupan dan jumlah dan bahan pakaian. Insulasi pakaian yang dipakai adalah penjumlahan insulasi dari semua jenis pakaian yang dikenakan. Faktor pilihan yang lazim dan mudah diterapkan untuk mencapai kenyamanan termal adalah cara berpakaian. Manusia bisa memilih dan menentukan jenis pakaian yang dikenakannya demi mencapai kenyamanan termal bagi dirinya. Untuk menentukan sifat pakaian yang digunakan dapat dilihat pada tabel pakaian dan *clothing value* pada bagian lampiran. Untuk menentukan nilai clo gabungan, maka nilai clo yang ada dapat dijumlahkan. Batas nyaman untuk pakaian adalah $n=0,5$ clo (Frick, 2008).

4. Rekayasa Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor klimatis dan fisiologis penghuni ruang, selain itu kenyamanan termal dapat dipengaruhi oleh kondisi dalam ruang maupun luar ruang, ketika sensasi termal dalam ruang semakin meningkat menuju tidak nyaman, suasana kegiatan di dalam ruang menjadi tidak kondusif. Kondisi termal dalam ruang yang semakin memburuk dapat dikendalikan dengan pendekatan mekanis yaitu menggunakan AC (Air Conditioner), namun untuk menggunakannya diperlukan biaya operasional yang tidak sedikit. Pendekatan kedua adalah



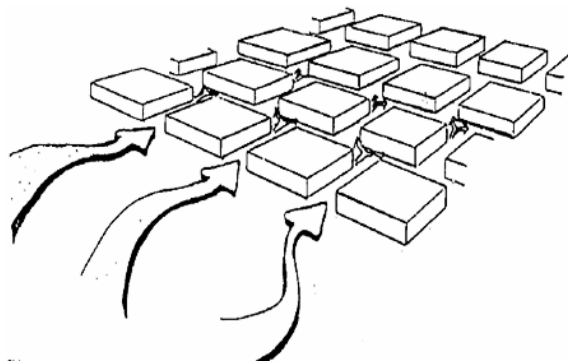
mengkondisikan lingkungan di luar dan ventilasi bangunan secara alami dengan pendekatan arsitektural.

a. Rekayasa ruang luar

Rekayasa ruang luar untuk mengendalikan kenyamanan termal dicapai dengan cara pemilihan dan perencanaan penempatan elemen di sekitar bangunan, elemen di sekitar bangunan yang dimaksud adalah penutup tanah dan vegetasi.

1.) Konfigurasi Bangunan

Perletakan massa bangunan dapat mempengaruhi aliran udara yang berhembus, sehingga dengan perletakan yang sesuai dapat menciptakan kenyamanan termal yang baik. Posisi bangunan dengan pola papan catur akan mengakibatkan terjadinya kantung udara pada setiap sela bangunan, sehingga aliran udara lebih merata dan bangunan tidak berada dalam daerah bayangan angin.



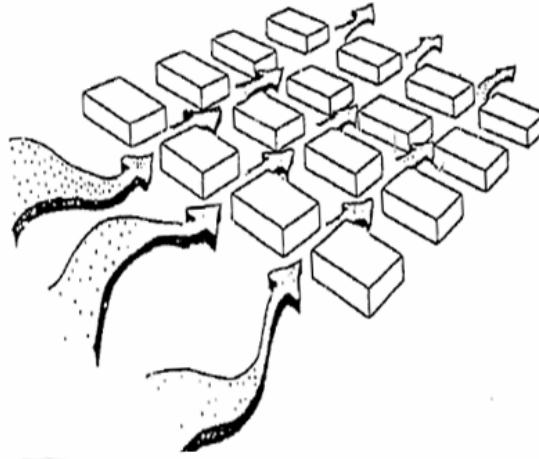
Gambar 4. Pola bangunan papan catur

(Sumber : (Gideon, 1995)



Pola penataan bangunan teratur dalam bentuk grid dengan pola jalan yang saling memotong tegak lurus mengakibatkan angin tidak berbelok dan

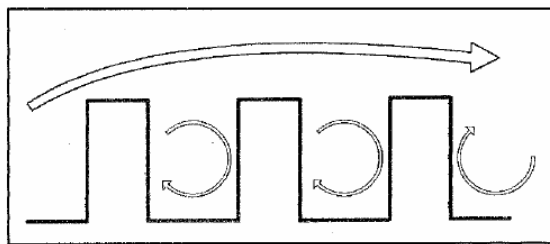
langsung keluar, selain itu dengan pola penataan grid, sela antar bangunan terdapat bayangan angin.



Gambar 5. Pola bangunan yang grid

(Sumber : (Gideon, 1995)

Membangun massa bangunan dengan posisi berjajar dapat menimbulkan kantung-kantung turbulensi yang berisi pergerakan udara kecil yang menciptakan pola lompatan yang tidak biasa pada aliran udara.



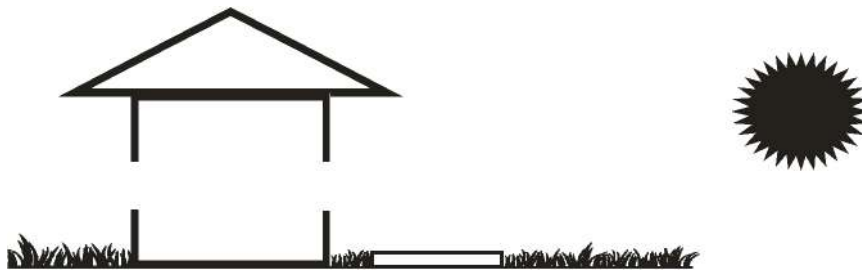
Gambar 6. Gerakan udara antara barisan rumah yang rapat dan sejajar

(Sumber : (Lippsmeier, 1994)

2.) Penutup tanah

Penutup tanah sangat penting dalam menentukan kualitas iklim site. Hal ini disebabkan penutup tanah akan mempengaruhi reflektivitas radiasi matahari yang jatuh ke site. Pada akhirnya reflektivitas radiasi matahari menyebabkan naik turunnya temperatur sekitar bangunan.





