VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA ANALISIS RESPON FISIOLOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA DI SUHU LINGKUNGAN NORMAL

ANDI ISMI PUTERI LATHIFAH

D071201073

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

PERNYATAAN PENGAJUAN

VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA ANALISIS RESPON FISIOLOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA DI SUHU LINGKUNGAN NORMAL

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI ISMI PUTERI LATHIFAH

D071201073

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2024

SKRIPSI

VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA ANALISIS RESPON FISIOLOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA DI SUHU LINGKUNGAN NORMAL

ANDI ISMI PUTERI LATHIFAH
D071201073

Skripsi,
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 02 Desember 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Teknik Industri
Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,

Dr. Eng, Ir. Ilham Bakri, ST., M.Sc.,IPM
NIP. 19750929 199903 1 002

Mengetahui:
Ketua Program Studi

Ir. Kifayah Amar,ST.,M.Sc.,Ph.D.,IPU
NIP. 19740621 200604 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Verifikasi Kinerja Desain Baru Sensor Suhu Timpani Serta Analisis Respon Fisiologis Pada Tiga Tingkat Kategori Usia Di Suhu Lingkungan Normal" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 02 Desember 2024

Andi Ismi Puteri Lathifah
D071201073

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadirat Allah *Subhaanahu wa ta'ala*, yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi kita yaitu Nabi Muhammad *Shallallaahu 'Alaihi Wasallam*. Alhamdulillah, atas izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang berjudul "**Verifikasi Kinerja Desain Baru Sensor Suhu Timpani Serta Analisis Respon Fisiologis Pada Tiga Tingkat Kategori Usia Di Suhu Lingkungan Normal**" sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana (S.T) pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama pelaksanaan dan penulisan Tugas Akhir ini, penulis banyak menemui kesulitan dan hambatan dalam menyelesaikannya. Namun, dibalik kesulitan dan hambatan tersebut selalu ada hikmah yang dapat diambil. Penulis juga menyadari banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua (A. Lutfi Pandita dan Threesye Suhaeb), yang menjadi motivasi terbesar penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini dan memperoleh gelar sarjana. Terima kasih untuk semua doa, dukungan, dan materi yang diberikan hingga penulis mampu menyelesaikan studi sampai gelar sarjana. Serta Adik-adik penulis (A. Rafi Putera Lutfi dan A. Ghasani Fatiyah Puteri Lutfi), yang juga menjadi motivasi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Ir. Kifayah Amar, S.T., M.Sc., Ph.D, IPU. selaku Ketua Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa memberikan arahan dan masukan selama penelitian, penyusunan hingga penulisan tugas akhir ini selesai.
4. Bapak Dr. Ir. Sapta Asmal, ST., MT dan Ibu Ir. Megasari Kurnia, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang banyak memberikan saran dan masukannya dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Segenap dosen dan staf administrasi Departemen Teknik Industri yang membantu penulis dalam pemenuhan perlengkapan penelitian dan urusan administrasi hingga gelar sarjana tercapai.
6. Seluruh responden penelitian yang berpartisipasi dalam pengambilan data atas kesediaan dan kerja samanya, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
7. Teman seperjuangan penelitian (Eka Mustikawaty) yang membersamai, senantiasa membantu, dan saling mendukung dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Teman-teman angkatan RE20URCE yang selalu membersamai setiap masa perkuliahan dan menemani penulis dari tahun 2020 hingga sekarang dan selalu memberikan bantuan serta dorongan semangatnya.
9. Keluarga asisten Laboratorium Perancangan Sistem Kerja, Ergonomi, dan K3 FT-UH atas kerjasamanya selama ini.
10. Teman-teman cacarzz teknik dan teman-teman SIBER Junior yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
11. Serta seluruh pihak yang tidak bisa penulis tuliskan namanya satu persatu yang telah membantu penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga segala doa, dukungan dan motivasinya yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan pahala yang belipat ganda dari Allah *Subhaanahu wa ta'ala*

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dengan keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca guna perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan penambah pengetahuan bagi pembaca, serta dapat dijadikan referensi demi pengembangan yang lebih baik di masa depan.

Gowa, 2024

Penulis

ABSTRAK

ANDI ISMI PUTERI LATHIFAH. **VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA ANALISIS RESPON FISIOLOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA DI SUHU LINGKUNGAN NORMAL** (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM).

Latar Belakang. Gerak adalah aktivitas yang melekat pada setiap individu, tetapi tingkat kesadaran akan pentingnya aktivitas fisik untuk kesehatan masih rendah, terutama di Indonesia. Suhu inti tubuh dipengaruhi oleh intensitas aktivitas fisik dan suhu lingkungan. Pengukuran suhu inti tubuh melalui membran timpani, menggunakan alat *tympani thermistor* komersil memiliki keterbatasan teknis dan aksesibilitas data. **Tujuan**. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur suhu inti tubuh dan respon fisiologis (*heart rate*) pada tiga kategori usia di suhu lingkungan normal serta menganalisis perbandingan hasil pengukuran sensor suhu timpani komersil dengan sensor suhu rancangan laboratorium. **Metode**. Penelitian eksperimental yang mengukur suhu inti tubuh (suhu timpani) menggunakan alat timpani komersil (*tympani thermistor*) dan alat timpani rancangan laboratorium pada suhu dan kelembaban (23°C, 50-70%). Pengkuran respon fisiologis (*heart rate*) menggunakan *Polar Watch*. Partisipan terdiri dari 24 orang yang terbagi atas tiga kategori usia yaitu *aarly adulthood* (22-27 tahun), *middle adulthood* (35-40 tahun), dan *late adulthood* (50-55 tahun). **Hasil**. Hasil penelitian menunjukkan suhu inti tubuh (suhu timpani) meningkat pada ketiga kategori usia saat melakukan aktivitas fisik di lingkungan kerja normal. Suhu tertinggi dicapai oleh responden dalam kategori usia *middle adulthood*, diikuti oleh kategori *early adulthood*, dan yang terendah terdapat pada kategori *late adulthood*. Hasil uji ICC dan grafik Bland-Altman menunjukkan bahwa alat ukur rancangan laboratorium memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan konsisten di berbagai kondisi. Reliabilitas yang sangat baik di sebagian besar kondisi menunjukkan bahwa alat ini mampu memberikan hasil pengukuran suhu yang andal. Hasil pengukuran *Heart Rate* (HR) juga menunjukkan adanya perbedaan respon nilai HR maksimum pada ketiga kategori usia, dengan HR tertinggi untuk usia *middle adulthood*, diikuti oleh kategori *early adulthood*, dan yang terendah terdapat pada kategori *late adulthood*. Selain itu, diperoleh adanya peningkatan detak jantung pada aktivitas fisik dengan beban apabila dibandingkan dengan aktivitas tanpa beban.

Kata Kunci: suhu timpani, respon fisiologis, termoregulasi, kenyamanan termal, perbandingan usia, aktivitas fisik.

ABSTRACT

ANDI ISMI PUTERI LATHIFAH. ***VERIFICATION OF A NEW TYMPANIC TEMPERATURE SENSOR DESIGN AND PHYSIOLOGICAL RESPONSE ANALYSIS AT THREE AGE CATEGORY IN NORMAL AMBIENT TEMPERATURE*****.** (*supervised by* Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM).

Background*. Movement is an inherent activity in every individual, but the level of awareness of the importance of physical activity for health is still low, especially in Indonesia. Core body temperature is influenced by the intensity of physical activity and environmental temperature. Measurement of core body temperature through the tympanic membrane, using a commercial tympani thermistor has technical limitations and data accessibility.* ***Aim****. The aim of this study is to measure core body temperature and physiological response (heart rate) in three age groups at normal ambient temperature and to analyze the comparison of measurement results of commercial tympanic temperature sensors with laboratory developed temperature sensors.* ***Methods****. An experimental study measuring core body temperature (tympanic temperature) using a commercial tympanic device (tympanic thermistor) and a laboratory-designed tympanic device at temperature and humidity (23°C, 50-70%). Physiological response (heart rate) was measured with a Polar Watch. There were 24 participants divided into three age groups: early adulthood (22-27 years), middle adulthood (35-40 years), and late adulthood (50-55 years).* ***Results****. The results showed that core body temperature (tympanic temperature) increased in all three age categories during physical activity in a normal work environment. The highest temperature was reached by respondents in the middle adulthood category, followed by the early adulthood category, and the lowest temperature was reached by the late adulthood category. The results of the ICC test and the Bland-Altman plot show that the laboratory-developed device has a high level of accuracy and is consistent under different conditions. The excellent reliability under most conditions shows that this device is capable of providing reliable temperature measurement results. Heart Rate (HR) measurement results also showed a difference in the maximum HR value response in the three age categories, with the highest HR for the youngest age group.*

