

**VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA
ANALISIS RESPON FISILOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA
DI SUHU LINGKUNGAN DINGIN**



EKA MUSTIKAWATY HAIRUL

D071201022

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



PERNYATAAN PENGAJUAN

**VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA
ANALISIS RESPON FISILOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA
DI SUHU LINGKUNGAN DINGIN**

Disusun dan diajukan oleh:

EKA MUSTIKAWATY HAIRUL

D071201022

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 FISILOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA
DI SUHU LINGKUNGAN DINGIN**

**EKA MUSTIKAWATY HAIRUL
D071201022**

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 Dingin" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM, ASEAN. Eng). 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, 14 November 2024



Eka Mustikawaty Hairul
D07120102

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan nikmat-Nya pelaksanaan penyusunan dan penulisan Penelitian Skripsi dengan Judul “Verifikasi Kinerja Desain Baru Sensor Suhu Timpani Serta Analisis Respon Fisiologis Pada Tiga Tingkat Kategori Usia Di Suhu Lingkungan Dingin” dapat diselesaikan. Walaupun dalam pelaksanaannya terdapat beberapa hambatan dalam penyusunan penelitian ini, namun hal tersebut dapat teratasi.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini banyak menemui kesulitan dan hambatan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Namun berkat bimbingan dari berbagai pihak akhirnya rintangan yang dialami oleh penulis dapat teratasi dengan baik. Maka dari itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yakni, Ibu Fatmawati dan Bapak Hairul Arsyad. Terima kasih atas kepercayaan yang telah diberikan, doa, motivasi, semangat, materi dan tentunya nasihat yang diberikan membuat penulis dapat menyelesaikan studi ini.
2. Ibu Ir. Kifayah Amar, ST., M.Sc., Ph.D., IPU selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Bapak Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM selaku dosen pembimbing yang senantiasa membimbing saya dari awal hingga selesai penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Sapta Asmal, ST., MT dan Ibu Ir. Megasari Kurnia, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Segenap responden penelitian yang telah berpartisipasi dalam proses pengambilan data sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
7. Partner saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini (Andi Ismi Puteri Lathifah) yang telah kebersamai, saling membantu dan bekerja sama hingga tugas akhir ini selesai.
8. Saudara-saudari RE20URCE yang selalu ada dalam setiap langkah menemani penulis dari tahun 2020 hingga sekarang dan selalu memberikan bantuan serta dorongan semangatnya.
9. Teman-teman dari Laboratorium Perancangan Sistem Kerja dan K3 yang sering kebersamai dan memberikan saran-saran selama proses pengerjaan.
10. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini

Semoga segala bantuan, doa, dan motivasinya kepada penulis yang telah diberikan, mendapat pahala yang berlipat dari Allah *Subhaanahu wa ta'ala* dan semoga tulisan tugas akhir ini menjadi berkah dari Allah *Subhaanahu wa ta'ala*.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saya sangat terbuka terhadap saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa depan. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan perkembangan untuk hal-hal yang berguna kedepannya.

Penulis

Eka Mustikawaty Hairul

ABSTRAK

EKA MUSTIKAWATY HAIRUL. **VERIFIKASI KINERJA DESAIN BARU SENSOR SUHU TIMPANI SERTA ANALISIS RESPON FISILOGIS PADA TIGA TINGKAT KATEGORI USIA DI SUHU LINGKUNGAN DINGIN** (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM).

Latar Belakang. Latihan fisik dapat menyebabkan perubahan yang terjadi di dalam tubuh manusia. Manusia menghasilkan atau kehilangan panas melalui termoregulasi untuk menjaga homeostatis suhu tubuh. 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 dingin 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 (19°C, 50-70%). Pengukuran respon fisiologis (*heart rate*) menggunakan *Polar Watch*. Partisipan terdiri dari 24 orang yang terbagi atas tiga kategori usia yaitu *early adulthood* (22-27 tahun), *middle adulthood* (35-40 tahun), dan *late adulthood* (50-55 tahun). **Hasil.** Hasil penelitian menunjukkan pengukuran respon fisiologis responden yang meliputi suhu inti tubuh (suhu timpani) dan *heart rate* meningkat pada ketiga kategori usia saat melakukan aktivitas fisik di lingkungan kerja dingin. 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. 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

EKA MUSTIKAWATY HAIRUL. **VERIFICATION OF A NEW TYMPANIC TEMPERATURE SENSOR DESIGN AND PHYSIOLOGICAL RESPONSE ANALYSIS AT THREE AGE CATEGORY IN COLD AMBIENT TEMPERATURE.** (supervised by Dr. Eng. Ir. Ilham Bakri, S.T., M.Sc., IPM).

Background. Physical exercise can cause changes in the human body. Humans generate or lose heat through thermoregulation to maintain body temperature homeostatis. Core body temperature is affected 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.** This study aims to measure core body temperature and physiological responses (heart rate) in three age categories in cold ambient temperatures and analyze the comparison of the measurement results of commercial tympanic temperature sensors with laboratory-designed temperature sensors. **Methods.** An experimental study measuring core body temperature (tympanic temperature) using a commercial tympanic device (tympany thermistor) and a laboratory-designed tympanic device at temperature and humidity (19°C, 50-70%). Physiological response (heart rate) was measured using a Polar Watch. Participants consisted of 24 people divided into three age categories: early adulthood (22-27 years), middle adulthood (35-40 years), and late adulthood (50-55 years). **Results.** The results showed that the measurement of respondents' physiological responses, including core body temperature (tympanic temperature) and heart rate, increased in all three age categories when performing physical activity in a cold work environment. The highest temperature was reached by respondents in the middle adulthood age category, followed by the early adulthood category, and the lowest was in the late adulthood category. The results of the ICC test and Bland-Altman graph show that the laboratory-designed measuring instrument has a high level of accuracy and is consistent across various conditions. The excellent reliability in most conditions indicates that the device is capable of providing reliable temperature measurement results. In addition, there was an increase in heart rate in physical activity with load when compared to activity without load.

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
<i>ABSTRACT</i>	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	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Landasan Teori	4
1.7 Sistematika Penulisan	8
1.8 Penelitian Terdahulu	9
BAB II METODOLOGI PENELITIAN	14
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	14
2.2 Jenis Data	14
2.3 Metode Pengumpulan Data	15
2.4 Partisipan Penelitian	15
2.5 Protokol Eksperimen	16
2.6 Alat Pengumpulan Data	17
2.7 Teknik Analisis	23
2.8 Alur Penelitian	24
2.9 Kerangka Penelitian	25
2.10 Prosedur Penelitian	26
BAB III HASIL PENELITIAN	28
3.1 Karakteristik Responden	28
3.2 Perbandingan Hasil Pengukuran Timpani	29
3.3 Hasil dan Perbandingan Pengukuran <i>Heart Rate</i>	38
3.4 Verifikasi Alat Ukur Timpani Rancangan Laboratorium	40
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Analisis Hasil Pengukuran Suhu Timpani	47
4.2 Analisis Hasil Pengukuran <i>Heart Rate</i>	50
4.3 Analisis Hasil Verifikasi Alat Ukur Rancangan Laboratorium	52
BAB V PENUTUP	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	55

