

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Konsep Keseimbangan Tubuh Manusia

2.1.1.1 Sensasi Proprioseptik

Manusia dapat mengetahui dan merasakan dunia melalui sensasi dan persepsi. Sensasi dapat terdeteksi oleh reseptor saraf khusus yang mendeteksi perubahan lingkungan internal atau eksternal tubuh. Setiap reseptor spesifik untuk jenis sensasi tertentu. Ketika reseptor dirangsang, ia memulai sinyal di dendrit terkait, yang melakukan impuls yang terkait dengan sensasi ke sistem saraf pusat (SSP) (Freudenrich & Tortora, 2011). Sensasi somatik termasuk taktil, nyeri, suhu, dan propriosepsi.

Proprioseptor merupakan reseptor khusus yang memberikan informasi mengenai posisi dan gerakan tubuh. Proprioceptors dapat ditemukan di beberapa tempat seperti otot rangka, tendon, dan sendi di seluruh tubuh. Proprioceptors beradaptasi secara perlahan, sehingga otak terus-menerus menerima informasi terkait posisi kepala dan anggota badan serta gerakan. Selain itu, proprioseptor juga memberikan impuls yang diteruskan ke otak kecil dan memberikan berkontribusi dalam mengoordinasikan gerakan tubuh (Freudenrich & Tortora, 2011).

Sensasi proprioseptif memungkinkan kita untuk mengetahui di mana kepala dan anggota badan kita berada atau bergerak. Proprioceptors di otot, tendon, dan sendi merasakan posisi kepala dan anggota badan. Alat vestibular di telinga bagian dalam merasakan orientasi kepala dan leher (Freudenrich & Tortora, 2011). Reseptor ini memberi informasi ke korteks somatosensori dan ke otak kecil.

2.1.1.2 Sistem Vestibular sebagai Media Ekuilibrium Tubuh

Ekuilibrium adalah definisi dari keadaan tubuh yang seimbang, yang mana kata ini digunakan untuk menggambarkan kondisi konsentrasi ion dalam cairan tubuh atau posisi tubuh dalam suatu ruang (Silverthorn, 2013). Informasi sensorik dari telinga bagian dalam dan dari proprioseptor sendi dan otot menyalurkan impulsnya ke otak dan memberi tahu hal-hal terkait lokasi bagian tubuh yang berbeda dalam kaitannya satu sama lain dan dengan lingkungan. Oleh karena itu fungsi vestibular dan proprioseptif menjadi suatu input sensorik yang penting untuk menjaga dan melakukan kontrol postural (Lin et al., 2022). Hal ini juga dibantu oleh adanya informasi visual yang turut memainkan peran penting dalam keseimbangan tubuh.

Kontrol postural membutuhkan integrasi sensorik yang akurat dari input vestibular, visual dan proprioseptif, serta respons motorik yang tepat terhadap perpindahan pusat gravitasi, sehingga dapat memberikan kontrol postural yang tepat sebagai salah satu prasyarat untuk gaya berjalan normal (Lin et al., 2022). Sementara itu, gangguan dalam gaya berjalan juga dapat menyebabkan imobilitas, jatuh, dan peningkatan mortalitas.

Sistem vestibular merupakan sistem utama yang meregulasi keseimbangan postur dan gerakan tubuh. Keseimbangan tubuh dimediasi oleh sel-sel rambut yang melapisi alat vestibular, yang di dalamnya juga berisi cairan dari telinga bagian dalam. Reseptor ini merespons perubahan akselerasi dan penentuan posisi rotasi, vertikal, dan horizontal. Sel-sel rambut berfungsi mirip seperti koklea, bedanya sel rambut ini cenderung bereaksi terhadap gravitasi dan percepatan dalam pergerakan stereosilianya daripada kekuatan akibat gelombang suara. Sel-sel rambut vestibular memiliki silia panjang tunggal yang disebut kinocilium (kinein, untuk bergerak) yang terletak di satu sisi bundel siliaris. Kinocilium ini menciptakan titik referensi untuk arah pembengkokan.

Ketika silia menekuk, ujung tautan di antara mereka membuka dan menutup saluran ion. Gerakan dalam satu arah menyebabkan sel-sel rambut mengalami depolarisasi; Dengan gerakan ke arah yang berlawanan, mereka hiperpolarisasi. Hal ini mirip dengan apa yang terjadi pada sel-sel rambut koklea.