Keywords: *tympanic temperature, physiological response, thermoregulation, thermal comfort, age comparison, physical activity*.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL ..... **i**
PERNYATAAN PENGAJUAN ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iii**
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ..... **iv**
UCAPAN TERIMA KASIH ..... **v**
ABSTRAK ..... **vii**
ABSTRACT ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **ix**
DAFTAR TABEL ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 4
1.6 Landasan Teori 4
1.7 Penelitian Terdahulu 9
BAB II METODOLOGI PENELITIAN **13**
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian 13
2.2 Jenis Data 13
2.3 Subjek Penelitian 14
2.4 Protokol Eksperimen 15
2.5 Alat Pengumpulan Data 16
2.6 Teknik Analisis 22
2.7 Alur Penelitian 23
2.8 Kerangka Pikir 24
2.9 Prosedur Pengambilan Data 25
BAB III HASIL PENELITIAN **27**
3.1 Karakteristik Responden 27
3.2 Perbandingan Hasil Pengukuran Suhu Timpani 28
3.3 Perbandingan Hasil Pengukuran *Heart Rate* 37
3.4 Verifikasi Alat Ukur Timpani Rancangan Laboratorium 40
BAB IV PEMBAHASAN **46**
4.1 Analisis Hasil Pengukuran Suhu Timpani 46
4.2 Analisis Hasil Pengukuran *Heart Rate* 49
4.3 Analisis Hasil Verifikasi Alat Ukur Rancangan Laboratorium 50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN **52**
5.1 Kesimpulan 52
5.2 Saran 53
DAFTAR PUSTAKA **54**
LAMPIRAN **57**

DAFTAR TABEL

Nomor Urut Halaman

1. Rata-rata suhu timpani menggunakan alat timpani komersil 3
2. Kategori nilai VO_2Max 5
3. Batas kenyamanan termal SNI T-14-1993- 03 9
4. Penelitian terdahulu 9
5. Kategori BMI 14
6. Kriteria statistik ICC 22
7. Prosedur pengambilan data 25
8. Karakteristik responden 27
9. Rekapitulasi bias dan *Limit of Agreement* (LoA) 44
10. Hasil pengujian ICC 45
11. Rekapitulasi data suhu timpani alat komersil 47
12. Rekapitulasi data suhu timpani alat ukur rancangan laboratorium 47
13. Rekapitulasi data HR 49

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut Halaman

1.Tempat penelitian....13
2. AC central Daikin 16
3. AC split Sharp 16
4. *Treadmill* JACO JC 822....17
5. *Tympani thermistor* 18
6. LT-8 Series....18
7. Sensor timpani rancangan laboratorium 19
8. Tampilan suhu melalui Serial *Bluetooth* Terminal....19
9. Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang 20
10. *Polar Watch* M200 20
11. Aplikasi *Polar Flow* 21
12. Website *Polar Flow* 21
13. Flowchart alur penelitian 23
14. Kerangka Pikir....24
15. Prosedur Penelitian....26
16. Grafik suhu timpani tanpa beban kelompok usia EA per menit 28
17. Grafik suhu timpani dengan beban kelompok usia EA per menit 29
18. Grafik suhu timpani komersil kelompok usia EA per menit 30
19. Grafik suhu timpani rancangan laboratorium usia kelompok EA per menit 31
20. Grafik suhu timpani tanpa beban kelompok usia MA per menit 32
21. Grafik suhu timpani dengan beban kelompok usia MA per menit 33
22. Grafik suhu timpani komersil kelompok usia MA per menit....34
23. Grafik suhu timpani rancangan laboratorium kelompok usia MA per menit 35
24. Grafik suhu timpani tanpa beban kelompok usia LA per menit 36
25. Grafik *heart rate* kelompok usia EA per menit....37
26. Grafik *heart rate* kelompok usia MA per menit 38
27. Grafik *heart rate* kelompok usia LA per menit 39
28. Grafik plot Bland-Altman pada kelompok usia EA tanpa beban....40
29. Grafik plot Bland-Altman pada kelompok usia EA dengan beban....41
30. Grafik plot Bland-Altman pada kelompok usia MA tanpa beban 42
31. Grafik plot Bland-Altman pada kelompok usia MA dengan beban 43
32. Grafik plot Bland-Altman pada kelompok usia LA tanpa beban 44

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut Halaman

1. Hasil VO2max responden 57
2. Dataset chip MLX90614 61
3. Grafik rata-rata suhu dan kelembaban ruangan (normal) 62
4. Hasil uji ICC pada kelompok usia EA 62
5. Hasil uji ICC pada kelompok usia MA 63
6. Hasil uji ICC pada kelompok usia LA 63
7. Dokumentasi pengambilan data 64

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gerak adalah aktivitas yang melekat pada setiap individu. Manusia tidak pernah berhenti bergerak bahkan disaat seorang tidur, karena tanpa disadari manusia tetap bergerak untuk memompa darah ke seluruh tubuh walaupun setiap orang memiliki aktivitas yang berbeda-beda setiap saat. Namun, seiring berkembangnya teknologi dari semua bidang yang ada, maka tingkat kesadaran akan bergerak atau beraktivitas fisik yang sangat penting untuk kesehatan manusia sangat rendah. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia (2020) usia produktif penduduk adalah pada usia 15-64 tahun dengan persentase 70,72% dari keseluruhan populasi. *World Health Organization* (WHO, 2018) menyebutkan, secara global satu dari empat orang (23%) orang dewasa di dunia kurang melakukan aktivitas fisik. Di Indonesia, berdasarkan hasil riset kesehatan dasar (Riskesdas) tahun 2018 yang dilakukan oleh Kementerian Kesehatan RI menunjukkan bahwa 33,5% penduduk Indonesia dengan usia ≥10 tahun memiliki aktivitas fisik pada level kurang (Kemenkes RI, 2019). Rendahnya kebugaran fisik disebabkan oleh rendah kualitas kesehatan dan gaya hidup yang kurang bergerak menyebabkan produktifitas kerja yang rendah. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Mayzarah dkk. (2023) bahwa terdapat pengaruh aktivitas fisik terhadap produktivitas kerja, pegawai yang mengatakan sering melakukan aktivitas fisik cenderung lebih aktif bekerja dibanding pegawai yang jarang melakukan aktivitas fisik.

Menurut Kuntaraf (2009) dalam Sandi, dkk. (2017), dampak langsung dari latihan fisik adalah peningkatan terhadap frekuensi tekanan darah, pernapasan, frekuensi denyut jantung, dan suhu tubuh. Suhu tubuh manusia terbagi atas 2 yaitu, suhu inti dan suhu kulit. Ada perbedaan yang cukup signifikan, sekitar 4°C, antara suhu inti dan suhu permukaan tubuh. Intensitas latihan berpengaruh secara langsung pada suhu tubuh, semakin tinggi intensitas latihan yang dilakukan, makin tinggi pula peningkatan suhu yang terjadi pada tubuh. Dalam kondisi tersebut, suhu pada jaringan perifer tubuh (kulit dan otot) merefleksikan suhu lingkungan di sekitarnya. Suhu dari jaringan-jaringan perifer tubuh, merefleksikan laju metabolisme dan lingkungan sekitar (Graha 2010).

Suhu inti tubuh juga sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungannya. Suhu inti tubuh dapat meningkat seiring dengan adanya perbedaan suhu lingkungan dan kelembaban udara yang relatif tinggi. Nilai kenyamanan suhu dilihat dari kondisi udara tidak ekstrim (*moderate thermal environment*), dimana manusia tidak memerlukan usaha apapun, seperti menggigil atau mengeluarkan keringat, untuk mempertahankan suhu tubuh agar tetap normal (Kotta, 2008). Suhu lingkungan kerja yang panas dapat menyebabkan para pekerja cepat lelah dan berkeringat, sedangkan bekerja pada suhu lingkungan kerja yang rendah juga dapat mengganggu ketangkasan (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 70,

2016). Suhu nyaman diperlukan manusia untuk mengoptimalkan produktivitas kerja yang berdasarkan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia No. 5 (2018) tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja bahwa suhu ruangan nyaman untuk pekerja adalah 23-26ºC serta kelembaban 40-60%.

Pengukuran suhu tubuh sangat bermanfaat sebagai salah satu petunjuk penting untuk deteksi awal adanya suatu penyakit. Pemeriksaan suhu tubuh digunakan untuk menilai kondisi metabolisme di dalam tubuh, dimana tubuh akan menghasilkan panas secara kimiawi melalui metabolisme. Salah satu metabolisme dalam tubuh manusia adalah metabolisme suhu tubuh atau termogulasi (Paramudita dkk., 2021). Suhu normal manusia dikenal sebagai *normothermia* adalah sebuah konsep yang tergantung pada tempat dibagian tubuh mana pengukuran dilakukan. Bagian tubuh yang berbeda memiliki temperatur yang berbeda. El-Radhi (2009) dalam Paramudita dkk. (2021), menyatakan bahwa suhu inti tubuh rata-rata adalah 37,5°C. Nilai suhu tubuh juga ditentukan oleh lokasi pengukuran. Adapun lokasi pengukuran suhu inti yaitu, *rectum*, *membrane timpani*, *arteri temporalis*, *arteri pulomonalis*, *esophagus* dan kandung kemih.

Membran timpani merupakan tempat yang sangat baik karena gendang telinga dan hipotalamus (pusat pengukuran suhu) diperfusi oleh sirkulasi yang sama. Suhu timpani dianggap mewakili suhu inti tubuh (*core body temperature*) karena membran timpani dan hipotalamus disuplai oleh arteri yang sama, yakni arteri karotis (Yeoh dkk., 2017). Pengukuran suhu timpani mudah dilakukan, memberi hasil dengan cepat, dan bersifat higienis. Fever (2009) menyatakan suhu normal melalui membran timpani (selaput tipis yang membatasi liang telinga dengan liang telinga bagian tengah) yaitu sekitas 35,7-37,5ºC.