Gambar 7. Permukaan tanah akan menentukan perolehan panas ruang atau bangunan

(Sumber: Sugini, (2014)

Besaran reflektivitas penutup tanah mempengaruhi kondisi termal sekitar bangunan. Semakin besar reflektivitas penutup tanah semakin besar pula pengaruhnya terhadap kondisi termal.

Penelitian di Afrika selatan, pada ketinggian 1m di atas permukaan perkerasan (beton) menunjukkan suhu yang lebih tinggi sekitar 4°C dibandingkan suhu pada ketinggian yang sama di atas permukaan rumput. Perbedaan ini menjadi sekitar 5°C apabila rumput tersebut terlindung dari radiasi matahari (Talarosa, 2005).

3.) Vegetasi

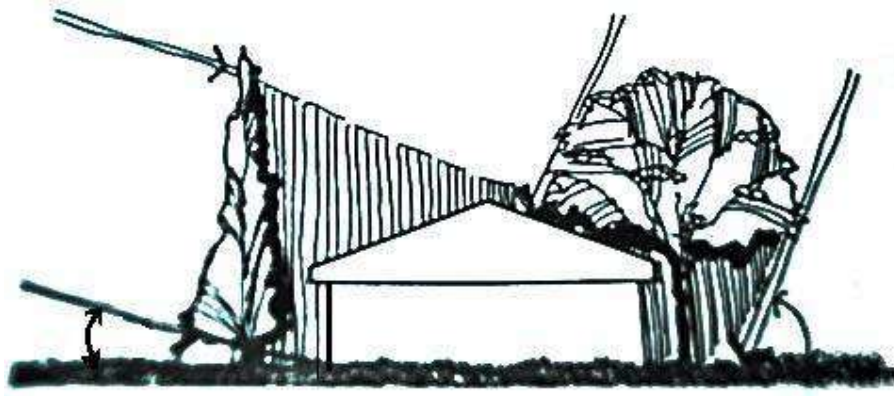
Elemen lansekap seperti pohon dan vegetasi juga dapat digunakan sebagai pelindung terhadap radiasi matahari. Keberadaan pohon secara langsung/tidak langsung akan menurunkan suhu udara di sekitarnya, karena radiasi matahari akan diserap oleh daun untuk proses fotosintesa dan penguapan. Efek bayangan oleh vegetasi akan menghalangi pemanasan permukaan bangunan dan tanah di bawahnya.

Daerah dengan iklim yang relatif hangat atau panas menyebabkan desain lebih ditujukan untuk pendinginan atau menyejukan. Bagaimana cara mendinginkan atau menyejukan bangunan tergantung dari potensi iklim. Pada daerah beriklim tropis hangat lembab tentunya berbeda dengan iklim panas kering. Indonesia adalah daerah yang beriklim hangat lembab dengan potensi angin berlimpah dan altitude yang relatif tinggi. Kondisi ini



menyebabkan tujuan desain diarahkan pada usaha pendinginan secara konveksi dengan angin dan peneduhan untuk menghindari radiasi matahari dengan altitude tinggi.

Matahari dengan kualitas ultra violet datang dari arah terbit hingga 45°. Sedangkan kualitas radiasi matahari infra merah menjadi dominan memberikan efek panas mulai sudut 45 ° hingga 15° sebelum tenggelam. Oleh karena itu bila kita ingin menghalangi sinar matahari dengan kualitas radiasi panas maka pada sisi terbit ditanam tanaman dengan tipe kanopi. Sedangkan sebaliknya disisi matahari tenggelam ditanam penghalang radiasi matahari dengan tipe dahan rendah.



Gambar 8. Peneduhan dengan vegetasi yang tepat pada posisi yang tepat

(Sumber : Sugini, (2014)

Pohon dan tanaman dapat dimanfaatkan untuk mengatur aliran udara ke dalam bangunan. Penempatan pohon dan tanaman yang kurang tepat dapat menghilangkan udara sejuk yang diinginkan terutama pada periode puncak panas. Menurut Egan (1975), kedekatan pohon terhadap bangunan mempengaruhi ventilasi alami dalam bangunan.



5. Standar Kenyamanan Termal di Indonesia

Temperatur dalam ruangan yang sehat berdasarkan MENKES NO.261/MENKES/SK/II/1998 adalah temperatur ruangan yang berkisar antara 18°C - 26°C. Selain itu, berdasarkan standar yang ditetapkan oleh Standar Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung, ada tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Batas kenyamanan termal

	Temperatur efektif (TE)	Kelembaban (RH)
> Sejuk Nyaman	20,5°C - 22,8°C	50%
Ambang atas	24°C	80%
> Nyaman Optimal	22,8°C - 25,8°C	70%
Ambang atas	28°C	
> Hangat Nyaman	25,8°C - 27,1°C	60%
Ambang atas	31°C	

(Sumber : Standar tata cara perencanaan teknik konservasi energi pada bangunan gedung)

6. Standar Kenyamanan Termal Penghawaan Buatan

Manusia membutuhkan lingkungan udara ruang yang nyaman (thermal comfort) untuk melakukan aktivitas secara optimal. Dengan adanya lingkungan udara yang nyaman ini manusia akan dapat beraktifitas dengan tenang dan sehat. Bila dalam suatu ruangan yang panas dan pengap, manusia yang melakukan aktivitas di dalamnya tentu juga akan sangat terganggu dan tidak dapat melakukan aktifitasnya secara baik, dan ia merasa tidak nyaman. Maka kenyamanan dalam ruangan yang menyangkut udara harus terpenuhi yaitu meliputi: temperatur udara, kelembaban udara, pergerakan udara, dan tingkat kebersihan udara. Untuk mendapatkan kondisi ruangan yang memenuhi *thermal comfort* atau kondisi yang harus



memenuhi persyaratan tertentu sesuai dengan yang kita inginkan, tanpa adanya ketergantungan dengan lingkungan luar, maka digunakan penghawaan buatan (air conditioning). Penghawaan buatan di sini memiliki pengertian bahwa udara dalam ruang dikondisikan berdasarkan beban kalor yang terjadi pada ruangan tersebut.