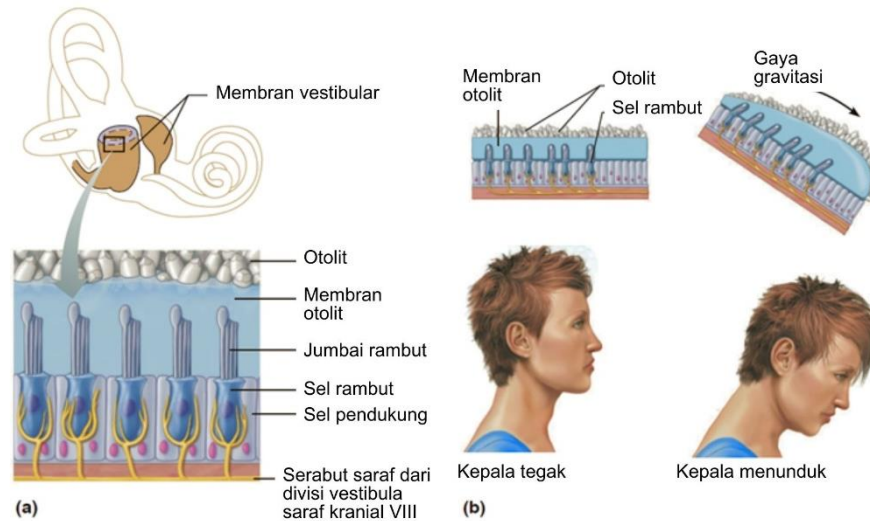
Ada dua jenis keseimbangan yaitu keseimbangan statis dan dinamis. Keseimbangan statis mempertahankan posisi tubuh, khususnya posisi kepala, relatif terhadap arah gravitasi (Freudenrich & Tortora, 2011). Keseimbangan dinamis mempertahankan posisi kepala dan tubuh ketika tubuh bergerak (mempercepat atau memperlambat). Berikut penjelasan mengenai kedua jenis keseimbangan ini:

1. Keseimbangan Statis

Terdapat suatu reseptor dalam organ vestibular yang disebut dengan makula yang memiliki peran penting untuk rasa keseimbangan statis (Gambar 2.1). Reseptor ini melaporkan tentang terjadinya perubahan pada posisi kepala sehubungan dengan perubahan gerak akibat gravitasi ketika tubuh tidak bergerak, dengan begitu otak akan mendapat informasi tentang jalan mana yang naik atau turun dan membantu untuk menjaga kepala kita tetap tegak. Makula sangat penting bagi penyelam yang berenang di kedalaman gelap (di mana sebagian besar isyarat orientasi lainnya tidak ada), memungkinkan mereka untuk mengetahui arah mana yang naik (ke permukaan).

Setiap makula merupakan sejumlah sel reseptor dengan "rambut" yang tertanam dalam membran otolit, massa agar-agar bertabur otolit, batu-batu kecil yang terbuat dari garam kalsium. Otolit akan berguling sebagai respons terhadap perubahan tarikan gaya gravitasi saat kepala bergerak,. Gerakan ini menciptakan tarikan pada gel, yang pada gilirannya menekuk rambut sel-sel rambut. Pembengkokan mengaktifkan sel-sel rambut, yang mengirimkan impuls

di sepanjang saraf vestibular (divisi saraf kranial VIII) ke otak kecil otak, menginformasikan posisi kepala di ruang angkasa (Marieb & Keller, 2018).



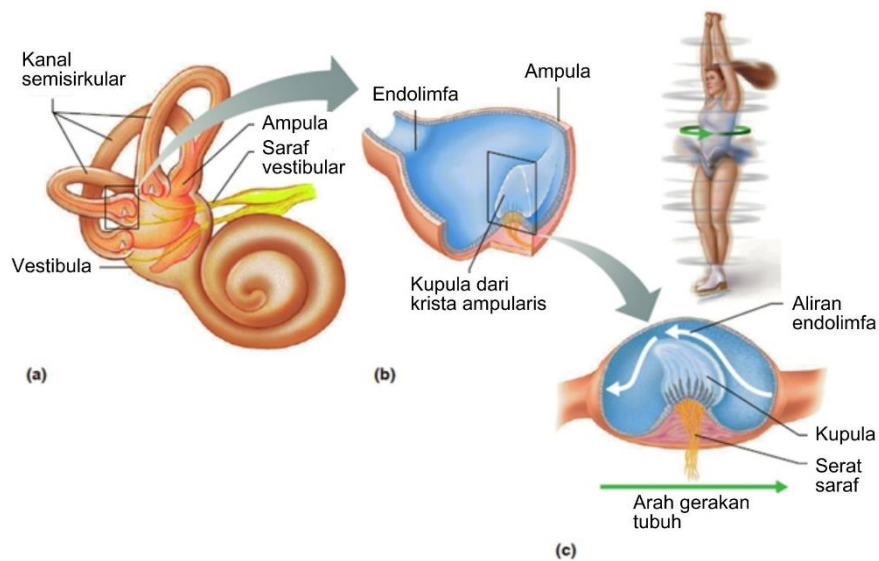
Gambar 2.1 Struktur dan Fungsi Makula sebagai Reseptor Ekuilibrium Statis (Marieb & Keller, 2018)

