

**DISERTASI**

**PENGARUH PERMUKAAN TUBUH MANUSIA  
TERHADAP SENSASI TERMAL DALAM RUANG KELAS**

**THE EFFECT OF HUMAN BODY SURFACE ON THERMAL  
SENSATION IN THE CLASSROOM**



**MUHAMMAD TAYEB**

**PROGRAM STUDI S3 ILMU ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**

**PENGARUH PERMUKAAN TUBUH MANUSIA  
TERHADAP SENSASI TERMAL DALAM RUANG KELAS**

Disertasi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor

Program Studi S3

Ilmu Arsitektur

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD TAYEB**

Kepada

**PROGRAM STUDI S3 ILMU ARSITEKTUR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**

**DISERTASI**

**PANEL AKUSTIK DARI LIMBAH BULU AYAM**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANSARULLAH**

**Nomor Pokok: P1300315009**

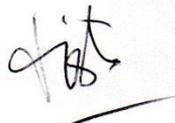
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
pada tanggal 26 Oktober 2020  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,  
Komisi Penasehat

  
**Prof. Dr. Ir. H. Muh. Ramli Rahim, M. Eng**

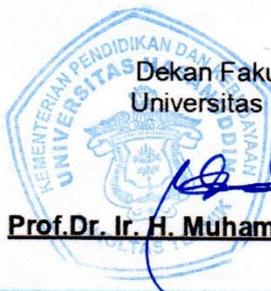
Promotor

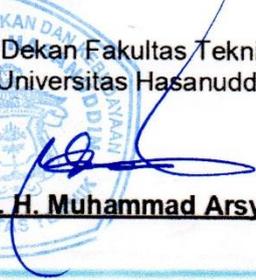
  
**Prof. Ir. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch. Ph.D**  
Co-Promotor

  
**Dr. Eng. Asniawaty, ST, MT**  
Co-Promotor

  
Ketua Program Studi S3  
Ilmu Arsitektur

  
**Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT**

  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

  
**Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT**

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

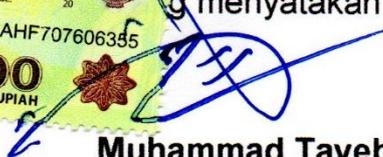
Yang bertandatangan di bawah ini

Nama : Muhammad Tayeb  
No mahasiswa : P1300315003  
Program studi : S3 Ilmu Arsitektur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 November 2020

 saya menyatakan

  
**Muhammad Tayeb**

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, Segala puji dan syukur Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan Karunia dan Rahmatnya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul "Pengaruh Permukaan Tubuh Manusia Terhadap Sensasi Termal Dalam Ruang Kelas, sebagai salah satu syarat kelulusan dalam Program Pendidikan Doktor Ilmu Arsitektur Universitas Hasanuddin.

Penulisan disertasi ini dapat terlaksana berkat bantuan dari beberapa pihak, baik berupa materil maupun moril, secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu pada kesempatan ini Penulis menyampaikan rasa hormat dan mengaturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada:

1. Prof. Dr. Ir. H. M Rahim, M.Eng, selaku Promotor, yang senantiasa membimbing dan memberi dukungan pendidikan penulis sejak awal, mendidik dan membimbing dengan penuh ketulusan hati dan selalu memberi nasehat kepada penulis.
2. Prof. Ir. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph.D, sebagai Co Promotor, yang senantiasa mendukung pendidikan penulis sejak awal, melibatkan penulis dalam beberapa penelitian bersama, memberi petunjuk dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan.
3. Dr. Ir. Eng. Rosady Mulyadi, S.T., M.T selaku Co Promotor atas kesediaan waktu dan saran-sarannya dalam penyelesaian Disertasi ini. Banyak ilmu, nasehat dan bimbingan dalam diskusi-diskusi kami selama di Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan Departemen Arsitektur FT-UNHAS.

4. Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST., MT, Ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, senantiasa membimbing, mengajar dan memberikan ilmu yang tidak ternilai dengan penuh ketulusan hati.
5. Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT., Ketua Program Studi Doktor Ilmu Arsitektur Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin, selaku dosen penguji atas kesediaan waktu dan saran-sarannya dalam penyelesaian Disertasi ini.
6. Dr. Eng. Asniawaty, ST., MT., dosen penguji atas kesediaan waktu dan saran-sarannya dalam penyelesaian Disertasi ini.
7. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT., selaku dosen penguji atas kesediaan waktu dan saran-sarannya dalam penyelesaian Disertasi ini. Banyak ilmu, nasehat dan bimbingan yang Penulis dapatkan selama belajar tentang ilmu termal ruangan.
8. Dr. Eng. Armin Lawi, Ssi., M.Eng., selaku dosen penguji atas kesediaan waktu dan saran-sarannya selama masa perbaikan senantiasa mengarahkan dalam penyelesaian Disertasi ini.
9. Ir. I Gusti Ngurah Antaryama, Ph.D, selaku dosen penguji eksternal, atas kesediannya memenuhi undangan kami dan saran-sarannya untuk kesempurnaan Disertasi ini.
10. Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik sekaligus ketua sidang.
11. Seluruh guru Ilmu Arsitektur FT-UNHAS yang senantiasa memberikan arahan, bimbingan, saran, dan nasehat selama Penulis menjalani pendidikan hingga menyusun karya akhir ini.
12. Teman sekaligus saudara seangkatan dan seluruh teman Program Doktor Ilmu Arsitektur Universitas Hasanuddin terutama Bapak Doktor Ansarullah, selalu bersama dalam menjalani perkuliahan hingga tahap penyelesaian Disertasi ini.

13. Kepada semua pihak yang tidak dapat Penulis sebut satu persatu, yang telah memberi dukungan yang sangat berarti, Penulis ucapkan terima kasih yang tak terhingga.

Akhirnya Penulis mengutarakan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua Ayahanda Drs.H. Mustamin (alm) dan Ibunda Hj. Aisyah, berkat ketabahan, kesabaran, tulus dan penuh kasih sayang mendidik kami Ananda tidak mampu membalas semuanya. Hanya doa ke hadirat Allah SWT. Yang bias Ananda haturkan.

Terima kasih kepada Teman sejawad di Universitas Khairun, terutama kepada Bapak Sayyid Quraisy membantu dalam pengukuran sampel dan Dr. Eng. Mustamin ST., MT., atas bantuan, dan motivasi kepada Penulis dalam menyelesaikan penulisan Jurnal Internasional.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan semua pihak yang telah membantu menyelesaikan Disertasi ini dengan melimpahkan rahmat dan karunia-Nya.

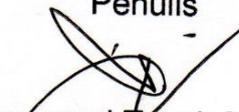
Melalui kesempatan ini pula perkenankan Penulis mengutarakan permohonan maaf yang setulus-tulusnya atas kesalahan dan kekhilafan yang telah dilakukan baik sengaja maupun tidak disengaja, selama masa pendidikan sampai selesainya Disertasi ini.

Akhirnya penulis berharap semoga Disertasi ini bermanfaat bagi kita semua dan dapat memberikan sumbangan bagi perkembangan ilmu Arsitektur dimasa yang akan datang.

Semoga apa yang kita upayakan bernilai ibadah disisi Allah SWT.

Makassar, Oktober 2020

Penulis

  
Muhammad Fayeb Mustamin

## ABSTRAK

Muhammad Tayeb Mustamin, Judul : PENGARUH LUAS PERMUKAAN  
TUBUH MANUSIA, TERHADAP  
SENSASI TERMAL DALAM  
RUANG KELAS

Promotor : Prof. Dr. Ir. H. Muh. Ramli Rahim, M. Eng.

Co – Promotor : Prof. Baharuddin Hamzah, ST. M. Arch. Ph. D.  
Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, S.T., M.T.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Body Surface Area* (BSA) dan *Body Mass Index* (BMI) terhadap sensasi termal mahasiswa. Studi tersebut melibatkan survei untuk mengumpulkan berat badan, tinggi badan, dan suhu tubuh responden. Survei juga mengumpulkan respon termal responden terhadap lingkungan mereka. Survei dilaksanakan di Fakultas Teknik Universitas Khairun Ternate Provinsi Maluku Utara Indonesia. Sebanyak 180 siswa, berusia 20-25 tahun yang terdiri dari 143 laki-laki dan 37 perempuan telah berpartisipasi dalam penelitian ini. Namun, 30 siswa dikeluarkan dari analisis karena suhu tubuh mereka melebihi 37,2 °C. Umumnya ukuran tubuh wanita relatif lebih besar dibandingkan pria. Rata-rata berat badan dan tinggi badan adalah 60 kg dan 164,62 cm, sedangkan wanita 63 kg dan 158,97 cm. Rata-rata suhu tubuh pria 36,7 °C dan wanita 36,25 °C. Sebagian besar responden (lebih dari 80%) merasa hangat atau panas. Ada korelasi linier antara Area Permukaan Tubuh (BSA) dan suara sensasi termal (TSV) responden, korelasi kuat antara pakaian yang dipakai dan TSV, terdapat korelasi antara temperatur suhu badan dan TSV. Responden dengan ukuran permukaan tubuh lebih besar cenderung merasa lebih panas dibandingkan responden dengan ukuran permukaan tubuh yang lebih kecil karena membutuhkan energi yang banyak untuk metabolisme tubuh mereka.

**Kata kunci:** luas permukaan tubuh; pakaian; sensasi termal; siswa

## ABSTRACT

Muhammad Tayeb Mustamin, Title : THE EFFECT OF HUMAN BODY SURFACE, ON THERMAL SENSATION IN THE CLASSROOM

Promotor : Prof. Dr. Ir. H. Muh. Ramli Rahim, M. Eng.

Co – Promotor : Prof. Baharuddin Hamzah, ST. M. Arch. Ph. D.

Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, S.T., M.T.

The study aims to analyze the effect of the *Body Surface Area* (BSA) and Body Mass Index (BMI) on the thermal sensation of university students. The study involved a survey to collect the weight, height, and body temperature of respondents. The survey also collected the respondents' thermal response to their environment. The survey was carried out at the Faculty of Engineering, Khairun University, Ternate, North Maluku Province, Indonesia. A total of 180 students, from the age of 20-25 years consisting of 143 men and 37 women have participated in this study. However, 30 students are excluded from the analyses due to their body temperature exceed 37.2 °C. Generally, the women body size is relatively larger than the man. The average weight and height for adult males are 60 kg and 164.62 cm, and females are 63 kg and 158.97 cm. The average body temperature of males was 36.7 °C and females was 36.25 °C. Most of the respondents (more than 80%) feel warm or hot. There is a linear correlation between the *Body Surface Area* (BSA) and the sound thermal sensation (TSV) of the respondent, there is a strong correlation between the clothes worn and the TSV, there is a correlation between body temperature and TSV.. Respondents with larger size of body surface tend to feel hotter than the ones with smaller size of body surface because it requires a lot of energy for its metabolism.

**Keywords:** *body surface area*; clothes; thermal sensation; students

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	12
C. Tujuan Penelitian	14
D. Batasan Penelitian	15
E. Metodologi Penelitian	16
F. Sistematika Penulisan	19
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>21</b>
A. Proses Belajar Mengajar dalam Ruang Kelas	21
B. Permukaan Tubuh Manusia dan Studi tentang Luas Kulit Manusia	23
1. Luas Kulit Manusia	23
2. Aplikasi Riset Perhitungan Luas Tubuh Manusia	29
3. Permodelan dan Interpolasi Bentuk Tubuh Manusia	31
4. Penelitian Berbasis Data Luas Tubuh Manusia	34
5. Komparasi	36

C. Tingkat metabolisme	37
D. Rumus Estimasi BMR	40
1. Persamaan Harris-Benedict	40
2. Persamaan Harris-Benedict yang direvisi	41
3. Persamaan Mifflin St Jeor	41
4. Formula Katch-McArdle (Mengistirahatkan Pengeluaran Energi Harian)	42
5. Penyebab perbedaan individu dalam BMR	42
E. Suhu dan Kelembaban	43
1. Pengertian Suhu	43
2. Pengertian Kelembaban	44
3. Interaksi suhu dan kelembaban	48
F. Sensasi termal	48
1. PMV and PPD Index	52
2. Faktor-faktor Sensasi termal	55
3. Suhu Nyaman Iklim Tropis	55
4. Termal Dalam Ruang	57
5. Ventilasi Ruang Bangunan	58
6. Pergantian Udara	59
7. Kecepatan Angin	60
8. Panas Tubuh Manusia	61
9. Kelembaban Zona Nyaman	63
10. Metabolisme Aktivitas Tubuh	63
11. Nilai Insulasi Pakaian	63
G. Kerangka Konsep	64
H. Kebaharuan Penelitian	65
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>66</b>
A. Rancangan Penelitian	66
B. Lokasi Penelitian	66

C. Populasi dan Teknik Sampel	66
D. Jenis dan Instrumen Pengumpulan Data	67
1. Metode Pengumpulan Data	67
2. Metode Analisis Data	68
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>70</b>
A. Pendekatan Interpolasi Luasan Permukaan Tubuh Manusia	70
1. Analisa luas permukaan tubuh	71
2. Luasan permukaan tubuh manusia secara geometri.	74
3. Analisis uji asumsi klasik dan regresi linier berganda	78
1) Uji normalitas	79
2) Uji multikolinieritas	82
B. Analisis Metabolisme Tubuh	85
C. Kondisi Lingkungan Termal Ruang Kelas	87
1. Efek area permukaan tubuh pada sensasi termal siswa	93
2. Analisis Survei Kuisisioner	96
3. Hubungan <i>Body Surface Area</i> (BSA) dan Thermal Sensation Vote (TSV)	97
4. Hubungan antara BSA dan Suhu Temperatur	104
5. Hubungan antara Pakaian yang Digunakan dan TSV	107
a) Koefisien Determinasi	107
b) Uji F	108
6. Hubungan antara Luasan Area Tertutup Tubuh dan TSV	109
a) Koefisien Determinasi	109
b) Uji F	110
D. Temuan	111
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>112</b>
A. KESIMPULAN	112

B. SARAN	113
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>114</b>
Lampiran 1	121
Lampiran 2	122
Lampiran 3	126
Lampiran 4	130

