

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Konsep Keseimbangan dan Fungsi Vestibular

Keseimbangan adalah kemampuan tubuh untuk mempertahankan posisi yang stabil dan kontrol atas gerakan, baik dalam keadaan diam maupun bergerak. Sistem keseimbangan melibatkan kerja berbagai komponen seperti sistem vestibular (bagian telinga dalam), sistem visual (mata), dan sistem *proprioceptive* (sensor yang mendeteksi posisi tubuh) (Imray et al., 2020). Keseimbangan yang baik memungkinkan seseorang berjalan, berdiri, atau melakukan aktivitas lain dengan koordinasi yang tepat dengan sistem vestibular. Sistem vestibular adalah bagian dari telinga dalam yang berperan dalam mengatur keseimbangan dan orientasi spasial tubuh. Sistem ini terdiri dari tiga kanal semisirkular (yang mendeteksi gerakan kepala), sakulus dan utrikulus (bagian dari koklea yang mendeteksi percepatan *linier*), dan saraf vestibular yang menghubungkan organ-organ ini dengan otak (Drabkin & Crandall, 2018). Fungsi – fungsi utama sistem vestibular sendiri, meliputi:

1. Deteksi pergerakan: Sistem vestibular mendeteksi gerakan kepala dalam berbagai arah, termasuk rotasi dan percepatan linier.
2. Pemeliharaan keseimbangan: Informasi tentang gerakan kepala diteruskan ke otak untuk mempertahankan keseimbangan saat tubuh bergerak atau berubah posisi.
3. Koordinasi mata dan tubuh: Sistem vestibular membantu mengkoordinasikan gerakan mata dengan gerakan kepala sehingga penglihatan tetap stabil meskipun kepala bergerak

4. Sensasi orientasi: Sistem ini memberikan informasi tentang orientasi tubuh terhadap gravitasi, yang memungkinkan kita merasa berdiri tegak atau miring (Bakayev et al., 2019).

Orientasi ruang utamanya dilakukan oleh sistem visual, sistem vestibular, dan sistem propioseptif. Ketiga sistem ini bekerja secara bersamaan untuk mengirimkan sinyal ke otak guna diproses, sehingga kita dapat memiliki persepsi orientasi ruang yang akurat. Dalam konteks penerbangan, sistem visual seringkali tidak dapat berfungsi optimal untuk orientasi ruang, terutama dalam kondisi penerbangan malam atau cuaca buruk. Oleh karena itu, sistem vestibular dengan dukungan sistem propioseptif memainkan peran krusial dalam menentukan orientasi ruang kita.

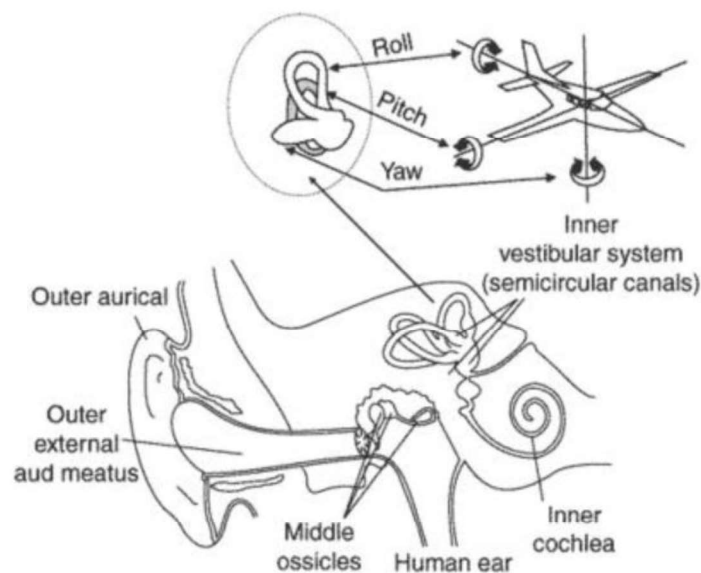
Pada penerbangan, kejadian yang paling umum adalah disorientasi. Disorientasi pada penerbangan dapat dibagi menjadi tiga tipe utama:

- a. Tipe 1: Penerbang tidak menyadari bahwa mereka mengalami disorientasi, sehingga persepsi mereka terhadap permukaan bumi atau ketinggian menjadi tidak sesuai.
- b. Tipe 2: Penerbang menyadari bahwa mereka mengalami disorientasi, sehingga mereka mengalami kesulitan dalam menentukan posisi terhadap permukaan bumi atau ketinggian.
- c. Tipe 3: Penerbang menyadari bahwa mereka mengalami disorientasi, dan terjadi refleks vestibuloocular yang menyebabkan terjadinya nistagmus, sehingga penerbang akan kesulitan dalam melihat dengan jelas (Debenham et al., 2023; Jiang et al., 2021)

2.1.2 Barany Chair sebagai Alat Penguji Keseimbangan

Pemeriksaan *barany chair* merupakan salah satu pemeriksaan yang wajib dilakukan oleh para calon penerbang. Pemeriksaan *barany chair* sudah masuk dalam pemeriksaan ILA (Indoktrinasi dan Latihan Aerofisiologi) yang dilakukan di Lakespra dr. Saryanto (Dan & Aerofisiologi, n.d.). *Barany chair* ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem vestibular dari struktur telinga

bagian dalam, saraf vestibular, batang otak serta otak kecil yang akan mengirimkan sinyal sensorik, koordinasi dan *motoric control*. Sistem vestibular sendiri yang akan mengatur keseimbangan. Postur dan orientasi tubuh dalam beraktivitas. *Barany chair* dilakukan untuk memeriksa keseimbangan tubuh dari para calon penerbang. Mata dan sistem vestibular akan langsung berinteraksi untuk melihat sesuatu saat menggerakkan kepala atau yang biasa dikenal dengan refleks vestibulo-okular (VOR) (Procedure, n.d.).



Gambar 2.1 *Semicircular Canals*. Dikutip dari Mikryukov V

Tes *Barany chair* dilakukan untuk para calon penerbang TNI AU dalam mempersiapkan diri saat mengendarai pesawat karena Indera para penerbang ketika berada dalam pesawat akan terhambat. Indera para penerbang dapat mengirimkan informasi palsu yang dapat mempengaruhi para penerbang dalam mengoperasikan pesawat. Adanya gaya gravitasi yang kuat dan gaya lain yang bekerja pada saat berada di pesawat akan bekerja pada sensor di tubuh yang memberi tahu otak mengenai situasi dan

kondisi dari tubuh para penerbang. Kondisi dari penerbang seperti berada pada situasi ketinggian dan mengemudikan pesawat dengan kondisi cuaca yang berawan, gelap, serta gaya berat mikro dapat mengganggu kemampuan pilot dalam merasakan gerakan yang menghambat kemampuan untuk mengoperasikan pesawat dengan aman. Hasil pemeriksaan *barany chair* berupa *motion sickness* munculnya gejala seperti mual, keringat dingin, muntah (Vogt, n.d.).

2.1.3 Prosedur *Barany Chair*

Pengujian ini dilakukan dengan memanfaatkan kursi khusus yang bisa berputar atau bergerak dalam berbagai arah. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam prosedur *barany chair*:

1. Persiapan Pasien

Pasien duduk di kursi *barany Chair* dengan pegangan yang kuat untuk menstabilkan diri saat kursi bergerak. Pasien diberikan informasi tentang apa yang akan terjadi selama pengujian.

2. Pemeriksaan Awal

Dokter memeriksa keseimbangan pasien dalam kondisi istirahat dan mencatat gejala atau respons awal yang mungkin muncul.

3. Pengujian Berputar

Kursi *barany chair* diatur untuk berputar dalam berbagai kecepatan dan arah. Ini termasuk rotasi cepat, rotasi perlahan, atau gerakan dengan pola tertentu. Pasien diminta untuk melaporkan gejala seperti pusing, mual, atau perasaan tidak seimbang selama kursi bergerak.