DAFTAR TABEL

No. Urut	Halaman
1. Rata-rata suhu timpani menggunakan alat timpani komersil.....	3
2. Kategori nilai VO ₂ Max.....	8
3. Batas kenyamanan termal SNI T-14-1993- 03.....	8
4. Penelitian terdahulu	9
5. Kategori BMI	15
6. Kriteria statistik ICC.....	23
7. Prosedur penelitian	26
8. Karakteristik responden	28
9. Hasil uji ICC timpani tanpa beban usia EA	41
10. Hasil uji ICC timpani dengan beban usia EA	41
11. Hasil uji ICC timpani tanpa beban usia MA.....	41
12. Hasil uji ICC timpani dengan beban usia MA	42
13. Hasil uji ICC timpani tanpa beban usia late adulthood	42
14. Tabel rekapitulasi data timpani alat ukur rancangan laboratorium	48
15. Tabel rekapitulasi data timpani alat ukur komersil	48
16. Rekapitulasi data heart rate	50
17. Rekapitulasi hasil uji ICC	52
18. Rekapitulasi bias dan Limit of Agreement plot Bland-Altman	53

DAFTAR GAMBAR

No. Urut	Halaman
1. Lokasi Penelitian	14
2. AC central Daikin.....	17
3. AC split Sharp	17
4. Treadmill JACO JC 822	18
5. Sensor timpani rancangan laboratorium	19
6. Tampilan suhu melalui Serial Bluetooth Terminal	19
7. Tympani thermister.....	20
8. LT-8 Series	20
9. Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang	21
10. Polar Watch M200.....	21
11. Aplikasi Polar Flow	22
12. Website Polar Flow	22
13. Prosedur Penelitian.....	27
14. Grafik suhu timpani tanpa beban usia early adulthood.....	29
15. Grafik suhu timpani dengan beban usia early adulthood	30
16. Grafik suhu timpani rancangan laboratorium usia early adulthood	31
17. Grafik suhu timpani komersil usia early adulthood	32
18. Grafik suhu timpani tanpa beban usia middle adulthood	33
19. Grafik suhu timpani dengan beban usia 35-40 tahun	34
20. Grafik suhu timpani rancangan laboratorium usia middle adulthood.....	35
21. Grafik suhu timpani komersil usia middle adulthood	36
22. Grafik suhu timpani tanpa beban usia late adulthood.....	37
23. Grafik heart rate usai early adulthood	38
24. Grafik heart rate usia middle adulthood	39
25. Grafik heart rate usia late adulthod	40
26. Grafik plot Bland-Altman kelompok usia EA tanpa beban	43
27. Grafik plot Bland-Altman kelompok usia EA dengan beban	44
28. Grafik plot Bland-Altman kelompok usia MA tanpa beban	44
29. Grafik plot Bland-Altman pada kelompok usia MA dengan beban	45
30. Grafik plot Bland-Altman kelompok usia LA tanpa beban	46

DAFTAR LAMPIRAN

No. Urut	Halaman
1. Hasil VO2max responden	59
2 Dokumentasi pengambilan data	63
3. Dataset chip MLX90614.....	69
4. Rata-Rata Suhu dan Kelembapan Ruangan	70

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Latihan fisik adalah aktivitas yang disebabkan oleh kontraksi otot yang melibatkan sistem lokomotor dalam melakukan kegiatan sehari-hari. Latihan fisik yang dilakukan dapat menyebabkan perubahan yang terjadi di dalam tubuh manusia, baik itu secara akut maupun secara kronis. Melakukan latihan fisik secara statis dalam waktu yang cukup lama misalnya dalam waktu 30 menit, dapat menyebabkan perubahan pada fungsi tubuh seperti perubahan pada tekanan darah dan frekuensi denyut nadi. Selain itu, latihan fisik yang rutin dan teratur juga dapat meningkatkan konsumsi oksigen maksimum ($VO_2\max$) (Sandi dkk., 2017). $VO_2\max$ atau kapasitas aerobik maksimal menggambarkan seberapa besar kemampuan motorik seseorang dalam proses kegiatan aerobik. $VO_2\max$ menyatakan tempo tercepat dimana seseorang dapat menggunakan oksigen selama melakukan olahraga, semakin besar kapasitas $VO_2\max$ maka semakin besar pula kemampuan seseorang dalam memikul beban kerja dan kesegaran fisiknya dapat pulih dengan lebih cepat (Indrayana & Yuliawan, 2019).

Berolahraga selama ini dilakukan hanya dengan berpedoman pada tanda-tanda perubahan yang muncul dan dihasilkan oleh tubuh, misalnya perbedaan level denyut nadi, jumlah keringat dan tanda-tanda kelelahan lainnya. Namun perubahan secara fisiologi yang dihasilkan akibat pengaruh suhu di luar tubuh kita cenderung tidak diperhatikan (Mintarto & Fattahilah, 2019). Latihan fisik yang dilakukan berkaitan erat dengan perubahan suhu tubuh yang terjadi selama beraktivitas. Hal ini disebabkan saat beraktivitas, metabolisme tubuh akan meningkat yang pada akhirnya akan menghasilkan panas. Suhu tubuh sendiri tidak hanya dipengaruhi oleh intensitas latihan tetapi juga kondisi lingkungan baik dari segi suhu maupun kelembapan. Tubuh manusia secara fisiologis diatur untuk menjaganya tetap stabil ketika kondisi lingkungan berubah.

Manusia menghasilkan atau kehilangan panas melalui termoregulasi untuk menjaga suhu tubuh tetap stabil dan melindungi diri terhadap panas atau dingin yang berlebihan. Dengan cara yang sama, suhu lingkungan dapat mempengaruhi respons fisiologis terhadap olahraga melalui termoregulasi. Selain itu, olahraga dinamis meningkatkan volume darah dari jantung dan penyerapan oksigen dan meningkatkan aliran darah ke otot rangka dan kulit, sehingga meningkatkan hilangnya panas tubuh. Namun, olahraga dengan paparan dingin yang berkepanjangan dan/atau berulang-ulang dapat mengganggu kontrol termoregulasi seperti menggigil dan respons penyempitan pembuluh darah terhadap dingin (No & Kwak, 2016).

Pada kondisi umum, ketika seseorang berada pada suhu lingkungan yang dingin, tubuh akan menekan pelepasan panas dan meningkatkan produksi panas sebaik mungkin. Salah satu perubahan fisiologis yang terjadi adalah peningkatan laju metabolisme. Laju metabolisme yang cepat akan menghasilkan panas yang lebih besar. Menggigil adalah suatu gerakan yang tidak disengaja melibatkan kontraksi dan relaksasi otot rangka, dapat meningkatkan laju metabolik sebanyak 4-5 kali lebih besar dibanding pada kondisi normal (Graha, 2010).

Suhu tubuh merupakan keseimbangan antara produksi panas dan pelepasan panas. Jika jumlah panas yang diproduksi sama dengan jumlah panas yang dilepaskan, maka suhu tubuh akan stabil. *Normothenia* atau yang biasa kita ketahui sebagai suhu normal manusia merupakan konsep yang bergantung pada bagian tubuh yang digunakan sebagai tempat pengukuran. Hasil pengukuran temperatur berbeda berdasarkan bagian tubuh yang diukur. Temperatur tubuh manusia terdiri dari temperatur inti dan temperatur kulit. Temperatur tubuh orang dewasa yang normal berkisar antara 36°C-37°C (Mintarto & Fattahilah, 2019). Menurut Gasim dkk. (2013), termometer membran timpani dianggap ideal karena membran timpani dan hipotalamus berbagi suplai darah arteri yang berasal dari arteri karotis sehingga membran timpani dianggap secara langsung mencerminkan suhu inti.