2. Keseimbangan Dinamis

Reseptor kesetimbangan dinamis, yang ditemukan di kanal setengah lingkaran, merespons gerakan sudut atau rotasi kepala daripada gerakan garis lurus. Ketika Anda berputar-putar di lantai dansa atau menderita melalui perjalanan karnaval berputar, reseptor ini bekerja lembur. Kanal setengah lingkaran (masing-masing sekitar 1/2 inci, atau 1,3 cm, sekitar) berorientasi pada tiga bidang ruang (Marieb & Keller, 2018). Jadi, terlepas dari pesawat mana Anda bergerak, akan ada reseptor untuk mendeteksi gerakan.

Daerah bengkak di dasar setiap kanal setengah lingkaran membran yang terdapat dalam ampula (Gambar 2.2a), merupakan beberapa daerah reseptor. Masing-masing dari area tersebut adalah krista ampularis yang terdiri dari seberkas sel-sel rambut yang ditutupi

dengan topi agar-agar di atasnya yang disebut kupula (Marieb & Keller, 2018).



Gambar 2.2 Struktur dan Fungsi Krista Ampularis sebagai Reseptor Ekuilibrium Dinamik (Marieb & Keller, 2018)

Ketika kepala Anda bergerak dalam arah seperti busur atau sudut, endolimfa di kanal tertinggal di belakang gerakan (Gambar 2.2c). Kemudian, saat kupula menyeret endolimfa stasioner, kupula membungkuk — seperti sirip penyelam di air — dengan gerakan tubuh (Marieb & Keller, 2018). Hal ini merangsang sel-sel rambut, dan menyebabkan terjadinya penyaluran impuls ke saraf vestibular ke otak kecil. Menekuk kupula ke arah yang berlawanan mengurangi pembentukan impuls. Ketika Anda bergerak pada tingkat yang konstan, reseptor secara bertahap berhenti mengirimkan impuls, dan Anda tidak lagi memiliki sensasi gerak sampai kecepatan atau arah gerakan Anda berubah.

Pergerakan sel-sel rambut dalam apparatus vestibular menghasilkan potensial aksi dan mengirim impuls saraf melalui cabang vestibular saraf vestibulocochlear (saraf kranial VIII) ke berbagai bagian otak termasuk medula, pons, otak kecil, dan area vestibular korteks di lobus parietal. Inti vestibular di pons juga menerima dan

mengintegrasikan informasi sensorik dari mata dan proprioceptor di otot kepala dan leher (Freudenrich & Tortora, 2011). Informasi ini masuk ke korteks dan otak kecil, yang mengkoordinasikan gerakan otot.

Meskipun reseptor kanal setengah lingkaran dan ruang depan masing-masing bertanggung jawab atas keseimbangan dinamis dan statis, mereka biasanya bertindak bersama. Selain indra keseimbangan ini, penglihatan dan proprioceptor otot dan tendon juga penting dalam menyediakan otak kecil dengan informasi yang digunakan untuk mengontrol keseimbangan (Marieb & Keller, 2018).

2.1.2 Mabuk Gerak (*Motion Sickness*)

2.1.2.1 Pengertian Mabuk Gerak

Mabuk gerak merupakan sindrom umum dan kompleks yang dapat terjadi pada seseorang sebagai respons terhadap gerakan nyata atau yang dirasakan secara langsung atau tidak langsung. Hasil yang termanifestasi akibat mabuk gerak bisa beragam, termasuk diantaranya adalah gejala gastrointestinal, sistem saraf pusat (SSP), dan otonom. Terdapat variabilitas individu yang memiliki kerentanan cukup besar terhadap mabuk perjalanan, karena beberapa orang ini dapat mengalami mabuk gerak akibat provokasi minimal yang umumnya tidak menimbulkan gejala pada orang lain (Zhang et al., 2016).