Salah satu jaringan distribusi penting dalam sebuah bangunan ialah sistem pengadaan udara yaitu sistem pemanasan/pendinginan, ventilasi, dan air conditioner (AC). Berbeda dengan jaringan-jaringan distribusi yang berlangsung di seluruh bangunan, sistem AC dan bagian-bagian komponennya menghendaki jumlah ruang yang cukup. Kebutuhan AC akan berbeda-beda setiap ruangan tergantung luas ruangan, rata-rata jumlah pemakai ruangan, jenis bahan pakaian pengguna ruang dan sebagainya.

Pada AC kita kenal istilah PK yang merupakan singkatan Paard Kracht. Kapasitas AC biasa dinilai dari berapa PK AC itu. Ini sering juga disebut sebagai horsepower atau tenaga dari AC tersebut. Untuk 1 PK = 9000 BTU/h. Berikut adalah jenis AC berdasarkan jumlah PK :

Tabel 2. Jenis AC berdasarkan jumlah PK

JENIS AC	BTU/h
AC 1/2 PK	5000 BTU
AC 3/4 PK	7000 BTU
AC 1 PK	9000 BTU
AC 2 PK	18000 BTU
AC 2.5 PK	24000 BTU

(Sumber: nationalelektronik.com)



7. Ruang Studio Desain

Studio sebagai wadah untuk mengekspresikan karya dari para pengguna ruang dirasa sangat perlu untuk memenuhi standar kenyamanan agar dapat meningkatkan produktifitas. Pengertian studio sendiri adalah tempat bekerja bagi para pelukis, tukang foto dan profesi lainnya. Atau ruang yang dipakai untuk menyiarkan acara-acara radio atau televisi. Atau tempat yang dipakai untuk pengambilan film (*KBBI, 2008*).

Proses belajar mengajar yang berbasis studio, merupakan bagian penting dalam struktur kurikulum pada Jurusan Arsitektur. Metode yang dikembangkan pada matakuliah perancangan arsitektur, sangat menekankan pada unsur kreatifitas dan kemandirian mahasiswa dalam kegiatan pembelajarannya, meskipun demikian dalam pelaksanaan seringkali tidak berjalan sesuai target. Kecenderungan mahasiswa tidak fokus dan tidak percaya diri dalam melaksanakan kegiatan di studio seringkali disebabkan karena faktor lingkungan yang kurang nyaman (Ishak, Beddu, & Rahayu, 2012).

Untuk memenuhi tingkat kenyamanan pada ruang studio maka ada beberapa persyaratan-persyaratan yang perlu dipenuhi agar tercipta suasana yang nyaman adalah sebagai berikut :

a. Sistem Fisik

- (1). Bentuk geometri denah berbentuk persegi (kotak, persegi panjang) dan cenderung simetris.
- (2). Pola kolom grid dan menghindari adanya kolom dalam ruang.
- (3). Kapasitas ruangan yang ideal untuk studio gambar adalah 15-25 orang.
- (4). Tata perabot dengan pola cluster, agar proses kegiatan diskusi bias lebih mudah.
- (5). Luas bukaan yang diperlukan 25-33% luas lantai studio gambar, dengan tipe jendela: jendela yang dapat dibuka, kaca



mati dan *bouvenlicht*. Pola bukaan pada studio diusahakan mengarah antara utara dan barat.

b. Sistem Spasial

- (1). Arah sirkulasi dan penempatan meja kursi sejajar dan simetris mengikuti bentuk denah.
- (2). Meja gambar minimal berukuran 120x80 cm, dengan jarak perletakan antar perabot minimal 90 cm.
- (3). Standar total ruang gerak yang dibutuhkan per orang minimal adalah 2,16 m².
- (4). Tatanan meja gambar harus menyamping terhadap bukaan, sehingga sinar datang dari samping kiri atau kanan meja gambar. Akan tetapi lebih baik jika sinar dari arah kiri meja gambar.
- (5). Pola penataan meja : (a) Pola linier, untuk studio dengan pemberian materi kuliah, (b) Pola cluster, untuk studio dengan kegiatan diskusi.
- (6). View : (a) tetap dibutuhkan view keluar ruangan, (b) view dalam ruang studio mengarah ke papan tulis, layer proyektor atau media lain untuk menyampaikan materi.
- (7). Pencapaian ruang studio diusahakan mengarah antara utara dan barat, juga untuk orientasi ruang.
- (8). Pemisah ruang studio dengan ruang public (diantarai lobby atau koridor).
- (9). Ruang studio gambar berada pada zone semi public (vertical atau horizontal).
- (10). Memaksimalkan pencahayaan alami dan meminimalkan kebisingan, arah bukaan dihindari ke arah zona public.



c. Sistem Stilistik

- (1). Pola plafon dipengaruhi oleh : (a) dimensi ruang, (b) bahan yang digunakan, (c) titik lampu, (d) bentuk ruang, (e) pola susunan kolom.
- (2). Pola lantai dipengaruhi oleh sifat ruang (semi-publik) antara dalam dan luar ruang studio.
- (3). Bentuk kolom dipengaruhi oleh : (a) besaran ruang, (b) pola kolom.
- (4). Jenis bukaan : (a) jendela, (b) *bouvenlicht*, (c) pintu daun pintu.

8. Bukaan Ruang

Ruang merupakan sebuah daerah atau tempat di mana semua aktifitas yang dilakukan oleh makhluk hidup terjadi di dalamnya. Khususnya manusia, keberadaan sebuah bangunan yang bisa dijadikan sebagai sebuah ruang gerak memang sangat diperlukan hal ini bertujuan untuk melindungi manusia dari berbagai ancaman yang ada di lingkungan sekitarnya. Selain berfungsi sebagai tempat berlindung, ruang yang ditempati oleh manusia juga harus memenuhi beberapa kriteria salah satunya adalah adanya bukaan-bukaan yang mempunyai fungsi untuk memberikan suatu suasana yang terbuka atau dalam hal ini mengurangi perasaan terjepit yang dialami oleh manusia pada saat berada di dalam sebuah ruang tertutup, memberikan kemudahan dalam pencapaian serta memberikan kontinuitas visual dengan ruang atau lingkungan yang ada di sekitarnya.