Salah satu alat pengukuran suhu timpani yang tersedia dan dapat digunakan untuk melakukan perekaman pengukuran suhu secara terus-menerus pada pekerja industri selama bekerja dan bukan untuk pengukuran sekali seperti pada penggunaan sehari-hari merupakan salah satu produk yang diproduksi oleh perusahaan Nikkiso-Therm Co., Ltd yang berada di Jepang. Namun, 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 alat ini hanya dapat diakses dengan menggunakan sistem operasi Windows 7, sehingga sulit untuk melakukan pembacaan data dengan menggunakan teknologi yang telah berkembang saat ini. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini penulis akan melakukan verifikasi data hasil pengukuran suhu tubuh yang dilakukan pada membran timpani menggunakan alat ukur sensor suhu timpani yang merupakan hasil rancangan kolaboratif Laboratorium Cognitive Social Robotics and Advance Artificial Intelligence sebagai perancang alat dan Laboratorium Perancangan Sistem Kerja dan K3 sebagai validator untuk membandingkan hasil pengukurannya dengan termometer timpani komersil. Adapun kelebihan dari sensor timpani buatan yang akan kami teliti yaitu dapat menampilkan hasil pengukuran suhu secara *real time* yang dapat secara langsung ditinjau menggunakan *smartphone*. Selain itu, 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. Penelitian ini akan dilakukan pada suhu lingkungan dingin, berdasarkan peraturan Menteri Kesehatan (Menkes) No. 261/Menkes/SK/III/1998, dimana suhu ruangan yang sehat adalah antara 18°C–26°C. Oleh karena penulis ingin melakukan pengukuran pada suhu dingin, sehingga pada penelitian ini akan digunakan suhu ruangan yang konstan pada suhu 19°C.

Berdasarkan penelitian Waalen & Buxbaum (2011) menemukan bahwa suhu tubuh pria menurun seiring bertambahnya usia. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan laju metabolisme serta kemampuan tubuh untuk menyesuaikan suhu saat berolahraga. Untuk meninjau hal tersebut, kami melakukan pengukuran pada beberapa kategori usia agar dapat melihat perbedaan respon fisiologis yang muncul setelah melakukan aktivitas fisik. Respon fisiologis optimal dicapai saat beraktivitas dicapai saat usia 20 tahun dan kembali menurun saat mencapai usia 50 tahun. Sehingga kami melakukan pengukuran pada tiga kategori usia yaitu *early adulthood* (22-27 tahun), *middle adulthood* (35-40 tahun) dan *late adulthood* (50-55 tahun). Selain itu, kami juga ingin 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		
	<i>Early Adulthood</i>	<i>Middle Adulthood</i>	<i>Late Adulthood</i>
Tanpa beban	36,23	36,36	35,87
Ada beban	36,44	36,32	-

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 Dingin.

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

1.3 Tujuan Penelitian

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

- Mengukur suhu inti tubuh pada saluran pendengaran (*ear canal temperature*) pada tiga kategori umur berbeda.
- Menganalisis perbedaan pada hasil pengukuran sensor suhu buatan dengan sensor suhu komersil.
- Menganalisis hasil respon fisiologis pada tiga kategori usia setelah melakukan aktivitas fisik pada lingkungan kerja dingin.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 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.
- 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 $VO_2\max$ hanya dilakukan pada kategori usia *early adulthood* (22-27 tahun) dan *middle adulthood* (35-40 tahun)
- b. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan suhu 19°C dalam melakukan proses pengambilan data.
- c. Penelitian ini hanya membandingkan hasil pengukuran suhu timpani buatan laboratorium dengan termometer timpani produk dari perusahaan "Nikkiso-Therm Co., Ltd.
- d. Peneliti hanya melakukan analisis 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 Suhu Tubuh

Suhu tubuh merupakan keseimbangan antara produksi panas dan kehilangan panas. Jika tingkat panas yang dihasilkan setara dengan yang hilang, maka suhu tubuh ini akan stabil. Suhu tubuh manusia diatur dengan sistem umpan balik (*feed back*) yang diatur dalam sistem purat pengaturan suhu oleh *hypotalamus*. Jika suhu tubuh manusia terlalu tinggi, maka akan terjadi mekanisme umpan balik dengan cara mensekresi keringat ke permukaan tubuh, pembesaran pori-pori kulit dan stimulasi rasa haus.

Selain itu, suhu tubuh juga terpengaruhi oleh suhu lingkungan dan tingkat kelembaban udara. Semakin tinggi suhu udara, maka semakin tinggi pula tingkat kelembaban udara di sekitar. Efek yang dihasilkan oleh tingginya kedua hal tersebut mengakibatkan tubuh memberika stimulasi balik untuk melawan hal tersebut, salah satunya rasa haus yang

muncul karena kehilangan cairan akibat sekresi keringat ke permukaan kulit sebagai proses pengaturan keseimbangan tubuh oleh *hypotalamus* (Mintarto & Fattahilah, 2019). Sebaliknya, ketika tubuh terlalu dingin, sistem pengaturan suhu melakukan prosedur yang sangat berlawanan dengan mekanisme penurunan panas tubuh, seperti vasokonstriksi kulit di seluruh tubuh, hal ini disebabkan oleh rangsangan pusat simpatis hipotalamus dan peningkatan laju metabolisme untuk menghasilkan panas yang lebih besar, peningkatan ini dapat mencapai 2-4 kali jika dibandingkan dengan laju metabolisme saat beristirahat. Selain itu, kegiatan otot dinamik biasa dapat meningkatkan laju metabolik sebesar 10 kali lipat atau lebih (Graha, 2010).

1.6.3 Klasifikasi suhu tubuh

a. Suhu tubuh inti

Sebagian besar panas yang diproduksi di dalam tubuh merupakan hasil oksidasi, maka sumber utama panas adalah jaringan yang paling aktif, yaitu hati, kelenjar sekresi, dan otot. Ketiganya merupakan lebih dari separuh tubuh, begitulah maka suhu masing-masing jaringan dapat berbeda tergantung pada derajat metabolismenya, kecepatan darah yang mengalir ke dalamnya, dan perbedaan suhunya dengan jaringan disekitarnya (Kukus, 2009).