Alat pengukuran suhu timpani yang saat ini tersedia dan dapat digunakan untuk melakukan perekaman pengukuran suhu secara terus-menerus pada pekerja industri selama bekerja, bukan untuk pengukuran sekali seperti pada penggunaan sehari-hari, yaitu *tympani thermistor*, yang juga dikenal sebagai termometer telinga atau termometer inframerah telinga yang diproduksi oleh perusahaan Nikkiso-Therm Co., Ltd**.** Perusahaan tersebut merupakan perusahaan Jepang yang dikenal sebagai salah satu produsen terkemuka berbagai jenis sensor. Perusahaan ini memiliki reputasi baik dalam memproduksi produk-produk berkualitas tinggi dengan tingkat presisi yang tinggi. Namun, mahalnya harga beli dan proses pengadaan alat ini tergolong sulit untuk dilakukan karena proses jual beli tidak dapat dilakukan antar negara. Selain itu, terdapat keterbatasan dalam aksesibilitas data yang telah direkam karena proses *export* data suhu yang terekam yang memungkinkan data yang terekam dapat hilang jika alat dimatikan sebelum dilakukan *export* data dan tidak ada cadangan data (*backup*). Alat ini hanya mendukung sistem operasi Windows 7, di era teknologi yang telah berkembang pesat dan beralih ke sistem operasi yang lebih baru. Sebagai alternatif, dikembangkan alat ukur sensor suhu timpani hasil rancangan laboratorium Perancangan Sistem Kerja, Ergonomi & K3 FT-UH bekerja sama dengan laboratorium *Cognitive Social Robotics and Advance Artificial Intelligence* sebagai perancang. Adapun kelebihan dari sensor timpani rancangan laboratorium yang peneliti teliti yaitu dapat menampilkan hasil pengukuran suhu

secara *real time* yang dapat secara langsung ditinjau menggunakan *smartphone.* Data yang telah direkam juga tersimpan secara otomatis pada SD *card* sehingga data yang telah direkam akan otomatis ter-*back up* dan dapat diakses kapan saja. Dalam penelitian ini, akan dilakukan verifikasi data hasil pengukuran suhu tubuh pada membran timpani menggunakan alat ukur sensor suhu timpani tersebut, serta membandingkan hasil pengukurannya dengan termometer timpani komersil pada tiga kategori usia dewasa yaitu *early adulthood* (22-27 tahun), *middle adulthood* (35-40 tahun) dan *late adulthood* (50-55 tahun) untuk meninjau sensitivitas alat apabila digunakan di beberapa usia yang berbeda. Data rata-rata suhu timpani dengan alat timpani komersil ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rata-rata suhu timpani menggunakan alat timpani komersil

Kondisi	**Kategori Usia**		
	Early Adulthood	*Middle Adulthood*	*Late Adulthood*
Tanpa Beban	36,43	36,53	36,18
Ada Beban	36,44	36,49	-

Usia dewasa cenderung memiliki fisiologi tubuh yang lebih stabil dibandingkan anak-anak/remaja yang sedang mengalami pertumbuhan atau lansia yang mengalami penurunan fungsi tubuh di mana respon fisiologis optimal dicapai saat beraktivitas dicapai saat usia 20 tahun dan kembali menurun saat mencapai usia 50 tahun.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis ingin mengetahui lebih dalam mengenai hasil Verifikasi Sensor Suhu Pada Membran Timpani Guna Menganalisis Respon Fisiologis pada Tiga Kategori Usia dengan Pengujian di Lingkungan Normal sebagai berikut:

a. Bagaimana pengukuran suhu inti tubuh pada saluran pendengaran (*ear canal temperature)* pada tiga kategori umur berbeda di lingkungan kerja normal?
b. Apakah terdapat perbedaan pada hasil pengukuran apabila dibandingkan antara hasil pengukuran sensor suhu buatan dengan sensor suhu komersil?
c. Bagaimana hasil respon fisiologis pada tiga kategori usia setelah melakukan aktivitas fisik di lingkungan kerja normal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan. Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mengukur suhu inti tubuh pada saluran pendengaran (*ear canal temperature)* pada tiga kategori umur berbeda di lingkungan kerja normal.
b. Menganalisis perbedaan pada hasil pengukuran sensor suhu rancangan laboratorium dengan sensor suhu komersil.
c. Menganalisis hasil respon fisiologis pada tiga kategori usia setelah melakukan aktivitas fisik di lingkungan kerja normal.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagi penulis
   Penelitian ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian ini dapat digunakan sebagai metode pengajaran untuk membantu penulis mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan menerapkan pengetahuan yang telah diperoleh selama ini.
b. Bagi universitas
   Universitas dapat menggunakan dan menyebarluaskan hasil yang diperoleh dari penelitian ini serta dapat digunakan sebagai bahan rujukan dan pengembangan di masa yang akan datang.

1.5 Batasan Masalah

Masalah yang akan diteliti perlu dibatasi agar penelitian mengarah pada tujuan yang diharapkan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Penelitian ini hanya menggunakan tiga kategori usia (22-27 tahun, 35-40 tahun, dan 50-55 tahun) sebagai subjek penelitian. Namun, proses pengambilan data VO_2max hanya dilakukan pada kategori usia 22-27 tahun dan 35-40 tahun.
b. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan suhu 23^{o}C dalam melakukan proses pengambilan data.
c. Peneliti ini hanya membandingkan hasil pengukuran suhu timpani buatan laboratorium dengan termometer timpani produk dari perusahaan "Nikkiso-Therm Co., Ltd.
d. Peneliti hanya melakukan pengujian dan validasi hasil pengukuran dan tidak berperan sebagai perancang dalam pembuatan alat sensor baru.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Aktivitas fisik

Aktivitas fisik adalah aktivitas yang dilakukan yang merupakan akibat dari kontraksi otot dengan melibatkan sistem lokomotorik untuk menjalankan kegiatan sehari-hari. Aktivitas fisik dalam kehidupan sehari-hari dapat dikategorikan ke dalam pekerjaan, olahraga, kegiatan dalam rumah tangga ataupun kegiatan lainnya (Ariyanto, dkk., 2020). Menurut WHO (2020), aktivitas fisik yang teratur, seperti jalan kaki, bersepeda, berolahraga atau rekreasi aktif, memberikan manfaat yang signifikan bagi kesehatan.

Ambardini (2009) dalam Sari dkk. (2021) menyatakan bahwa secara fisiologis, olahraga atau aktivitas fisik mampu meningkatkan kapasitas aerobik, kekuatan, fleksibilitas, dan keseimbangan. Secara psikologis, aktivitas ini dapat meningkatkan suasana hati, mengurangi risiko lupa, serta mencegah depresi. Sementara itu, dari

sisi sosial, aktivitas fisik mampu mengurangi ketergantungan pada orang lain, memperluas jaringan pertemanan, dan meningkatkan produktivitas.

1.6.2 Volume Oksigen Maksimum (VO_2Max)

VO_2Max merupakan jumlah maksimum oksigen yang bisa digunakan dalam satu menit dan merupakan tingkat penggunaan oksigen pada puncak *metabolism aerobic*. VO_2Max merupakan kapasitas aerobik optimal yang menggambarkan jumlah maksimum oksigen yang digunakan seseorang dalam satu waktu selama latihan atas uji secara terus menerus sampai merasa kelelahan (Indrayana & Yuliawan, 2019).
VO_2Max dinyatakan sebagai volume total oksigen yang digunakan permenit (ml/menit). Semakin banyak massa otot seseorang, semakin banyak pula oksigen (ml/menit) yang digunakan selama latihan maximum. Untuk menyesuaikan perbedaan ukuran tubuh dan massa otot, VO_2Max dapat dinyatakan sebagai jumlah maksimum oksigen dalam mililiter, yang dapat digunakan dalam satu menit per kilogram berat badan (ml/kg/menit). Kemampuan jaringan untuk mengambil oksigen berbeda-beda sesuai dengan kemampuan ekstraksi oksigennya atau tingkat VO_2Max-nya. Semakin tinggi VO_2Max seseorang maka semakin lama kemampuan otot melakukan kerja artinya otot tidak cepat lelah, sebaliknya semakin rendah VO_2Max seseorang maka semakin cepat kemampuan otot melakukan kerja, sehingga otot menjadi cepat lelah (Aliman dkk., 2023).
Salah satu tes pengukuran VO_2Max adalah *Multistage Fitnes Test* / *Bleep Test* merupakan tes yang menggunakan irama musik dan pelaksanaannya yaitu iramanya secara bertahap dari tahap satu ketahap berikutnya frekuensinya semakin meningkat (Widodo et al., 2021). *Multistage Fitness Test* (MFT) adalah metode tes yang paling mudah untuk digunakan. Hal ini disebabkan karena pada saat pelaksanaan tes MFT tidak memerlukan lintasan lari yang terlalu panjang yaitu hanya sekitar 20 meter. Selain itu, hasil tes yang berupa tingkat VO_2Max dapat langsung dilihat pada tabel hasil MFT tanpa perlu melakukan perhitungan terlebih dahulu. Tabel 1 merupakan pembagian kategori nilai VO_2Max berdasarkan kategori umur.

