

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sindrom Down adalah kelainan genomik disabilitas intelektual yang paling umum dan disebabkan oleh trisomi kromosom Homo sapiens 21 (HSA21). Menurut *World Health Organization* (WHO), 1 dari 1.100 kelahiran di seluruh dunia adalah penyandang sindrom Down (Asim *et al.*, 2015). Secara global, prevalensi sindrom Down meningkat sekitar 25% dari tahun 1990 hingga 2019, namun angka beban penyakit dan angka kematian penyandang sindrom Down mengalami penurunan selama 3 dekade tersebut. Data dari Asia Tenggara, selain prevalensi, menunjukkan bahwa beban penyakit dan angka kematian masih meningkat sebesar 6% dan 7% dari tahun 1990 hingga 2019 (Chen *et al.*, 2022). Data dari Indonesia melaporkan bahwa sindrom Down menyumbang terhadap kedisabilitasan sejak lahir terbesar kedua pada angka 0,21% setelah minimal satu jenis kedisabilitasan lainnya pada angka 0,41% (Sabatini *et al.*, 2022). Kasus sindrom Down pada anak berusia 24 – 59 bulan cenderung menunjukkan peningkatan. Tercatat pada tahun 2010 sebanyak 0,12%, tahun 2013 di angka 0,13%, dan meningkat menjadi 0,21% pada tahun 2018 (Anggeriyane, 2020). Berdasarkan data-data tersebut, dapat disimpulkan bahwa sindrom Down masih menjadi masalah kesehatan dengan prevalensi, beban penyakit, dan angka kematian yang cenderung meningkat terutama di negara berkembang.

Diperkirakan ada 80 kondisi klinis yang lebih sering terjadi pada orang dengan sindrom Down dibandingkan dengan mereka yang tidak menderita sindrom ini, namun tidak semua kondisi muncul pada semua individu (Boato *et al.*, 2022). Salah satu gangguan pada penyandang sindrom Down adalah gangguan kontrol postur. Kontrol postur dianggap sebagai keterampilan motorik kompleks yang berasal dari interaksi berbagai proses sensorimotor untuk mengendalikan tubuh dalam ruang. Hal ini mencakup interaksi antara sistem sensorik, sistem saraf pusat (SSP) dan sistem motorik. Kemampuan untuk mengontrol postur tubuh bergantung pada sistem sensorik yang mengintegrasikan informasi dalam SSP untuk menghasilkan respons motorik yang sesuai dengan kebutuhan lingkungan (Rigoldi *et al.*, 2011). Penelitian sebelumnya meyakini bahwa kontrol postural merupakan dasar pengembangan keterampilan motorik, sehingga gangguan kontrol postur dapat menyebabkan kurangnya keseimbangan dinamis, keterlambatan perkembangan motorik dan kesulitan dalam melakukan tugas-tugas motorik fungsional yang dapat berlanjut hingga dewasa dan pada akhirnya sangat berpengaruh pada kemandirian penyandang sindrom Down terutama dalam aktivitas kehidupan sehari-hari. Strategi yang tepat dan dapat diaplikasikan pada anak serta efisien untuk memperbaiki kontrol postural diperlukan untuk meningkatkan kemandirian pada anak sindrom Down terutama pada aspek motorik kasar (Rigoldi *et al.*, 2011; Brugnaro *et al.*, 2022).

Berbagai strategi telah diterapkan untuk meningkatkan keterampilan motorik dan kontrol postural pada anak-anak dengan sindrom Down, mulai dari strategi khusus untuk pengembangan keterampilan dasar yang menyenangkan dan latihan neuromuskular hingga latihan dengan modalitas tertentu, namun salah satu kekurangan dengan terapi konvensional yang diamati adalah pelaksanaannya yang bergantung pada teknik yang digunakan terapis, konsistensi terapis dalam memberikan perintah sehingga berpotensi menimbulkan mekanisme dan hasil yang heterogen, tingginya bias dalam penilaian hasil intervensi, dan kurangnya kepatuhan untuk melakukan terapi yang diberikan, sehingga penggunaan teknologi sebagai media intervensi untuk terapi direkomendasikan agar lebih terukur secara obyektif dan membantu anak sindrom Down yang memiliki keterbatasan intelektual dalam memahami perintah karena disertai adanya *feedback multisensory* (Gómez Álvarez *et al.*, 2018).