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Pengukuran dilakukan untuk Perhitungan Luas Permukaan Tubuh dan Volume	32
Tabel 2. Skala sensasi termal menurut lembaga dan para ahli	53
Tabel 3. Prediksi persentase ketidakpuasan berdasarkan suara yang diperkirakan	54
Tabel 4. Standar Suhu Nyaman dari Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung	56
Tabel 5. Pengaruh kenyamanan kecepatan aliran udara	60
Tabel 6. Spesifikasi Alat	69
Tabel 7. Ukuran Rata-rata Luas Permukaan Tubuh dengan Menggunakan Formula Du Bois dan Du Bois (Persamaan.1), dan Formula Mosteller (Persamaan 2).	72
Tabel 8. Perbandingan Ukuran Berat dan Tinggi Ternate dengan ICRP Standard 23 (Usia Antara 20-25 tahun).	73
Tabel 9. Area Permukaan Tubuh (BSA) Kulit	73
Tabel 10. Luasan kepala mahasiswa	75
Tabel 11. Luasan leher mahasiswa	75
Tabel 12. Hitungan Rumus Segiempat	76
Tabel 13. Total Hitungan Segiempat	77
Tabel 14. Penggabungan Rumus Bola, Tabung dan Segiempat	78

Tabel 15. Hubungan (Korelasi) antar Variabel Bebas	83
Tabel 16. Koefisien Determinasi Serentak	84
Tabel 17. Suhu Udara Harian di Berbagai Ruang Kelas dan Studio	91
Tabel 18. Persentase Penerimaan Siswa terhadap Lingkungan Termal	92
Tabel 19. Kelembaban Relatif Harian di Berbagai Ruang Kelas dan Studio	94
Tabel 20. Hasil korelasi pearson hubungan antara BSA dan TSV	100
Tabel 21. Hasil analisis uji-t	101
Tabel 22. Hubungan antara Gender dan TSV	103
Tabel 23. Hubungan antara Gender dan TSV Chi-Square Tests	103
Tabel 24. Hubungan antara TSV dan Suhu Temperatur	105
Tabel 25. Hubungan antara TSV dan Kelembaban	106
Tabel 26. Korelasi antara Pakaian dan TSV	107
Tabel 27. Model Summary	107
Tabel 28. ANOVAa	108
Tabel 29. Korelasi Luasan rea Tutupan Tubuh dan TSV	109
Tabel 30. Model Summary	109
Tabel 31. ANOVA Uji F	110

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Ilustrasi <i>Body Surface Area</i>	24
Gambar 2. Salahsatu Responden Riset Du Bois	26
Gambar 3. Beberapa Ukuran Tubuh Manusia yang Diperhatikan dalam Perhitungan Du Bois	28
Gambar 4. Keterterimaan Termal Adaptif Menurut ASHRAE 55–2004	52
Gambar 5. Perkembangan dari PPD terhadap basis dari PMV. (Orosa and Oliveira, 2012: 25; ASHRAE 55-2004)	54
Gambar 6. Faktor kenyamanan ruang, Heinz Frick, (Hendarto, 2010)	58
Gambar 7. Human thermocontrol (Calleja and Paulev, 2004: Section V; Chapter 21).	61
Gambar 8. Panas dan adaptasi dingin (Calleja and Paulev, 2004: Section V; Chapter 21)	62
Gambar 9. Temperatur (muscle, rectal & skin) selama berolahraga (Calleja dan Paulev, 2004: Sesi V; Chapter 21).	62
Gambar 10. Kerangka Konsep Penelitian	64
Gambar 11. Hubungan antara rumus selimut bola, selimut tabung dan luasan segiempat	77
Gambar 12. Grafik Histogram Uji Normalitas	80
Gambar 13. Grafik Plot Uji Normalitas	81
Gambar 14. Persentase Body Mass Index (BMI)	86
Gambar 15. Hasil Perhitungan BMI	87

Gambar 16. Site dan lokasi penelitian	89
Gambar 17. Denah menunjukkan lokasi pengukuran	89
Gambar 18. Tata ruang kelas studio	90
Gambar 19. Grafik yang menunjukkan variasi suhu udara selama sehari dengan interval 30 menit	95
Gambar 20. Grafik yang menunjukkan variasi Kelembaban Relatif untuk sehari dengan interval 30 menit	96
Gambar 21. Persentasi Thermal Sensation Vote (TSV)	97
Gambar 22. TSV Responden Pria dan Wanita	98
Gambar 23. Scatterplot antara BSA dan TSV	99
Gambar 24. Hubungan antara Thermal Sensation Vote (TSV) Responden dan Area Permukaan Tubuh (BSA)	102

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sebelum memikirkan apa yang merupakan desain termal yang nyaman, di mana pada saat ini sebagian besar pemikiran kita berkaitan dengan utilitas dan pengurangan biaya, dengan globalisasi adat dan pengetahuan, kita mungkin bijaksana dan mempertimbangkan kembali kondisi manusia memasuki abad selanjutnya.

Seiring dengan perkembangan zaman, kepedulian manusia akan kenyamanan hidup semakin meningkat. Hal ini tidak terlepas dari upaya manusia untuk meningkatkan kualitas hidup manusia sebagai naluri alami yang dimiliki oleh manusia. Salah satu studi yang mendekati peningkatan kualitas kenyamanan adalah ilmu ergonomi. Integrasi ergonomi dalam desain mesin, peralatan, stasiun kerja dan peralatan kerja akan memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas hidup manusia (Gradjean, 1985). Kualitas yang dimaksud di sini bukan hanya berbicara masalah kesehatan fisik, namun juga mencakup produktifitas dan efisiensi tenaga yang diperlukan dalam sebuah aktivitas kerja.

Salah satu bidang ilmu ergonomi yang menjadi perhatian dalam perencanaan lingkungan kerja adalah antropometri. Antropometri adalah

cabang dari ilmu ergonomi yang berkaitan dengan studi tentang pengukuran tubuh manusia, pengukuran yang dimaksud mencakup ukuran tubuh, bentuk, kekuatan dan kapasitas kerja (Pheasant, 1988). Antropometri menjadi ilmu yang penting dikarenakan terdapat perbedaan ukuran tubuh yang signifikan antara ras dan suku manusia yang ada di dunia. Sehingga studi antropometri terhadap masing-masing ras menjadi perlu guna menghasilkan desain yang sesuai dalam penggunaan sehari-hari.

Dalam penggunaan data antropometri sebagai bahan pertimbangan bagi desain suatu benda, data tersebut harus merepresentasikan karakteristik dari pengguna yang akan menggunakan benda tersebut (Sanders, McCormick, 1993). Sehingga apabila suatu produk atau desain akan digunakan oleh sejumlah manusia dengan karakteristik fisik yang sama seperti pada batasan suku atau negara. Data antropometri yang digunakan harus mewakili karakter fisik dari masyarakat pada negara atau suku tersebut.

Luas permukaan tubuh manusia (*Body Surface Area*) telah lama dipertimbangkan sebagai salah satu unsur penting dalam studi antropometri. BSA adalah parameter yang sangat penting dalam beberapa hal, diantaranya dalam mengetahui kualitas fisiologi tubuh, penentuan dosis obat, estimasi dari luka bakar, dan studi dalam mekanisme transfer panas tubuh (Yu, 2009). Berbagai kegunaan dari data BSA tersebut telah membuat beberapa negara membuat proyek pendataan dan penyusunan

database BSA bagi warganya. Seperti 3D Taiwanese Body Bank di Taiwan, Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project (CAESAR) untuk warga eropa dan beberapa contoh lainnya.

Database antropometri yang dimiliki oleh beberapa negara tersebut pada faktanya telah membantu dalam beberapa riset dan pengembangan industri yang berkaitan dengan ukuran tubuh manusia. Misalnya pada proses desain G-Suit atau pakaian militer yang biasa digunakan oleh penerbang pesawat tempur, dimana pada model ini gambaran realistis tentang bentuk tubuh manusia sangat dibutuhkan dalam proses perancangannya (Jones, and Rioux, 1997).

Dalam industri obat, BSA selain digunakan untuk menentukan dosis obat, utamanya pada pengobatan yang melibatkan obat dengan efek samping yang tinggi seperti kemoterapi, BSA juga digunakan untuk memperlitungkan presentasi luka bakar yang diderita oleh pasien (Chun-Yi Liao, 2003).

Setelah pengukuran BSA selanjutnya perhitungan basal metabolic rate (BMR). BMR adalah laju pengeluaran energi per satuan waktu oleh hewan endotermik saat istirahat. BMR adalah sifat yang fleksibel (dapat disesuaikan secara reversibel dalam individu) misalnya, suhu yang lebih rendah umumnya menghasilkan tingkat metabolisme basal yang lebih tinggi untuk burung dan hewan pengerat.

Pembangkitan panas tubuh dikenal sebagai termogenesis dan dapat diukur untuk menentukan jumlah energi yang dikeluarkan. BMR umumnya menurun seiring bertambahnya usia, dan dengan penurunan massa tubuh tanpa lemak (seperti yang mungkin terjadi dengan penuaan). Peningkatan massa otot berdampak pada peningkatan BMR. Tingkat kebugaran aerobik (resistensi), produk dari latihan kardiovaskular, yang sebelumnya dianggap berpengaruh pada BMR, telah ditunjukkan pada tahun 1990-an tidak berkorelasi dengan BMR.

Selain BSA penentuan suhu dan kelembaban ruangan juga erat kaitannya dengan kenyamanan dalam ruangan. Dalam istilah tata udara studi yang berkaitan dengan hal ini dikenal dengan istilah thermal comfort. Thermal Comfort adalah kondisi dimana pikiran manusia merasa puas atau sesuai dengan suhu lingkungan disekitarnya (ASHRAE standar 55).

Ada banyak faktor yang mempengaruhi kenyamanan manusia di lingkungan binaan internal. Kenyamanan manusia dipengaruhi oleh faktor termal; faktor fisik dan faktor pribadi. Faktor lain yang dapat mempengaruhi kenyamanan manusia adalah suara lingkungan sekitar. Faktor terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah visual ruangan dan intensitas cahaya. Ada cara untuk mengukur faktor fisik yang mempengaruhi kenyamanan termal manusia, kenyamanan suara, dan kenyamanan visual.

Dalam kenyamanan termal manusia suhu rata-rata di dalam gedung adalah 19-21 derajat dan di luar -1 derajat, tetapi ada dua faktor termal berbeda yang mempengaruhi suhu ruangan dan kenyamanan manusia; itu adalah faktor fisik dan pribadi. Faktor fisik meliputi; suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kelembaban relatif dan kecepatan udara. Suhu udara di dalam gedung akan berubah tergantung pada suhu di luar gedung dan nilai k dari bahan yang digunakan untuk membangun dinding dan insulasi. Nilai K adalah nilai yang dimiliki semua bahan yang menunjukkan seberapa baik isolator bahan tersebut, semakin rendah nilai k semakin efektif bahan tersebut dalam menahan panas. Nilai-u adalah apa ketahanan panas keseluruhan material. Suhu udara juga dipengaruhi oleh orang-orang yang berada di dalam gedung dan aktivitas yang mereka lakukan. Suhu pancaran rata-rata juga mempengaruhi kenyamanan manusia; suhu radiasi rata-rata adalah radiasi yang masuk ke dalam bangunan dari jendela dan dinding, seimbang dengan radiasi yang dipancarkan oleh tubuh manusia. Kelembaban relatif merupakan faktor lain yang mempengaruhi suhu udara; kelembaban relatif adalah persentase kejenuhan uap air yang ada di udara. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan

udara, udara dingin mengalir ke dalam ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar. suhu radiasi rata-rata adalah radiasi yang masuk ke dalam bangunan dari jendela dan dinding, seimbang dengan radiasi yang dipancarkan oleh tubuh manusia. Kelembaban relatif merupakan faktor lain yang mempengaruhi suhu udara; kelembaban relatif adalah persentase kejenuhan uap air yang ada di udara. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan udara, udara dingin mengalir ke dalam ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar. suhu radiasi rata-rata adalah radiasi yang masuk ke dalam bangunan dari jendela dan dinding, seimbang dengan radiasi yang dipancarkan oleh tubuh manusia. Kelembaban relatif merupakan faktor lain yang mempengaruhi suhu udara; kelembaban relatif adalah persentase kejenuhan uap air yang ada di udara. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan udara, udara dingin mengalir ke dalam

ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar. seimbang dengan radiasi yang dilepaskan oleh tubuh manusia. Kelembaban relatif merupakan faktor lain yang mempengaruhi suhu udara; kelembaban relatif adalah persentase kejenuhan uap air yang ada di udara. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan udara, udara dingin mengalir ke dalam ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar. seimbang dengan radiasi yang dilepaskan oleh tubuh manusia. Kelembaban relatif merupakan faktor lain yang mempengaruhi suhu udara; kelembaban relatif adalah persentase kejenuhan uap air yang ada di udara. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan udara, udara dingin mengalir ke dalam ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung

atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan udara, udara dingin mengalir ke dalam ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar. Faktor fisik terakhir yang mempengaruhi kenyamanan manusia adalah kecepatan udara; ini adalah pergerakan udara di seluruh gedung atau ruangan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh konveksi di dalam ruangan, udara hangat masuk ke dalam ruangan dan naik ke langit-langit, mendorong udara dingin ke bawah dan draft juga mengubah kecepatan udara, udara dingin mengalir ke dalam ruangan dan membuat temperatur draft jalur yang lebih dingin dari suhu kamar.

Mempertimbangkan sensasi termal dalam setiap disain merupakan hal yang sangat penting untuk kenyamanan dan kesehatan penghuni. Estimasi yang baik dalam perancangan tidak hanya dapat menyediakan kenyamanan penghuni, tetapi juga menentukan jumlah konsumsi energi oleh sistem pengkondisian udara. Salah satu konsep nyaman yang sangat penting adalah kenyamanan secara termal karena berpengaruh terhadap kualitas kerja dan istirahat. Sensasi termal didefinisikan “kondisi perasaan yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal” (ASHRAE, 2009).

Dalam pengembangan standar ASHRAE, penggunaan data yang berbasis pada daerah tropis lembab, terutama Indonesia, masih terbatas, sehingga standar tersebut masih dapat diperdebatkan untuk aplikasi di Indonesia. Diperlukan basis data yang cukup mewakili berbagai daerah di Indonesia dengan karakteristik populasi yang beragam. Disamping untuk mengembangkan model sensasi termal adaptif untuk Indonesia (iklim tropis lembab), penelitian ini juga dimaksudkan untuk ketersediaan data dalam upaya pengembangan standar sensasi termal secara internasional sehingga diharapkan standar tersebut akan dapat diaplikasikan dengan akurasi yang baik untuk Indonesia.