Mabuk perjalanan biasanya dipicu oleh gerakan lateral dan vertikal berfrekuensi rendah (berkendara menggunakan transportasi udara, laut, jalan raya) atau oleh stimulasi gerakan oleh simulator virtual (*video game*, realitas virtual). Saat bermain *video game* tradisional dalam posisi berdiri atau duduk, seseorang dapat mengalami mabuk gerak pada tingkat tertentu dalam suatu saat (Lawrence et al., 2022). Teori yang paling banyak diterima untuk menjelaskan terjadinya mabuk gerak adalah teori konflik sensorik dan ketidakcocokan saraf (Zhang et al., 2016). Teori ini menunjukkan gambaran konflik yang terjadi antara sistem visual, vestibular, dan somatosensori yang

dipicu oleh adanya gerakan nyata ataupun virtual. Aferen dari aparatus vestibular nantinya akan tiba di inti vestibular batang otak, yang juga menerima impuls atau masukan yang berasal dari sistem visual dan proprioseptif (Koch et al., 2018).

Gejala mabuk gerak pertama kali dijelaskan oleh Hippocrates dalam bukunya yang berbicara tentang pelayaran di tengah laut yang dapat mengakibatkan gangguan pada tubuh. Gejala utama mabuk perjalanan (gerak) adalah berupa mual yang dalam bahasa Inggris adalah “nausea” dan berasal dari Bangsa Yunani yaitu “naus” yang berarti kapal (Golding, 2016). Gejala mabuk gerak lainnya bisa bermacam-macam, mulai dari yang paling umum, keringat dingin, pucat, mual dan muntah, sakit kepala, menguap, mengantuk, kehilangan nafsu makan, hingga peningkatan produksi air liur (Golding, 2016). Biasanya terdapat suatu peristiwa atau paparan terhadap gerakan asing yang mendahului dan memicu gejala mabuk gerak (Lackner, 2014). Selain itu, terdapat faktor lain seperti hipoksia yang dapat mengganggu fungsi jalur sensorik dan tempat integrasi yang penting dalam kontrol keseimbangan, meskipun belum jelas mengenai bagaimana hal ini terjadi dan faktor spesifik apa yang terganggu (Debenham et al., 2021). Namun, secara jelas dan konsisten terdapat keterkaitan dengan terjadinya hipoksia saat gejala visual mabuk gerak muncul (Debenham et al., 2021).

Terkait dengan mabuk gerak, menarik perhatian peneliti untuk melakukan riset terhadap intervensi yang berkorelasi dengan peningkatan kemampuan keseimbangan. Beberapa penelitian pada berbagai jenis latihan mulai dari latihan pilate, naik tangga, latihan getaran hingga menari menunjukkan hasil peningkatan yang signifikan dalam kemampuan keseimbangan dan memberikan bukti bahwa aktivitas fisik dapat mengurangi risiko jatuh (Thomas et al., 2019).

2.1.2.2 *Barany Chair* sebagai Alat Uji Mabuk Gerak

Barany chair adalah alat yang digunakan sebagai tes pemeriksaan vestibular. Alat ini merupakan tes komplementer yang berharga dalam pengujian laboratorium vestibular yang mengevaluasi fungsi vestibular dan mengidentifikasi defisit dalam refleks vestibulo-okular (VOR) dalam tiga dimensi (Van De Berg et al., 2018).

Tes ini memungkinkan untuk evaluasi berbagai bagian labirin dan melengkapi tes tradisional seperti tes kalori dan tes kursi rotasi. Namun, penting untuk dicatat bahwa pelaksanaan dan interpretasi tes ini memerlukan pelatihan dan pemahaman intensif, dan standardisasi diperlukan. Berikut beberapa tujuan pemeriksaan *barany chair* sesuai dengan KEP KASAU No. 267 tahun 2020:

1. Melatih calon penerbang dan atau penerbang untuk melakukan orientasi waktu saat *airborne*.
2. Memberikan pemahaman dan penekanan mudahnya terjadi disorientasi.
3. Mendemonstrasikan nystagmus.
4. Mengindoktrinasi nilai ambang batas mabuk gerak bagi calon penerbang dan atau penerbang.

Dalam pelaksanaannya, pemeriksaan ini dapat menyebabkan pusing atau sensasi berputar-putar (*vertigo*) pada individu terkait yang juga dapat disertai dengan munculnya nistagmus dan persepsi berguling (Van De Berg et al., 2018). Efek yang muncul ini diyakini disebabkan oleh interaksi medan magnet statis yang kuat dengan arus listrik alami di endolimfa telinga bagian dalam dan menghasilkan tekanan berkelanjutan pada kupula kanal setengah lingkaran, mirip dengan gaya inersia selama percepatan kepala. Interaksi inilah yang dapat menyebabkan nistagmus, dan menjadi salah satu indikasi terjadinya mabuk gerak.