Salah satu pengembangan latihan berbasis teknologi adalah pemanfaatan lingkungan virtual yang dapat memfasilitasi pembelajaran seorang anak, khususnya anak penyandang sindrom Down (da Cruz Netto *et al.*, 2020). Pendekatan ini mencakup penggunaan *virtual reality* (VR), *augmented reality* (AR), maupun teknologi imersif lain yang termasuk dalam konsep *extended reality* (XR). Dalam penelitian ini, istilah *IR* digunakan untuk menggambarkan pendekatan latihan berbasis lingkungan virtual yang menggabungkan elemen VR dan AR secara imersif. Sebelum berkembangnya konsep IR, penelitian mengenai VR telah lebih dahulu menunjukkan berbagai manfaat pada anak dengan sindrom Down. Abdel Ghafar *et al.* melaporkan bahwa intervensi VR

selama 8 minggu secara signifikan meningkatkan fungsionalitas keseimbangan dibandingkan terapi konvensional (Abdel Ghafar and Abdelraouf, 2017). Stander *et al.* juga melaporkan dalam sebuah kajian sistematis bahwa VR dapat meningkatkan keseimbangan, ketangkasan, dan kekuatan otot secara signifikan pada anak sindrom Down mulai dari 6 hingga 24 minggu setelah intervensi (Stander *et al.*, 2021). Pemanfaatan AR juga telah dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan belajar pada penyandang sindrom Down (Salah, Abdennadher and Atef, 2017; Santos *et al.*, 2017). Selain efektivitas dalam perbaikan klinis, penggunaan VR juga lebih menguntungkan dalam pembiayaan dengan perbedaan rata-rata biaya sebesar 5,39 USD = Rp 84.681,21 (kurs per tanggal 25 Januari 2024) dan menghemat sekitar 89,2% dalam pembiayaan. Salah satu faktor yang memengaruhi efektivitas biaya tersebut adalah penurunan lama terapi sebesar 14,6% pada pasien yang menggunakan VR dibandingkan dengan tatalaksana konvensional (Delshad *et al.*, 2018). Pemanfaatan VR dan AR kemudian dapat dipertimbangkan dan direkomendasikan pada anak dengan sindrom Down, terutama untuk meningkatkan kemampuan motorik kasar dan keseimbangan sebagai alternatif dari terapi konvensional. Perkembangan teknologi VR dan AR tersebut selanjutnya mendorong munculnya pendekatan terapi yang lebih imersif dalam spektrum *extended reality* (XR).

Dalam penelitian ini, pendekatan tersebut disebut sebagai *IR* (IR), yaitu penggunaan lingkungan virtual imersif yang memadukan elemen VR dan AR dalam proses latihan rehabilitasi. Terapi IR telah dieksplorasi dalam berbagai kondisi neurologis, termasuk penyakit autisme (Li *et al.*, 2023), cerebral palsy (CP) (Gagliardi *et al.*, 2018), dan gangguan neurodevelopmental lainnya (Tan *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian sebelumnya, terapi IR memberi efek positif terhadap kemampuan motorik kasar, kemampuan berjalan, keseimbangan, dan kebugaran pada anak CP (Gagliardi *et al.*, 2018; Lee, Oh dan Lee, 2022a). Saat ini, belum ada penelitian yang mengevaluasi efek terapi IR pada anak dengan sindrom Down. Terapi IR pada sindrom Down diasumsikan dapat memberi manfaat yang serupa dengan pasien CP karena beberapa komponen keseimbangan yang terganggu pada kedua penyakit tersebut hampir sama, seperti gangguan tonus pada otot (Patel *et al.*, 2020; Jain *et al.*, 2022), gangguan propriosepsi (Ryu and Song, 2016), masalah pada vestibular (El Shennawy, 2015), hingga gangguan visual (El Shennawy, 2015; Sansare *et al.*, 2022). Oleh karena itu, diperlukan metode pemeriksaan yang sesuai untuk mengevaluasi perubahan kemampuan keseimbangan dan fungsi motorik pada anak dengan sindrom Down setelah pemberian intervensi. Mengingat terapi IR ditujukan untuk memperbaiki fungsi keseimbangan dan motorik, maka diperlukan metode pemeriksaan yang tepat untuk mengevaluasi perubahan kemampuan tersebut pada anak dengan sindrom Down setelah pemberian intervensi.