Indonesia belum mempunyai standar sensasi termal seperti format ISO 7730 dan ASHRAE Standard 55. Standar kenyamanan yang ada sekarang hanya SNI 03-6572-2001 tentang "Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara". Aplikasi standar tersebut masih sangat terbatas untuk dapat digunakan sebagai acuan disain, terutama untuk bangunan dengan sistem ventilasi alami. Standar ASHRAE 55-2003 mengenai "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy" mengatakan bahwa jumlah insulasi termal yang dikenakan seseorang memiliki dampak besar pada kenyamanan termal. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengetahui jenis pakaian yang memberikan jumlah insulasi yang berbeda. Dalam standar ini, insulasi pakaian dinyatakan sebagai nilai  $-clo$  (Icl). Rintisan studi kenyamanan adaptif yang

mengacu pada metode penilaian ASHRAE Standard 55 dan ISO 7730 telah dilakukan Karyono dan Feriadi masing-masing untuk perkantoran di Jakarta dan perumahan di Yogyakarta. Sujatmiko dkk juga telah merintis menuju penentuan standar sensasi termal adaptif dengan penelitian pada rumah tinggal berventilasi alami di Bandung, Semarang dan Bekasi. Diperlukan banyak penelitian untuk mengembangkan standar sensasi termal untuk menjadi standar Indonesia. Hasil-hasil penelitian terhadap respon penghuni bangunan dari berbagai daerah mutlak diperlukan untuk memperkaya data base sehingga dapat merepresentasikan sebagai standar Indonesia. Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjadi bagian dari pengembangan standar sensasi termal Indonesia

Penelitian tentang sensasi termal di ruang kelas telah dilakukan di beberapa negara (Buratti dan Ricciardi, 2009; Corgnati, Ansaldi, & Filippi, 2009; Corgnati, dkk, 2007; Hwang, Lin, dan Kuo, 2006; Kwok dan Chun, 2003; Mors, 2011; Teli, Jentsch, & James, 2012), termasuk di daerah tropis, yaitu di Singapura (Wong & Khoo, 2003) Pengukuran subyektif dilakukan untuk mengukur tingkat kenyamanan termal responden. Menggunakan teknik angket yang diadaptasi dari Wong dan Khoo dan telah digunakan pada penelitian sebelumnya oleh Hamzah. Namun sayangnya, penelitian semacam ini, masih sangat kurang dilakukan di Indonesia.

Sekolah yang ada di Indonesia kebanyakan dibangun secara prototipe, tanpa mempertimbangkan kondisi iklim setempat. Sekolah-

sekolah tersebut dibangun dengan ukuran, bentuk dan mengikuti area lokasi site tanpa memperhitungkan kenyamanan pengguna ruangan, dalam hal ini mahasiswa dan staf pengajar. Selama ini ruang-ruang kelas yang ada sangat bergantung pada sistem penghawaan alami.

Kondisi ruang-ruang kelas yang ada masih sangat jauh dari kondisi nyaman. Hal tersebut dilihat dari banyaknya ruang kelas ditambahkan alat pendingin ruangan. Sejak beraktifitas pagi hari ruang kelas sudah menggunakan bantuan aliran udara dari pendingin ruangan untuk membuat pengguna nyaman dalam mengikuti pembelajaran di ruang kelas. Hal inilah yang melatarbelakangi untuk mengadakan penelitian di Universitas Khairun Kota Ternate yaitu pengaruh *Body Surface Area* (BSA), suhu dan kelembaban terhadap sensasi termal pada mahasiswa yang berada dalam ruang kelas.

Dengan menggunakan studi kasus mahasiswa laki-laki dan perempuan di Fakultas Teknik Universitas Khairun, hasil dan metode penelitian ini dapat diperluas sampelnya hingga angka yang representative untuk menggambarkan hubungan antara faktor usia dan jenis kelamin terhadap kenyamanan termal mahasiswa di Ternate. Penelitian ini juga dapat mengaitkan antara tingkat metabolisme dengan hubungannya dengan kenyamanan termal dalam ruang kelas.

Keterkaitan antar tiap permasalahan baik dari perhitungan luasan tubuh, faktor usia dan jenis kelamin, dan tingkat metabolisme mahasiswa hubungannya dengan kenyamanan termal dalam ruang kelas.

### **B. Rumusan Masalah**

Permasalahan antropometri adalah permasalahan dimensi dari tubuh manusia yang berinteraksi dengan rancangan dari produk (objek) yang digunakan manusia (Stevenson, 1989). Terkait dengan ukuran permukaan tubuh manusia Indonesia maka yang dimaksud dengan permasalahan interaksi antara produk atau objek yang digunakan dengan manusia dapat mencakup hal-hal seperti, penentuan dosis obat, penentuan beban pendinginan yang tepat bagi tercapainya thermal comfort, perancangan pakaian dengan kebutuhan akurasi tubuh yang tinggi, dan dapat juga mencakup penanganan terhadap luka bakar secara efektif. Telah jelas bahwa permasalahan ini akan membutuhkan solusi yang sanggup menjawab kebutuhan akan keakuratan data dan kemudahan penelitian untuk diperluas ruang sampelnya agar dapat berlaku untuk karakteristik manusia Indonesia yang lebih luas.

Dengan melakukan studi perbandingan serta studi literatur dari berbagai disiplin ilmu, penulis akan merancang sebuah metodologi penelitian formulasi perhitungan luas tubuh manusia Indonesia dengan metode perhitungan geometri dengan menjadikan data yang diperoleh dari

hasil pengukuran menggunakan rumus geometri sebagai bahan perhitungan. Selanjutnya menghubungkan data tersebut dengan data kuesioner, suhu dan kelembaban pada masing-masing sampel sebagai pembanding terhadap Thermal Sensation Vote (TSV). Adapun pemilihan sampelnya sendiri akan disesuaikan dengan batasan waktu, dan kebutuhan pengolahan data.

Pertanyaan riset yang mengemuka dari latar belakang diatas adalah:

1. Apakah pendekatan interpolasi geometri dalam pengukuran luasan permukaan tubuh manusia dapat menjadi alternatif perhitungan selain berdasarkan hubungan empiris antara berat badan dan tinggi tubuh hubungannya dengan tingkat metabolisme?
2. Apakah tingkat metabolisme dapat mempengaruhi kenyamanan mahasiswa hubungannya dengan kenyamanan termal dalam ruang kelas?.
3. Apakah faktor luas permukaan tubuh, pakaian dan temperatur suhu badan dapat mempengaruhi sensasi termal kenyamanan mahasiswa hubungannya dengan kenyamanan termal dalam ruang kelas?.

### C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh penelitian ini adalah tersusunnya suatu formula perhitungan luas tubuh manusia yang valid dan merepresentasikan karakteristik antropometri mahasiswa yang berumur rata-rata antara 20 tahun sampai 25 tahun. Dengan studi kasus yang digunakan terbatas pada mahasiswa jurusan Teknik Universitas Kahirun diharapkan kedepan formulasi ini dapat dikembangkan samplanya sehingga lebih menggambarkan karakteristik antropometri mahasiswa di Ternate.

Penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan dunia ergonomic di Indonesia sebagai proyeksi jangka panjang penelitian. Juga dimaksudkan untuk memberikan manfaat terutama terkait dengan formula BSA yang sesuai dengan antropometri dan hubungannya dengan sensasi termal mahasiswa yang beraktifitas dalam ruangan. Diharapkan kedepan penelitian ini dapat memicu lebih banyak riset multi bidang sehingga membentuk kerangka solusi yang komprehensif terhadap permasalahan perhitungan BSA manusia Indonesia.

Jadi tujuan akhir dari penelitian ini adalah

- a. Membuat suatu formula perhitungan yang lebih cepat dan akurat sehingga dalam merumuskan luasan permukaan tubuh manusia lebih mendekati kepada obyek riil. Luasan permukaan tubuh yang

telah diukur dapat dibandingkan dengan factor sensasi termal sehingga dapat dibandingkan antara obyektif dan subyektifnya suatu penelitian.

- b. Mendapatkan hubungan antara faktor usia dan jenis kelamin dapat mempengaruhi sensasi termal hubungannya dengan kenyamanan termal dalam ruang kelas.
- c. Mendapatkan hubungan luas permukaan tubuh, pakaian dan temperatur suhu badan hubungannya dengan sensasi termal dalam ruang kelas

#### **D. Batasan Penelitian**

Agar pelaksanaan dan hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian, maka penulis melakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- a. Data yang diambil berasal dari mahasiswa (pria dan wanita) Fakultas Teknik Universitas Khairun pada kisaran 20-25 tahun.
- b. Variabel yang diukur pada penelitian adalah variabel dimensi tubuh manusia berdasar pada struktur geometri berjumlah 3 variabel sebagai dasar untuk memperoleh interpolasi luas permukaan tubuh. Variabel untuk sensasi termal terdiri atas 3 variabel.

- c. Penelitian melalui pilot project yang dilakukan hanya sebagai contoh untuk memodelkan formulasi perhitungan luas tubuh mahasiswa dengan jumlah sampel yang terbatas. Bukan untuk menggambarkan karakteristik antropometri mahasiswa secara nasional.
- d. Perancangan formula perhitungan luas tubuh manusia berdasarkan metode geometri yang disintesis atas studi literatur dengan bersumber pada data yang telah dimiliki.
- e. Pengambilan data dalam ruangan di batasi hanya pada data suhu dan kelembaban ruangan.

### **E. Metodologi Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Namun dalam pembahasannya digunakan 2 metode yaitu penggabungan metode kuantitatif dan kualitatif. Penelitian ini diawali pengukuran lapangan. Rincian metode adalah sebagai berikut. Kondisi termal dalam dan luar ruangan (sebagai pembanding) di ruang kelas selama tiga hari.

Empat titik alat Hobo digunakan untuk mencatat suhu udara per detik dan kelembaban relatif di tiga ruangan kelas dan satu di luar ruangan. Alat ukur termal internal ditempatkan pada 100 millimeter di atas lantai dan di tengah ruang. Pengukuran dilaksanakan di ruang kelas Fakultas Teknik Universitas Khairun Ternate Selatan. Ruang kelas digunakan dalam

penelitian ini adalah memakai ventilasi alami tanpa penambahan pendingin ruangan. Letak bangunan dapat dilihat pada gambar 16. Selanjutnya dilakukan pengukuran suhu tubuh masing-masing mahasiswa, dilanjutkan pengukuran luasan tubuh, berat dan tinggi badan.

Kegiatan penelitian dirancang sesuai dengan alur penelitian yang utuh dan selaras. Adapun penjelasan mengenai diagram alur tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penentuan topik penelitian.

Adapun topik penelitian ini adalah mengembangkan rancangan penelitian pembuatan masterplan data antropometri, metode estimasi dimensi tubuh, temperature tubuh dan suhu ruangan.

2. Pemahaman dasar teori.

Setelah menentukan topik penelitian, penulis mencari berbagai jurnal dan buku pegangan untuk memahami dasar teori sesuai dengan topik penelitian yang telah ditentukan. Dasar-dasar teori yang dipelajari adalah:

- Antropometri dan Studi tentang Luas Tubuh Manusia
- Permodelan Tubuh Manusia
- Prinsip Penelitian sensasi termal Manusia
- Perhitungan Matematika dalam Penentuan Luas Permukaan, Formulasinya dan sensasi termalnya.
- Hubungan luasan tubuh dan sensasi termal.

### 3. Perancangan metodologi penelitian.

Pada tahap ini, penulis menentukan metode, peralatan, dan serangkaian prosedur penelitian sesuai dengan tujuan penelitian dan kebutuhan yang harus dipenuhi. Penentuan berbagai prosedur penelitian tersebut didasarkan pada studi perbandingan dan studi literatur terhadap penelitian yang telah berlangsung dan standar yang tersedia.

### 4. Studi kasus perancangan masterplan formula luas tubuh manusia Indonesia.

Perancangan prosedur penelitian yang telah ditentukan, selanjutnya diujikan pada studi formulasi luas tubuh mahasiswa yang akan menjawab kebutuhan karakteristik antropometri mahasiswa di Ternate. Dengan melakukan studi literatur terhadap proyek perhitungan luas tubuh manusia yang lebih sesuai dengan penduduk di beberapa negara seperti Amerika Serikat dan Taiwan, studi tentang formulasi luas tubuh ini akan menghasilkan panduan bagi penyusunan proyek serupa di Indonesia.

### 5. Pengambilan kesimpulan

Pada tahap ini, penulis menarik kesimpulan dan mengajukan saran terhadap penelitian yang telah dilakukan.

## **F. Sistematika Penulisan**

Penyusunan laporan penelitian ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan yang baku sehingga memudahkan dalam proses penyusunannya. Laporan ini terdiri dari 5 bab dengan rincian sebagai berikut.

Bab 1 adalah bab pendahuluan. Bab ini berisikan tentang latar belakang, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab 2 adalah bab dasar teori. Bab ini berisikan berbagai penjelasan dan konsep dari berbagai disiplin ilmu yang akan dijadikan sebagai dasar dari penelitian. Adapun bab ini berisikan penjelasan mengenai ergonomi sebagai payung dari disiplin ilmu yang mendasari penelitian ini antropometri dan termal fokus penelitian. Terdapat pula tambahan mengenai berbagai metode perhitungan luas tubuh manusia yang telah umum digunakan. Selain itu juga dijelaskan mengenai metode geometri, karakteristik dan keunggulannya. Pada bab ini dilakukan studi perbandingan dan studi literatur dari berbagai penelitian yang telah dilakukan. Melalui studi perbandingan dan referensi dari berbagai standar yang ada, maka dirancanglah sebuah metode penelitian dan standar metodologi kerja.

Bab 3 adalah bab pengumpulan data perancangan metode penelitian. Pada bab ini akan dibahas berbagai data yang dikumpulkan selama penelitian berlangsung, seperti data antropometri, data mahasiswa Teknik, data temperature tubuh dan ruangan serta proses pengolahan data menggunakan software Microsoft Exel.