Tabel 2. Kategori nilai VO_2Max

No.	Kategori Umur untuk Laki-Laki (ml/kg/menit)					Klasifikasi
	20-29	30-39	40-49	50-59	>60	
1.	>53	>49	>45	>43	>41	Tinggi
2.	43-52	39-48	36-44	34-42	31-40	Bagus
3.	34-42	31-38	27-35	25-33	23-30	Cukup
4.	25-33	23-30	20-26	18-24	16-22	Sedang
5.	<24	<22	<19	<17	<15	Rendah

(Agus, 2012)

1.6.3 Suhu tubuh

Suhu tubuh adalah perbandingan antara jumlah produksi panas yang dihasilkan dan pengeluaran panas dari tubuh yang diukur dalam unit panas yang disebut derajat. Suhu tubuh yang normal adalah 35,8°C-37,5°C. Pada pagi hari suhu akan mendekati

35,5°C, sedangkan pada malam hari mendekati 37,7°C (Paramudita et al., 2021). Suhu tubuh manusia diatur dengan mekanisme umpan balik (*feedback*) yang diperankan oleh pusat pengaturan suhu di hipotalamus. Apabila pusat temperatur hipotalamus mendeteksi suhu yang terlalu panas, tubuh akan melakukan mekanisme umpan balik. Mekanisme umpan balik ini terjadi bila suhu inti tubuh telah melawati batas toleransi tubuh untuk mempertahankan suhu, yang disebut titik tetap (*set point*). Titik tetap tubuh dipertahankan agar suhu tubuh inti konstan pada 37°C. Apabila suhu tubuh meningkat lebih dari titik tetap, hipotalamus akan merangsang untuk melakukan serangkaian mekanisme untuk mempertahankan suhu dengan cara menurunkan produksi panas dan meningkatkan pengeluaran panas sehingga suhu kembali pada titik tetap. Beberapa faktor yang mempengaruhi suhu tubuh antara lain suhu lingkungan, latihan (*exercise*), variasi diurnal, umur, jenis kelamin, hormon tiroid, kelembapan udara, obat-obatan dan imunisasi, kafein, merokok, obesitas, stres, asupan makanan, dan alkohol (Paramudita dkk., 2021)

1.6.4 Klasifikasi suhu tubuh

Menurut Paramudita (2021) suhu tubuh pada manusia terdiri dari 2 jenis, yaitu:

a. *Core temperature* (suhu tubuh inti)
   Suhu inti adalah suhu dari tubuh bagian dalam terdiri dari organ bagian dalam tubuh yang terdiri dari organ abdominal (hati, limpa, usus, ginjal, kelenjar adrenal), organ thorakal (jantung, paru), susunan saraf pusat (otak, sumsum tulang belakang), dan otot rangka. Suhu inti besarnya dipertahankan konstan, sekitar 36,4 – 37,0°C dari hari ke hari, kecuali bila seseorang mengalami demam. Lokasi pengukuran suhu inti yaitu *rectum*, *membrane timpani*, *arteri temporalis*, *arteri pulomonalis*, *esophagus* dan kandung kemih. Chen dkk. (2022) menyimpulkan berdasarkan hasil penelitiannya bahwa suhu yang diukur serentak di mulut, ketiak, dan pelepasan (rektum) biasanya berbeda meskipun tidak lebih dari 1°C. Hasil pengukuran pelepasan suhu biasanya yang tertinggi, sehingga suhu ini dianggap sebagai petunjuk yang terbaik bagi suhu inti tubuh. Saat keadaan normal, suhu inti tubuh relatif stabil, keadaan ini dapat dipertahankan karena panas yang terbentuk dari hasil metabolisme tubuh secara terus menerus dikeluarkan pada lingkungan sekitar. Dengan demikian, terdapat keseimbangan antara pembentukkan dan pengeluaran panas, dan hal inilah yang menyebabkan suhu tubuh relatif konstan (Graha, 2010).
b. *Surface temperature* (suhu tubuh permukaan)
   Suhu permukaan adalah suhu dari tubuh bagian luar yaitu pada kulit, jaringan subcutan, dan lemak. Suhu ini dipengaruhi oleh lingkungan, laju metabolisme, pakaian, dan tingkat hidrasi. Oleh karenanya suhu kulit merujuk pada kemampuan kulit untuk melepaskan panas ke lingkungan. Lokasi suhu permukaan yaitu kulit, oral, dan aksila. Suhu tubuh permukaan mudah diukur secara non-invasif tetapi rentan terhadap faktor lingkungan. Misalnya, kontak yang buruk antara permukaan tubuh dan termometer dapat menyebabkan cacat pengukuran. Minuman panas atau dingin dan aliran pernafasan dapat

mempengaruhi pengukuran suhu tubuh oral. Chen dkk. (2022) menyatakan bahwa suhu tubuh permukaan biasanya lebih rendah dari suhu tubuh inti, dibuktikan dengan hasil pengukuran suhu sublingual dan suhu rektal secara bersamaan pada suatu subjek, suhu tubuh sublingual kira-kira 0,5 °C lebih rendah dibandingkan suhu tubuh rektal.

1.6.5 Tempat pengukuran suhu tubuh

Menurut Hymczak dkk. (2021), ketepatan pemantauan suhu bergantung pada lokasi pengukuran dan sistem pengukuran. Berikut ini beberapa bagian tubuh yang biasanya dijadikan tempat pengukuran suhu tubuh.

a. Suhu rektal
   Termometri rektal secara tradisional dianggap sebagai standar emas untuk pengukuran suhu, namun beberapa penelitian telah mengungkapkan keterbatasan metode ini. Secara klinis, suhu rektal paling banyak digunakan, terutama pada anak-anak. Probe rektal harus dimasukkan ke kedalaman ≥15 cm sehingga sensor suhu dapat diposisikan dekat arteri besar di daerah panggul. Biasanya pembacaan suhu di rektal lebih tinggi dibandingkan suhu di bagian tubuh lainnya. Selain itu, dalam ketidakstabilan sirkulasi, suhu rektal akan lebih rendah dari suhu inti yang sebenarnya. Suhu rektal mengalami perubahan yang lambat sehubungan dengan perubahan suhu inti, dan terbukti tetap tinggi setelah suhu inti pasien mulai turun, dan sebaliknya.
b. Suhu kulit
   Pengukuran permukaan tubuh dilakukan dengan menggunakan termistor yang diaplikasikan pada permukaan kulit atau menggunakan termometer inframerah. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa pengukuran suhu kulit menggunakan kristal cair termofototropik, yang biasanya digunakan untuk perangkat aplikasi dahi, tidak tepat dan sering kali menunjukkan suhu normal meskipun suhu inti meningkat.
c. Suhu oral
   Bagian sublingual mudah diakses dan mencerminkan suhu arteri lingual. Namun, suhu mulut mudah dipengaruhi oleh konsumsi makanan atau minuman baru-baru ini dan pernapasan mulut. Termometri oral bergantung pada mulut yang tetap tertutup rapat, dengan lidah ditekan selama 3 hingga 4 menit. Secara umum, telah dikemukakan bahwa keakuratan termometri oral terletak di antara termometri aksila dan rektal (Leduc dkk., 2000).
d. Suhu aksila
   Meskipun suhu aksila mudah diukur (dibandingkan dengan pengukuran oral atau rektal), ternyata perkiraan suhu inti tubuh pada anak-anak tidak akurat. Jenis pengukuran ini bergantung pada termometer yang ditempatkan tepat di atas arteri aksilaris, dan sebagian besar dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Meskipun sensitivitas dan spesifisitasnya rendah dalam mendeteksi demam, suhu aksila direkomendasikan oleh *American Academy of Pediatrics* sebagai tes skrining

demam pada neonatus karena risiko perforasi rektal dengan termometer rektal (Leduc dkk., 2000).

e. Suhu timpani
   Berbeda dengan tempat pengukuran suhu lainnya, suplai darah membran timpani sangat mirip suhu dan lokasinya dengan darah yang membasahi hipotalamus, tempat pusat termoregulasi tubuh. Oleh karena itu, ini merupakan lokasi yang ideal untuk estimasi suhu inti. Menangis, otitis media, atau kotoran telinga tidak terbukti mengubah pembacaan timpani secara signifikan. Alih-alih bersentuhan langsung dengan membran timpani, termometer timpani saat ini mengukur radiasi termal yang dipancarkan dari membran timpani dan saluran telinga, oleh karena itu disebut detektor emisi radiasi inframerah (IRED). Karena jumlah radiasi termal yang dipancarkan sebanding dengan suhu membran, IRED secara akurat memperkirakan suhu timpani (Leduc dkk., 2000).

1.6.6 Termoregulasi

Termoregulasi merupakan suatu mekanisme yang terjadi pada makhluk hidup untuk mempertahankan suhu internal agar berada dikisaran yang dapat ditorelir. Sistem termoregulasi dikendalikan oleh hypotalamus di otak, yang berfungsi sebagai termostat tubuh. *Hypotalamus* sebagai pusat integrasi termoregulasi tubuh, menerima informasi mengenai suhu di berbagai bagian tubuh dan memulai penyesuaianpenyesuaian yang sangat rumit dalam mekanisme penambahan atau pengurangan panas sesuai dengan keperluan untuk mengkoreksi setiap penyimpangan suhu inti dari patokan normal. *Hypotalamus* mengandung sekelompok sel-sel saraf yang berfungsi sebagai thermostat, merespon suhu tubuh di luar kisaran normal dengan mengaktivasi mekanisme-mekanisme yang mendorong pelepasan atau perolehan panas (Junaidi dkk., 2018).

1.6.7 Standar kenyamanan termal ruang

Kenyamanan termal menggambarkan reaksi seseorang terhadap suhu lingkungannya agar merasa nyaman. Menurut Karyono (2001) dalam Paramudita dkk. (2021) mendefinisikan kenyamanan termal sebagai kemampuan tubuh manusia untuk mempertahankan suhu yang stabil, di mana reseptor sensorik dalam tubuh merespons suhu di sekitarnya.