Pemeriksaan kontrol postur, terutama keseimbangan, pada anak dengan sindrom Down perlu perhatian khusus, karena pemeriksaan tersebut sebaiknya menggunakan perintah yang sederhana, aman, serta mampu menilai keseimbangan statis dan dinamis. Sebuah penelitian yang mengevaluasi reliabilitas dari 16 pemeriksaan keseimbangan pada individu sindrom Down menyarankan pemeriksaan berdiri satu kaki dan berjalan di atas papan. Akan tetapi, kedua pemeriksaan tersebut masih memiliki keterbatasan karena belum dapat mengevaluasi seluruh komponen keseimbangan fungsional secara komprehensif, serta memerlukan peralatan dan tempat pemeriksaan yang lebih luas. Oleh karena itu, diperlukan instrumen pemeriksaan yang tervalidasi, mudah diaplikasikan, serta mampu menilai keseimbangan statis dan dinamis pada anak sindrom Down.

Keseimbangan fungsional merupakan salah satu aspek penting yang perlu dinilai secara objektif pada anak dengan sindrom Down, karena berperan dalam kemampuan mempertahankan postur dan melakukan aktivitas gerak sehari-hari. *Pediatric Balance Scale* (PBS) merupakan versi modifikasi dari *Berg Balance Scale* yang dirancang khusus untuk anak usia 5–15 tahun guna menilai keseimbangan fungsional. PBS terdiri dari 14 item aktivitas, seperti berdiri tanpa bantuan, berpindah dari duduk ke berdiri, berdiri di satu kaki, meraih objek, berputar, dan berpindah posisi. Setiap item dinilai menggunakan skala ordinal 0–4 dengan skor total berkisar antara 0–56, di mana skor yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan keseimbangan yang lebih baik (Jain *et al.*, 2022).

Keseimbangan fungsional pada anak dengan sindrom Down juga berkaitan erat dengan kemampuan motorik kasar, karena aktivitas lokomotor dan kontrol objek memerlukan integrasi kontrol postur, koordinasi, dan stabilitas tubuh yang baik. Oleh karena itu, evaluasi kemampuan motorik kasar dapat digunakan untuk menggambarkan kemampuan gerak fungsional anak dengan

sindrom Down. *Test of Gross Motor Development-2* (TGMD-2) merupakan instrumen standar untuk menilai kemampuan motorik kasar anak usia 3–10 tahun yang dikembangkan oleh Dale A. Ulrich. Instrumen ini mengukur dua domain utama, yaitu keterampilan lokomotor (seperti berlari, melompat, dan gerak berpindah) serta keterampilan kontrol objek (seperti melempar, menangkap, menendang, dan menggiring bola). Penilaian dilakukan secara observasional berbasis kriteria, di mana setiap item dilakukan dua kali percobaan dan diberi skor berdasarkan pemenuhan komponen gerakan tertentu sehingga menghasilkan skor kuantitatif perkembangan motorik kasar (Tun *et al.*, 2023).

Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang mengevaluasi efektivitas latihan keseimbangan berbasis IR terhadap kemampuan motorik kasar dan keseimbangan pada anak dengan sindrom Down. Oleh karena itu, diperlukan instrumen pemeriksaan yang mampu mengevaluasi perubahan fungsi motorik dan keseimbangan secara objektif setelah pemberian intervensi. Pada anak dengan sindrom Down, TGMD-2 dan PBS telah terbukti memiliki reliabilitas dan validitas yang baik dalam menilai kemampuan motorik kasar dan keseimbangan. Kedua instrumen ini juga sensitif dalam mendeteksi perubahan fungsi sebelum dan sesudah intervensi, sehingga sesuai digunakan untuk mengevaluasi efektivitas latihan keseimbangan berbasis IR pada anak dengan sindrom Down. Berdasarkan uraian tersebut, peneliti bermaksud meneliti efektivitas latihan keseimbangan berbasis IR terhadap nilai TGMD-2 dan PBS pada anak dengan sindrom Down.

Evaluasi luaran intervensi rehabilitasi tidak hanya perlu dilakukan segera setelah intervensi selesai, tetapi juga dapat dilakukan pada periode tindak lanjut untuk menggambarkan apakah perubahan kemampuan motorik dan keseimbangan masih tampak setelah latihan aktif dihentikan. Hal ini sejalan dengan prinsip motor learning dan postural learning, di mana latihan berulang dapat menghasilkan proses adaptasi, konsolidasi, dan retensi keterampilan motorik. Hingga saat ini belum terdapat protokol baku mengenai waktu evaluasi yang paling tepat pada intervensi latihan keseimbangan berbasis teknologi pada anak dengan sindrom Down. Namun, beberapa penelitian sebelumnya melakukan evaluasi sebelum dan sesudah intervensi, serta menggunakan interval evaluasi dua hingga empat minggu untuk menilai perubahan setelah intervensi atau pada masa tindak lanjut. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini melakukan evaluasi PBS dan TGMD-2 pada minggu ke-8 dan minggu ke-10, yaitu dua dan empat minggu setelah intervensi selesai pada minggu ke-6.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah Apakah latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality lebih efektif dibandingkan latihan keseimbangan konvensional dalam meningkatkan nilai Pediatric Balance Scale dan Test of Gross Motor Development-2 pada anak dengan sindrom Down?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality dibandingkan latihan keseimbangan konvensional terhadap perubahan nilai Pediatric Balance Scale dan Test of Gross Motor Development-2 pada anak dengan sindrom Down.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menganalisis perubahan nilai Pediatric Balance Scale sebelum dan sesudah latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality pada anak dengan sindrom Down.
2. Menganalisis perubahan nilai Test of Gross Motor Development-2 sebelum dan sesudah latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality pada anak dengan sindrom Down.
3. Menganalisis perubahan nilai Pediatric Balance Scale sebelum dan sesudah latihan keseimbangan konvensional pada anak dengan sindrom Down.
4. Menganalisis perubahan nilai Test of Gross Motor Development-2 sebelum dan sesudah latihan keseimbangan konvensional pada anak dengan sindrom Down.
5. Menganalisis perbedaan efektivitas antara latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality dan latihan keseimbangan konvensional terhadap perubahan nilai Pediatric Balance Scale dan Test of Gross Motor Development-2 pada anak dengan sindrom Down.

6. Menganalisis keberlanjutan perubahan nilai Pediatric Balance Scale dan Test of Gross Motor Development-2 pada minggu ke-8 dan minggu ke-10 setelah intervensi latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality maupun latihan keseimbangan konvensional.

1.4 Manfaat

1.4.1 Manfaat bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu kedokteran fisik dan rehabilitasi, khususnya mengenai pemanfaatan teknologi Immersive Reality sebagai media latihan keseimbangan pada anak dengan sindrom Down.
2. Penelitian ini juga diharapkan dapat menambah bukti ilmiah mengenai efektivitas latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality terhadap keseimbangan fungsional yang dinilai dengan Pediatric Balance Scale dan keterampilan motorik kasar yang dinilai dengan Test of Gross Motor Development-2.