Bab 4 adalah bab analisis. Bab ini berisikan analisa dari rancangan metode penelitian yang telah dibuat dan penjelasan serta analisa dari model formulasi perhitungan luas tubuh manusia dengan metode geometri. Studi statistic dan matematika digunakan untuk menguji kelayakan metode penelitian terhadap pembuatan model estimasi luas tubuh manusia.

Bab 5 merupakan kesimpulan dan saran dari keseluruhan penelitian ini. Kesimpulan yang diambil meliputi rancangan penelitian secara garis besar dan hasil studi kasus sesuai dengan tujuan penelitian ini. Penulis juga mengajukan saran terkait dengan rancangan penelitian dan pembuatan masterplan data antropometri yang dijadikan sebagai studi kasus.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Proses Belajar Mengajar dalam Ruang Kelas**

Menurut Danim, dkk, 2010 yang menyatakan bahwa belajar merupakan sebuah proses menciptakan nilai tambah berupa kognitif, afektif, dan psikomotor yang tercermin dari perubahan perilaku siswa menuju kedewasaan. Sementara menurut Mulyasa, 2006 belajar pada hakekatnya merupakan usaha sadar yang dilakukan individu memenuhi kebutuhannya setiap kegiatan belajar yang dilakukan peserta didik akan menghasilkan perubahan-perubahan dalam dirinya yang dikelompokkan dalam kawasan kognitif, afektif, dan psikomotor. Selanjutnya dalam kamus pedagogik yang ditulis oleh Ahmadi, 2005 dikatakan bahwa belajar adalah berusaha memiliki pengetahuan atau kecakapan. Ditambah lagi pendapat Whitaker, 2003 yang menyatakan bahwa Learning may be define as the process by which behavior originates or is altered through training or experience, dimana belajar didefinisikan sebagai proses tingkah laku yang ditimbulkan atau dirubah melalui latihan dan pengalaman.

Berdasarkan beberapa definisi di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa belajar merupakan usaha sadar untuk mencapai kebutuhan manusia melalui proses perubahan dalam dirinya, baik bersifat kognitif, afektif, maupun psikomotor.

Proses belajar dapat dibagi ke dalam dua fase, yaitu persiapan dan proses belajar. Fase persiapan belajar merupakan fase yang ditempuh sebelum belajar. Fase ini merupakan landasan utama bagi pembentukan cara belajar yang baik, dimana dapat terlihat dari sikap mental yang baik, yaitu sikap mental yang ditumbuhkan dan diperkirakan dengan sebaik mungkin agar siswa mempunyai kesadaran berupa kesediaan mental. Sikap mental yang diperlukan siswa dalam rangka persiapan belajar yaitu tujuan belajar, minat terhadap pelajaran, kepercayaan pada diri sendiri, dan keuletan. Fase proses belajar sangat menentukan seorang siswa dapat berhasil ataupun tidak selama di sekolah. Pada fase ini siswa dituntut untuk menerapkan cara-cara belajar sebaik mungkin. Pedoman dalam belajar perlu dibuat untuk menjadi petunjuk dalam melakukan proses pembelajaran.

Dalam Kamus Besar Indonesia konsentrasi merupakan kemampuan untuk memusatkan pikiran terhadap aktivitas yang sedang dilakukan. Sedangkan Ahmadi, menyatakan bahwa konsentrasi belajar adalah kemampuan untuk memusatkan pikiran terhadap aktivitas belajar. Konsentrasi juga merupakan suatu perhatian searah terhadap suatu hal, dan biasanya berkaitan dengan konsentrasi terhadap apa yang saat ini dihadapi atau dijalani.

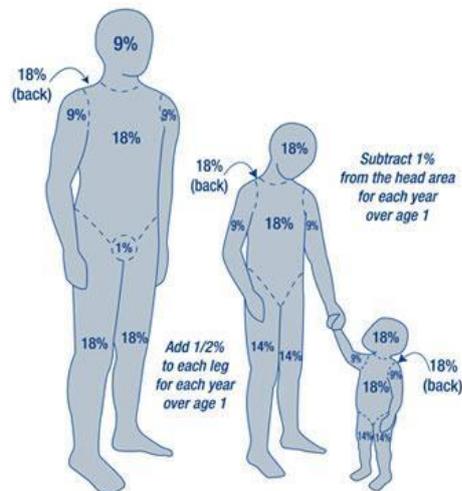
Konsentrasi belajar dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik faktor internal maupun eksternal.

Menurut Mulyasa, 2006 faktor internal yang mempengaruhi konsentrasi belajar siswa adalah faktor fisiologis yang menyangkut keadaan jasmani atau fisik individu serta faktor psikologis yang berasal dari dalam diri, seperti intelegensi, minat, sikap, dan motivasi. Sedangkan untuk faktor eksternal dapat digolongkan ke dalam dua faktor pula, yaitu faktor sosial yang menyangkut hubungan antar manusia yang terjadi dalam berbagai situasi sosial, serta faktor non sosial yang terdiri dari lingkungan alam dan fisik, seperti ruang belajar, fasilitas belajar, buku-buku sumber, dan sebagainya. Melihat penjelasan di atas, pemberdayaan dan penataan lingkungan di sekitar ruang belajar sangat perlu diperhatikan.

## **B. Permukaan Tubuh Manusia dan Studi tentang Luas Kulit Manusia**

### **1. Luas Kulit Manusia**

Salah satu bagian dari disiplin ilmu dalam rumpun ergonomi adalah studi antropometri. Istilah antropometri secara etimologis berasal dari bahasa Yunani, yaitu antropos berarti manusia, dan metron berarti ukuran, sehingga antropometri merupakan studi tentang ukuran tubuh manusia. Pengertian antropometri menurut Stevenson dan Eko Nurmianto adalah suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia ukuran, bentuk dan kekuatan serta penerapan dari data tersebut untuk penanganan masalah desain.



Gambar 1. Ilustrasi Body Surface Area

Sumber: Regent of the university of Michigan

Antropometri secara luas digunakan sebagai pertimbangan perancangan (desain) produk maupun system kerja yang berinteraksi dengan manusia agar tercipta hasil perancangan yang ergonomis.

Ada dua kategori data antropometri dalam kaitannya dengan posisi tubuh dikenal 2 cara pengukuran, yaitu:

- Pengukuran dimensi struktur tubuh (structural body dimension)

Tubuh diukur dalam berbagai posisi standard dan tidak bergerak (statis). Istilah lain dari pengukuran tubuh ini adalah “static anthropometry”. Ukuran dalam hal ini diambil dengan persentil tertentu seperti persentil 5 dan 95.

- Pengukuran dimensi fungsional tubuh (functional body dimensions)

Pengukuran dilakukan terhadap posisi tubuh pada saat melakukan gerakan tertentu yang berkaitan dengan perancangan dari kegiatan yang diteliti. Cara pengukuran semacam ini akan menghasilkan data “dynamic anthropometry”. Antropometri dalam posisi tubuh melaksanakan fungsinya yang dinamis akan banyak diaplikasikan dalam proses perancangan fasilitas maupun ruang kerja.

Dalam praktiknya, dimensi struktur tubuh seringkali diasumsikan berbanding lurus dengan dimensi fungsional tubuh. Dalam kaitannya dengan luas tubuh manusia misalnya, kemampuan fungsional tubuh untuk melepaskan panas ke udara sekitar salah satunya diasumsikan sesuai dengan luas tubuh manusia tersebut (ASHRAE Fundamental Handbook).

Karena antropometri merupakan studi yang berkaitan erat dengan proporsi tubuh, maka dapat dikatakan studi antropometri harus dilaksanakan oleh setiap bangsa. Sebab perbedaan suku bangsa dapat diikuti dengan perbedaan signifikan baik dari segi dimensi struktur maupun fungsional tubuh. Dengan demikian untuk dapat mendisain peralatan, lingkungan kerja maupun beban penugasan, harus dilakukan studi ergonomi yang spesifik. Dan mampu menjawab kebutuhan karakteristik antropometri penggunaannya.

Perhitungan luas tubuh manusia, telah menjadi perhatian berbagai ahli dari berbagai disiplin ilmu selama bertahun-tahun. Dengan berbagai motif dan pendekatan, manusia telah sejak lama memulai mencoba

merumuskan formula untuk menghitung luas tubuh manusia. Pada tahun 1879 misalnya, Meck seorang peneliti mencatatkan bahwa dia telah berhasil mengukur luas permukaan tubuh enam orang dewasa dan sepuluh anak-anak dengan berbagai metode. Metode yang digunakan diantaranya dengan memberikan pola geometri tertentu pada tubuh yang sedang diukur luasnya. Pola geometri ini kemudian dipindahkan keatas kertas tipis yang transparan untuk kemudian diukur luasnya dengan perhitungan berat dari potongan-potongan kertas yang tidak beraturan.



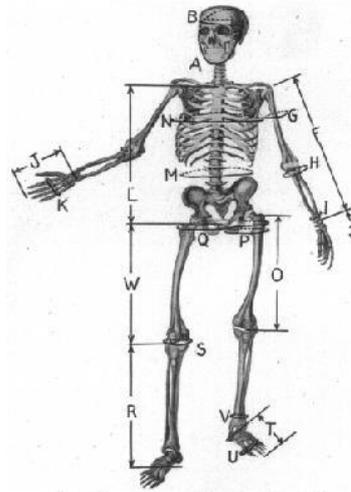
*Gambar 2. Salahsatu Responden Riset Du Bois*

Terdapat juga Funke, peneliti yang melapisi tubuh manusia yang diukur luas tubuhnya dengan sejenis material perekat untuk kemudian ditemplei dengan kertas-kertas yang berbentuk persegi, dimana kemudian kertas-kertas inilah yang dijadikan acuan untuk menghitung luas tubuh manusia tersebut. (Du Bois, 1916).

Dalam periode riset waktu tersebut juga telah dikenal pendekatan luas tubuh manusia yang melibatkan perhitungan berat tubuh seperti yang dipopulerkan oleh Meeh. Dimana dia memformulasikan bahwa ada keterkaitan antaran tinggi badan (L) lingkar dada (U), dan berat badan sebagai faktor dominan dalam penentuan luas tubuh manusia.

Pada saat itu, gagasan untuk melakukan perhitungan luas tubuh manusia dengan pendekatan geometri salah satunya diprakarsai oleh Du Bois. Dimana dia menyatakan bahwa, tidak akan ada formula perhitungan luas tubuh manusia yang akurat jika masih didasarkan pada berat badan semata. Sebab perbedaan atau ketidaknormalan pada struktur tubuh dapat menyebabkan perbedaan pengaruh dari penambahan berat badan terhadap penambahan luas permukaan tubuh (Du Bois,1916). Du Bois berpendapat adalah cara paling akurat untuk menghitung luas tubuh manusia adalah dengan mengalikan panjang suatu bidang dengan lebarnya, atau dengan kata lain dengan pendekatan geometri.

Dengan teknik molding, yang dilakukan pada responden risetnya Du Bois telah berhasil melaksanakan riset yang terbilang memberikan terobosan pada dunia riset luas tubuh manusia. Meski melibatkan beberapa responden yang tidak ideal secara fisik, formulasi Du Bois terhadap perhitungan luas tubuh manusia diterima secara luas dan dipergunakan dalam berbagai keperluan riset hingga saat ini.



Gambar 3. Beberapa Ukuran Tubuh Manusia yang Diperhatikan dalam Perhitungan Du Bois

Dalam studi lanjutan yang dilakukan oleh Du Bois sendiri, pada akhirnya dia mengemukakan bahwa diperlukan suatu formula yang dapat digunakan secara ringkas. Sehingga tidak menyebabkan kesulitan dalam perhitungan luas tubuh manusia. Setelah melakukan perbandingan empirik antara tinggi badan dan berat badan dari respondend riset nya. Du Bois pada 1916 mempublikasikan formula luas tubuh manusia yang hingga sekarang masih dipakai dengan formulasi sebagai berikut:

$$BSA (m^2) = 0.007184 \times \text{Tinggi Badan (cm)}^{0.725} \times \text{Berat Badan(kg)}^{0.425} \quad (1)$$

Pada akhirnya bentuk formulasi ini dianggap representatif dalam menjawab kebutuhan akan perhitungan luas tubuh manusia. Sehingga beberapa ilmuwan yang memfokuskan riset pada perhitungan luas tubuh manusia menggunakan kerangka riset yang sama seperti Du Bois. Dengan

melakukan berbagai perbaikan dalam hal metode dan pengambilan sampel.

Beberapa formula yang sering digunakan dalam berbagai keperluan BSA hingga saat ini diantaranya:

- Monsteller (1908):

$$BSA (m^2) = ([Tinggi Badan (cm) \times Berat Badan(kg)]/3600)^{1/2} \quad (2)$$

- Haycock (1978):

$$BSA (m^2) = 0.024265 \times Height(cm)^{0.3964} \times Weight(kg)^{0.5378} \quad (3)$$

- Gehan and George (1970):

$$BSA (m^2) = 0.024265 \times Height(cm)^{0.3964} \times Weight(kg)^{0.5378} \quad (4)$$

## 2. Aplikasi Riset Perhitungan Luas Tubuh Manusia

Hingga saat ini BSA (*Body Surface Area*) telah digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri. Mulai dari kesehatan, militer, olahraga. Diantara penggunaan tersebut adalah sebagai berikut (Jones & Rioux, 1997):

### a. Dalam dunia medis.

- Deteksi dini terhadap kelainan pertumbuhan tubuh (*body deformity*)
- Membantu deteksi glaucoma. (Takamoto & Schwartz, 1985)

- Membantu deteksi kelainan pada pertumbuhan gigi / rahang.
- Proses permodelan tiga dimensi dari permukaan tubuh telah dimanfaatkan dalam dunia bedah.
- Meningkatkan efisiensi dan efektifitas manajemen obat, dengan memberikan perhitungan dosis obat yang semakin akurat.

b. Dalam bisnis.

- Membantu mengenali ciri antropologi dari suatu populasi.
- Membantu mencapai tingkat yang lebih baik dalam disain berbagai macam hal seperti helm keselamatan, kacamata, sarung tangan pakaian dan lain-lain.

c. Meningkatkan pemahaman tentang ilmu bentuk tubuh manusia (human morphology) yang sangat signifikan untuk mengantisipasi secara dini persebaran penyakit.

d. Membantu menganalisis pergerakan manusia yang dapat digunakan sebagai media untuk mendisain beban dan sistem kerja yang lebih baik.

e. Masih banyak lagi sumbangsih yang dapat diberikan dari penelitian dalam hal Body Surface Area ini di berbagai ranah seperti forensik, animasi, olahraga, antropologi dan lain lain.