Untuk memenuhi semua kebutuhan akan bukaan-bukaan tersebut, maka bangunan dilengkapi dengan pintu dan jendela. Keberadaan pintu dan jendela dalam sebuah ruang tentunya sangat dibutuhkan. Pintu-pintu yang berada dalam sebuah ruang berfungsi sebagai penentu arah gerak dalam sebuah ruang, memberikan kemudahan pencapaian untuk menemukan ruang-ruang



yang ada di dalam sebuah bangunan seperti yang telah dijelaskan di atas, serta memberikan jalan masuk ke sebuah ruang.

Sedangkan jendela yang terdapat pada sebuah ruang merupakan sarana untuk membangun hubungan visual dengan ruang-ruang yang ada disekitarnya serta menciptakan sebuah ventilasi alami di dalam ruang. Bukaan-bukaan ruang yang terdapat dalam sebuah bangunan juga biasanya berfungsi sebagai penentu arah orientasi bangunan terhadap keadaan alam dan lingkungan. Selain itu seperti telah dijelaskan sebelumnya, bukaan-bukaan pada sebuah ruang juga berfungsi untuk membangun sebuah hubungan kontinuitas antara ruang yang ditempati dengan lingkungan yang ada disekitarnya. Untuk memenuhi kriteria itu, maka diperlukan bukaan yang cukup untuk menciptakan hubungan yang langsung antara ruang dalam dengan lingkungan.

Berikut ini adalah jenis-jenis bukaan yang secara umum sering kita jumpai :

Tabel 3. Jenis bukaan jendela

Jenis Jendela	Gambar	Keterangan
Casement Windows		<p>Jendela dengan jenis bukaan ini merupakan jendela dengan letak engsel di samping. Jendela dapat dibuka penuh sehingga memberikan ventilasi udara yang optimal.</p>
Sliding Windows		<p>Jendela ini terdiri dari dua buah jendela salah satu diantaranya adalah jendela mati. Sedangkan yang lainnya dapat digeser secara horizontal. Umumnya jendela jenis ini lebih awet dengan tipe jendela menggunakan engsel.</p>



Optimization Software:
www.balesio.com

Awning
Windows



Jenis jendela ini membuka kearah luar dengan posisi engsel di atas. Dengan ventilasi ruangan yang cukup memadai dan sudut bukaan bisa diatur sesuai kebutuhan.

Pivot
Windows



Jenis ini memiliki engsel di tengah. Jendela membuka dan menutup dengan cara diputar. Ventilasi udara terasa lebih optimal.

Fixed
Windows



Disebut juga dengan jendela mati karena tidak mempunyai engsel jendela. Jendela ini tidak bisa dibuka – tutup dan hanya mengalirkan cahaya matahari untuk menerangi ruangan bukan udara yang masuk ke ruangan.

9. Kebutuhan Beban Pendinginan

Dewasa ini energi merupakan kebutuhan manusia yang paling pokok. Kebutuhan manusia terhadap ketersediaan energi listrik sangatlah besar sehingga pemakaiannya haruslah bijaksana, produktif dan efisien. Kita semua harus menyadari bahwa sumber energi listrik yang kita pakai cadangannya terbatas bahkan untuk sumber energi dari minyak bumi dan gas alam, disamping cadangannya terbatas juga tidak dapat diperbaharui.

Dalam sebuah bangunan gedung, presentase konsumsi energi listrik yang terbesar adalah pada sistem penyejuk udara (*air conditioning*) oleh karena itu salah satu cara mengelola konsumsi energi sehemat mungkin adalah dengan mengoperasikan sistem tata udara se-efisien mungkin.

Tetapi perlu diperhatikan bahwa penghematan pengoperasian sistem penyejuk udara yang dilakukan jangan sampai mengurangi kenyamanan ruangan karena kondisi lingkungan yang nyaman dapat meningkatkan produktifitas kerja penghuninya. Untuk dapat menghasilkan aliran udara dengan kondisi yang diinginkan, maka peralatan yang dipasang harus mempunyai kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dimiliki ruangan tersebut. Dengan melakukan analisis terhadap beban pendinginan yang diperlukan pada suatu ruangan diharapkan energi yang dibutuhkan untuk menjalankan mesin AC akan lebih optimal.

Penyegaran udara adalah suatu proses mendinginkan udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan persyaratan terhadap kondisi udara dari suatu ruangan tertentu. Ruangan yang baik memungkinkan tingkat kenyamanan untuk dihuni dengan temperatur yang sejuk dan kondisi udara yang bersih pada suatu ruangan akan memungkinkan penghuni merasa nyaman berada di dalam ruangan yang dikondisikan.

Proses penambahan panas di dalam ruangan diakibatkan beban panas yang masuk sehingga temperatur pada ruangan naik. Dalam kasus tersebut terjadi karena adanya dua faktor yang mempengaruhi seperti *external heat gain* dan *internal heat gain*. *External heat gain* adalah pertambahan panas



yang disebabkan adanya panas radiasi matahari secara langsung dan perbedaan temperatur dari udara luar bangunan dengan dalam ruangan sehingga kenaikan temperatur luar ruangan akan mempengaruhi kondisi temperatur dalam bangunan. *Internal heat gain* adalah pertambahan panas yang disebabkan oleh aktifitas di dalam ruangan, berasal dari aktifitas penghuni, pencahayaan dengan lampu, mesin-mesin dan peralatan, perbedaan temperatur ruangan dengan ruangan lainnya dan infiltrasi.