Pusat kebugaran, yang menyediakan berbagai fasilitas dengan lingkungan yang terkontrol, merupakan ruang umum bagi masyarakat untuk melakukan aktivitas fisik. Namun, standar lingkungan termal yang ada saat ini belum sepenuhnya disesuaikan dengan kondisi aktual saat latihan kebugaran. *American College of Sports Medicine* (ACSM) merekomendasikan suhu udara antara 20°C–22,2°C dengan kelembapan relatif (RH) kurang dari 60% untuk semua area aktivitas fisik. Sementara itu, *International Fitness Association* (IFA) menyarankan suhu udara antara 18,3°C–20°C dengan RH 40%–60% untuk area latihan aerobik, latihan kekuatan, dan pilates (C. Huang dkk., 2021).

Dalam menentukan temperatur dasar atau temperatur referensi, penelitian ini mengacu pada Standar kenyaman termal Indonesia SNI T-14-1993- 03 yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Batas kenyamanan termal SNI T-14-1993- 03

Indikator	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
Sejuk Nyaman	20,5°C – 22,8°C	50%
Ambang Batas	24°C	80%
Nyaman Optimal	22,8°C – 25,8°C	70%
Ambang Batas	28°C	
Hangat Nyaman	25,8°C – 27,1°C	60%
Ambang Batas	31°C	

1.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 4. Penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1.	I Kadek Adi Erawan, I Made Agus Mahardiananta, dan Cokorda Isri Dharmayanti. (2023)	Rancang Bangun Termometer Real Time Berbasis *Internet of Things*	Penelitian dan Pengembangan atau *Research and Development* (R&D)	Hasil menunjukkan tidak terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara termometer digital yang sudah terkalibrasi dengan termometer real time berbasis *IoT* dengan tampilan pada HP, karena nilai siginifikansi yang diperoleh >0,05 yang berarti alat termometer *real time* berbasis *IoT* sama dengan termometer digital yang sudah terkalibrasi.
2.	Zachary J. McKenna, Josh Foster, Whitley C. Atkins, Luke N. Belval, Joseph C. Watso, Caitlin P. Jarrard, Bonnie D. Orth, dan	*Age alters the thermoregulatory responses to extreme heat exposure with accompanying activities of daily living*	Penelitian eksperimental, respon fisiologis pada suhu panas ekstrem. Membandingkan respon usia dewasa muda (18-39 tahun)	Terdapat 2 kondisi perlakuan panas ektrem yaitu (1) kering (47°C dan kelembaban 15%) dan (2) lembab (41°C dan kelembaban 40%). Hasil menunjukkan suhu inti lebih tinggi pada usia dewasa tua untuk kedua

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
	Craig G. Crandall (2023)		dan dewasa tua (≥65 tahun).	kondisi panas ekstrem tersebut.
3.	Naoshi Kakitsuba (2020)	*Effect of change in ambient temperature on core temperature of female subjects during the daytime and its sex differences*	Penelitian eksperimental, respon fisiologis subjek perempuan dengan usia rata-rata 20,8±1,5 tahun	Eksperimen dilakukan untuk 3 kondisi suhu lingkungan yaitu, (1) peningkatan bertahap 26°C-30°C, (2) konstan pada suhu 28°, (3) penurunan bertahap 30°-26°C. Hasil menunjukkan suhu timpani yang meningkat secara signifikan ($p<0,01$) dari 36,1 ± 0,36°C hingga 36,6 ± 0,23°C pada kondisi 1, tetapi hampir tidak ada perubahan pada kondisi 2 dan 3.
4.	Mi-Hyun No dan Hyo-Bum Kwak (2016)	*Effects of Environmental Temperature on Physiological Responses During Submaximal and Maximal Exercises in Soccer Players*	Penelitian eksperimental, pemain sepak bola bersepeda selama 20 menit dengan 3 suhu lingkungan yaitu 10±1◦C, 22±1◦C, dan 35±1◦C.	Respon fisiologis yaitu detak jantung, penyerapan oksigen, konsentrasi asam laktat, dan lama waktu kelelahan lebih rendah pada suhu normal (22±1◦C) dibandingkan dengan suhu dingin (10±1◦C) dan panas (35±1◦C).
5.	Stephen P. Fenemor, Nicholas D. Gill, Stacy T. Sims, C. Martyn Beaven da Matthew W. Driller. (2016)	*Validity of a Tympanic Thermometer and Thermal Imaging Camera for Measuring Core and Skin Temperature during Exercise in the Heat*	Penelitian eksperimental, perbandingan suhu inti tubuh (Tc) menggunakan pil suhu inti ($Tc_{(pill)}$) dan thermometer timpani ($Tc_{(tymp)}$) selama istirahat,	Hasil pengukuran Tc tiadak menghasilkan perbedaan yang signifikan ($p>0,05$), bias rata-rata 0,1°C, koefisien variasi (CV%) 1,0% dan korelasi $r = 0,74$ antar perangkat. $Tc_{(tymp)}$ menunjukkan kesesuain yang dapat diterima dengan $Tc_{(pill)}$.

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
			latihan intensitas sedang 30 menit, dan pemulihan di ruangan suhu 35°C, RH 60%.	
6.	Go Handayani, F Lintong, dan JF Rumampuk (2016)	Pengaruh Aktivitas Berlari Terhadap Tekanan Darah Dan Suhu Pada Pria Dewasa Normal	*Cross-sectional*, pada remaja 18-25 tahun	Hasil pengukuran suhu dimananilai P=0,608>0,05 sehingga dapat dinyatakan bahwa tidak terdapat perubahan yang signifikan antara suhu sebelum dan sesudah berlari pada seorang pria dewasa normal. Ditemukan 20 orang yang mengalami penurunan suhu setelah berlari
7.	Joo-Young Lee, Kouhei Nakao, Naoki Takahashi, Su-Young Son, Ilham Bakri dan Yutaka Tochihara (2011)	*Validity of Infrared Tympanic Temperature for the Evaluation of Heat Strain While Wearing Impermeable Protective Clothing in Hot Environments*	Penelitian eksperimental, perbandingan suhu rektal dan timpani dengan 12 kondisi eksperimental: 2 aktivitas (istirahat dan olahraga), 3 pakaian (pakaian standar control, HDPE, dan PVC), dan dua suhu udara (25 dan 32 dengan RH 50% 35°C	Hasil penelitian menunjukkan pengkuran suhu timpani valid untuk mengevaluasi tekanan panas pekerja yang mengenakan baju pelindung kedap air di lingkungan panas. Namun, penerapannya terbatas hanya untuk pekerjaan berat yang mengenakan pakaian yang memiliki tudung di lingkungan panas.
8.	Heah Ee Man, Chubashini A/P Veloo,	*Comparing the Accuracy of Temperature*	*Cross-sectional*	Suhu tubuh yang diukur dengan termometer dahi inframerah dan

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
	Geshvinder Kaur, Nazreen Shafira Binti Nazeri, Veni Chandrakasan, Yu Chye Wah, Koh Kim Hua. (2023)	*Measurement between Infrared Forehead Thermometer and Tympanic Thermometer*		termometer timpani pada suhu ruangan yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji t (p=0,744) dan nilai kesesuian sebesar 95%.
9.	Gasim I Gasim, Imad R Musa, Mohamed T Abdien dan Ishag Adam. (2013)	*Accuracy of tympanic temperature measurement using an infrared tympanic membrane thermometer*	Data suhu aksila dan timpani diambil secara simultan pada pasien UGD	Dalam penelitian ini, termometri membran timpani sama andal dan akuratnya dengan termometri kaca merkuri aksila. Oleh karena itu, termometri timpani dapat digunakan dalam praktik klinis, terutama dalam keadaan darurat, di mana kemudahan penggunaan dan kecepatan memperoleh pembacaan suhu merupakan hal yang penting.
10.	I Nengah Sandi, I Gede Ariyasa, I Wayan Teresna, Kunjung Ashadi. (2017)	Pengaruh Kelembaban Relatif Terhadap Perubahan Suhu Tubuh Latihan	*Review* terhadap jurnal-jurnal penelitian yang ada, dikutip, didiskusikan dan disimpulkan untuk mendapatkan kesimpulan terbaik	Latihan fisik dalam waktu lama pada kelembaban relatif udara yang tinggi berpengaruh negatif terhadap perubahan suhu tubuh. Semakin meningkat kelembaban udara tempat latihan maka semakin meningkat suhu tubuh yang dihasilkan, sebaliknya akan menurun bila kelembaban relatif udara menurun.

BAB II
METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang berlangsung selama 3 bulan, yaitu mulai bulan Agustus 2024 – Oktober 2024. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perancangan Sistem Kerja, Ergonomi, dan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) lantai 3 *Mechanical Building,* Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin. Eksperimen dilakukan di dalam *chamber* atau ruang kedap suara dengan dimensi 4 meter x 2,5 meter x 3 meter yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Tempat penelitian

2.2 Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Data primer

   Data primer merupakan data yang dikumpulkan secara langsung saat melakukan penelitian, misalnya dengan mengadakan penelitian atau pengujian secara langsung. Dalam penelitian ini, data primer yang digunakan adalah data suhu inti tubuh timpani, data denyut jantung, dan data suhu ruangan.

b. Data sekunder

   Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui analisis dan perbandingan dari berbagai sumber literatur serta instansi terkait. Dalam penelitian ini, data sekunder digunakan untuk mendukung dan memperkaya kerangka teori, dengan mengacu pada berbagai perspektif dan teori yang relevan.