### 3. Permodelan dan Interpolasi Bentuk Tubuh Manusia

Dalam berbagai studi kita mengenal bahwa model adalah suatu bentuk simplifikasi dari sistem di dunia nyata yang dibuat untuk memudahkan manusia mempelajarinya tanpa harus dilakukan intervensi terhadap sistem yang sedang berjalan. Dalam dunia antropometri sendiri, permodelan terhadap manusia telah banyak digunakan. Terutama untuk hal-hal yang sulit untuk diteliti karena keterbatasan manusia.

Haycock dalam merumuskan formula BSA yang digagasnya pun melakukan permodelan terhadap bentuk tubuh manusia, dimana beberapa bagian tubuh diasosiasikan dengan bentuk geometric sederhana agar dapat dianalisis. Hal tersebut dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini.

Dalam keterangan dari jurnal ilmiah yang dituangkan oleh Haycock di atas terlihat bahwa dalam proses perhitungan luas tubuh manusia peneliti terlebih dahulu menganalogkan beberapa bentuk tubuh kedalam bentuk primitif geometri yang lebih sederhana. Seperti selimut tabung, kerucut terpotong, bola dan lain lain.

Tabel 1. Pengukuran dilakukan untuk Perhitungan Luas Permukaan Tubuh dan Volume

Body Part	leght	Circumference	Analoque
Head	-	Occipitofrontal	1
Neck	Angel of mandible sternomanubrial joint sternomanubrial joint Interochanteric line	midpoint	2
Trunk	acromion – olecranon olecranon-tip of 4 <sup>th</sup> metacarpol	mean of nipple, umbilical, and Interochanteric	3
	heat of fibula lateral malleolus	midpoint	2
	callenium tip of 4 <sup>th</sup> toe	midpoint	2
Upper arm		meanof ealf and ankle	2
Lower arm		midpoint	3
Lower leg			
Foot			

Dalam konsep permodelan modern, permodelan manusia pun berkembang dengan pesat. Beberapa studi yang diarahkan untuk membantu studi yang berkaitan dengan perhitungan luas tubuh manusia. Sebab dengan perkembangan teknologi yang ada, kemungkinan untuk meningkatkan akurasi perhitungan luas tubuh manusia terbuka lebar, dan

hal itu berarti adalah kesempatan besar untuk meningkatkan kualitas hidup manusia dalam berbagai aspek kehidupan.

Dalam setiap tindakan yang berkaitan dengan permodelan, interpolasi merupakan suatu aktivitas yang tidak dapat dipisahkan. Interpolasi adalah proses untuk mendefinisikan sebuah fungsi yang akan mengisi atau melewati suatu nilai tertentu pada titik tertentu (Fritsch and Carlson, 1980). Pada umumnya proses ini digunakan untuk membantu pendefinisian suatu fungsi dengan memberikan fungsi alternatif yang mendekati fungsi yang sebenarnya.

Dalam hal permodelan perbedaan dalam modeling sudah menjadi permasalahan yang sangat jamak. Perbedaan filosofi antara bahasa pemrograman satu dengan yang lain dan perbedaan basis modeling telah lama menjadi sumber permasalahan dalam proses komunikasi antar model (Stroud, 2000). Permasalahan ini bisa menjadi fatal manakala data yang dikomunikasikan menyangkut keselamatan manusia, atau disain sebuah fasilitas yang penting. Sebagai contoh adalah permodelan yang menyangkut grafik seperti yang lazim digunakan pada proses rapid prototyping. Untuk itulah disepakati bentuk dasar dari komunikasi data rapid prototyping dengan nama STL. Dikenal sebagai standard transform language atau juga stereolithography.

#### 4. Penelitian Berbasis Data Luas Tubuh Manusia

Seperti telah diungkapkan sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk menyusun sebuah formula luas tubuh manusia (Body Surface Area) berdasarkan database antropometri manusia Indonesia. Maka, untuk dapat menghasilkan formula yang representative terhadap karakteristik antropometri manusia Indonesia dibutuhkan dukungan data antropometri yang terpercaya dan dalam jumlah yang cukup. Pelibatan subjek yang tidak normal dalam perhitungan *body surface area* dapat menimbulkan pertanyaan terhadap keabsahan formula yang dihasilkan (Yu,2009). Untuk itu diperlukan sumber data antropometri yang memenuhi nilai nilai ergo disain dalam pengumpulan data dan analisisnya.

Pendekatan ergodesain merupakan sebuah pendekatan makro ergonomic yang memiliki tujuan untuk menyelaraskan fungsi manusia dan sistem secara simultan bersama-sama dengan konseptualisasi desain dan pengembangannya. Ergodesain merupakan sebuah pendekatan yang penting dalam menunjang implementasi ergonomi dalam proses desain dan pengembangan produk, perlengkapan, dan sistem (Yap dkk, 1997).

Dalam pelaksanaannya, terdapat berbagai standar yang dapat diikuti dalam pelaksanaan penelitian berbasis antropometri. Standar tersebut ada yang berlaku secara lokal atau hanya di suatu wilayah dan negara tertentu, serta berlaku Internasional. The International Standards Organization (ISO) telah membuat standarisasi yang diperlukan, antara lain:

- ISO 15535:2006 (General requirements for establishing anthropometric database) 21
- ISO 7250:1996 (Basic human body measurements for technological design)
- ISO 8559:1989 (Garment construction and anthropometric surveys – body dimensions)

Telah terdapat berbagai database antropometri nasional yang dibuat oleh berbagai negara di dunia. Pelaksanaan pembuatan database tersebut mengikuti berbagai kaidah, yang tentunya akan mempengaruhi hasil akhir dari pembuatan database itu sendiri. Berbagai perbedaan yang terdapat dalam database yang ada meliputi tahun pengambilan data, jumlah pengukuran, jenis pengukuran, target populasi, dan sebagainya. Untuk menstandarkan metode pembuatan database antropometri tersebut, diperlukan adanya kontrol kualitas.

Kontrol kualitas dalam perancangan metode pembuatan database antropometri meliputi validitasi, komparasi, dan akurasi (Kouchi and Mochimaru, 2006). Penjelasan ketiga kontrol tersebut antara lain adalah:

a. Validasi

Validasi digunakan untuk menjawab pertanyaan: “apakah subyek penelitian dalam pembuatan database antropometri ini dapat menggambarkan populasi secara keseluruhan?”. Dalam pengontrolan validasi, terdapat beberapa hal yang dijadikan tinjauan utama, antara lain:

- Pengambilan sampel
  - Metode pengambilan sampel
- Deskripsi dari subyek populasi
  - Lokasi pengambilan data
  - Tahun pengambilan data
  - Jumlah subyek berdasarkan jenis kelamin dan kelompok umur
  - Spesifikasi lain yang diperlukan
- b. Perubahan sekuler
  - Tingkat perubahan ukuran berdasarkan waktu

## 5. Komparasi

Komparasi digunakan untuk pengukuran cara yang dilakukan dalam pembuatan database antropometri lainnya. Kontrol ini dilakukan untuk memastikan bahwa database antropometri yang dihasilkan sesuai dengan standar dan dapat digunakan secara internasional. Dalam pengontrolan komparasi, terdapat beberapa hal yang dijadikan sebagai tinjauan, antara lain:

- Penggunaan definisi untuk menjelaskan ukuran tertentu
- Postur yang digunakan
- Peralatan yang digunakan

Akurasi digunakan untuk menjawab pertanyaan: “seberapa benar dan akurat pengukuran yang dilakukan?”. Akurasi ini dapat dibedakan ke dalam dua proses, yaitu pada saat pengukuran, dan setelah pengukuran.

- Selama pengukuran
  - Pengulangan Pengukuran
- Setelah pengukuran
  - Pengubahan data untuk menghilangkan outlier yang disebabkan karena kesalahan.

### **C. Tingkat metabolisme**

Ada enam faktor utama yang secara langsung mempengaruhi kenyamanan termal yang dapat dikelompokkan dalam dua kategori: faktor personal - karena merupakan karakteristik penghuninya - dan faktor lingkungan - yaitu kondisi lingkungan termal. Yang pertama adalah tingkat metabolisme dan tingkat pakaian, yang terakhir adalah suhu udara, suhu pancaran rata-rata, kecepatan udara dan kelembaban. Sekalipun semua faktor ini dapat bervariasi seiring waktu, standar biasanya mengacu pada kondisi mapan untuk mempelajari kenyamanan termal, hanya memungkinkan variasi suhu yang terbatas.

Orang memiliki tingkat metabolisme berbeda yang dapat berfluktuasi karena tingkat aktivitas dan kondisi lingkungan. Menurut Toftum (2005), Smolander (2002), Khodakarami (2009), dan Standar ASHRAE 55-2010

mendefinisikan laju metabolisme sebagai tingkat transformasi energi kimia menjadi panas dan kerja mekanis oleh aktivitas metabolisme dalam suatu organisme, biasanya dinyatakan dalam satuan luas permukaan tubuh total. Laju metabolisme dinyatakan dalam satuan met, yang didefinisikan sebagai berikut:

1 met =  $58,2 \text{ W / m}^2$  ( $18,4 \text{ Btu / h} \cdot \text{ft}^2$ ), yang sama dengan energi yang dihasilkan per satuan luas permukaan dari rata-rata orang yang duduk diam. Luas permukaan rata-rata orang adalah  $1,8 \text{ m}^2$  ( $19 \text{ kaki}^2$ ) (ASHRAE Standard 55-2017).

ASHRAE Standard 55 menyediakan tabel nilai metrik untuk berbagai aktivitas. Beberapa nilai yang umum adalah 0,7 met untuk tidur, 1,0 bertemu untuk posisi duduk dan tenang, 1,2-1,4 bertemu untuk aktivitas ringan berdiri, 2,0 met atau lebih untuk aktivitas yang melibatkan gerakan, berjalan, mengangkat beban berat atau mengoperasikan mesin. Untuk aktivitas intermiten, Standar menyatakan bahwa diperbolehkan untuk menggunakan laju metabolisme rata-rata tertimbang waktu jika individu melakukan aktivitas yang bervariasi selama satu jam atau kurang. Untuk periode yang lebih lama, tingkat metabolisme yang berbeda harus dipertimbangkan (ASHRAE Standard 55-2017).

Menurut ASHRAE Handbook of Fundamentals, memperkirakan tingkat metabolisme itu rumit, dan untuk level di atas 2 atau 3 terpenuhi - terutama jika ada berbagai cara untuk melakukan aktivitas semacam itu -

akurasi rendah. Oleh karena itu, Standar tidak berlaku untuk aktivitas dengan tingkat rata-rata lebih tinggi dari 2 terpenuhi. Nilai met juga dapat ditentukan lebih akurat daripada yang ditabulasikan, menggunakan persamaan empiris yang memperhitungkan laju konsumsi oksigen pernapasan dan produksi karbon dioksida. Metode fisiologis lain namun kurang akurat terkait dengan detak jantung, karena ada hubungan antara yang terakhir dan konsumsi oksigen (ASHRAE 2005).

Ringkasan Aktivitas Fisik digunakan oleh dokter untuk mencatat aktivitas fisik. Ini memiliki definisi yang berbeda dari bertemu yaitu rasio tingkat metabolisme dari aktivitas tersebut untuk tingkat metabolisme istirahat (Ainsworth, 2000). Karena rumusan konsep berbeda dengan yang digunakan ASHRAE, nilai-nilai yang terpenuhi ini tidak dapat digunakan secara langsung dalam perhitungan PMV, tetapi membuka cara baru untuk mengukur aktivitas fisik.

Kebiasaan makan dan minum mungkin memiliki pengaruh pada laju metabolisme, yang secara tidak langsung memengaruhi preferensi termal. Efek ini dapat berubah tergantung pada asupan makanan dan minuman (Szokolay, 2010). Bentuk tubuh adalah faktor lain yang memengaruhi kenyamanan termal. Pembuangan panas tergantung pada luas permukaan tubuh. Orang yang tinggi dan kurus memiliki rasio permukaan-volume yang lebih besar, dapat menghilangkan panas dengan

lebih mudah, dan dapat mentolerir suhu yang lebih tinggi daripada orang dengan bentuk tubuh bulat (Szokolay, 2010).

#### D. Rumus Estimasi BMR

##### 1. Persamaan Harris-Benedict

Secara historis, rumus yang paling terkenal adalah persamaan Harris-Benedict, yang diterbitkan pada tahun 1919.

$$\text{Rumus untuk Pria } P = \left( \frac{13.7516m}{1 \text{ kg}} + \frac{5.003h}{1 \text{ cm}} - \frac{6.755a}{1 \text{ Tahun}} + 66.4760 \right) \frac{\text{kcal}}{\text{hari}} \dots (5)$$

$$\text{Rumus untuk Wanita } P = \left( \frac{9.5634m}{1 \text{ kg}} + \frac{1.8946h}{1 \text{ cm}} - \frac{4.756a}{1 \text{ Tahun}} + 655.0955 \right) \frac{\text{kcal}}{\text{hari}} (6)$$

P = produksi panas total saat istirahat total,

M = massa (kg),

H = tinggi (cm), dan

A = usia (tahun), (Harris, 1918).

Perbedaan BMR pria dan wanita terutama disebabkan oleh perbedaan berat badan. Misalnya, seorang wanita berusia 55 tahun dengan berat 130 lb (59 kg) dan tinggi 5 kaki 6 inci (168 cm) akan memiliki BMR 1272 kkal per hari.