2.1.2.3 Prosedur *Barany Chair*

Komponen vestibular adalah sistem sensasi yang sangat penting dalam kontrol sistem keseimbangan, gerak bola mata, dan pengendalian kepala. *Barany chair* digunakan untuk mempelajari fisiologi keseimbangan saat tubuh diputar dan mengetahui nilai mabuk gerak dari orang yang sedang melakukan pemeriksaan. Berdasarkan KEP KASAU No. 267 tahun 2020, terdapat beberapa tahap dalam melakukan pemeriksaan *barany chair* ini:

1. Peserta duduk di kursi dan tangan memegang *stick* yang ada di depan kursi.
2. Setelah peserta siap, selanjutnya kursi diputar dengan kecepatan putaran 5 rpm untuk merangsang canalis semi sirkularis.
3. Evaluasi dengan cara memutar peserta melalui *barany chair* selama waktu, arah, dan derajat pemutaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan *profile flight*.
4. Pada akhir pemeriksaan, putaran kursi akan diberhentikan secara otomatis, dan peserta diinstruksikan untuk membuka mata secara perlahan.
5. Terakhir, perhitungan *motion sickness index* (MSI) dilakukan.

Perlu diketahui bahwa pemeriksaan ini memicu gejala gangguan keseimbangan berupa keringat dingin, pusing, pucat, mual, sendawa, dan muntah. Adapun MSI didapat dari jumlah gejala dibagi dengan paparan waktu.

2.1.3 *Time of Useful Consciousness* (TUC)

2.1.3.1 Pengertian TUC

Oksigen merupakan gas yang menjadi sumber kehidupan utama bagi tubuh. Apabila tubuh kekurangan oksigen maka akan terjadi berbagai masalah yang salah satu manifestasinya adalah hipoksia (Acharya et al., 2017). Ketika pesawat terbang melakukan penerbangan, semakin tinggi

area terbangnya maka tekanan udara akan semakin turun. Sesuai dengan fisiologis tubuh bahwasanya manusia bernapas dengan mengandalkan perbedaan tekanan antara paru-paru dengan lingkungan sekitar, serta udara akan berpindah dari tekanan tinggi ke rendah (Marieb & Keller, 2018). Sehingga apabila tekanan udara sekitar menurun menyebabkan perbedaan tekanan yang kecil antara udara di paru-paru dengan lingkungan sekitar maka perpindahan udara tidak akan maksimal dan semakin sulit.

Selain itu, kondisi atmosfer itu sendiri juga memengaruhi karena semakin tinggi area udara maka oksigen yang tersedia juga semakin turun. Hal inilah yang pada akhirnya menyebabkan kadar oksigen di dalam darah berkurang hingga menyebabkan terjadinya hipoksia.

Hipoksia hipobarik diakui sebagai ancaman fisiologis yang paling signifikan terjadi selama masa penerbangan di ketinggian. Saat pesawat naik ke ketinggian, tekanan barometrik akan turun, menyebabkan penurunan tekanan parsial beserta turunnya kandungan oksigen molekuler dalam udara yang kita hirup. Bahkan penurunan 25 persen dalam tekanan parsial oksigen yang dapat terjadi pada ketinggian 8.000 kaki dapat mengganggu kinerja dan kondisi mental, sedangkan paparan lingkungan tiba-tiba pada ketinggian 50.000 kaki mengakibatkan dekompresi cepat yang dapat menyebabkan terjadinya kehilangan kesadaran dalam 12-15 detik bahkan hingga kematian dalam waktu empat hingga enam menit, karena tekanan parsial oksigen di paru-paru turun menjadi sepuluh persen dari nilai normal pada permukaan laut (Wahyudin, 2023).

Selama proses terjadinya hipoksia hingga semakin parah, manusia memiliki sisa waktu beberapa detik maupun menit untuk mempertahankan kesadarannya tetap optimal untuk melakukan kegiatan atau mengontrol tubuh, hal ini disebut dengan waktu kesadaran efektif atau disebut juga dengan TUC (Beer et al., 2017).

TUC secara definitif merupakan waktu yang tersedia bagi seseorang untuk melakukan tindakan yang diperlukan sebelum akhirnya kehilangan kesadaran akibat kekurangan oksigen (hipoksia) pada altitudes tinggi (Kim et al., 2023). Di dalam konteks penerbangan, TUC menjadi hal yang sangat penting sehingga perlu untuk dipahami oleh personel penerbangan, karena dapat menjadi faktor penentu dalam keselamatan penerbangan itu sendiri. Untuk itu, TNI AU memberikan pelatihan khusus bagi para penerbang berupa Indoktrinasi dan Latihan Aerofisiologi (ILA) untuk mempersiapkan dan juga mengevaluasi diri tiap tahunnya agar siap dan aman selalu setiap melakukan penerbangan. Terkhusus untuk TUC, dilakukan pemeriksaan dalam *hypobaric chamber* dengan tekanan setara pada ketinggian 25000 kaki.