4. Pengujian Lainnya

Selain gerakan berputar, pengujian *barany chair* juga dapat melibatkan gerakan tubuh ke depan dan ke belakang atau gerakan lateral. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengaktifkan sistem vestibular pasien dan memeriksa respons keseimbangan mereka.

5. Pencatatan Respons

Dokter atau petugas medis mencatat respons dan gejala yang dilaporkan oleh pasien selama pengujian. Pencatatan ini membantu dalam menganalisis respons keseimbangan pasien terhadap gerakan yang dilakukan.

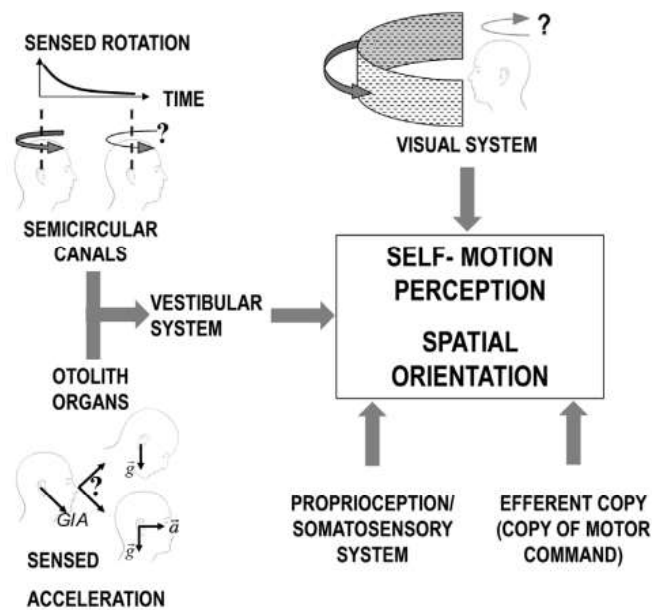
6. Evaluasi Hasil

Berdasarkan respons yang dicatat, dokter dapat mengevaluasi fungsi keseimbangan pasien dan mengidentifikasi adanya masalah atau gangguan keseimbangan.

Penting untuk diingat bahwa prosedur *barany chair* harus dilakukan oleh profesional medis yang terlatih karena pengujian ini dapat memicu gejala mabuk pergerakan yang kuat pada beberapa individu (Anandini, 2021; Sparks, 2018).

2.1.4 Mabuk Gerak (*Motion Sickness*)

Motion sickness index (indeks mabuk pergerakan) adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan sensitifitas seseorang terhadap mabuk pergerakan. Mabuk pergerakan adalah keadaan ketidaknyamanan yang muncul ketika informasi yang diterima oleh mata tidak sesuai dengan informasi yang diterima oleh sistem vestibular (yang mengatur keseimbangan)(Oman, 2020). Indeks berupa skor ini memberikan gambaran tentang seberapa rentan seseorang terhadap gejala mabuk pergerakan saat berada dalam lingkungan yang bergerak atau berputar. Hasil indeks mabuk gerak ini yang akan menunjukkan skor < 2 maka akan dinilai baik terhadap lingkungan yang bergerak dan apabila skor indeks ≥ 2 menunjukkan hasil tidak baik maka dinilai para penerbang tidak tahan terhadap gangguan guncangan saat berada di pesawat.



Gambar 2.2 Skema berbagai sistem sensorik yang berkontribusi terhadap persepsi gerak diri. Dikutip dari Bertolini (Bertolini & Straumann, 2020).