1.4.2 Manfaat bagi Pelayanan Kesehatan

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi tenaga kesehatan, khususnya dokter spesialis kedokteran fisik dan rehabilitasi, fisioterapis, serta tenaga rehabilitasi lainnya, mengenai potensi pemanfaatan Immersive Reality sebagai pendekatan latihan pendukung dalam program rehabilitasi anak dengan sindrom Down.
2. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan layanan rehabilitasi yang lebih interaktif, terukur, menyenangkan, dan sesuai dengan karakteristik anak dengan sindrom Down, terutama dalam meningkatkan keseimbangan fungsional dan keterampilan motorik kasar.

1.4.3 Manfaat bagi Penelitian Selanjutnya

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya mengenai penggunaan teknologi Immersive Reality dalam rehabilitasi anak dengan sindrom Down, baik dengan jumlah sampel yang lebih besar, durasi intervensi yang lebih panjang, maupun periode follow-up yang lebih lama.
2. Penelitian ini juga dapat menjadi rujukan awal untuk mengembangkan desain penelitian lanjutan yang membandingkan latihan konvensional, latihan berbasis Immersive Reality, dan kombinasi keduanya, serta mengevaluasi aspek kepatuhan, keamanan, efektivitas klinis, dan cost-effectiveness dari penggunaan Immersive Reality dalam pelayanan rehabilitasi.

1.5 Novelty Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality sebagai pendekatan intervensi rehabilitasi pada anak dengan sindrom Down. Penelitian sebelumnya telah banyak mengevaluasi penggunaan latihan konvensional, virtual reality, augmented reality, maupun exergame non-immersive dalam meningkatkan kemampuan motorik dan keseimbangan anak dengan sindrom Down. Namun, penelitian yang secara khusus mengevaluasi efektivitas latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality terhadap keseimbangan fungsional dan keterampilan motorik kasar pada anak dengan sindrom Down masih terbatas.

Kebaruan penelitian ini tidak hanya terletak pada penggunaan teknologi Immersive Reality sebagai media latihan, tetapi juga pada desain intervensi yang mengintegrasikan latihan keseimbangan terstruktur dengan umpan balik visual, auditori, dan stimulasi multisensorik dalam lingkungan virtual yang imersif. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu anak dengan sindrom Down yang memiliki keterbatasan kognitif, gangguan integrasi sensorimotor, hipotonia, dan gangguan kontrol postural dalam memahami instruksi latihan serta mempertahankan motivasi selama intervensi.

Selain itu, penelitian ini mengevaluasi dua luaran fungsional secara bersamaan, yaitu Pediatric Balance Scale sebagai ukuran keseimbangan fungsional dan Test of Gross Motor Development-2 sebagai ukuran keterampilan motorik kasar. Evaluasi dilakukan secara serial, mulai dari sebelum intervensi, selama intervensi, setelah intervensi, hingga periode follow-up minggu ke-8 dan minggu ke-10. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menilai perubahan segera setelah latihan, tetapi juga menggambarkan keberlanjutan perubahan keseimbangan dan keterampilan motorik kasar setelah intervensi aktif dihentikan. Berdasarkan hal tersebut, kebaruan utama penelitian ini adalah

penerapan latihan keseimbangan berbasis Immersive Reality pada anak dengan sindrom Down dengan penilaian komprehensif terhadap keseimbangan fungsional dan keterampilan motorik kasar, serta evaluasi serial hingga periode follow-up.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