Untuk mengevaluasi titik fisiologis suhu tubuh agar tubuh berfungsi dengan baik, pengukuran suhu tubuh inti lebih sering dilakukan ketimbang suhu permukaan. Suhu tubuh inti menunjukkan suhu tubuh yang diukur pada posisi dalam suatu tubuh dan dianggap sebagai suhu pengoperasian semua organ dalam di dalam tubuh, khususnya pada struktur dalam tubuh seperti otak, jantung, dan hati, yang merupakan representasi suhu tubuh terdekat. Suhu tubuh inti biasanya dijaga dalam rentang yang sempit agar reaksi metabolisme penting dapat terjadi dengan baik, fungsi tubuh dapat dioptimalkan secara efisien. Peningkatan suhu tubuh inti yang signifikan (hipertermia) atau depresi (hipotermia) dapat menyebabkan kerusakan fungsi tubuh. Suhu tubuh yang diukur pada posisi seperti rektum, esofagus, saluran pencernaan, nasofaring, kandung kemih, rahim, dan lengkung aorta melalui cara invasif seperti tipe jarum atau kateter diterima secara luas sebagai pengukuran suhu tubuh inti. Meskipun suhu lengkung aorta umumnya dianggap sebagai pembacaan suhu tubuh inti yang paling akurat secara fisiologis, suhu tubuh inti yang diukur di rektum digunakan sebagai standar emas suhu tubuh inti secara klinis (Chen dkk., 2022).

b. Suhu tubuh permukaan

Suhu tubuh permukaan adalah nilai yang diukur pada sublingual, aksila, selangkangan, leher, dada, dahi, dan bagian lain permukaan tubuh. 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. Suhu tubuh permukaan biasanya lebih rendah dari suhu tubuh inti. Saat mengukur suhu sublingual dan suhu rektal secara bersamaan pada suatu subjek, suhu tubuh sublingual kira-kira 0,5 °C lebih rendah dibandingkan suhu tubuh rektal (Chen et al., 2022).

1.6.4 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 (Hymczak dkk., 2021).

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 (Hymczak dkk., 2021).

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) (Leduc dkk., 2000). Suhu normal melalui membran timpani (selaput tipis yang membatasi liang telinga dengan liang telinga bagian tengah) yaitu sekitar 35,7-37,5°C (Fever, 2009).

1.6.5 Termoregulasi

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

1.6.6 VO₂ Max

VO₂Max merupakan jumlah maksimum oksigen yang bisa digunakan dalam satu menit dan merupakan tingkat penggunaan oksigen pada puncak *metabolism aerobic*. VO₂Max 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).

VO₂Max 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, VO₂Max 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 VO₂Max-nya. Semakin tinggi VO₂Max seseorang maka semakin lama kemampuan otot melakukan kerja artinya otot tidak cepat lelah, sebaliknya semakin rendah VO₂Max seseorang maka semakin cepat kemampuan otot melakukan kerja, sehingga otot menjadi cepat lelah (Aliman dkk., 2023).

Salah satu tes pengukuran VO₂Max adalah *Multistage Fitness Test / Bleep Test* merupakan tes yang menggunakan irama musik dan pelaksanaannya yaitu iramanya secara bertahap dari tahap satu ketahap berikutnya frekuensinya semakin meningkat (Widodo dkk., 2021). *Multistage Fitness Test* 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 VO₂Max dapat langsung dilihat pada tabel hasil MFT tanpa perlu melakukan perhitungan terlebih dahulu.

Tabel 2. Kategori nilai VO₂Max

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)

1.6.7 Standar kenyamanan termal ruang

Kenyamanan termal menggambarkan reaksi seseorang terhadap suhu lingkungannya agar merasa nyaman. Karyono (2001) dalam Prasetyo & Qomarun (2023) 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 nyaman termal Indonesia SNI T-14-1993- 03 sebagai berikut:

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 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan secara keseluruhan.

BAB II : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi langkah-langkah penelitian, mulai dari pemilihan waktu dan tempat penelitian, sumber data, metode

pengumpulan data, prosedur penelitian, *flowchart* penelitian, kerangka penelitian, dan metode analisis data.

- BAB III : HASIL PENELITIAN
Bab ini berisi tentang mengenai hasil pengukuran beserta hasil analisis data.
- BAB IV : PEMBAHASAN
Bab ini berisi mengenai hasil penelitian yang didapatkan dari penelitian berdasarkan analisis yang digunakan.
- BAB V : KESIMPULAN
Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran sebagai pertimbangan baik untuk perbaikan maupun penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

1.8 Penelitian Terdahulu

Tabel 4. Penelitian terdahulu

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
1.	<i>Accuracy of tympanic temperature measurement using an infrared tympanic membrane thermometer</i>	Gasim I Gasim, Imad R Musa, Mohamed T Abdien dan Ishag Adam	Suhu aksila dan timpani diukur secara bersamaan pada pasien dengan menggunakan kaca raksa dan termometer timpani inframerah di Rumah Sakit Omdurman, Sudan pada bulan Oktober 2012.	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.
2.	Rancang bangun termometer <i>real time</i> berbasis <i>Internet of Things</i>	I Kadek Adi Erawan, I Made Agus Mahardiananta, Cokorda Isri Dharmayanti	Merancang termometer berdasarkan analisa hasil dari pengujian alat, parameter yang diuji	Tidak terdapat perbedaan suhu yang signifikan antara termometer digital yang sudah terkalibrasi dengan <i>termometer real time</i>

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
			adalah suhu yang ditampilkan pada alat dan aplikasi <i>blynk</i> dibandingkan dengan termometer yang sudah terkalibrasi.	berbasis IoT dengan tampilan pada HP, karena nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05 yang berarti alat termometer <i>real time</i> berbasis IoT sama dengan termometer digital yang sudah terkalibrasi.
3.	<i>Comparability of tympanic and oral mercury thermometers at high ambient temperatures</i>	Amy L Chue, Rachael L Moore, Andrew Cavey, Elizabeth A Ashley, Kasia Stepniewska, François Nosten dan Rose McGready	Analisis perbedaan antara metode pengukuran suhu antara timpani dan oral pada pasien yang sama. Kesepakatan antara pembacaan suhu oral dan timpani, dan antara pengamat yang menggunakan tiga perangkat yang berbeda, dianalisis dengan teknik yang awalnya dijelaskan oleh Bland dan Altman	Termometer timpani memberikan hasil yang sebanding namun lebih cepat dibandingkan termometer air raksa oral bahkan pada suhu lingkungan yang tinggi di daerah pedesaan tropis.
4.	<i>An evaluation of tympanic thermometry in a paediatric emergency department</i>	A S El-Radhi, S Patel	Suhu tubuh diukur pada siang hari dengan termometer timpani inframerah, dan pada aksila, rektum dengan termometer elektronik. Demam didefinisikan sebagai suhu rektum 38,0 °C atau lebih tinggi, suhu aksila 37,5 °C	Terdapat korelasi yang lebih besar antara pengukuran timpani dengan pengukuran rektal dibandingkan aksila dengan rektal pada bayi demam dan tidak demam. Pengukuran timpani memiliki sensitivitas sebesar 76% sedangkan pengukuran aksila