Adanya keterkaitan antara penggunaan *barany chair* dalam menguji respon keseimbangan dan vestibular calon penerbang yang ditunjukkan dengan hasil skor indeks mabuk gerak (Strupp et al., 2017) Penggunaan *barany chair* dapat memberikan informasi tentang seberapa sensitif pasien terhadap perubahan posisi atau gerakan, yang dapat berhubungan dengan potensi gejala motion sickness yang lebih tinggi. Sistem vestibular yang diuji dengan *barany chair* dan mekanisme yang menyebabkan *motion sickness* melibatkan aspek yang berbeda dari sistem tubuh. Keterkaitan ini lebih mengacu pada kemungkinan sensitifitas seseorang terhadap gerakan yang diuji dengan *barany chair* dan bagaimana hal tersebut dapat mempengaruhi respons terhadap *motion sickness*. Gejala yang ditimbulkan dari *barany chair* berupa mual, muntah, keringat dingin ini merupakan suatu hal yang biasa kita sebut mabuk gerak atau *motion sickness*. Saraf otonom pada otak akan memperkirakan gerakan berdasarkan gabungan dari organ vestibular, organ visual dan organ propioseptif. Ketidaksesuaian dalam

terjadinya rangsangan yang diterima oleh organ dapat memunculkan mabuk gerak. Gejala ini akan menjadi lebih parah ketika pasien pasif bergerak pada frekuensi tertentu (Krueger, 2017; Yu et al., 2022).

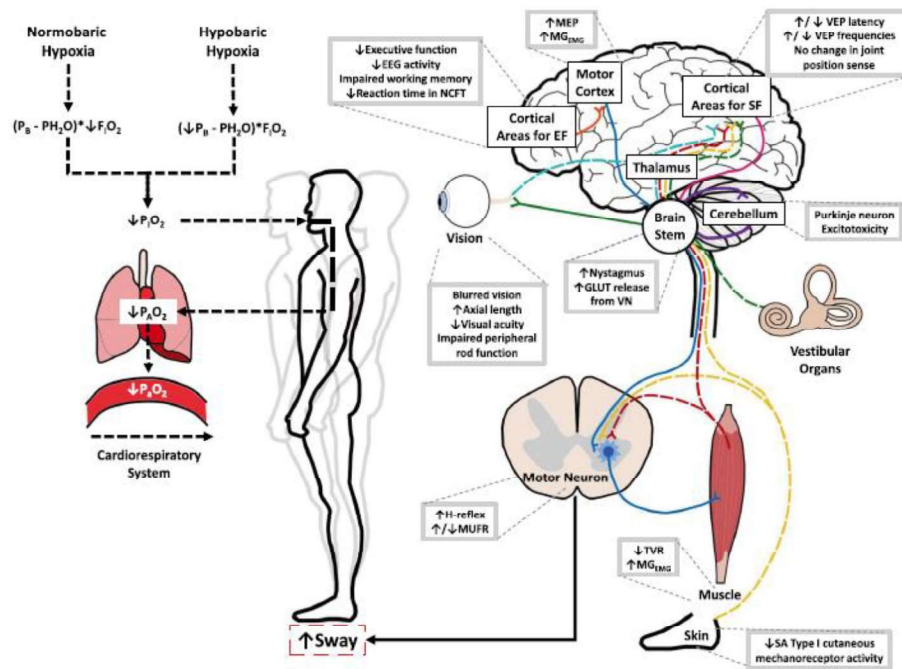
2.1.5 Patofisiologi *Motion Sickness*

Motion sickness adalah reaksi tubuh terhadap pergerakan yang tidak sejalan antara informasi yang diterima oleh mata dan telinga (sistem vestibular). Ini dapat terjadi ketika seseorang berada dalam kendaraan yang bergerak, seperti mobil, kapal, atau pesawat terbang. Gejala *motion sickness* melibatkan mual, muntah, pusing, dan perasaan tidak nyaman lainnya. Ketika seseorang mengalami *motion sickness*, perubahan dalam pola pernapasan dapat terjadi. Para penerbang mulai bernapas lebih cepat sebagai respons terhadap mual yang muncul akibat mabuk pergerakan. Hal ini bisa memengaruhi saturasi oksigen, pernapasan yang tidak efisien atau terlalu cepat dapat mengurangi pertukaran gas yang optimal dalam paru-paru. Efek ini biasanya bersifat sementara dan akan pulih ketika gejala *motion sickness* mereda (Gonggalanzi et al., 2017; Jiang et al., 2021)