2.1.3.2 Pemeriksaan *Hypobaric Chamber*

Pemeriksaan menggunakan *hypobaric chamber* adalah salah satu metode yang digunakan dalam pemeriksaan kesehatan penerbangan dengan menciptakan kembali perubahan tekanan yang dialami manusia selama penerbangan sesuai dengan kondisi tekanan atmosfer yang semakin rendah di setiap peningkatan ketinggiannya (altitude tinggi) di dalam ruang khusus yang terkendali (Loo et al., 2017; Self et al., 2011). Hal ini penting dilakukan untuk menguji sejauh mana tubuh manusia dapat beradaptasi dengan lingkungan penerbangan yang tentunya berbeda dengan lingkungan normal pada umumnya yang mana dalam adaptasi ini juga diperlukan mental dan juga fisik yang prima sehingga dapat mengatasi lingkungan yang ekstrem. Dengan adanya pemeriksaan ini, maka faktor risiko terjadinya penyakit yang berkaitan seperti barotrauma dapat diperiksa kemungkinan kejadiannya (Ang et al., 2022). Selain itu pemeriksaan ini juga berfungsi untuk memeriksa respon tubuh terhadap kekurangan oksigen atau hipoksia, dan menilai seberapa besar toleransi tubuh terhadap kejadian hipoksia ini selama penerbangan. Suatu penerbang diharuskan menggunakan oksigen tambahan ketika berada pada tekanan fisiologis di

ketinggian 10.000 kaki (baik di kabin tanpa tekanan atau bertekanan). Dengan begitu, penerbang terbang dengan pakaian bertekanan (pakaian khusus penerbang) ini akan mempertahankan tingkat oksigenasi darah yang lebih tinggi daripada penerbang yang tidak menggunakannya (Smith, 2013).

Dalam prosedur pemeriksaannya, subjek yang sudah siap akan diberi pengetahuan awal mengenai *hypobaric chamber* ini, mulai dari pengertian, apa yang akan terjadi di dalamnya, dan apa yang perlu subjek lakukan selama berada di dalam chamber. Selanjutnya subjek masuk chamber dan *hypobaric chamber* akan mulai dipompa untuk mensimulasikan tekanan udara yang lebih rendah, biasanya setara dengan ketinggian 25000 kaki di atas permukaan laut, juga untuk menghindari penyakit dekompresi karena risiko penyakit ini akan meningkat pada ketinggian lebih dari 25000 kaki (Putri et al., 2024). Selama pemeriksaan, fungsi vital seperti saturasi oksigen darah, tekanan darah, dan detak jantung akan dipantau secara terus-menerus. Selain itu, dalam chamber subjek diberikan suatu tugas atau tes yang dapat mencakup tugas fisik atau kognitif untuk menguji bagaimana kesadaran subjek dapat dan masih berfungsi dengan baik pada kondisi oksigen yang lebih rendah. Pada saat tugas yang diberikan sudah tidak terlaksana atau dikerjakan dengan baik maka waktu akan dicatat sebagai nilai TUC dan pemeriksaan selesai dilaksanakan.

Hasil pemeriksaan akan menunjukkan sejauh mana tubuh dapat mentoleransi penurunan oksigen dan tekanan dilihat dari gejala yang muncul pada subjek. Jika seseorang menunjukkan gejala hipoksia seperti pusing, kebingungan, atau kesulitan bernapas, maka mereka mungkin memerlukan perhatian medis atau pelatihan tambahan. Orang yang dapat mempertahankan saturasi oksigen normal dan tidak menunjukkan gejala hipoksia dapat dianggap fit untuk beroperasi di ketinggian tinggi.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