Pengkondisian udara ini diperlukan untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan dan pendistribusiannya sehingga udara dalam ruangan atau gedung dapat terjaga kualitasnya dan mencapai kondisi nyaman bagi orang yang berada di ruangan tersebut. Komponen-komponen utama sistem pendinginan biasanya terdiri dari :

- a. Kompresor
- b. Kondesator
- c. Alat ekspansi (pipa kapiler)
- d. Evaporator

Keempat komponen di atas merupakan komponen Mesin Refrigerasi Kompresi Uap. Di dalam siklus kompresi uap ini, refrigerant mengalami empat proses yaitu :

- a. Proses 1-2 : *refrigeran* meninggalkan *evaporator* dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah kemudian dikompresikan dengan tekanan yang tinggi (tekanan kondensator). Proses kompresi ini berlangsung secara isentropic (adiabatic reversible).
- b. Proses 2-3 : setelah mengalami proses kompresi, *refrigerant* berada dalam fase panas lanjut dengan tekanan dan temperatur tinggi dan masuk bagian kondesator, *refrigerant* akan membuang panas ke lingkungan sehingga temperatur turun dan menjadi cair.
- c. Proses 3-4 : *refrigerant* dalam wujud cair jenuh bertekanan tinggi mengalir melalui katup ekspansi dan terjadi proses ekspansi dimana



tekanan *refrigerant* akan diturunkan melalui proses tersebut dan kemudian masuk ke dalam evaporator.

- d. Proses 4-1 : *refrigerant* yang keluar dari ekspansi mempunyai temperatur rendah. *Refrigerant* tersebut masuk ke *evaporator* untuk menyerap kalor dari ruangan yang akan didinginkan. Proses penyerapan kalor menyebabkan temperatur *refrigerant* naik dan berubah menjadi uap. Selanjutnya *refrigerant* dalam bentuk uap akan masuk kembali ke kompresor.

10. Perhitungan Beban Pendinginan

Pehitungan beban pendingin merupakan suatu analisa mengetahui seberapa besar kalor / panas yang ada dalam suatu ruangan, sehingga dapat ditentukan seberapa besar pendinginan yang dibutuhkan untuk membuat ruangan tetap dalam kondisi dingin. Terdapat beberapa jenis kalor yang dapat mempengaruhi panasnya suatu ruangan, yaitu:

- a. Kalor sensibel penerangan
- b. Kalor sensibel manusia
- c. Kalor sensibel peralatan
- d. Kalor sensibel jendela
- e. Kalor sensibel dinding
- f. Kalor sensibel infiltrasi
- g. Kalor sensibel lantai

Nilai dari setiap kalor di atas dapat diperoleh dengan melakukan beberapa langkah perhitungan yaitu :

- a. Kalor sensibel penerangan (rumus: 1)

Kalor Sensibel Penerangan = Jumlah lampu (kW) × faktor koefisien transmisi lampu (kcal/kWh).



Tabel 4. Faktor koefisien transmisi kalor peralatan listrik

Pemanas	per 1 kW	0,860 kcal/kWh
Motor listrik	per 1 kW	0,860 kcal/kWh
Lampu	per 1 kW	0,860 kcal/kWh (pijar) 1,080 kcal/kWh (tl)

b. Kalor sensibel manusia (rumus: 2)

Kalor sensibel manusia = jumlah orang \times faktor koefisien manusia (kcal/h) \times koreksi faktor kelompok.

Tabel 5. Faktor koefisien manusia dan faktor kelompok

Kondisi Kerja	Bangunan	Jumlah Kalor Total Orang Dewasa (kcal/h)	Faktor Kelompok Orang Bekerja
Duduk di kusi	Gedung	87	0,897
Bekerja di belakang meja	Kantor hotel	106	0,947
Berdiri atau berjalan lambat	Toko eceran	123	0,818
Dansa	Ruang dansa	201	0,944
Bekerja di belakang meja	Pabrik	335	0,967

c. Kalor sensibel peralatan (rumus: 3)

Kalor sensibel peralatan = jumlah peralatan (kW) \times faktor koefisien peralatan (kcal/kWh) / 1000.

d. Kalor sensibel jendela (rumus: 4)

Kalor sensibel jendela = luas jendela (m²) \times koefisien transmisi kalor melalui jendela (kcal/m² h °C) \times ΔT .



Tabel 6. Faktor koefisien transmisi kalor jendela

Jenis Kaca	Tebal Kaca	Koefisien Transmisi (kcal/m ² h °C)
Satu Pelat Kaca	Tidak tergantung tebal kaca	5,5
Kaca Ganda	Tidak tergantung tebal kaca	2,2
Blok Kaca	Tidak tergantung tebal kaca	5,5

e. Kalor sensibel dinding (rumus: 5)

Kalor sensibel dinding = koefisien transmisi kalor dari dinding (kcal/m² h °C) × luas dinding (m²) × ΔT.

Tabel 7. Faktor koefisien transmisi kalor dinding

Tebal Dinding		Koefisien Transmisi Kalor (kcal/m ² .h.°C)
Lapisan Biasa	Bagian Utama	
Atap luar menonjol ke luar 5 mm		12 mm 3,08
Adukan semen di luar 15 mm	Beton	150 mm 2,89
Adukan di luar 15 mm		200 mm 2,62
Plester 3 mm		250 mm 2,05
	Batu Bata	201 mm 1,62
		50 mm 4,75
Tanpa lapisan	Beton	100 mm 4,06
		200 mm 3,15

Untuk dinding ruang studio desain sendiri tersusun dari batu bata dan GRC. Nilai koefisien untuk dinding berbahan GRC dapat dilihat pada halaman *lampiran*.