2.1.6 Saturasi Oksigen

Saturasi oksigen adalah ukuran persentase dari seberapa banyak hemoglobin dalam darah yang terisi dengan oksigen. Hemoglobin adalah protein dalam sel darah merah yang berfungsi untuk mengikat dan mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh. Ketika darah melewati paru-paru, hemoglobin di dalam sel darah merah berikatan dengan oksigen dari udara yang dihirup. Hasilnya, hemoglobin menjadi oksihemoglobin, yang membawa oksigen melalui aliran darah ke berbagai jaringan dan organ tubuh (Debenham et al., 2021). Saturasi oksigen mengukur persentase dari kapasitas pengikatan hemoglobin yang terisi dengan oksigen pada titik tertentu. Saturasi oksigen diukur dalam persentase dan biasanya diwakili oleh istilah " SpO_2 " (Saturasi Perifer Oksigen) atau " SaO_2 " (Saturasi Arteri Oksigen). Nilai normal saturasi oksigen pada orang dewasa dan sebagian besar individu sehat berkisar

antara 95% hingga 100%. Jika nilai saturasi oksigen berada di bawah 90% maka dikatakan rendah (Choudhary et al., 2022; Ren & Zhou, 2023).



Gambar 2.1.6 Adanya pengaruh kekurangan oksigen terhadap kontrol keseimbangan

Terjadinya konflik sensoris saat penerbang berada dalam situasi di mana sensori visualnya (apa yang dilihat) tidak sesuai dengan sensasi dari sistem vestibularnya (apa yang dirasakan oleh keseimbangan tubuh), konflik sensorik ini dapat memicu *motion sickness*. Misalnya, ketika penerbang berada dalam pesawat dan melihat lingkungan yang stabil melalui jendela tetapi merasakan pergerakan dan guncangan, konflik sensorik ini terjadi. Konflik sensorik tersebut dapat memicu respon fisik dalam tubuh. Salah satu respons umum adalah peningkatan aktivitas saraf otonom yang dapat memengaruhi pernapasan dan detak jantung. Ini dapat menyebabkan hiperventilasi (pernapasan cepat dan dalam), yang pada gilirannya dapat mengubah keseimbangan gas dalam darah, termasuk kadar karbon dioksida (CO_2). Hiperventilasi yang disebabkan oleh respons terhadap

motion sickness dapat mengakibatkan penurunan kadar CO₂ dalam darah. Ini dapat mempengaruhi hemoglobin, protein dalam darah yang membawa oksigen, sehingga dapat mengurangi kapasitas darah untuk membawa oksigen. Selain itu, dehidrasi yang mungkin terjadi akibat muntah juga dapat memengaruhi viskositas darah dan oksigenasi jaringan tubuh (Level & Emergencies, 2018).

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Bahan	Metode	Hasil
1	Mathew IB Debenham. Janelle N Smuin. Tess DA Grantham. Philip N Ainslie. Brian H Dalton (2021)	Hypoxia and standing balance	PubMed	Tinjauan sistematis ini mencakup pencarian literatur yang dilakukan melalui beberapa database dengan kata kunci yang berkaitan dengan keseimbangan postural, hipoksia, dan ketinggian. Artikel (N= 13) dimasukkan jika mereka memenuhi kriteria yang berbeda.	Tinjauan literatur saat ini menunjukkan bahwa keseimbangan berdiri adalah hal yang penting, terganggu secara konsisten ketika terjadi hipoksia