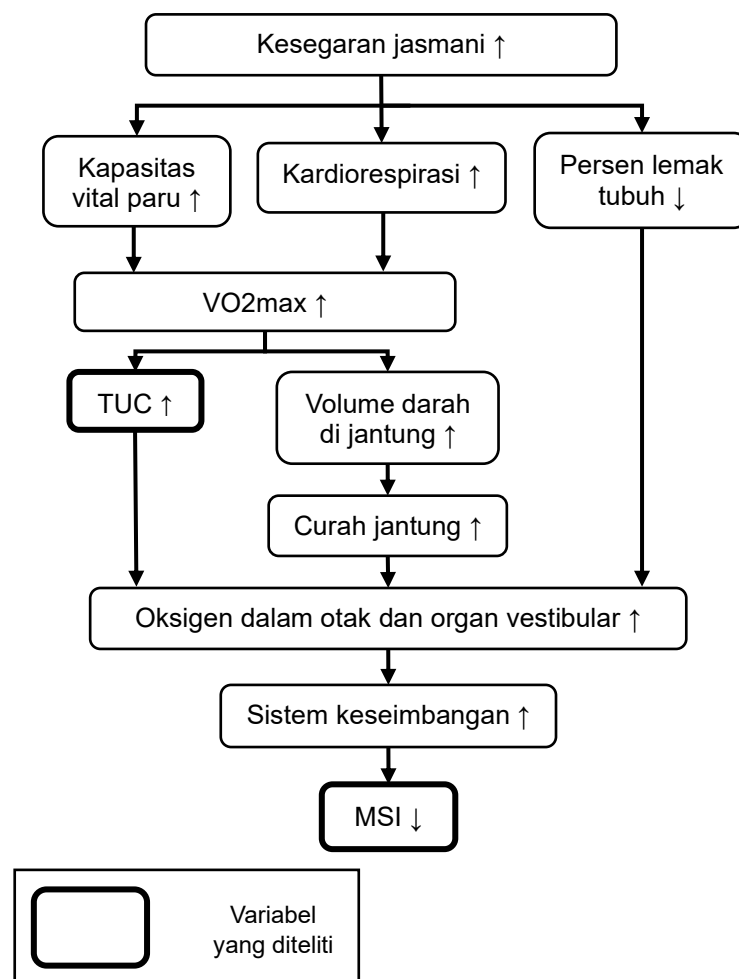
No	Penulis (tahun)	Judul	Subjek	Metode	Hasil
1.	Wahdah (2014)	Korelasi VO2 max dan faktor lainnya terhadap kecenderungan mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra Saryanto	Calon penerbang militer pada September 2013, Januari dan Juni 2014 di Lakepra dr. Saryanto	Analisis menggunakan korelasi regresi linier dengan stata. Mabuk gerak diperoleh dengan provokasi <i>barany chair</i>	VO2max dan juga neurotik cenderung menjadi faktor dominan yang mempertinggi nilai mabuk gerak pada calon penerbang militer di Lakespra dr. Saryanto
2.	Wang et al. (2023)	Hypoxic Acclimatization Training Improves the Resistance to Motion Sickness	Total 48 pria sehat (umur: 21 ± 1,3 tahun; IMT: 22,6 ± 2,3 kg/m ²) yang dikelompokkan ke dalam empat grup yaitu HAT, 3DRT, dan gabungan dari HAT	Melakukan analisis perbandingan antar grup dengan <i>two-way ANOVA</i> yang hasilnya diekspresikan dalam bentuk mean ± standar deviasi	<i>Hypoxia acclimatization training</i> dan <i>3D roller training</i> memiliki efek yang mirip yaitu mengurangi gejala mabuk gerak yang diakibatkan oleh <i>rotatory chair</i> , serta meningkatkan ketahanan terhadap mabuk gerak

			dengan 3DRT		
3.	Ren et al. (2023)	Assessing Passengers' Motion Sickness Levels Based on Cerebral Blood Oxygen Signals and Simulation of Actual Ride Sensation	Delapan mahasiswa sarjana dengan komposisi empat pria dan empat wanita	Bayesian Ridge Regression dilakukan dengan variabel independen tiga parameter karakteristik oksigen darah otak yang dinormalisasi dan variabel dependen skor FMS subjek	Perubahan sinyal yang terdapat pada oksigen darah otak memiliki korelasi yang sangat besar dengan tingkat mabuk gerak
4.	Debenham et al. (2021)	Hypoxia and standing balance	Subjek yang didapatkan dari 13 jurnal secara total sejumlah 319 umur yang bervariasi mulai dari 18 hingga 54 tahun	Tinjauan sistematis dari 13 jurnal yang telah masuk kriteria inklusi berdasarkan banyak basis data dengan pencarian menggunakan kata kunci <i>balance</i> , <i>hypoxia</i> , dan <i>altitude</i>	Hipoksia mengganggu keseimbangan berdiri. Mekanisme yang mendasari penurunan postural kemungkinan melibatkan sistem sensorimotor yang kompleks
5.	Thomas et al. (2019)	Physical activity programs for balance and	Subjek dalam delapan jurnal	Tinjauan sistematis beberapa jurnal yang	Keseimbangan merupakan kualitas