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
			atau lebih tinggi, dan suhu timpani 37,6 °C atau lebih tinggi. Pembacaan suhu di tiga lokasi dibandingkan secara statistik.	hanya memiliki sensitivitas sebesar 24% dengan suhu rektal 38-38,9 derajat C.
5.	Pengembangan Thermogun Berbasis IOT Menggunakan Aplikasi BLYNK Sebagai Alat Ukur Suhu di Era Covid 19	Nyoman Meta Rosanti, Dwi Teguh Rahardjo, Dewanto Harjunowibowo	Penelitian ini dimulai dengan merancang prototipe berbasis IOT lalu dilakukan kalibrasi. Pembacaan hasil dilakukan melalui aplikasi blynk dan perhitungan keakuratan dilakukan dengan perhitungan ketidakpastian.	Hasil pengukuran menunjukkan bahwa hasil pengukuran suhu menggunakan termometer IOT (internet of things) mendekati hasil perhitungan suhu berdasarkan termometer referensi dan termometer acuan.
6.	<i>Re-visiting the tympanic membrane vicinity as core body temperature measurement site</i>	Wui Keat Yeoh, Jason Kai Wei Lee, Hsueh Yee Lim, Chee Wee Gan, Wenyu Liang, Kok Kiong Tan	Meninjau kembali daerah sekitar membran timpani sebagai tempat pengukuran potensial untuk suhu tubuh inti (CBT). Dua masalah secara eksplisit ditargetkan dan eksperimen dilakukan untuk memverifikasi hipotesis dari pengamatan sebelumnya. Selain itu menggunakan tolok ukur suhu telinga tengah terhadap pengukuran suhu dari tempat lain.	Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa suhu timpani dapat digunakan untuk menyimpulkan suhu tubuh inti jika probe diarahkan ke titik pada membran timpani di mana pengukuran yang stabil dapat diperoleh. Jika tidak, efek pada pengukuran (seperti pendinginan kepala) harus dipertimbangkan dan digunakan untuk mengimbangi pengukuran yang sebenarnya.

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
7.	<i>Validity of Infrared Tympanic Temperature for the Evaluation of Heat Strain While Wearing Impermeable Protective Clothing in Hot Environments</i>	Joo-Young Lee, Kouhei Nakao, Naoki Takahashi, Su-Young Son, Ilham Bakri, and Yutaka Tochihara	Studi ini menguji validasi temperatur timpani infrared sebagai indeks termal yang dibandingkan dengan temperatur rektal pada 12 jenis aktivitas yang dibedakan dari jenis aktivitas, jenis pakaian dan temperatur udara.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa infrared timpani valid sebagai indeks termal untuk mengevaluasi tekanan panas pekerja yang mengenakan baju pelindung kedap air di lingkungan yang panas. Namun demikian, penerapan infrared timpani terbatas hanya untuk pekerjaan berat yang mengenakan pakaian dengan tudung di lingkungan yang panas.
8.	<i>Effect of change in ambient temperature on core temperature of female subjects during the daytime and its sex differences</i>	Naoshi Kakitsuba	Penelitian eksperimental, respon fisiologis subjek perempuan dengan usia rata-rata $20,8 \pm 1,5$ tahun	Eksperimen dilakukan untuk 3 kondisi suhu lingkungan yaitu, (1) peningkatan bertahap 26° - 30° , (2) konstan pada suhu 28° , (3) penurunan bertahap 30° - 26° . Hasil menunjukkan suhu timpani yang meningkat secara signifikan ($p < 0,01$) dari $36,1 \pm 0,36^{\circ}\text{C}$ hingga $36,6 \pm 0,23^{\circ}\text{C}$ pada kondisi 1, tetapi hampir tidak ada perubahan pada kondisi 2 dan 3.
9.	<i>Validity of a Tympanic Thermometer and Thermal Imaging</i>	Stephen P. Fenemor, Nicholas D. Gill, Stacy T. Sims, C.	Penelitian eksperimental, perbandingan suhu inti tubuh (T_c) menggunakan pil	Hasil pengukuran T_c tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$), bias rata-rata $0,1^{\circ}\text{C}$,

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
	<i>Camera for Measuring Core and Skin Temperature during Exercise in the Heat</i>	Martyn Beaven da Matthew W. Driller.	suhu inti ($T_{c(pill)}$) dan termometer timpani ($T_{c(tymp)}$) selama istirahat, latihan intensitas sedang 30 menit dan pemulihan di ruangan suhu 35°C , RH 60%.	koefisien variasi (CV%) 1,0% dan korelasi $r = 0,74$ antar perangkat. $T_{c(tymp)}$ menunjukkan kesesuaian yang dapat diterima dengan $T_{c(pill)}$.
10.	<i>Comparing the Accuracy of Temperature Measurement between Infrared Forehead Thermometer and Tympanic Thermometer</i>	Heah Ee Man, Chubashini A/P Veloo, Geshvinder Kaur, Nazreen Shafira Binti Nazeri, Veni Chandrakasan, Yu Chye Wah, Koh Kim Hua	<i>Cross-sectional</i>	Suhu tubuh yang diukur dengan termometer dahi inframerah dan termometer timpani pada suhu ruangan yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji t ($p = 0,744$) dan nilai kesesuaian sebesar 95%.

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan, yaitu dimulai pada bulan Agustus hingga bulan Oktober. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Perancangan Sistem Kerja, Ergonomi, dan K3 lantai 3 *Mechanical Building* Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, tepatnya pada ruangan *chamber* atau ruang kedap suara dengan dimensi panjang x lebar x tinggi adalah 4m x 2,5m x 3m yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Data primer merupakan data yang memberikan informasi secara langsung kepada peneliti. Data primer yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan di laboratorium,
- b. Data sekunder merupakan data yang secara tidak langsung memberikan informasi kepada peneliti. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil dokumentasi dan literatur yang terkait.

2.3 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

2.3.1 Observasi

Menurut Prawiyogi dkk. (2021) Observasi atau yang disebut juga dengan pengamatan meliputi kegiatan pemuatan perhatian terhadap sesuatu objek dengan menggunakan seluruh indra jadi, observasi merupakan metode pengumpulan data yang menggunakan panca indra disertai dengan pencatatan secara perinci terhadap obyek penelitian.

2.3.2 Wawancara

Menurut Sugiyono (dalam Pwawiyogi dkk., 2021), wawancara merupakan pertemuan dua orang untuk bertukar informasi dan ide melalui tanya jawab, sehingga dapat dikonstruksikan makna dalam suatu topik tertentu. Wawanacara digunakan sebagai teknik pengumpulan data apabila peneliti ingin melakukan studi pendahuluan untuk menentukan permasalahan yang harus diteliti, tetapi juga apabila peneliti ingin mengetahui hal-hal responden yang lebih mendalam.

2.4 Partisipan Penelitian

Responden dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga kategori usia dengan jumlah sampel masing-masing kelompok sebanyak 8 orang dengan. Menurut Holland & Wainer dalam (Alwi, 2015) dalam 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
 - b) 35-40 tahun
 - c) 50-55 tahun
 - 3) Memiliki rentang BMI yang normal atau ideal berdasarkan kategori berikut,

Tabel 5. Kategori BMI

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

- 4) Memiliki skor VO₂max 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 eksklusi
- 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.

2.5 Protokol Eksperimen

Eksperimen penelitian dilakukan di ruang penelitian yang terkontrol dengan suhu ruangan 19°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 pakaian 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 *early adulthood* dan *middle adulthood*, kecepatan *treadmill* diatur pada 5 km/jam, sedangkan untuk kelompok usia *late adulthood* diatur pada 4 km/jam. Selain itu, untuk kelompok usia *early adulthood* dan *middle adulthood*, terdapat dua perlakuan, yaitu tanpa menggunakan beban dan dengan menggunakan beban ekstrem (10 kg). Perlakuan beban ekstrem hanya pada kelompok usia *early adulthood* dan *middle adulthood*, 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 (*late adulthood*); (3) Fase pemulihan (*recovery*), di mana responden kembali duduk selama 10 menit untuk menormalkan suhu inti tubuh dan denyut jantung.