Perhitungan matematis yang digunakan adalah:

$$ETD = \text{Kalor masuk} / K$$

$$\text{Kalor masuk} = \text{waktu pengukuran} \times \{1,031 + (\text{waktu 1 jam setelah pengukuran} - \text{waktu pengukuran})\} \times \{0,669 + (\text{waktu 2 jam setelah}$$



pengukuran – waktu 1 jam setelah pengukuran)} \times \{0,312 – (waktu 2 jam setelah pengukuran – waktu 3 jam setelah pengukuran)\} \times 0,046. (tergantung lama pengukuran).

c. $1 / R_t = 1 / (R_1 + R_{si} + R_{so})$

d. $K = 1 / \{(R_1 \times \text{tebal dinding}) + R_{si} + R_{so}\}$

Keterangan:

- 1) ETD = Selisih temperatur ekivalen dari radiasi matahari + selisih temperatur ekivalen dari temperatur atmosfer (°C)
- 2) R_1 = Tahanan kalor dan kapasitas kalor dari bahan bangunan ($m^2h^\circ/kcal$). Untuk dinding berbahan bata, yaitu $0,400 m^2h^\circ/kcal$.
- 3) R_{si} = Tahanan perpindahan kalor dari lapisan permukaan dalam dinding
- 4) R_{so} = Tahanan perpindahan kalor dari lapisan permukaan luar dinding

Tabel 8. Temperatur ekivalen radiasi matahari

Waktu	Temperatur (°C)
05.00	0
06.00	16,1
07.00	26,1
08.00	29,1
09.00	25,1
10.00	18,4
11.00	9,7
12.00	0

Tabel 9. Harga substitusi t

t	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	dst.
$\varphi 1$	0,046	0,312	0,669	1,031	1,364	dst.



Tabel 10. Hambatan kalor permukaan

R_{so}	0,05 m ² h°/kcal
R_{si}	0,125 m ² h°/kcal

f. Kalor sensibel infiltrasi (rumus: 6)

Kalor Sensibel Infiltrasi = volume ruangan (m³) × jumlah pergantian ventilasi alamiah × selisih temperatur exterior dan interior (°C) × (0,24 / volume spesifik).

Tabel 11. Jumlah pergantian

Rumah Standar	1 kali
Rumah Dengan Banyak Jendela	1,5 - 2 kali
Rumah, Pintu dan Jendela Yang Sering di Buka-Tutup	1,5 - 2 kali

g. Kalor sensibel lantai (rumus: 7)

Kalor sensibel lantai = luas lantai (m²) × koefisien transmisi kalor dari lantai (kcal/m².h.°C) × ΔT. Untuk koefisien transmisi kalor dari lantai dapat dilihat pada halaman *lampiran*.

11. Jenis jenis Pendingin Ruang

Berdasarkan jenis AC yang sering kita jumpai terdiri dari AC Split, AC Window, AC Sentral dan Standing AC.

a. AC Split

Pada AC jenis split komponen AC dibagi menjadi dua unit yaitu unit indoor yang terdiri dari filter udara, *evaporator* dan *blower*, *ekspansion valve* dan *control unit*, serta unit *outdoor* yang terdiri dari *kompresor*, *kondenser*, dan kipas *kondenser*. Selanjutnya antara unit *indoor* dengan unit *outdoor* dihubungkan dengan 2 buah saluran *refrigerant*, satu buah untuk menghubungkan evaporator dengan kompresor dan satu buah



untuk menghubungkan kompresor dan condenser dengan ekspansion valve serta kabel power untuk memasok arus listrik pada kompresor dan kipas *kondenser*. AC Split cocok untuk ruangan yang membutuhkan ketenangan, seperti ruang tidur, ruang kerja atau perpustakaan.



Gambar 9. Contoh AC jenis split

(sumber : serviceacjogja.pro)

Kelebihan AC Split :

- 1) Bisa dipasang pada ruangan yang tidak berhubungan dengan udara luar.
- 2) Suara di dalam ruangan tidak berisik.

Kekurangan AC Split :

- 1) Pemasangan pertama maupun pembongkaran apabila akan dipindahkan membutuhkan tenaga yang terlatih.
- 2) Pemeliharaan atau perawatan membutuhkan peralatan khusus dan tenaga yang terlatih.
- 3) Harganya cenderung lebih mahal.



b. AC Window

Pada AC jenis window, semua komponen AC terpasang pada satu *base plate*, kemudian *base plate* beserta semua komponen AC tersebut dimasukkan kedalam kotak plat sehingga menjadi satu unit. Biasanya dipilih karena pertimbangan keterbatasan ruangan, seperti pada rumah susun.



Gambar 10. Contoh AC jenis window

(sumber : acjakartamurah.com)

Kelebihan AC Window :

- 1) Pemasangan pertama maupun pembongkaran kembali apabila akan dipindahkan mudah dilaksanakan.
- 2) Pemeliharaan / perawatan mudah dilaksanakan.
- 3) Harga terjangkau.

Kekurangan AC Window :

- 1) Karena semua komponen AC terpasang pada base plate yang posisinya dekat dengan ruangan yang didinginkan, maka



cederung menimbulkan suara berisik (terutama akibat suara dari kompresor).

- 2) Tidak semua ruangan dapat dipasang AC window, karena AC window harus dipasang dengan cara bagian kondenser menghadap ketempat terbuka supaya udara panas dapat dibuang ke alam bebas.

c. AC Sentral

Pada AC jenis ini udara dari ruangan didinginkan pada *cooling plant* di luar ruangan tersebut, kemudian udara yang telah dingin dialirkan kembali ke dalam ruangan tersebut. Biasanya cocok untuk dipasang di sebuah gedung bertingkat (berlantai banyak), seperti di hotel atau mall.



Gambar 11. Contoh AC jenis sentral

(sumber : serviceacjogja.pro)

Kelebihan AC Sentral:

- 1) Suara di dalam ruangan tidak berisik sama sekali.
- 2) Estetika ruangan terjaga karena tidak ada unit *indoor*.



Kekurangan AC Sentral :

- 1) Perencanaan, instalasi, operasi dan pemeliharaan membutuhkan tenaga yang benar – benar terlatih.
- 2) Apabila terjadi kerusakan pada waktu beroperasi, maka dampaknya dirasakan pada seluruh ruangan.
- 3) Pengaturan temperatur udara hanya dapat dilakukan pada *central cooling plant*.
- 4) Biaya investasi awal serta biaya operasi dan pemeliharaan tinggi.
- 5) Apabila terjadi kebocoran maka air akan merembes di dalam ruangan.

d. Standing AC

Jenis AC ini cocok dipergunakan untuk kegiatan – kegiatan situasional karena fungsinya yang mudah dipindahkan, seperti seminar, pengajian *outdoor* dsb.