		fall prevention in elderly	terinklusi, yaitu lansia sehat di atas 65 tahun selama satu dekade terakhir	diambil dari Medline-NLM, Pubmed, ScienceDirect, dan SPORTDiscus serta telah dilakukan seleksi berdasarkan kriteria inklusi	multifaktorial yang dapat ditingkatkan secara efektif melalui berbagai cara latihan olahraga. Peningkatan aktivitas fisik pada orang dewasa sangatlah penting
6.	Chen et al. (2016)	Comparison of Motion Sickness-induced Cardiorespiratory Responses between Susceptible and Non-susceptible Subjects and the Factors Associated with Symptom Severity	13 pria muda (umur: $21,6 \pm 2,2$ tahun; tinggi: $173,5 \pm 5,3$ cm; berat: $68,7 \pm 12$ kg) yang sehat dan tidak merokok	Analisis statistik antara hasil provokasi mabuk gerak menggunakan paradigma stimulasi silang Coriolis (rotasi yang dikombinasikan dengan gerakan pitch kepala peserta) dengan respon kardiorespirasi, fungsi paru, dan kapasitas aerobik	Peserta dengan kapasitas aerobik yang lebih rendah memiliki gejala mabuk perjalanan yang lebih parah, sedangkan pada peserta dengan kapasitas aerobik yang tinggi tidak dapat memprediksi gejala mabuk perjalanan.

2.3 Kerangka Berpikir

2.3.1 Kerangka Teori

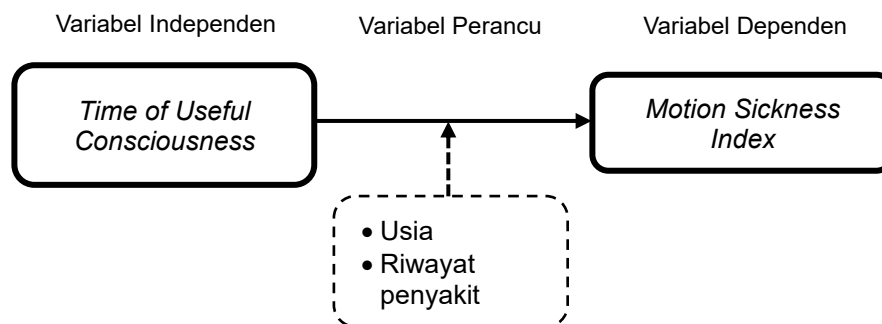


Gambar 2.3 Kerangka Teori

Kerangka teori yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari berbagai referensi terkait permasalahan yang menjelaskan tentang mabuk gerak dan sistem keseimbangan. Komposisi tubuh memiliki korelasi yang signifikan dengan kebugaran fisik (Rusni et al., 2019). Kebugaran fisik ini bisa didapat melalui olah raga yang nantinya dapat meningkatkan aliran darah ke otak (Lucas-Cuevas et al., 2015). Di samping itu, lemak tubuh juga berpengaruh karena dapat memberikan beban yang tidak menguntungkan dalam fungsi jantung dan penyerapan oksigen (Laxmi et al., 2014). Dengan adanya oksigenasi yang baik pada otak, maka sistem keseimbangan juga

akan membaik (Ren & Zhou, 2023). Berkaitan dengan oksigenasi tersebut, orang dengan daya tahan otot pernapasan yang lebih rendah maka cenderung memiliki gejala mabuk gerak yang lebih parah (Chen et al., 2016). Oksigenasi otak pada orang dengan hipoksia sangatlah buruk sehingga berpengaruh terhadap fungsi vestibular dan menyebabkan munculnya berbagai gejala mabuk gerak (Li et al., 2018; Wagner et al., 2016; Zhou et al., 2022). Dalam kerangka teori tersebut, TUC mewakili nilai ketahanan terhadap hipoksia pada ketinggian 25000 kaki dan MSI mewakili nilai ketahanan terhadap mabuk gerak.

2.3.2 Kerangka Konsep



Gambar 2.4 Kerangka Konsep

Berdasarkan kerangka konsep yang terlampir, penelitian ini menganalisis korelasi antara TUC sebagai variabel bebas terhadap MSI sebagai variabel terikat. Data TUC didapat dari data pemeriksaan *hypobaric chamber*, sedangkan data MSI berasal dari hasil pemeriksaan *barany chair*.

2.4 Hipotesis

H0 (Hipotesis Nol) : Tidak terdapat korelasi yang signifikan antara TUC dan MSI pada calon penerbang TNI AU yang melaksanakan pemeriksaan di Lakespra dr. Saryanto pada tahun 2023.

H1 (Hipotesis Alternatif) : Terdapat korelasi yang signifikan antara TUC dan MSI pada calon penerbang TNI AU yang melaksanakan pemeriksaan di Lakespra dr. Saryanto pada tahun 2023.