2.3 Subjek Penelitian

Responden dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga kategori usia dengan jumlah sampel masing-masing kelompok sebanyak 8 orang dengan. Menurut Holland & Wainer (1993) dalam (Alwi, 2015) bahwa penelitian eksperimen yang dikontrol secara ketat, bila masing-masing kelompok terdiri antara 8 sampai 10 subjek sudah dianggap memadai untuk mendapatkan hasil yang akurat. Sehingga, jumlah sampel tersebut diasumsikan sudah cukup dan memenuhi syarat. Penelitian ini membutuhkan responden penelitian dengan syarat sebagai berikut:

a. Kriteria inklusi
   1) Laki-laki
   2) Umur responden:
      a) 22-27 tahun (*Early Adulthood)*
      b) 35-40 tahun (*Middle Adulthood*)
      c) 50-55 tahun (*Late Adulthood*)
   3) Memiliki rentang BMI yang normal atau ideal, berdasarkan kategori BMI pada Tabel 4.

      Tabel 5. Kategori BMI

Kategori	Ambang Batas (kg/m^2)
Underweight	<18,5
Normal weight	18,5-24,9
Overweight	25-29,9
Obesity I	30-34,9
Obesity II	35-39,9
Obesity III	>40

   4) Memiliki skor VO_2max minimal dalam kategori cukup, yaitu memiliki skor >34 ml/kg/menit untuk usia 22-27 tahun dan skor >31 ml/kg/menit untuk usia 35-40 tahun.
   5) Tidak melakukan aktivitas fisik berat sehari sebelum pengambilan data.
   6) Tidak mengonsumsi kafein pada hari pengambilan data.
   7) Tidak mengonsumsi parasetamol sehari sebelum pengambilan data. Hal ini dikarenakan parasetamol dapat mengganggu kemampuan tubuh dalam menyesuaikan suhu tubuh dan sistem kardiovaskular saat beraktivitas fisik.
   8) Memiliki tidur yang cukup sebelum melakukan pengambilan data.
   9) Kooperatif dan bersedia untuk ikut serta dalam proses pengambilan data.

b. Kriteria ekslusi
   1) Memiliki riwayat penyakit yang berhubungan dengan gangguan pernafasan.
   2) Memiliki riwayat penyakit yang berhubungan dengan gangguan pada jantung.

c. Kriteria *drop out*
   1) Responden menarik kembali kesediaannya dalam mengikuti rangkaian pengambilan data.
   2) Responden tidak berhasil menyelesaikan seluruh prosedur pengambilan data.

2.4 Protokol Eksperimen

Eksperimen penelitian dilakukan di ruang penelitian yang terkontrol dengan suhu ruangan 23°C, kelembaban relatif 50-70%, dan tingkat hidrasi yang sama, yaitu 1 gelas air (220 ml). Responden menerima perlakuan yang seragam dengan mengenakan pakaian standar yang telah ditentukan. Pakaian tersebut terdiri dari kaos lengan pendek, celana pendek, serta sepatu lari. Tujuan dari pemilihan pakaian seragam ini adalah untuk memastikan keseragaman penampilan partisipan, sehingga variabel-variabel yang diamati tidak terpengaruh oleh perbedaan pakaian. Dengan demikian, faktor-faktor non-terkait yang berpotensi memengaruhi hasil penelitian dapat diminimalkan, sehingga fokus penelitian dapat sepenuhnya tertuju pada variabel yang diuji.

Cara kerja penelitian ini adalah melakukan perekaman pada suhu inti tubuh pada membran timpani dan denyut jantung. Perekaman data berlangsung selama 50 menit dengan tiga fase yaitu, (1) fase stabilisasi, di mana responden duduk selama 10 menit untuk beradaptasi dengan suhu ruangan yang terkontrol, sehingga pengaruh faktor eksternal terhadap data yang diukur selama fase berikutnya dapat diminimalkan.; (2) Fase aktivitas fisik (*exercise*), di mana responden berlari di *treadmill* selama 30 menit. Untuk kelompok usia 22-27 dan 35-40, kecepatan *treadmill* diatur pada 5 km/jam, sedangkan untuk kelompok usia 50-55 diatur pada 4 km/jam. Selain itu, untuk kelompok usia 22-27 dan 35-40, terdapat dua perlakuan, yaitu tanpa menggunakan beban dan dengan menggunakan beban ekstrem (10 kg). Perlakuan beban ekstrem hanya pada kelompok usia 22-27 dan 35-40, untuk memastikan keamanan responden sekaligus mempertahankan validitas hasil tanpa adanya variabel tambahan yang bisa mengganggu, seperti risiko kesehatan yang berlebihan pada kelompok yang lebih tua (50-55); (3) Fase pemulihan (*recovery*), di mana responden kembali duduk selama 10 menit untuk menormalkan suhu inti tubuh dan denyut jantung.

2.5 Alat Pengumpulan Data

Berikut beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu antara lain:

2.4.1 *Air Conditioner* (AC)

Penelitian ini menggunakan dua macam *Air Conditioner*, yaitu AC *ducting* (AC central dengan merek *Daikin*) yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan AC split dengan merek *Sharp*) yang ditunjukkan pada Gambar 3. Suhu AC diatur pada suhu 23°C, kedua AC ini digunakan agar suhu tetap konstan pada suhu tersebut.

Gambar 2. AC *central Daikin*

Gambar 3. AC *split Sharp*

2.4.2 *Treadmill*

Treadmill adalah alat olahraga yang dirancang untuk mensimulasikan aktivitas berjalan, berlari, atau mendaki pada permukaan datar atau miring di dalam ruangan. Alat ini terdiri dari permukaan berjalan yang bergerak secara terus menerus, memungkinkan pengguna untuk berjalan atau berlari di tempat dengan kontrol kecepatan yang dapat disesuaikan. Dalam penleitian ini *treadmill* digunakan responden untuk beraktivitas fisik (berlari) dengan kecepatan yang telah diatur selama 30 menit. *Treadmill* yang dalam penelitian ini menggunakan merek *JACO* seri JC 822 dengan luas *running area* 1230x420mm yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. *Treadmill* JACO JC 822

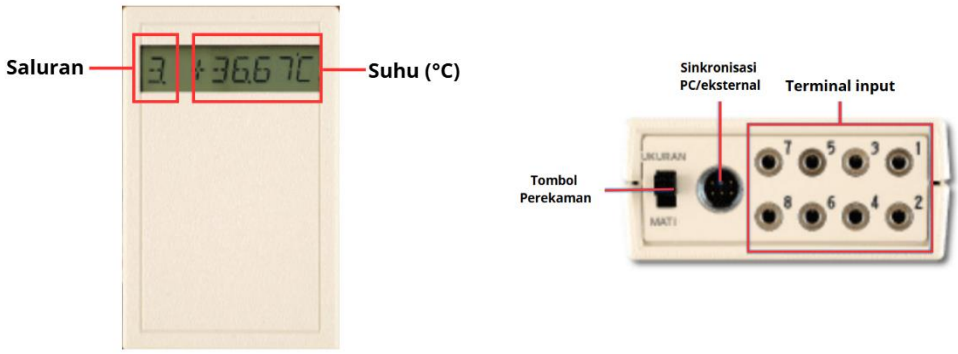
2.4.3 *Tympani Thermistor* Pembanding

Tympani thermistor, atau termometer *infrared* telinga, adalah alat yang digunakan dan dikhususkan untuk mengukur suhu tubuh pada bagian membran timpani. Dalam penelitian ini, alat *tympani thermistor* yang digunakan merupakan produk dari perusahaan Jepang, Nikkiso-Therm Co., Ltd yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pengambilan data menggunakan termometer ini melibatkan perangkat tambahan LT-8 Series yang berfungsi untuk menampilkan dan merekam pengukuran suhu.

Gambar 5. *Tympani thermistor*

2.4.4 LT-8 *Series*

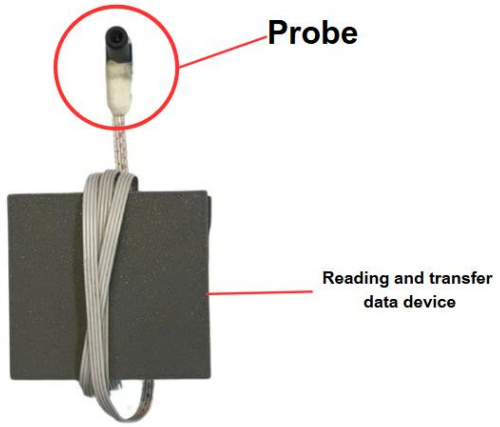
LT-8 *Series* merupakan perangkat *data logger* yang digunakan untuk merekam hasil pengukuran dari alat *tympani thermistor.* Perangkat ini memungkinkan untuk merekam data pengukuran temperatur secara konsisten dan akuran dengan tingkat ketepatan yang tinggi. Selain itu, perangkat ini juga dilengkapi dengan delapan saluran yang dapat digunakan untuk mengukur 8 titik pengukuran suhu seseorang dalam waktu bersamaan. Data yang telah direkam akan ditampilkan dengan menggunakan *Software Gram Corporation* dan dapat dikonversi ke *Excel*. LT-8 *Series* ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. LT-8 *Series*
Sumber: https://www.gram-corp.co.jp/product_c/product_c1.html