2.	Nurul Wahdah (2014)	Korelasi VO ₂ Max dan faktor lainnya terhadap kecenderungan mabuk gerak pada calon penerbang militer di lakespra saryanto	Data pemeriksaan kesehatan calon penerbang militer pada September 2013, Januari dan Juni 2014 di Lakespra Saryanto	Penelitian ini menggunakan desain penelitian potong lintang, pengambilan sampel secara purposive. Subyek yang diambil 135 orang, analisis menggunakan korelasi regresi linier dengan stata. Terdiri dari 11 orang calon penerbang militer periode September 2013, 108 orang periode januari 2014 dan 16 orang pada bulan mei 2014 di. Mabuk gerak diperoleh dengan provokasi kursi barany. Gejala dan tanda	- VO ₂ max dan neurotic cenderung mempertinggi mabuk gerak pada calon penerbang di Lakespra Saryanto - Kenaikan VO ₂ max terbukti memiliki korelasi positif dengan mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra Saryanto - Neurotik (skala klinik hipokondrosis (Hs) terbukti memiliki korelasi positif dengan mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra Saryanto - Faktor cemas tidak terbukti memiliki korelasi dengan mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra Saryanto
----	---------------------	--	--	---	--

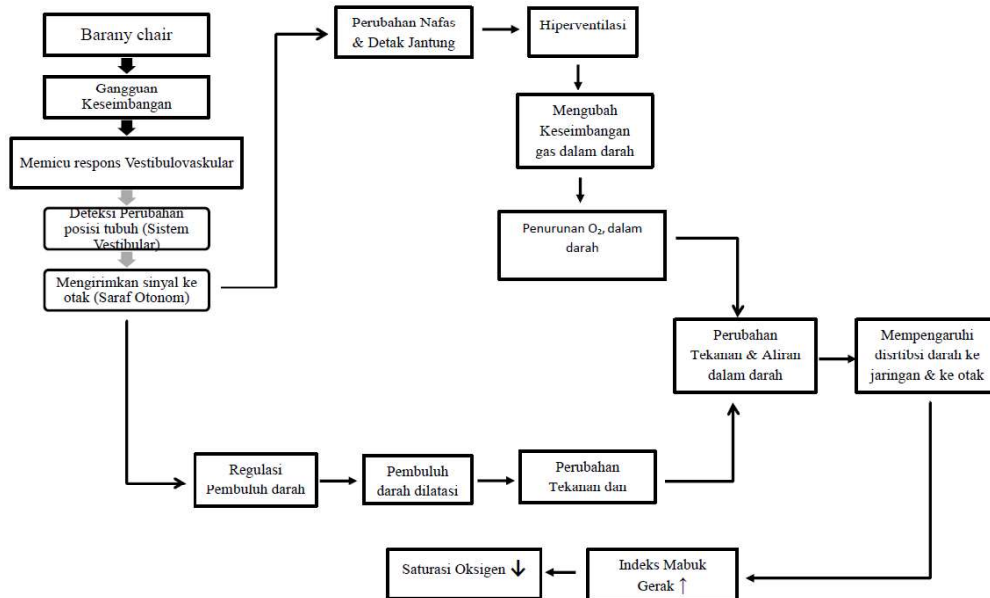
				<p>mabuk gerak ditentukan dengan mengamati timbulnya : keringat dingin, pusing, pucat, mual, ruktus/sendawa, dan muntah</p>	<p>- Indeks massa tubuh tidak terbukti memiliki korelasi dengan mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra Saryanto - Introvert tidak terbukti memiliki korelasi mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra Saryanto - Didapatkannya rumus hasil prediksi nilai mabuk gerak</p>
3.	Herman Muljadi	<p>Pengaruh Latihan lari aerobik 30 mil/minggu selama 7 minggu terhadap toleransi system vestibuler setelah rangsang gerak yang menimbulkan disorientasi ruang tipe</p>	<p>Prajurit TNI AU dengan umur 21 – 23 tahun yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi</p>	<p>Penelitian ini menggunakan uji statistik kemaknaan yang dilakukan dengan test statistic t test berpasangan dan test korelasi dengan pearson</p>	<p>Adanya proses adaptasi atau perubahan pada proses fisiologi tubuh sebagai efek melaksanakan program program Latihan lari aerobik. Pada penelitian tersebut Latihan lari aerobik 30mil/minggu selama 7 minggu tidak</p>