## 2. Persamaan Harris-Benedict yang direvisi

Pada tahun 1984, persamaan Harris-Benedict asli direvisi (Roza, 1984). Menggunakan data baru. Dalam perbandingan dengan pengeluaran aktual, persamaan yang direvisi ternyata lebih akurat.

$$\text{Rumus untuk Pria } P = \left( \frac{13.397m}{1 \text{ kg}} + \frac{4.799h}{1 \text{ cm}} - \frac{6.755a}{1 \text{ Tahun}} + 88.362 \right) \frac{\text{kcal}}{\text{hari}} \dots\dots (7)$$

$$\text{Rumus untuk Wanita } P = \left( \frac{9.247m}{1 \text{ kg}} + \frac{3.098h}{1 \text{ cm}} - \frac{4.330a}{1 \text{ Tahun}} + 447.593 \right) \frac{\text{kcal}}{\text{hari}} (8)$$

Itu adalah persamaan prediksi terbaik sampai tahun 1990, ketika Mifflin dkk (1990), memperkenalkan persamaan:

## 3. Persamaan Mifflin St Jeor

$$P = \left( \frac{10m}{1 \text{ kg}} + \frac{6.25h}{1 \text{ cm}} - \frac{5.a}{1 \text{ Tahun}} + s \right) \frac{\text{kcal}}{\text{hari}}, \text{ dengan } s \text{ adalah } + 5 \text{ untuk pria dan } - 161 \text{ untuk wanita } \dots\dots\dots (9)$$

Menurut rumus ini, wanita pada contoh di atas memiliki BMR 1.204 kkal per hari. Selama 100 tahun terakhir, gaya hidup telah berubah dan Frankenfield dkk (2005). Menunjukkannya sekitar 5% lebih akurat. Formula ini didasarkan pada berat badan, yang tidak memperhitungkan perbedaan aktivitas metabolisme antara massa tubuh tanpa lemak dan lemak tubuh. Ada rumus lain yang memperhitungkan massa tubuh tanpa lemak, dua di antaranya adalah rumus Katch-McArdle, dan rumus Cunningham.

#### 4. Formula Katch-McArdle (Mengistirahatkan Pengeluaran Energi Harian)

Rumus Katch-McArdle digunakan untuk memprediksi Resting Daily Energy Expenditure (RDEE) (McArdle, 2006). Rumus Cunningham biasanya dikutip untuk memprediksi RMR, bukan BMR; namun, rumus yang diberikan oleh Katch-McArdle dan Cunningham sama (Dunford,2007).

$$P = 370 + (21.6 \ell) \dots\dots\dots (10)$$

di mana  $\ell$  adalah massa tubuh tanpa lemak (LBM dalam kg)

$$\ell = m \left( 1 - \frac{f}{100} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Dimana  $f$  adalah persentase lemak tubuh . Menurut rumus ini, jika wanita dalam contoh memiliki persentase lemak tubuh 30%, Pengeluaran Energi Harian Istirahat (penulis menggunakan istilah metabolisme basal dan istirahat secara bergantian) adalah 1262 kkal per hari.

#### 5. Penyebab perbedaan individu dalam BMR

Tingkat metabolisme dasar bervariasi antar individu. Satu penelitian terhadap 150 orang dewasa yang mewakili populasi di Skotlandia melaporkan tingkat metabolisme basal dari serendah 1027 kkal per hari (4301 kJ / hari) hingga setinggi 2499 kkal / hari (10455 kJ / hari); dengan BMR rata-rata 1500 kkal / hari (6279 kJ / hari). Secara statistik, para peneliti menghitung bahwa 62,3% variasi ini dijelaskan oleh perbedaan massa bebas lemak . Faktor lain yang menjelaskan variasi termasuk massa

lemak (6,7%), usia (1,7%), dan kesalahan eksperimental termasuk perbedaan dalam subjek (2%). Variasi lainnya (26,7%) tidak dapat dijelaskan. Perbedaan yang tersisa ini tidak dijelaskan berdasarkan jenis kelamin atau perbedaan ukuran jaringan dari organ yang sangat berenergi seperti otak (Johnstone, 2005).

Perbedaan BMR telah diamati saat membandingkan subjek dengan massa tubuh tanpa lemak yang sama. Dalam sebuah penelitian, ketika membandingkan individu dengan massa tubuh tanpa lemak yang sama, 5% BMR teratas adalah 1,28–1,32 kali BMR 5% terendah. Selain itu, penelitian ini melaporkan kasus di mana dua individu dengan massa tubuh tanpa lemak yang sama yaitu 43 kg memiliki BMR 1075 kkal / hari (4,5 MJ / hari) dan 1790 kkal / hari (7,5 MJ / hari). Selisih 715 kkal / hari (67%) ini setara dengan salah satu individu yang menyelesaikan lari 10 kilometer setiap hari (Speakman, 2004). Namun, penelitian ini tidak memperhitungkan jenis kelamin, tinggi badan, status puasa, atau persentase lemak tubuh subjek.

## **E. Suhu dan Kelembaban**

### **1. Pengertian Suhu**

Suhu udara adalah suhu rata-rata udara di sekitar penghuni, sesuai dengan lokasi dan waktu. Menurut standar ASHRAE 55, rata-rata spasial memperhitungkan tingkat pergelangan kaki, pinggang, dan kepala, yang

bervariasi untuk penumpang yang duduk atau berdiri. Rata-rata temporal didasarkan pada interval tiga menit dengan setidaknya 18 titik waktu yang sama. Suhu udara diukur dengan termometer bola kering dan oleh karena itu disebut juga suhu bola kering .

Suhu merupakan ukuran atau derajat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem. Suhu di definisikan sebagai suatu besaran fisika yang dimiliki bersama antara dua benda atau lebih yang berada dalam kesetimbangan termal. Jika panas dialirkan pada suhu benda, maka suhu benda tersebut akan turun jika benda yang bersangkutan kehilangan panas. Akan tetapi hubungan antara satuan panas dengan satuan suhu tidak merupakan suatu konstanta, karena besarnya peningkatan suhu akibat penerimaan panas dalam jumlah tertentu akan dipengaruhi oleh daya tampung panas (heat capacity) yang dimiliki oleh benda penerima tersebut (Lakitan, 2002).

## 2. Pengertian Kelembaban

Kelembaban adalah konsentrasi uap air di udara. Angka konsentrasi ini dapat diekspresikan dalam kelembaban absolut, kelembaban spesifik atau kelembaban relatif.

Kelembaban relatif (RH) adalah rasio jumlah uap air di udara dengan jumlah uap air yang dapat ditahan udara pada suhu dan tekanan tertentu. Meskipun tubuh manusia memiliki sensor di dalam kulit yang

cukup efisien untuk merasakan panas dan dingin, kelembapan relatif terdeteksi secara tidak langsung. Berkeringat adalah mekanisme kehilangan panas efektif yang bergantung pada penguapan dari kulit. Namun pada RH tinggi, udara mendekati uap air maksimum yang dapat ditahannya, sehingga penguapan, dan kehilangan panas, menurun. Di sisi lain, lingkungan yang sangat kering (RH <20-30%) juga tidak nyaman karena pengaruhnya terhadap selaput lendir. Tingkat kelembapan dalam ruangan yang direkomendasikan berkisar antara 30-60% di gedung ber-AC, menurut Balaras (2007), dan Wolkoff (2007), tetapi standar baru seperti model adaptif memungkinkan kelembapan yang lebih rendah dan lebih tinggi, tergantung pada faktor lain yang terlibat dalam kenyamanan termal.

Baru-baru ini, pengaruh kelembapan relatif rendah dan kecepatan udara yang tinggi diuji pada manusia setelah mandi. Para peneliti menemukan bahwa kelembapan relatif yang rendah menyebabkan ketidaknyamanan termal serta sensasi kekeringan dan gatal. Disarankan untuk menjaga tingkat kelembapan relatif lebih tinggi di kamar mandi daripada ruangan lain di rumah untuk kondisi optimal (Hashiguchi, 2009).

Alat untuk mengukur kelembapan disebut higrometer. Perubahan tekanan sebagian uap air di udara berhubungan dengan perubahan suhu. Konsentrasi air di udara pada tingkat permukaan laut dapat mencapai 3% pada 30 °C (86 °F), dan tidak melebihi 0,5% pada 0 °C (32 °F).

Kelembaban udara menggambarkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban mutlak, kelembaban nisbi (relatif) maupun defisit tekanan uap air. Kelembaban mutlak adalah kandungan uap air (dapat dinyatakan dengan massa uap air atau tekanannya) per satuan volume. Kelembaban nisbi membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung uap air. Kapasitas udara untuk menampung uap air tersebut (pada keadaan jenuh) ditentukan oleh suhu udara. Sedangkan defisit tekanan uap air adalah selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual. Masing-masing pernyataan kelembaban udara tersebut mempunyai arti dan fungsi tertentu dikaitkan dengan masalah yang dibahas (Handoko,1994).

Tinggi rendahnya kelembaban udara di suatu tempat sangat bergantung pada beberapa factor sebagai berikut:

a. Suhu.

Suhu udara adalah ukuran energi kinetik rata – rata dari pergerakan molekul-molekul. Suhu suatu benda ialah keadaan yang menentukan kemampuan benda tersebut, untuk memindahkan (transfer) panas ke benda- benda lain atau menerima panas dari benda-benda lain tersebut. Suhu udara adalah derajat panas dari aktifitas molekul dalam atmosfer.

Alat untuk mengukur suhu temperature atau derajat panas disebut thermometer. Suhu dan kelembaban udara sangat erat hubungannya, karena jika kelembaban udara berubah, maka suhu juga akan berubah. Pada musim penghujan suhu udara rendah, kelembaban tinggi, memungkinkan tumbuhnya jamur pada kertas, atau kertas menjadi bergelombang karena naik turunnya suhu udara.

b. Kuantitas dan kualitas penyinaran Kualitas intensitas

Lamanya radiasi yang mengenai tumbuhan mempunyai pengaruh yang besar terhadap berbagai proses fisiologi tumbuhan. Cahaya mempengaruhi pembentukan klorofil, fotosintesis, fototropisme, dan fotoperiodisme.

c. Pergerakan angin

Semakin tinggi kecepatan pergerakan angin akan lebih mempercepat penguapan uap air mengempul diudara.

d. Tekanan udara

Tekanan udara erat kaitannya dengan pergerakan angin.

e. Vegetasi

Semakin banyak vegetasi suatu daerah semakin mempengaruhi tingkat kelembaban suatu daerah, mengingat tanaman termasuk salah satu penghasil uap air melalui proses transpirasi.

f. Ketersediaan air di suatu tempat (air tanah)

Ketersediaan air pada suatu lokasi akan sangat mempengaruhi suhu dan temperature suatu lingkungan.

### 3. Interaksi suhu dan kelembaban

Berbagai jenis suhu semu telah dikembangkan untuk menggabungkan suhu udara dan kelembaban udara. Untuk suhu yang lebih tinggi, ada skala kuantitatif, seperti indeks panas. Untuk suhu yang lebih rendah, interaksi terkait hanya diidentifikasi secara kualitatif:

Kelembaban tinggi dan suhu rendah menyebabkan udara terasa dingin (McMullan, 2012).

Udara dingin dengan kelembaban relatif tinggi “terasa” lebih dingin dari udara kering dengan suhu yang sama karena kelembaban tinggi pada cuaca dingin meningkatkan konduksi panas dari tubuh (Humidity, 2012).

Ada kontroversi mengapa udara dingin yang lembap terasa lebih dingin daripada udara dingin yang kering. Beberapa percaya itu karena ketika kelembaban tinggi, kulit dan pakaian kita menjadi lembab dan merupakan konduktor panas yang lebih baik, jadi ada lebih banyak pendinginan dengan konduksi (Hearst Magazines, 1935).

## **F. Sensasi termal**

Metode untuk memprediksi tingkat sensasi termal, saat ini berkembang dua pendekatan, yakni statik dan adaptif. Pendekatan statik

dikembangkan dengan mengacu pada hasil penelitian sensasi termal responden dalam ruang iklim (climatic chamber) oleh Fanger pada era tahun 1970-an (Fanger, 1970) yang kemudian menjadi standar sensasi termal dalam ASHRAE Standard 55 dan ISO 7730 dengan indeks Predicted Mean Vote (PMV) dan Predicted Percentage Dissatisfied (PPD). Indeks sensasi termal model statik lainnya adalah ET\* (effective temperature), SET\* (standard effective temperature), DISC (discomfort), TSENS (*thermal sensation*), dan HSI (*heat stress index*) (ASHRAE, 2009)

Tidak seperti pendekatan statis yang menggunakan permodelan dengan prinsip keseimbangan termal, pendekatan adaptif menggunakan responden penghuni bangunan dalam kondisi riil. Penelitian sensasi termal adaptif adalah upaya untuk mengetahui kenetralan termal (*thermal neutrality*), keterterimaan termal (*thermal acceptability*), dan preferensi termal (*thermal preference*) serta kajian perilaku adaptif penghuni untuk memperoleh sensasi termal. Model adaptif memposisikan penghuni sebagai subyek yang aktif dalam menciptakan kondisi yang disukai terkait lingkungan termalnya melalui tiga jenis adaptasi, yaitu pengaturan perilaku, penyesuaian fisiologis, dan penyesuaian psikologis (de Dear, 1997 dan 1998). PMV tidak dapat mempertimbangkan interaksi yang kompleks antara manusia dengan lingkungan. Hal ini menjadi salah satu alasan mengapa PMV tidak dapat memprediksi secara akurat kondisi kenyamanan pada

bangunan berventilasi alami (de Dear, 1991; Feriadi, 2003, Nicol, 2004; Wong, 2002; Munir, 2009; Munir ,2011).

Humphreys dan Aulciems, dan de Dear mengembangkan model sensasi termal adaptif (Adaptive Comfort Standard, ACS) sebagai alternatif untuk mengatasi keterbatasan model PMV (Humphreys, 2013). Model ACS diperlukan untuk menggambarkan tingkat sensasi termal secara menyeluruh dengan mempertimbangkan dalam konteks lokal iklim tropis. Disamping indeks PMV-PPD, ASHRAE Standard 55-2004 mulai memperkenalkan ACS sebagai model pendekatan adaptif yang lebih tepat digunakan untuk bangunan tanpa sistem pengkondisian udara (AC), free-running building (FR).