2.6 Alat Pengumpulan Data

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

2.6.1 Air Conditioner

Penelitian ini menggunakan dua macam *Air Conditioner*, yaitu AC *ducting* (AC central) dengan merek *Daikin* yang terlihat pada Gambar 2 dan AC split dengan merek *Sharp* yang terlihat pada Gambar 3. Kedua AC ini digunakan agar dapat mencapai suhu ruangan yang diinginkan yaitu 19°C.



Gambar 2. AC central Daikin



Gambar 3. AC split Sharp

2.6.2 Treadmill

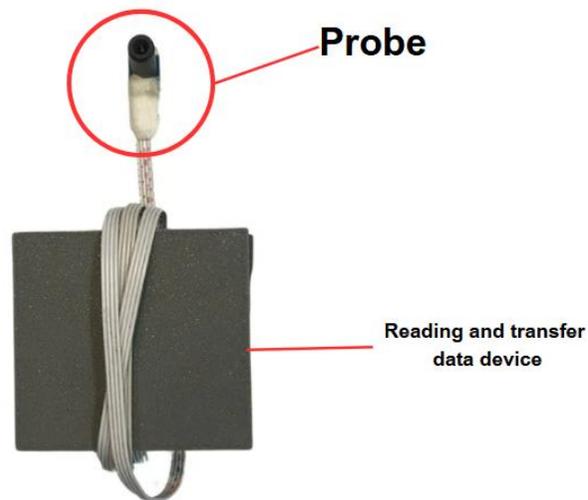
Treadmill adalah alat olahraga yang dirancang untuk mensimulasikan aktivitas berjalan, berlari, atau mendaki pada permukaan datar atau miring di dalam ruangan. Alat ini terdiri dari permukaan berjalan yang bergerak secara terus menerus, memungkinkan pengguna untuk berjalan atau berlari di tempat dengan kontrol kecepatan yang dapat disesuaikan. Penggunaan *treadmill* pada penelitian ini sebagai penunjang aktivitas fisik yang dilakukan selama pengambilan data. *Treadmill* yang dalam penelitian ini menggunakan merek JACO seri JC 822 dengan luas *running area* 1230x420mm, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Treadmill* JACO JC 822

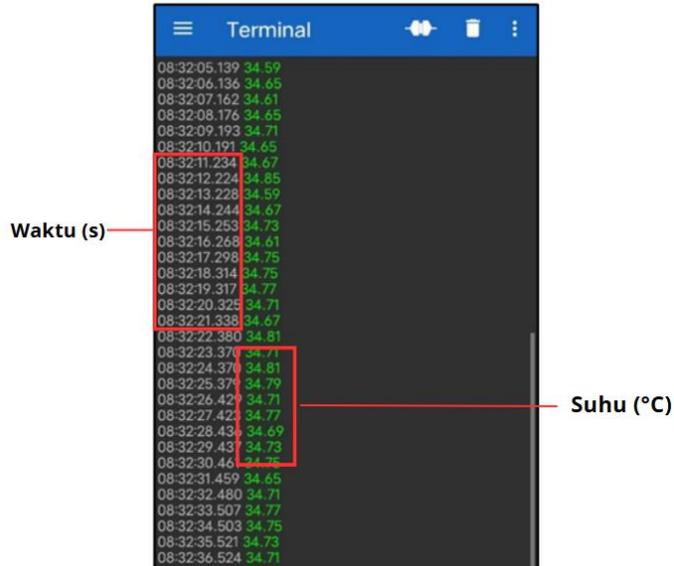
2.6.3 Sensor timpani rancangan

Alat timpani rancangan laboratorium ini menggunakan sensor suhu GY-906, 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. Alat timpani rancangan laboratorium ini, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sensor timpani rancangan laboratorium

Data suhu yang dihasilkan dapat diakses melalui *smartphone* menggunakan koneksi *bluetooth* dan aplikasi *Serial Bluetooth Terminal* seperti yang terlihat pada Gambar 6, sehingga penggunaannya menjadi praktis dan mudah. Selain itu, data suhu dapat disimpan di kartu memori untuk diakses kembali kapan saja.



Gambar 6. Tampilan suhu melalui *Serial Bluetooth Terminal*

2.6.4 Tympani Thermister (Pemanding)

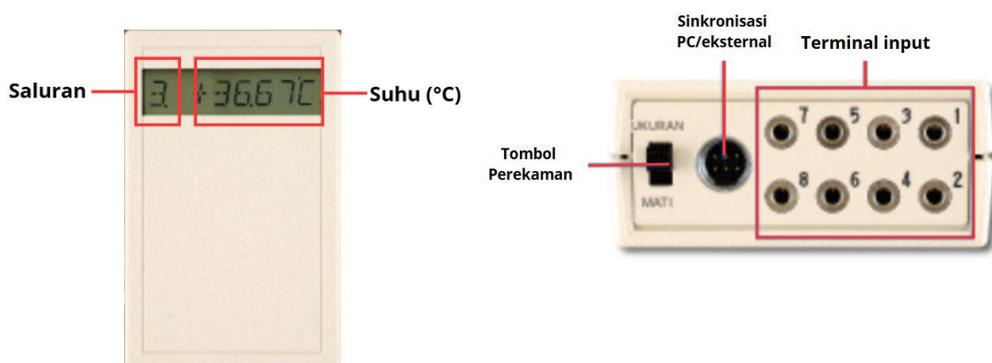
Tympani thermistor, atau termometer *infrared* telinga yang terlihat pada Gambar 7, adalah alat yang digunakan dan dikhususkan untuk mengukur suhu tubuh pada bagian membran timpani. Dalam penelitian ini, alat timpani thermistor yang dipakai merupakan produk dari perusahaan Jepang, Nikkiso-Therm Co., Ltd. Pengambilan data menggunakan termometer ini melibatkan perangkat tambahan LT-8 Series yang berfungsi untuk menampilkan dan merekam pengukuran suhu. Data yang telah direkam tersebut akan diperoleh melalui *software Gram Corporation*.



Gambar 7. Tympani thermister

2.6.5 Data Logger

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 akurat 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*.



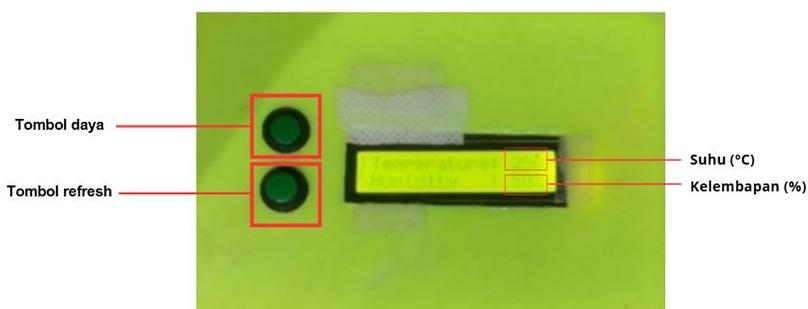
Gambar 8. LT-8 Series

Sumber: https://www.gram-corp.co.jp/product_c/product_c1.html

Data yang telah direkam akan dikonversi dengan menggunakan komputer sehingga dapat menampilkan grafik dan pencetakan data yang lebih sederhana. Selain itu, data yang dihasilkan juga dapat diedit menggunakan *software* lain sehingga memudahkan untuk melakukan pengolahan data yang telah diperoleh.