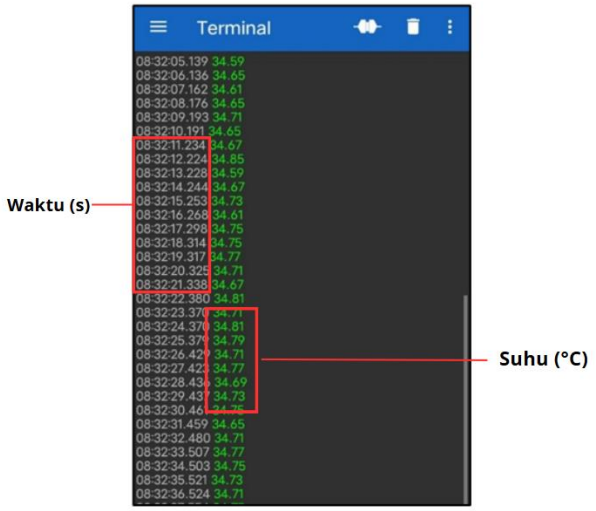
2.4.5 Sensor timpani rancangan

Alat timpani rancangan laboratorium menggunakan sensor GY-906 dengan *chip* MLX90614, yang dirancang khusus untuk mengukur suhu tubuh dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sensor ini memiliki sudut pandang (FOV) sempit, hanya 3 derajat, sehingga pengukuran lebih fokus pada titik yang diinginkan tanpa menyebar ke area lain, menjadikannya sangat ideal untuk pengukuran suhu timpani yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sensor timpani rancangan laboratorium

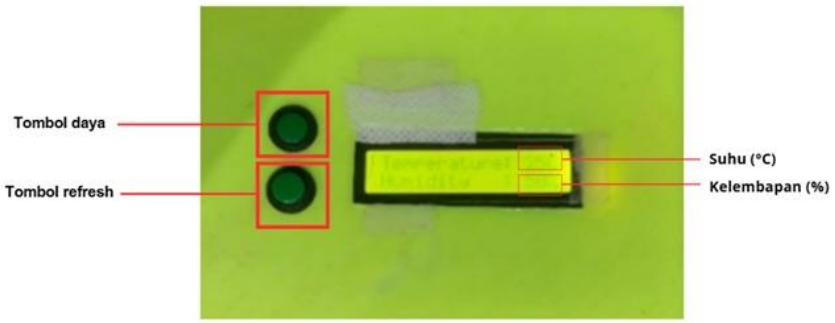
Data suhu yang dihasilkan dapat diakses melalui *smartphone* menggunakan koneksi *bluetooth* dan aplikasi *Serial Bluetooth Terminal*, sehingga penggunaannya menjadi praktis dan mudah. Selain itu, data suhu dapat disimpan di kartu memori untuk diakses kembali kapan saja. Tampilan smartphone ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan suhu melalui *Serial Bluetooth Terminal*

2.4.6 Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang

Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan temperatur serta persentase kelembaban di dalam sebuah ruangan yang ditunjukkan pada Gambar 9. Data hasil pengukuran suhu dan kelembaban tersebut dapat kita rangkap dalam bentuk CSV melalui *website* https://thingspeak.com/channels/1998292 dengan cara memasukkan email serta *password.*



Gambar 9. Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang

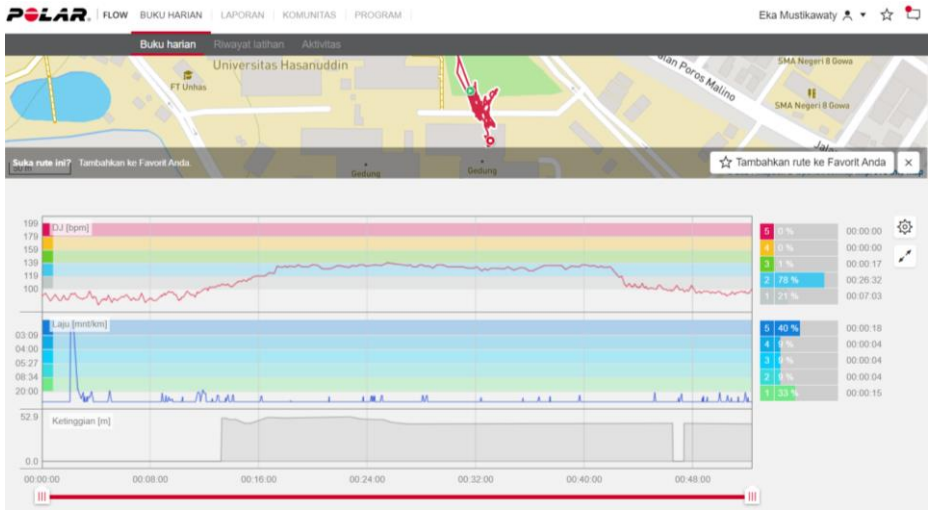
2.4.7 *Polar Watch*

Pada penelitian ini menggunakan *Polar Watch* seri M200 yang ditunjukkan pada Gambar 10. *Polar watch* merupakan merek jam tangan pintar dan perangkat kebugaran yang fokus pada pemantauan kesehatan dan aktivitas fisik. Dalam penelitian ini, *Polar Watch* seri M200 digunakan untuk merekam denyut jantung responden baik selama fase aktivitas fisik maupun fase pemulihan, guna menilai respon fisiologis tubuh terhadap perlakuan beban dan aktivitas fisik.

Gambar 10. *Polar Watch* M200
Sumber: https://support.polar.com

Perangkat *Polar Watch* ini dapat terhubung dengan aplikasi *Polar Flow* pada Gambar 11 dan *website Polar Flow* pada Gambar 12, sehingga penggunanya dapat melacak perkembangan kebugaran mereka. Perangkat *Polar Watch* akan menyinkronkan dengan aplikasi dan *website Polar Flow* secara otomatis setelah responden menyelesaikan sesi Latihan dan data dapat di download dalam bentuk CSV.

Gambar 11. Aplikasi *Polar Flow*



Gambar 12. *Website Polar Flow*

2.6 Teknik Analisis

Data rekaman per detik suhu timpani dan *heart rate* yang diperoleh terhadap suhu konstan per sampel diolah dengan menggunakan *Software Excel*. Data tersebut kemudian diolah dengan menghitung rata-rata per menit untuk melihat perubahan dari sebelum hingga setelah aktivitas fisik dalam bentuk grafik *line chart*. Adapun uji statistik pada penelitian ini menggunakan plot Bland-Altman dan uji *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) yang diolah menggunakan *Software SPSS*.

Plot Bland-Altman adalah metode grafik untuk menunjukkan perbedaan rata-rata (bias) antara dua metode pengukuran dan menilai tingkat kesepakatan di antara keduanya. Plot ini ditampilkan dalam *scatter chart*, dengan sumbu X mewakili rata-rata dari sepasang pengukuran ((A + B)/2), dan sumbu Y menunjukkan selisih antara kedua pengukuran (A - B) (Odor dkk., 2017). Dalam konteks penelitian ini, sumbu X menunjukkan rata-rata suhu timpani dari dua alat yaitu alat timpani rancangan laboratorium dan alat timpani komersil, dan sumbu Y menunjukkan perbedaan atau selisih antara kedua alat. Batas kesepakatan (*Limits of Agreement*) ditunjukkan sebagai garis-garis yang mengapit 95% interval kepercayaan dari titik data di sekitar bias, yaitu ± 1,96 kali simpangan baku di sekitar bias. Batas kesepakatan ini menunjukkan presisi alat semakin sempit batasnya maka semakin tinggi presisi alat, sedangkan semakin lebar batasnya maka semakin rendah presisinya(Odor dkk., 2017).

Intraclass Correlation Coefficient (ICC) adalah statistik uji reliabilitas terhadap satu variabel yang sama dengan skala kontinu yang dilakukan pengukuran dengan dua atau lebih alat pengukur yang berbeda. Nilai ICC adalah rasio varians objek terhadap varians total. Nilai ICC berkisar dari nol sampai satu ($0 \leq ICC \leq 1$). ICC mendekati nilai satu menunjukkan reliabilitas instrumen mendekati sempurna, varian data lebih disebabkan karena varian antar objek bukan karena antar instrumen. Nilai ICC mendekati nol atau rendah dapat terjadi karena ketidak konsistensi instrumen, ketidakstabilan objek yang diukur dan karena situasi pengukuran yang tidak mendukung (Ismunarti dkk., 2020). Berikut kriteria tingkatan reliabilitas berdasarkan nilai ICC pada Tabel 5.