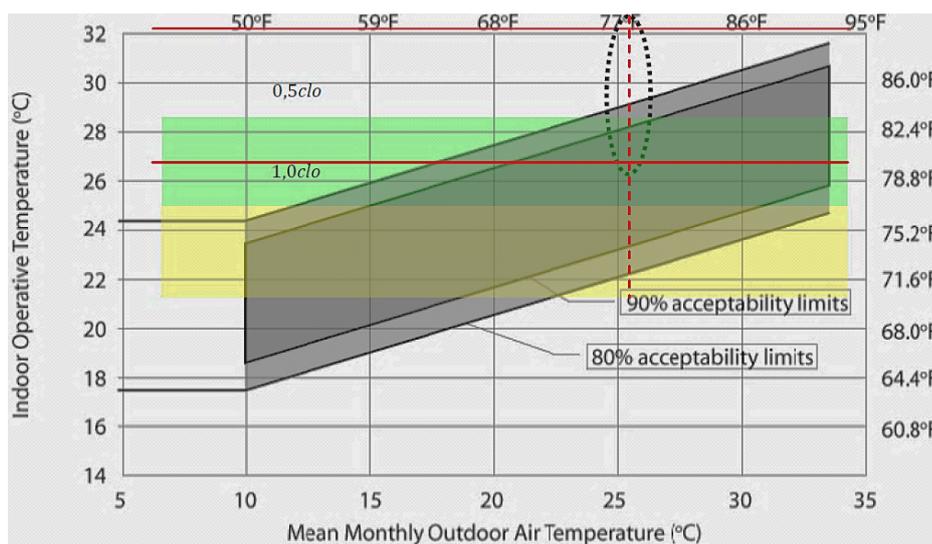
Menurut (Peter Hoppe, 2002) pendekatan sensasi termal ada tiga macam, yaitu: pendekatan thermophysiological, pendekatan heat balance dan pendekatan psikologis (Sugini, 2004). Menurut Karyono, sensasi termal adalah: sensasi panas atau dingin sebagai wujud respon dari sensor perasa kulit terhadap stimuli suhu di sekitarnya. Menurut Parsons itu adalah keadaan termal dari tubuh manusia yang menentukan sensasi termal (ThermCo, 2009). ISO 7730 menyatakan: kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal (Epstein dan Moran, 2006: 389; Hussain dan Rahman, 2009: 128) dan dinilai dengan evaluasi subyektif (ASHRAE 55-2004; Bean, 2012). Menurut ISO 7730 Thermal (heat) balance is obtained when the internal heat production in the body is

equal to the loss of heat to the environment. Menurut Boutet, untuk sensasi termal faktor psikologis perlu diperhatikan sebab setiap individu berbeda persepsi pada kenyamanan tubuhnya (Purnomo, H., dan Rizal, 2000).

Adaptive model menurut ASHRAE 55-2004, model yang menghubungkan suhu desain dalam ruangan atau rentang suhu yang dapat diterima dengan parameter meteorologi atau klimatologis luar ruangan. Sensasi termal adaptif, untuk menanggapi perbedaan yang ditemukan antara penilaian PMV / PPD dan respons sensasi termal aktual untuk tipe bangunan tertentu di daerah beriklim hangat (Linden, et al 2008). Orang-orang memiliki kecenderungan alami untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi di lingkungan mereka (Nicol dan Humphreys, 2001). Menurut Baker, prediksi menggunakan model konvensional memiliki kesalahan adaptif yang timbul karena penyesuaian adaptif penghuni (Rajasekar dan Ramachandraiah, 2010). Untuk memperoleh hasil rata-rata sensasi termal yang sebenarnya dalam iklim hangat perlu faktor koreksi dikalikan dengan nilai PMV, maksimum 1,0 untuk kamar ber-AC dan minimum 0,5 untuk kamar tanpa AC (Linden, dkk, 2008). Menurut de Dear, Brager dan Cooper, 1997, penyesuaian perilaku (termasuk pakaian), adaptasi fisiologis (termasuk aklimatisasi) dan reaksi psikologis (termasuk keinginan), (Alfata, 2011).

Pendekatan psikologis lebih banyak digunakan oleh para ahli dibanding dua pendekatan lainnya (Sugini, 2004). Hasil penelitian (model

adaptif) ini tidak bisa untuk menolak “heat balance model” (dari Fanger, 1970) yang masih digunakan sebagai dasar standar internasional sensasi termal, ISO 7730, (Karyono, 2001).



Gambar 4. Keterterimaan Termal Adaptif Menurut ASHRAE 55–2004

### 1. PMV and PPD Index

Predicted mean vote (PMV) is an index that predicts the mean value of the votes of a large group of persons on the sevenpoint thermal sensation scale (ASHRAE 55-2004: 3), based on the heat balance of the human body (ISO 7730: 2005: 2). The PMV (Predicted Mean Vote) and the PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) were developed in Fanger 1970 (Grignon-Masse, et al, 2008: 7-123).

Predicted percentage of dissatisfied (PPD) is an index that establishes a quantitative prediction of the percentage of thermally

dissatisfied people determined from PMV (ASHRAE 55-2004:3). Berikut tabel tentang tujuh skala sensasi termal dari ASHRAE, Bedford, General Comfort dan Mc Intyre dari tingkatan PMV.

Tabel 2. Skala sensasi termal menurut lembaga dan para ahli

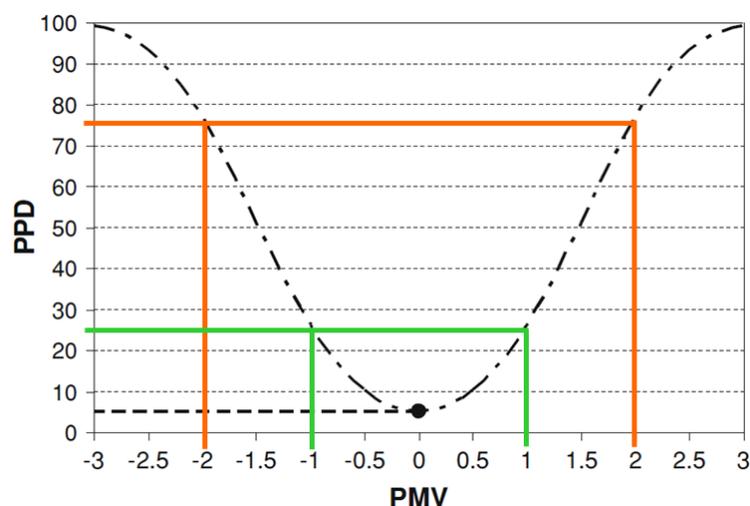
ASHRAE	Bedford	General Comfort	Mc Intyre
Hot (3)	Much too warm (7)	Very uncomfortable (3)	7
Warm (2)	Too warm (6)	Uncomfortable (2)	6
Slightly Warm (1)	Comfortably warm (5) Comfortably (4)	Comfortably warm (1) Comfortably (0)	5 4
Neutral (0)	Comfortably cool (3)	Comfortably cool (-1)	3
slightly (-1)	Too cool (2)	Uncomfortable (-2)	2
Cool (-2)	Much too cool (1)	Very uncomfortable (-3)	1
Cold (-3)			

Sumber: Nicol & Humphreys, 2002 & Mc Intyre, 1980 (Sugini, 2004: 7; Rajasekar and Ramachandraiah, 2010: 6)

Dalam tujuh skala termal tersebut terdapat tiga kondisi kenyamanan yaitu: hangat nyaman Comfortably Warm (5), nyaman Comfortably (4) dan sejuk nyaman Comfortably Cool (3). Menurut Karyono, (2001) tingkatan suhu nyaman daerah tropis suku Jawa tingkat nyaman (netral) begitu juga menurut Kusumawati, (2011).

Hubungan antara PMV sebagai fungsi dari PPD tertera pada Gambar 5 berikut ini. Pada grafik tersebut dapat disimpulkan secara garis besar adalah: 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%.



Gambar 5. Perkembangan dari PPD terhadap basis dari PMV. (Orosa and Oliveira, 2012: 25; ASHRAE 55-2004)

Tingkat nyaman menurut Orosa dan Oliveira, (2012: 25) dibagi tiga kelas, yaitu: kelas A skala  $-0,2 < PMV < 0,2$  dengan PPD (prosen perkiraan yang tidak puas)  $< 6\%$ ; kelas B skala  $-0,5 < PMV < 0,5$  dengan PPD (prosen perkiraan yang tidak puas)  $< 10\%$ ; kelas C skala  $-0,7 < PMV < 0,7$  dengan PPD (prosen perkiraan yang tidak puas)  $< 15\%$ .

Tabel 3. Prediksi persentase ketidakpuasan berdasarkan suara yang diperkirakan

Comfort Rate	PPD (%)	PMV range
A Class	$< 6$	$-0,2 < PMV < 0,2$

B Class	<10	-0,5<PMV<0,5
C Class	<15	-0,7<PMV<0,7

Sumber: Orosa and Oliveira, (2012: 25).

## 2. Faktor-faktor Sensasi termal

Ilmu sensasi termal hanya membatasi kondisi udara tidak ekstrim moderate thermal environment, keadaan yang manusia masih bisa beradaptasi pada perubahan suhu di sekitarnya (Karyono, 2007). Kenyamanan ruang dipengaruhi: temperatur udara, kelembaban udara, radiasi matahari, kecepatan angin, tingkat terang dan distribusi cahaya pada dinding pandangan, Lipsmeier, 1994 (Maidinita, 2009).

Para ahli sepakat pada enam variabel sensasi termal, yaitu: faktor personal (pakaian dan aktivitas); faktor lingkungan: suhu udara, suhu radian, kecepatan angin dan kelembaban udara (Sugini, 2004), kecuali Szokolay, Humphreys dan Nicol menambah variabel lagi.

## 3. Suhu Nyaman Iklim Tropis

Terdapat rentang suhu, manusia tidak perlu usaha menjaga suhu tubuh sekitar 37 °C yang disebut 'suhu nyaman' dan membuat produktifitas kerja optimal, Idealistina, (1991), (Karyono, 2007). Penelitian menyebutkan suhu nyaman untuk orang Jawa temperature operative (To) antara 23,2 °C – 30,2 °C atau rata-rata 26,7 °C (Karyono, 2001: 24, 32). Dalam standar Amerika (ASHRAE 55: 1992– 2004) suhu nyaman (To) yaitu: 22,5 °C – 26

°C atau rata-rata 24,25 °C. Dengan demikian ada perbedaan sebesar 2,5 °C lebih tinggi suhu nyaman bagi orang Indonesia penelitian (Karyono, 2001). Sebagai pembandingan suhu nyaman iklim tropis lebih tinggi adalah penelitian Zainal, 2001 di Malaysia suhu nyaman  $T_o = 33$  °C dan Khedari, 2000 di Bangkok suhu nyaman  $T_o = 32,1$  °C (Tabel dalam Lampiran 2, Daghigh, 2009: 262).

Hasil pengukuran Kusumawati, (2011) suhu udara ruang bangunan 22,7 °C–27,3 °C, suhu globe 23,5 °C–28 °C, ternyata suhu globe lebih tinggi 0,7 °C – 0,8 °C, daripada suhu udara.

Tabel 4. Standar Suhu Nyaman dari Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung

Kondisi Nyaman	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	

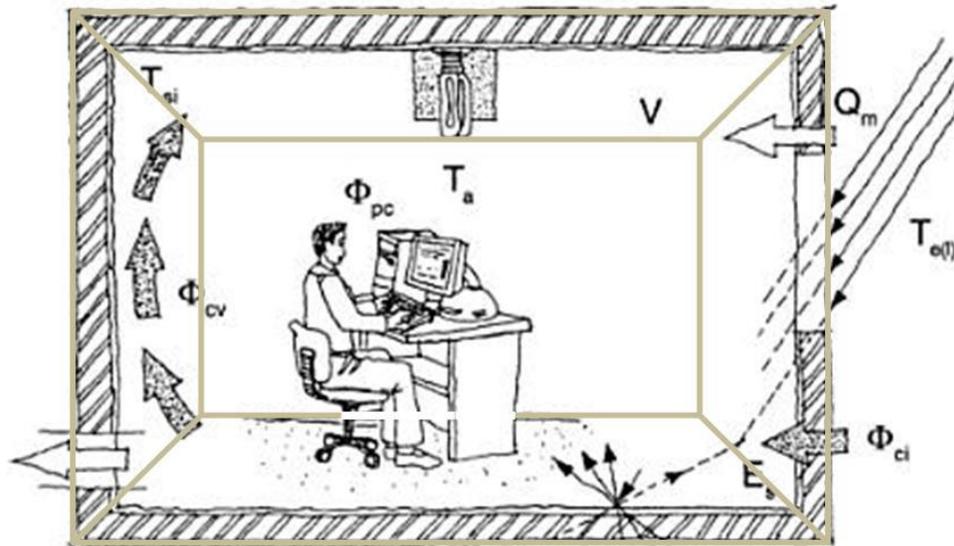
Sumber: Talarosha, (2005)

#### 4. Termal Dalam Ruang

“The definition of acceptable indoor climates in buildings is important not only for comfortability, but also in deciding its energy consumption and ensuring its sustainability” (Nicol and Humphreys, 2001).

Kenyamanan tidak dapat diperoleh dengan mudah karena kondisi lingkungan dengan kenyamanan tubuh manusia tidak selalu kompatibel (Purnomo dan Rizal, 2000). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi sensasi termal di dalam ruang seperti: radiasi gelombang panjang, konveksi permukaan dinding dan udara, konveksi pengguna dan peralatan, konveksi melalui dinding, perpindahan kalor dari suhu luar, suhu permukaan bidang dinding. Kenyamanan minimal yang harus dipenuhi ruangan adalah sensasi termal secara fisiologis, karena sangat berperan pada kinerja pengguna bangunan (Sugini, 2004).

Gambar berikut menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi sensasi termal dalam ruang fisik.



Gambar 6. Faktor kenyamanan ruang, Heinz Frick, (Hendarto, 2010)

Keterangan:

Es: radiasi gelombang Panjang	Q <sub>m</sub> : perpindahan kalor suhu luar T
Φ <sub>cv</sub> : konveksi muka ruang & udara	V: volume (isi ruang)
Φ <sub>pc</sub> : konveksi tubuh & alat	T <sub>a</sub> : suhu dalam ruang
Φ <sub>ci</sub> : konveksi melalui ruang	T <sub>si</sub> : suhu muka bidang batas ruang

## 5. Ventilasi Ruang Bangunan

Menurut SNI 03-6572-2001: 3, tujuan ventilasi untuk: membuang gas-gas keringat dan CO<sub>2</sub> dari pernafasan; membuang uap air; membuang kalor; memperoleh sensasi termal. Model ventilasi ada dua macam gaya angin dan gaya termal. Ventilasi gaya angin ventilasi yang memanfaatkan perbedaan tekanan angin. Laju angin ventilasi gaya angin dipengaruhi: kecepatan rata-rata; arah angin yang kuat; variasi kecepatan, arah angin

musiman dan harian; hambatan setempat, seperti padatnya bangunan, bukit, pohon dan semak belukar (SNI 03-6572-2001: 5).