		2 ilusi koriolis			didapatkan penurunan toleransi system vestibuler setelah diberi rangsang gerak yang menimbulkan disorientasi ruang.
4.	Aleida Nugraha	Rentang waktu terjadinya saturasi oksigen 85% sebagai tanda hipoksia awal pada ketinggian 18.000 kaki dalam ruang udara bertekanan rendah serta faktor faktor yang mempengaruhinya pada calon siswa sekang TNI AU	Dilakukan pada 130 calon siswa sekolah penerbangan TNI AU berusia 21 – 26 tahun diukur kadar Hb, saturasi oksigen, fungsi faal kardiorespirasi dan kadar gula darah	Penelitian ini studi eksperimen tanpa pembanding, untuk mengetahui nilai rata rata rentang waktu terjadinya hipoksia awal. Kemudian dilakukan analisis untuk mempelajari hubungan antara beberapa faktor faktor yang berpengaruh (Hb, saturasi oksigen pada permukaan laut, gula darah, fungsi kardiorespirasi dan	-Mengetahui kadar Hb, frekuensi denyut nadi dan kadar gula darah dapat di prediksi rentang waktu terjadinya hipoksia awal -Rerata waktu terjadinya hipoksia awal adalah 199,65 detik dengan 95% -Kadar Hb mempunyai korelasi positif bermakna dengan rentang waktu terjadinya hipoksia awal ($r = 0,3396$; $p = 0,000$) sesuai dengan hipotesis penelitian -Faktor denyut nadi berkorelasi negative bermakna

				VO ₂ maks) dengan rentang waktu tersebut	dengan rentang waktu terjadinya hipoksia awal -Kadar gula darah menunjukkan korelasi positif dan bermakna dengan rentang waktu terjadinya hipoksia awal
5.	B.S.K Cheung M.Sc., K.E.Money, Ph.D., I Jacobs., Dr.Med.Sc	Motion Sickness Susceptibi lity and Aerobic Fitness : A Longitudin al Study	Penelitian menggun akan subyek 7 pria dan 4 wanita di usia 28 – 41 tanpa Riwayat penyakit oculomot or or vestibular disorders	Penelitian ini menggunak an design penelitian cross sectional	hasilnya menunjukkan hubungan antara peningkatan kebugaran aerobik dan peningkatan kerentanan terhadap mabuk perjalanan

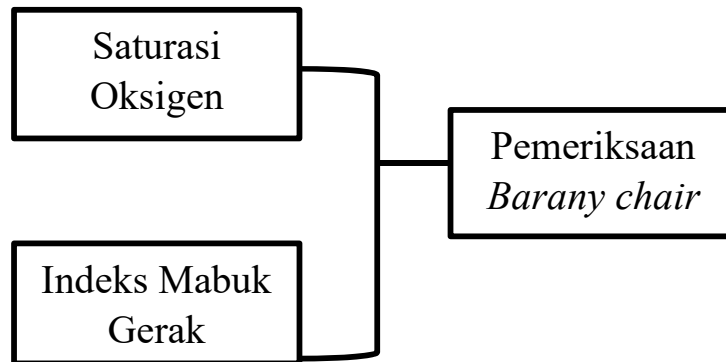
2.3 Kerangka Berpikir

2.2.1 Kerangka Teori



Gambar 2.3 Kerangka Teori

2.2.2 Kerangka Konsep



Gambar 2.4 Kerangka Konsep

2.3 Hipotesis

Penurunan saturasi oksigen berkorelasi dengan peningkatan indeks mabuk gerak pada calon penerbang TNI AU yang melaksanakan pemeriksaan *Barany Chair* di Lakespra dr. Saryanto pada bulan Maret – Juli tahun 2023.