2.6.6 Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang

Alat ukur temperatur dan kelembaban ruang yang terlihat pada Gambar 9, merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan temperatur serta persentase kelembaban di dalam sebuah ruangan. 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

2.6.7 Polar Watch

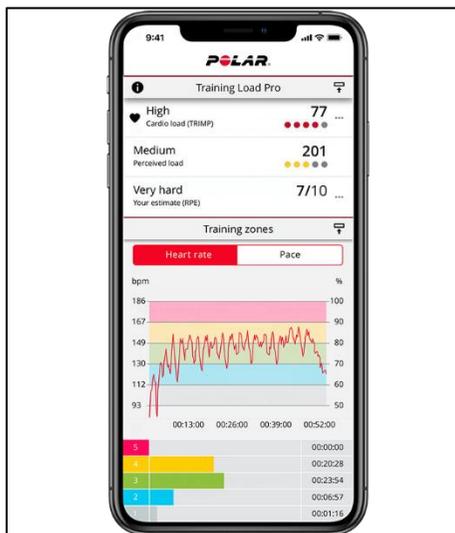
Pada penelitian ini, kami menggunakan *Polar Watch* seri M200 seperti yang terlihat pada Gambar 10. *Polar watch* merupakan merek jam tangan pintar dan perangkat kebugaran yang fokus pada pemantauan kesehatan dan aktivitas fisik.. Dalam penelitian ini, *Polar Watch* seri M200 digunakan untuk merekam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



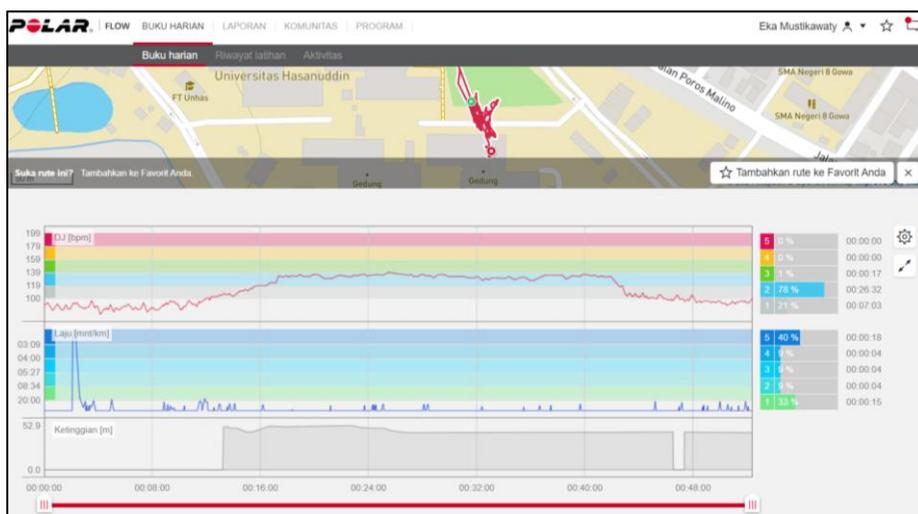
Gambar 10. *Polar Watch* M200

Sumber: <https://support.polar.com>

Perangkat *Polar Watch* ini dapat terhubung dengan aplikasi dan *website Polar Flow* yang terlihat pada Gambar 11 dan 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*

2.7 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 $\pm 1,96$ 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.

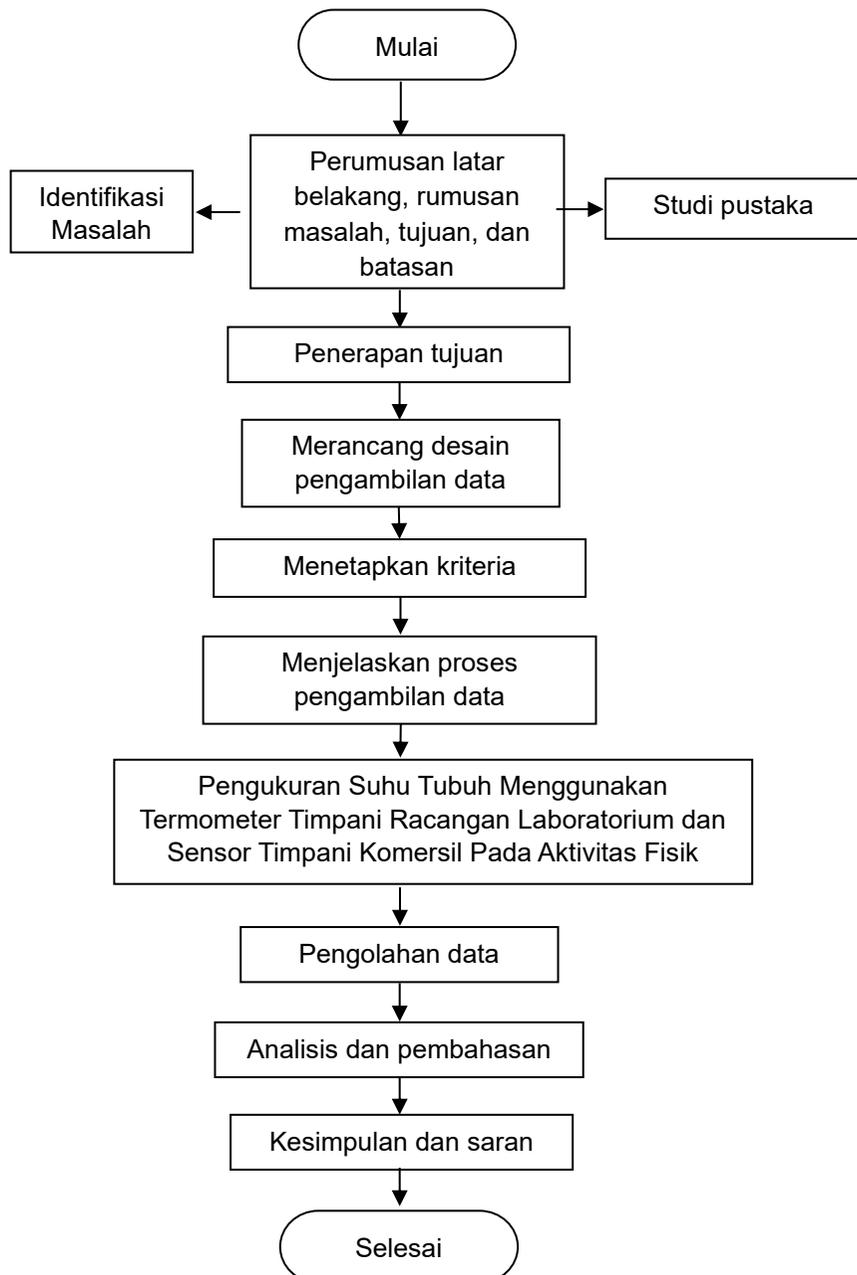
Tabel 6. Kriteria statistik ICC

ICC	Kriteria
ICC < 0,4	Poor
$0,4 \leq ICC < 0,75$	Fair to good
ICC $\geq 0,75$	Excellent

(Zaki, 2017)