Gambar 12. Contoh AC jenis standing

(sumber : tokopedia.com)



Kelebihan :

- 1) Penggunaan listrik pada AC standing ini lebih hemat energi. Oleh karena itu biaya untuk keperluan listrik pun bisa dihemat, sehingga anggaran yang dibutuhkan bisa ditekan.
- 2) Bentuknya mirip dengan kulkas membuat pendingin udara ini mudah dipindahkan.
- 3) Harganya relatif lebih murah.
- 4) Pengoperasiannya mudah dan praktis.

Kekurangan :

- 1) Karena memiliki power yang cukup kuat sehingga suara yang ditimbulkan cukup bising.
- 2) Ukurannya yang besar memakan banyak tempat dan ruang



B. Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu terkait dengan kenyamanan termal antara lain :

a. Analisis Kenyamanan Termal Ruang Kelas Sekolah Dasar di Kota Makassar (Studi Kasus SD Unggulan Toddopuli)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kenyamanan termal siswa di dalam ruang kelas sekolah dasar di Kota Makassar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yang pengambilan datanya dilakukan melalui survei pada enam sekolah dasar terpilih. Adapun data yang diambil meliputi data personal (pakaian dan aktifitas siswa) dan pengukuran parameter lingkungan: temperatur udara, kelembaban udara, rata-rata temperatur radiasi permukaan dan kecepatan aliran udara. Pada saat yang bersamaan siswa diminta mengisi kuesioner yang menanyakan tingkat kenyamanan yang dirasakan penghuni saat itu.

Dari hasil pengukuran dan analisis kenyamanan termal di SD Unggulan Toddopuli Kota Makassar dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan termal berada diatas zona nyaman dengan rata-rata temperatur berkisar $30,30\text{ }^{\circ}\text{C} - 33,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini menjadi salah satu faktor penyebab banyaknya siswa yang merasa tidak nyaman, sehingga kebanyakan mereka menginginkan adanya penurunan temperatur yang bermuara pada sebagian besar tidak menerima kondisi termal ruang kelas. Selain hal tersebut mereka juga menginginkan adanya peningkatan kecepatan aliran udara di dalam ruang kelas. Guna mengurangi beban panas bagi siswa, disarankan untuk tidak menggunakan rompi selama dalam ruang kelas.

Perbandingan dengan penelitian yang hendak dilakukan ialah ruangan yang diteliti lebih luas dengan membandingkan hasil penelitian antara penghawaan alami dengan penghawaan buatan



b. Kenyamanan Termal Ruang Kuliah dengan Pengkondisian Buatan

Kebanyakan manusia lebih sering beraktifitas di dalam ruangan, sehingga mereka sangat membutuhkan kenyamanan di dalam ruangan guna melakukan aktifitas kegiatan dengan baik, tenang dan nyaman. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kenyamanan termal optimum yang dirasakan oleh pengguna ruang dengan membandingkan data ruang luar dan data ruang dalam. Teknik pengumpulan data yang dilakukan menggunakan alat ukur *HOBO Datalogger* untuk mendapatkan data fisik lingkungan termal dan melakukan survei terhadap pengguna ruang dengan mengedarkan kuesioner untuk memperoleh data batasan kenyamanan termal yang dirasakan oleh pengguna ruang dengan menggunakan AC.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa temperatur udara di dalam ruangan dengan kondisi kosong dan menggunakan ventilasi alami lebih tinggi dibandingkan temperatur udara yang ada di luar ruangan, dimana temperatur udara dalam ruangan 28 °C sedangkan temperatur udara di luar ruangan 27 °C, sehingga untuk mendapatkan kenyamanan termal yang optimum maka di tiap ruang kelas perkuliahan menggunakan pengkondisian udara buatan dengan memperhatikan energi yang digunakan dalam pemakaian pengkondisian buatan.

Perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan ialah penelitian ini terbatas pada mengukur dan membandingkan temperatur saja antara ruang dalam dan ruang luar dan berfokus pada penghawaan buatan.

c. Kenyamanan Termal Pada Ruang Terbuka Hijau di Jakarta Pusat

Penelitian ini bertujuan untuk menggali pendapat para pengguna mengenai keadaan termal RTH tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan cara pengukuran keadaan termal RTH serta penyebaran kuesioner bagi para pengguna RTH.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Taman Menteng pada pagi hari dengan suhu udara 28 – 29 °C netral oleh para responden. Sedangkan Taman Suropati dengan suhu 28 – 29 °C netral tapi tidak menonjol.



Sebaliknya pada waktu sore dengan suhu 31 °C di Taman Menteng dirasakan agak dingin oleh responden, sedangkan Taman Suropati dirasakan netral. Fenomena ini dikaitkan dengan lingkungan kedua RTH yang agak berbeda.

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa Taman Menteng memiliki keadaan termal yang hampir serupa dengan Taman Suropati. Perbedaannya adalah Taman Menteng memiliki pelataran keras yang luas, walaupun juga memiliki pelataran rumput dan pepohonan. Sedangkan Taman Suropati sebenarnya memiliki struktur vegetasi yang jauh lebih baik dari Taman Menteng, tetapi pada lapisan bawah/ tempat orang beraktifitas bersinggungan dengan lalu lintas kendaraan yang cukup padat, khususnya pada hari kerja.

Perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian di atas hanya memusatkan pada temperatur ruang luar taman dan membagikan kuesioner kepada responden.

d. Analisis Perubahan Suhu Ruangan Terhadap Kenyamanan Termal di Gedung 3 FKIP Universitas Jember

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan suhu ruang kuliah (kelas) terhadap perubahan waktu dan kenyamanan termal di FKIP Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan di ruang kuliah 35C 201, 35B 203, 35B 101 dan 35E 105 gedung 3 FKIP Universitas Jember. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2016.