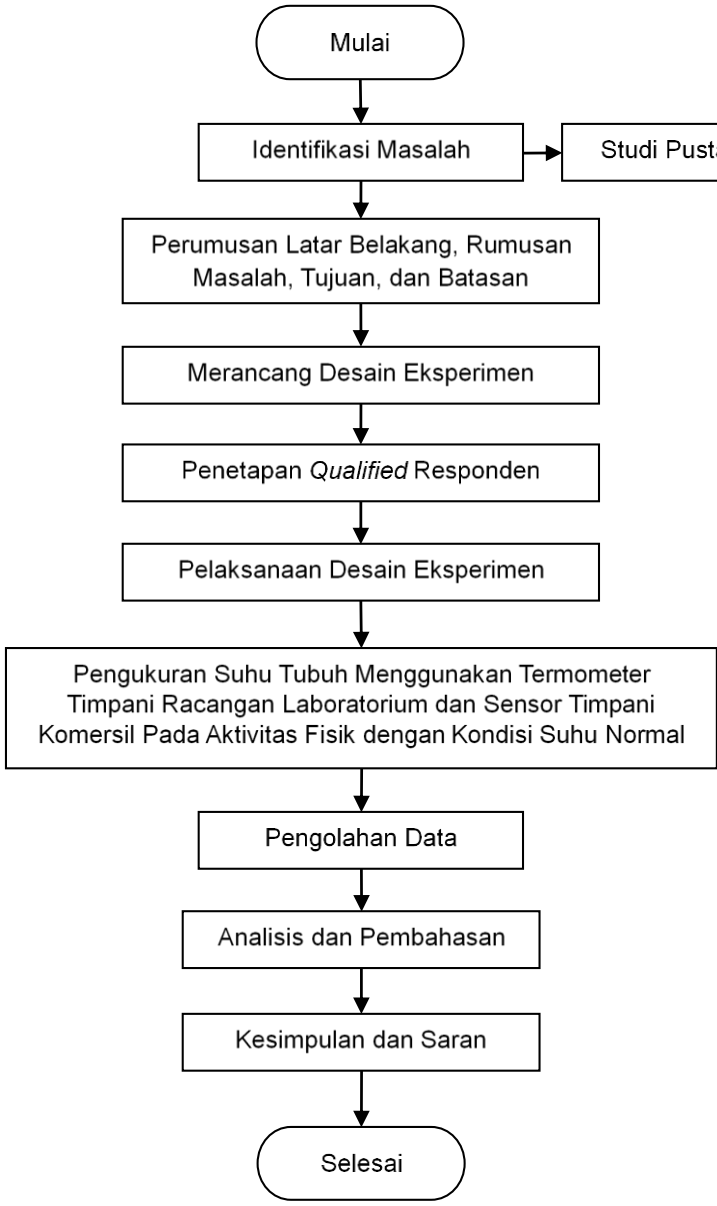
Tabel 6. Kriteria statistik ICC

ICC	Kriteria
ICC < 0,4	*Poor*
0,4 ≤ ICC < 0,75	*Fair to good*
ICC ≥ 0,75	*Excellent*

(Zaki, 2017)

2.7 Alur Penelitian

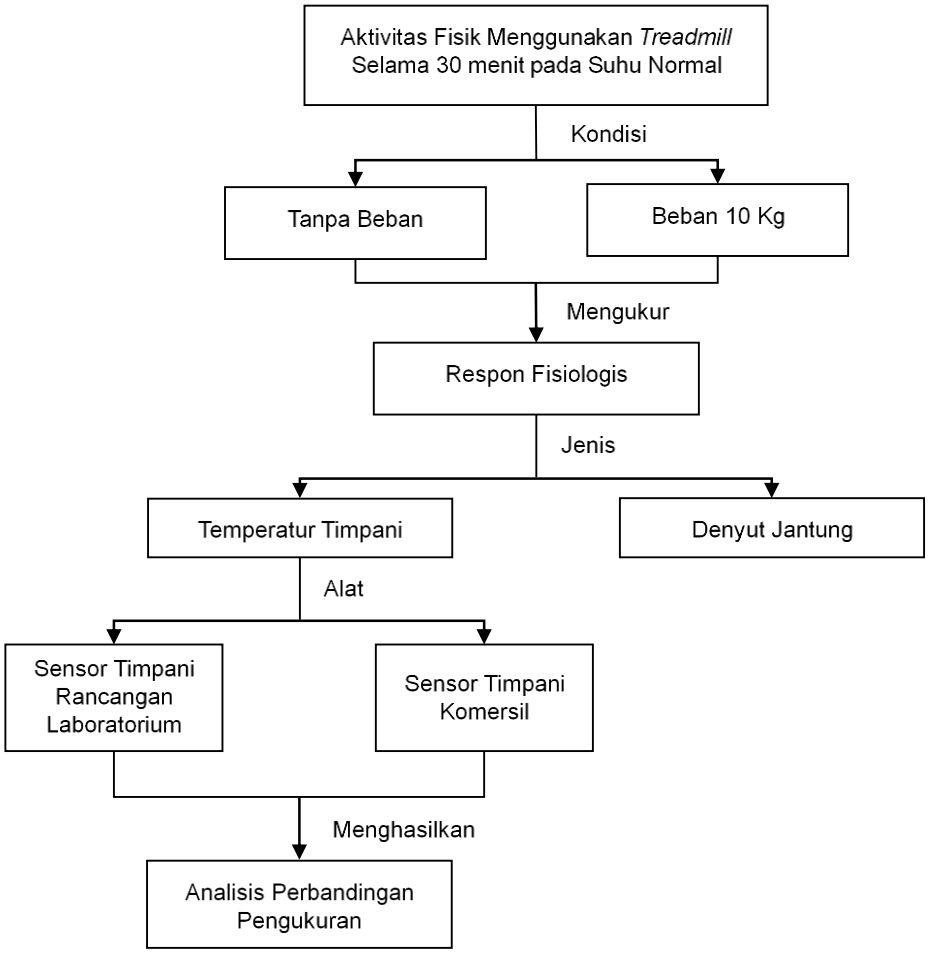
Alur penelitian berisi sistematika dari proses penelitian yang dilakukan, alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. *Flowchart* alur penelitian

2.8 Kerangka Pikir

Berdasarkan desain eksperimen yang akan dilakukan, kerangka pikir dimulai dari aktivitas fisik yang dilakukan hingga proses analisis perbandingan hasil pengukuran dari kedua sensor. Kerangka pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Kerangka Pikir

2.9 Prosedur Pengambilan Data

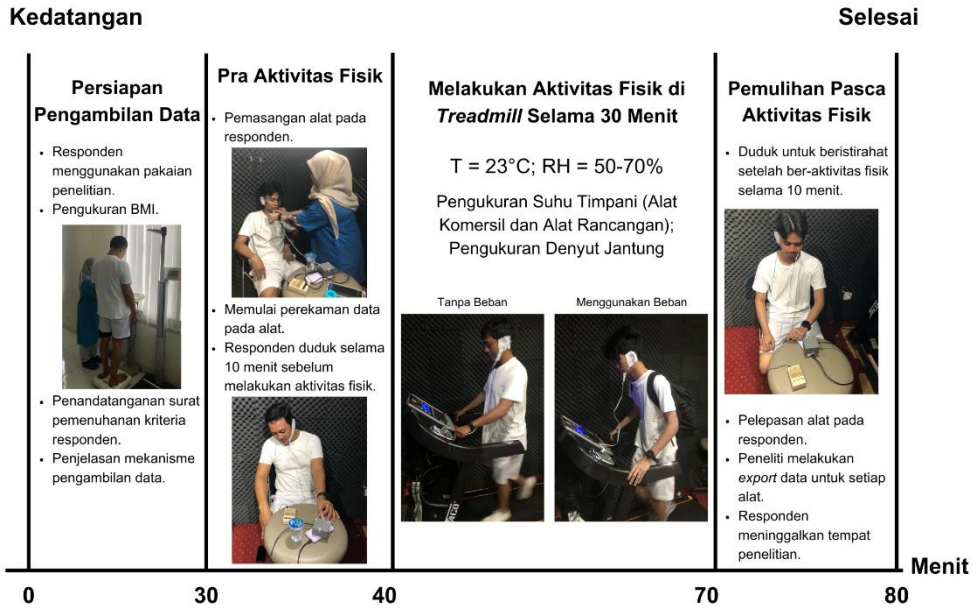
Penelitian yang akan dilakukan terdiri atas beberaapa tahapan yang dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Prosedur pengambilan data

No.	Tahapan	Deskripsi	Estimasi Waktu
1	Peneliti tiba di lokasi penelitian	Peneliti tiba di lokasi penelitian paling lama pukul 11.00 dan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan serta mengatur suhu ruang yang akan digunakan.	45 menit
2	Responden tiba di lokasi penelitian	Responden paling lambat tiba di lokasi penelitian pukul 11.30 dan berganti pakaian khusus untuk penelitian.	30 menit
4	Penandatangan surat persetujuan prosedur penelitian	Validitas identitas dan kriteria partisipan sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Apabila responden sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan, selanjutnya partisipan menandatangani surat persetujuan untuk mengikuti prosedur penelitian.	15 menit
5	Penjelasan intruksi prosedur penelitian	Peneliti menjelaskan tujuan dilakukannya penelitian serta mekanisme pengambilan data kepada partispan.	5 menit
6	Pemasangan alat penelitian kepada responden	Peneliti memasangkan alat pengambilan data berupa *Polar Watch,* sensor timpani rancangan laboratorium pada telinga kanan dan sensor timpani komersil pada telinga kiri.	5 menit
7	Mengaktifkan perekaman data pada alat penelitian	Peneliti mengaktifkan perekaman data pada setiap alat dan responden duduk sebelum aktivitas fisik dan diberi air minum untuk proses stabilisasi pra aktivitas fisik.	10 menit
9	Responden mulai melakukan aktivitas fisik di *treadmill*	Responden lari di *treadmill* sesuai dengan instruksi.	30 menit
10	Responden selesai melakukan aktivitas fisik di *treadmill*	Responden menghentikan aktivitas berlari di *treadmill* dan duduk kembali untuk proses pemulihan pasca aktivitas fisik.	10 menit

No.	Tahapan	Deskripsi	Estimasi Waktu
11	Peneliti menghentikan perekaman data pada responden	Peneliti menghentikan seluruh perekaman data pada setiap alat dan melepas alat dari responden.	5 menit
12	Peneliti melakukan *export* data	Peneliti melakukan *export* data dari setiap alat pengukuran yang telah digunakan	5 menit
13	Proses pengambilan data selesai	Peneliti melakukan *export* data dari setiap alat pengukuran yang telah digunakan. Peneliti mengarahkan responden untuk berganti pakaian dan meninggalkan ruang penelitian	-

Gambaran prosedur penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Prosedur Penelitian