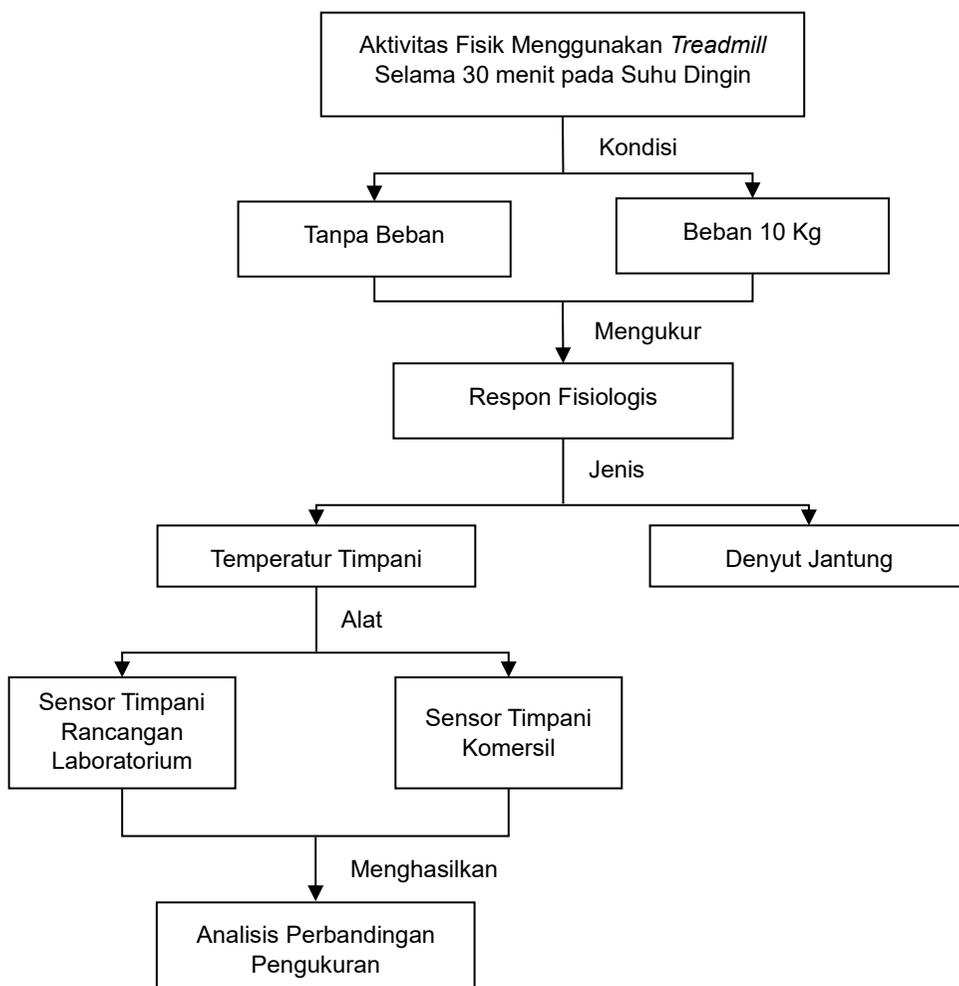
2.8 Alur Penelitian

Alur penelitian berisi sistematika dari proses penelitian yang dilakukan, alur penelitian ini dapat membantu agar penelitian yang dilakukan dapat lebih tersusun.



2.9 Kerangka Penelitian

Adapun kerangka dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



2.10 Prosedur Penelitian

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

Tabel 7. Prosedur penelitian

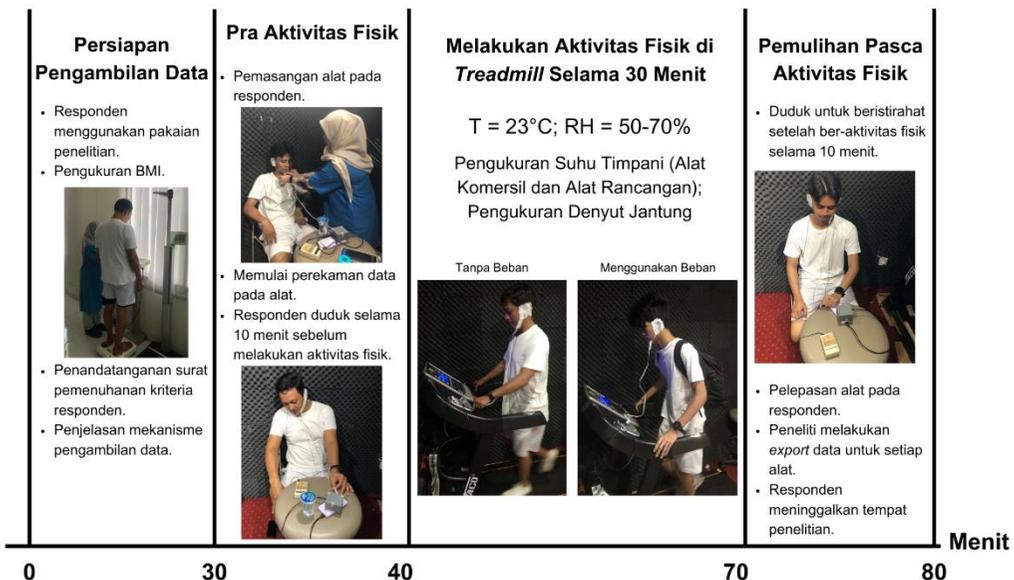
No.	Tahapan	Deskripsi	Estimasi Waktu
1	Peneliti tiba di lokasi penelitian	Peneliti tiba di lokasi penelitian paling lama pukul 11.00 dan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan serta mengatur suhu ruang yang akan digunakan	45 menit
2	Responden tiba di lokasi penelitian	Responden paling lambat tiba di lokasi penelitian pukul 11.30 dan berganti pakaian khusus untuk penelitian	5 menit
3	Penandatanganan 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
4	Penjelasan intruksi prosedur penelitian	Peneliti menjelaskan tujuan dilakukannya penelitian serta mekanisme pengambilan data kepada partisipan	5 menit
5	Pemasangan alat penelitian kepada responden	Peneliti memasang alat pengambilan data berupa <i>Polar Watch</i> , sensor timpani rancangan laboratorium pada telinga kanan dan sensor timpani komersil pada telinga kiri	5 menit
6	Mengaktifkan perekaman data pada alat penelitian	Peneliti mengaktifkan perekaman data pada setiap alat dan responden duduk selama 10 menit sebelum lari dan diberi air minum	10 menit
7	Responden mulai melakukan aktivitas fisik di <i>treadmill</i>	Responden lari di <i>treadmill</i> sesuai dengan instruksi selama 30 menit	30 menit
8	Responden selesai melakukan aktivitas fisik di <i>treadmill</i>	Responden menghentikan aktivitas berlari di <i>treadmill</i> dan duduk kembali selama 10 menit	10 menit
9	Peneliti menghentikan perekaman data pada responden	Peneliti menghentikan seluruh perekaman data pada setiap alat dan melepas alat dari responden	5 menit
10	Peneliti melakukan <i>export</i> data	Peneliti melakukan <i>export</i> data dari setiap alat pengukuran yang telah digunakan	5 menit

11	Proses pengambilan data selesai	Peneliti mengarahkan responden untuk berganti pakaian dan meninggalkan ruang penelitian	-
----	---------------------------------	---	---

Secara umum, protokol penelitian ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Kedatangan

Selesai



Gambar 13. Prosedur Penelitian