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa suhu ruang berubah setiap waktu. Hasil pengukuran suhu rata-rata ruang terendah 35C 201 (28,445°C) dan suhu rata-rata yang terendah di ruang 35E 105 (27,8°C). Suhu rata-rata dari empat ruang bernilai di atas skala nyaman optimal bahkan melebihi skala hangat nyaman yaitu 28,1°C, karena SNI (2001) menyatakan bahwa kenyamanan termal opis dapat diperoleh pada rentang suhu ruang 22,8 °C - 25°C.



Perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian diatas hanya mengukur suhu ruang kuliah (temperatur) dengan mengabaikan kelembaban udara dan kecepatan aliran udara.

e. Aspek Kenyamanan Termal Ruang Belajar Gedung Sekolah Menengah Umum di Wilayah Kec. Mandau

Penelitian ini memberikan gambaran detail mengenai kondisi kenyamanan termal ruang belajar di sekolah menengah umum. Survey pengukuran ruang belajar dilakukan di 13 (tiga belas) Sekolah Menengah Umum dan Kejuruan di Wilayah Mandau. Data diambil dengan menggunakan alat *4 in 1 multi-function environment meter* di 5 titik dalam ruang belajar dari setiap Gedung sekolah.

Dari *survey* yang dilakukan di 13 sekolah menengah umum dan kejuruan didapat bahwa : ada 5 sekolah yang kondis termal ruang belajarnya berada pada kondisi diatas ambang batas hangat nyaman, dengan suhu paling rendah 28,52°C dan paling tinggi 36,36°C. Sedangkan 7 sekolah berada dalam kondisi dibawah ambang batas hangat nyaman, dengan suhu paling rendah 27,07°C dan paling tinggi 31,14°C. Hanya satu sekolah yang berada di kondisi termal nyaman optimal dengan suhu paling rendah 25,09°C dan paling tinggi 27,06°C, yaitu SMAN 4 Mandau.

Faktor penghijauan di lingkungan sekolah sangat berpengaruh terhadap kondisi termal ruang belajar sekolah. Sekolah yang berada di bawah naungan pepohonan dapat mencapai suhu 3°C lebih rendah disbanding suhu sekitarnya. Penghijauan yang masih sedikit akan memberikan dampak panas dan gersang.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kalau dilihat dari parameter suhu maka dapat dikatakan bahwa sebagian besar gedung sekolah menengah umum dan kejuruan di kec. Mandau belum memenuhi syarat kenyamanan termal untuk dipakai dalam proses belajar mengajar.



f. Kenyamanan Termal Gedung Kuliah Bersama Kampus Baru Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kenyamanan termal Gedung Kuliah Bersama Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang berlokasi di Kampus Unhas Gowa dimana gedung ini memuat 81 ruang kuliah dan tiga ruang laboratorium dasar serta ruang-ruang penunjang seperti ruang dosen dan asisten, lobby, musholla dan toilet.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur beberapa variable kenyamanan termal yang meliputi : temperatur, kelembaban udara dan angin. Dan ruangan yang terpilih untuk dijadikan sampel yaitu ruang kelas yang berada di lantai 1/F dan lobby di lantai G/F. Selain itu dipilih juga dua ruang kelas untuk survei respon pengguna terhadap kenyamanan termal ruangan.

Hasil pengukuran di dua titik di daerah lobby menunjukkan bahwa rata-rata temperatur berada di atas zona nyaman. Rata-rata temperatur untuk ruang lobby yang berada di lantai dasar lebih dari $27,1^{\circ}\text{C}$. Hasil yang sama juga diperoleh pada pengukuran yang dilakukan di bagian tengah ruang kelas. Temperatur tertinggi terjadi pada jam 15.00 – 15.30. Setelah jam 15.30, temperatur turun namun tetap berada di atas zona nyaman. Hasil pengukuran kelembaban relative berada pada kisaran 40% - 60%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi udara agak kering, yang disebabkan oleh tingginya temperatur luar yang mencapai 34°C .

Perbandingan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah memaksimalkan bukaan (penghawaan alami) yang ada pada ruang studio desain sehingga meminimalisir penggunaan energi (AC) terhadap ruangan.\

C. Kerangka Konsep

Berdasarkan landasan teori yang digunakan untuk meneliti kenyamanan termal pada ruang studio desain 1, 2 dan 3 gedung Arsitektur Fakultas Teknik, maka digunakan beberapa variable dan aspek penelitian yang meliputi :





KERANGKA KONSEP

Kenyamanan Termal Ruang Studio Desain Gedung Arsitektur

Kenyamanan Termal Berdasarkan SNI T-14-1993-037

Pengukuran di Lapangan dan Pengumpulan Data

Simulasi dengan menggunakan Ecotect

Analisis Data

Olahdata

Perhitungan Beban Pendinginan dan Pemilihan Unit AC

- Variabel Bebas :
- Jendela dengan bukaan 70° dan ventilasi luar dengan bukaan 90° ditutup seluruhnya.
 - Jendela dengan bukaan 70° dan ventilasi luar dengan bukaan 90° dibuka setengah dari jumlah unit dalam ruangan.
 - Jendela dengan bukaan 70° dan ventilasi luar-dalam dibuka seluruhnya.

- Variabel Terikat :
- Tingkat perbedaan kenyamanan termal ruang studio desain dengan mensimulasikan ke dalam *ecotect*.
 - Tingkat preferensi termal pengguna ruang terhadap penghawaan alami dan penghawaan buatan

- Variabel Bebas :
- Jendela dengan bukaan 70° dan ventilasi luar dengan bukaan 90° dibuka setengah dari jumlah unit dalam ruangan (penghawaan buatan).
 - AC dinyalakan seluruhnya dan disetel pada suhu 18 °C dengan waktu recooling 5 – 10 menit (penghawaan alami).

- Variabel Terikat :
- Tingkat kondisi lingkungan termal ruangan studio desain
 - Tingkat perbedaan kenyamanan ruang studio desain dengan penghawaan alami dan penghawaan buatan.

Gambar 13. Kerangka konsep