Ventilasi gaya termal memanfaatkan perbedaan suhu yang terjadi pada udara dalam ruang. Udara yang telah digunakan dan telah menyerap radiasi dalam ruang naik ke bagian atas ruang dan menerobos ventilasi dekat langit-langit. Akibat udara panas naik akan terjadi tekanan minimum di bagian bawah ruang dan menghisap udara segar dari luar melalui lubang ventilasi yang lebih dekat lantai.

## 6. Pergantian Udara

Penggunaan angin pada bangunan dibagi tiga fungsi, yaitu: kesehatan, kenyamanan dan pendinginan ruang, menurut Manley, 2009; Kusoy, 1988; Kusoy dan Sangkertadi, 1998, dalam John, (2011). Banyak penelitian menyimpulkan bahwa ruang kerja yang berudara segar efisiensi dan kinerja karyawan meningkat serta mengurangi kesalahan, Arismunandar dan Saito, 1981, dalam Susanta, (2010).

Energi yang dihasilkan dalam metabolisme pada tubuh manusia membutuhkan  $O_2$  yang terdapat dalam udara. Seiring waktu  $O_2$  yang digunakan berkurang berganti  $CO_2$  sehingga dibutuhkan pergantian udara baru yang segar. Ukuran pergantian udara dalam ruang dinyatakan dalam berapa kali volume ruangan per jam. Pergantian udara dalam ruang kelas

menurut Tabel 4.4.1 SNI 03-6572-2001: 8, delapan kali volume ruang per jam atau Tabel 4.4.2 pasokan udara minimal 0,15 m<sup>3</sup>/menit/orang.

## 7. Kecepatan Angin

Definisi umum mengatakan bahwa angin adalah udara yang bergerak, menurut Szokolay, 1980; Kinsey, 1983, (John, 2011). Air velocity is related to sensible heat released by convection and latent heat released by evaporation and, hence, the feeling of thermal comfort is influenced by draft (Orosa and Oliveira, 2012).

Jadi aliran angin berfungsi untuk mendinginkan suhu suatu area yang terkena hembusannya. Tabel berikut ini menyebutkan pengaruh kecepatan aliran udara terhadap kenyamanan bagi tubuh manusia.

Tabel 5. Pengaruh kenyamanan kecepatan aliran udara

Kecepatan Angin Bergerak	Pengaruh Atas Kenyamanan	Efek Penyegaran pada Suhu 30 °C
<0.25 m/detik	Tidak dapat dirasakan	0 °C
0.25-0.5 m/detik	Paling nyaman	0.5-0.7 °C
0.5-1 m/detik	Masih nyaman tetapi Gerakan udara dapat dirasakan	1-1.2 °C
1-1.5 m/detik	Kecepatan maksimal	1.7-2.2 °C

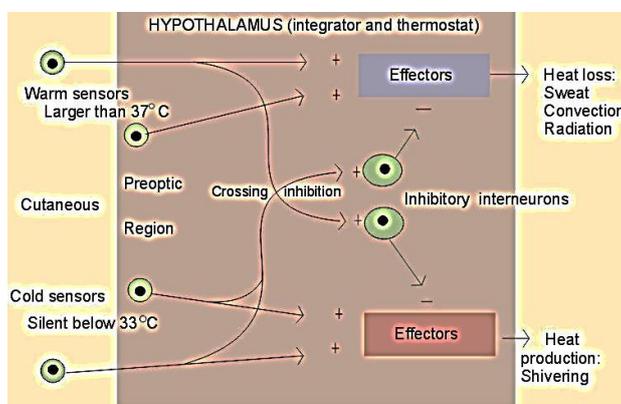
Sumber: Ilmu Fisika Bangunan, Heinz Frick (Hendarto, 2010: 4)

Hembusan angin di muka bumi, sampai titik ketinggian tertentu berbeda kecepatannya, begitu juga pada kondisi permukaan berbeda. Diagram berikut kecepatan angin pada tiga kondisi muka tanah berbeda.

## 8. Panas Tubuh Manusia

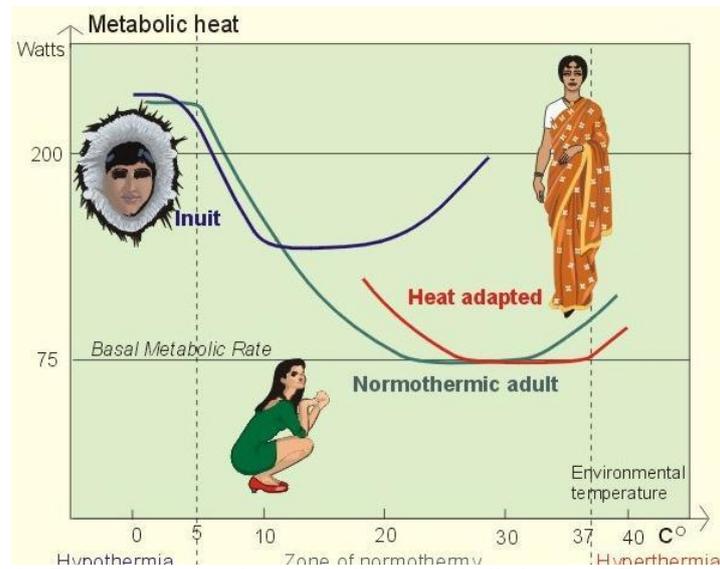
Faktor yang mempengaruhi sensasi termal suatu ruangan di antaranya panas tubuh manusia sendiri. Panas tubuh manusia pada kulit berkisar 28.2-37.2 °C dan panas dalam tubuh berkisar 35.7-37.5 °C. (<http://www.healthyheating.com>). Tubuh manusia akan melepaskan panas ketika mengalami kenaikan suhu.

Tubuh manusia mempunyai sensor panas dan dingin (human thermo control) yang bekerja sampai suhu dalam batas tertentu. Sensor panas (Warm Sensors) akan bekerja sampai suhu 37 °C. kemudian melepas panas, sedang sensor dingin (Cold Sensors) berhenti bekerja (Silent) di bawah suhu 33 °C akan memproduksi panas.



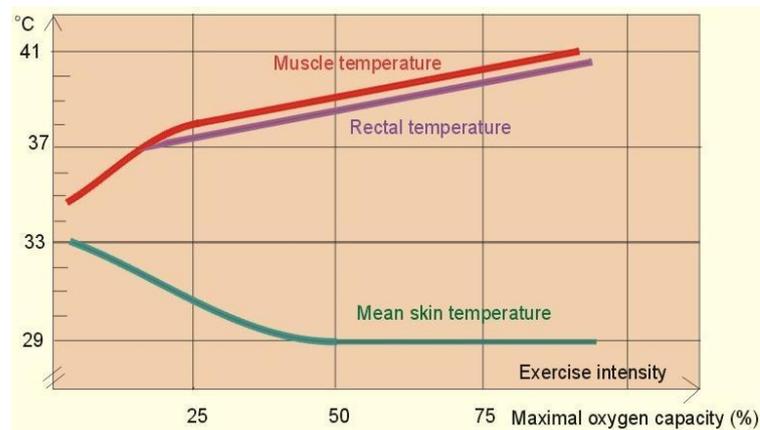
Gambar 7. Human thermocontrol (Calleja and Paulev, 2004: Section V; Chapter 21).

Tubuh manusia juga mempunyai kemampuan beradaptasi dengan panas dan dingin dalam batas suhu tertentu. (Gambar 9).



Gambar 8. Panas dan adaptasi dingin (Calleja and Paulev, 2004: Section V; Chapter 21)

Ketika beraktivitas, suhu tubuh (otot) manusia bisa mengalami kenaikan dalam batas tertentu, sebaliknya suhu kulit mengalami penurunan dalam batas tertentu pula. (Gambar 9).



Gambar 9. Temperatur (muscle, rectal & skin) selama berolahraga (Calleja dan Paulev, 2004: Sesi V; Chapter 21).

## 9. Kelembaban Zona Nyaman

Uap air berperan penting dalam menyerap radiasi, sehingga berpengaruh besar dalam pemanasan udara. (Laksitoadi, 2008). Kelembaban udara yang tinggi mengakibatkan keringat pada tubuh manusia tidak cepat kering karena udara sudah jenuh uap air. Menurut Mangunwijaya kelembaban udara bisa dikurangi dengan panas matahari, ruang yang sulit mendapat sinar matahari, dengan hembusan udara (Laksitoadi, 2008). Sebaliknya kelembaban udara yang kecil, berakibat kulit kering, bibir pecah-pecah, iritasi mata dan selaput lendir.

Kelembaban udara yang nyaman bagi tubuh berkisar antara 40% - 70% (Laksitoadi, 2008).

## 10. Metabolisme Aktivitas Tubuh

Nilai Activity Rate yang sesuai dengan jenis aktivitasnya bersama lima data yang lain untuk menghitung sensasi termal dengan software Comfort Calculator Online.

## 11. Nilai Insulasi Pakaian

Insulasi termal bahan pakaian yang dipakai dinyatakan dalam clo (clothing), yaitu: 1 clo = 0,155 m<sup>2</sup>.K/Watt. (SNI 03-6572-2001: 14). Untuk menghitung seluruh Clo dari pakaian yang dipakai, dipakai rumus (SNI 03-6572-2001: 15):

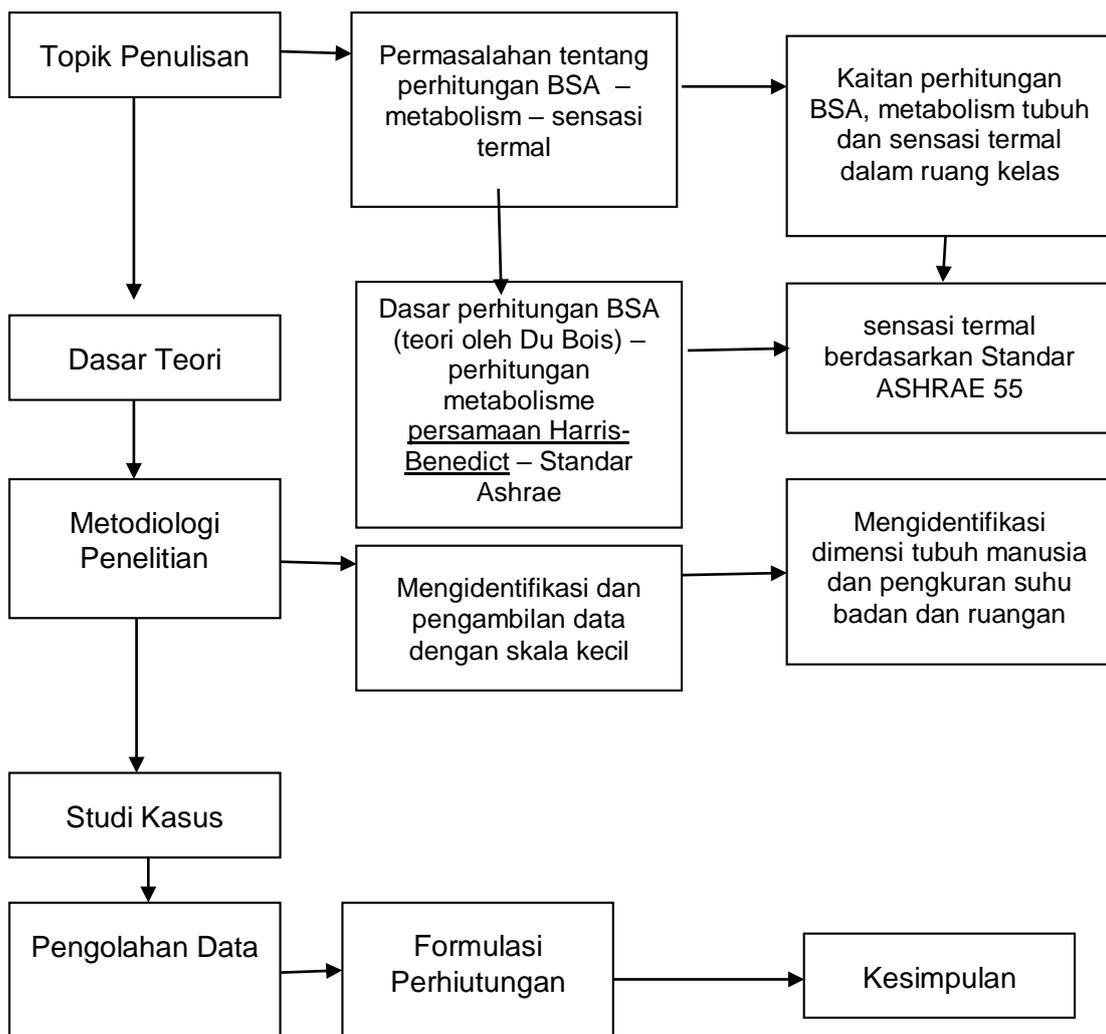
$$\text{Clo (Pria)} = 0,727 \cdot S \text{ (masing-masing clo)} + 0,113 \quad (5)$$

$$\text{Clo (wanita)} = 0,770. \text{ S (masing-masing clo)} + 0,050 \quad (6)$$

Standar insulasi pakaian diambil dari (SNI 03-6572-2001: 14)

Insulasi Panas dari material pakaian bisa diukur dan distandarisasi yang biasanya dilakukan dengan menggunakan sampel dari material dan peralatan untuk diukur aliran temperatur panas, insulasi termal bisa dikalkulasikan.

### G. Kerangka Konsep



Gambar 10. Kerangka Konsep Penelitian

## H. Kebaharuan Penelitian

Penggunaan *Body Surface Area* (BSA) untuk menganalisis sensasi termal manusia tidak umum di Indonesia. Sebagian besar studi sensasi termal di Indonesia didasarkan pada parameter lingkungan termal yaitu suhu udara, kelembaban relatif, suhu radiasi, dan kecepatan udara. Suhu operasi yang merupakan kombinasi dari suhu udara dan suhu radiasi umumnya digunakan untuk menilai sensasi termal responden.

Kebaharuan dalam penelitian ini adalah Pengukuran luas permukaan tubuh manusia dengan berdasarkan metode geometri dan hubungan antara *Body Surface Area* (BSA) dengan Thermal Sensation Vote (TSV), pakaian yang digunakan dan luasan tutupan tubuh antara dengan Thermal Sensation Vote (TSV).