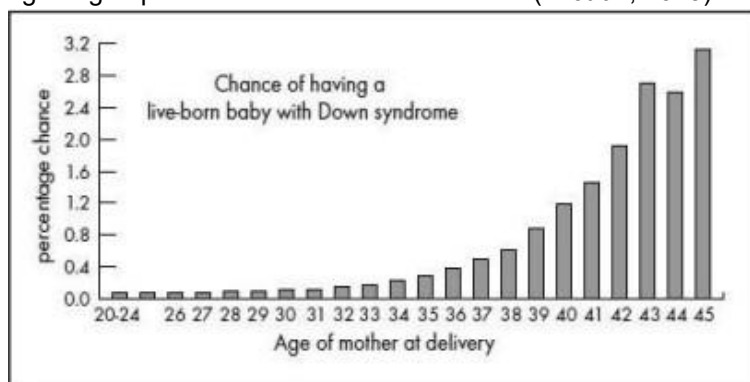
2.1 Sindrom Down

Dokter Inggris John Langdon pada tahun 1866 pertama kali menjelaskan mengenai sindrom Down, namun hubungannya dengan kromosom 21 ditemukan hampir 100 tahun kemudian oleh Dr. Jerome Lejeune di Paris (Pal and Daley, 2026). sindrom Down merupakan kelainan genetik yang paling sering terjadi dan paling mudah diidentifikasi sebagai kelainan trisomi, di mana terdapat tambahan kromosom pada kromosom 21. Kromosom ekstra tersebut menyebabkan jumlah protein tertentu juga berlebih sehingga mengganggu pertumbuhan normal tubuh dan menyebabkan perubahan perkembangan otak yang sudah tertata sebelumnya. Selain itu, kelainan tersebut dapat menyebabkan keterlambatan perkembangan fisik, ketidakmampuan belajar, penyakit jantung bawaan, gangguan hormonal, dan berbagai gangguan yang bisa ditemukan pada setiap individu (Shin *et al.*, 2009). Sebagian besar kasus sindrom Down tidak diturunkan, melainkan terjadi karena kesalahan selama pembelahan sel.

Hingga saat ini belum diketahui pasti penyebab sindrom Down. Namun, diketahui bahwa kegagalan dalam pembelahan sel inti yang terjadi pada saat pembuahan dapat menjadi salah satu penyebab yang sering dikemukakan dan penyebab ini tidak berkaitan dengan apa yang dilakukan ibu selama kehamilan. sindrom Down terjadi karena kelainan susunan kromosom ke-21 dari 23 kromosom manusia. Pada manusia normal, 23 kromosom tersebut berpasang-pasangan hingga berjumlah 46. Pada penyandang sindrom Down, kromosom 21 tersebut berjumlah tiga (trisomi), sehingga total menjadi 47 kromosom (Antonarakis *et al.*, 2004).

Insiden kejadian sindrom Down diperkirakan 1 di antara 800–1.000 kelahiran. Frekuensi kejadian sindrom Down di Indonesia adalah 1 dalam 600 kelahiran hidup. Di seluruh dunia, prevalensi keseluruhan adalah 10 kasus sindrom Down per 10.000 kelahiran hidup, meskipun dalam tahun terakhir angka ini telah meningkat. Insiden penyandang sindrom Down dilaporkan meningkat di Finlandia, yakni sebesar 1/364 kelahiran, di Dubai 1/449, dan di Belanda 1/625 (Sherman *et al.*, 2007). Di beberapa negara di mana aborsi merupakan tindakan ilegal, seperti di Irlandia dan di Uni Emirat Arab, prevalensi sindrom Down lebih tinggi. Sebaliknya, di Prancis, prevalensi sindrom Down rendah. Hal ini mungkin disebabkan oleh persentase penghentian kehamilan yang tinggi pada anak dengan sindrom Down terdeteksi. Di Belanda, data terbaru tentang prevalensi sindrom Down adalah 16 per 10.000 kelahiran hidup. Di Inggris, prevalensi kehamilan bayi dengan sindrom Down telah meningkat secara signifikan, namun belum ada perubahan secara keseluruhan pada prevalensi kelahiran hidup dari sindrom Down (Sherman *et al.*, 2007).

Usia ibu saat hamil memengaruhi risiko melahirkan anak dengan sindrom Down. Semakin meningkat usia ibu saat kehamilan, semakin besar risiko melahirkan anak dengan sindrom Down.^{10,11} Pada saat usia ibu 20-24 tahun, risiko kejadian sindrom Down yaitu 1:1490, usia 40 tahun sekitar 1:106 kelahiran, dan pada usia 49 tahun sekitar 1:11 kelahiran (Gambar 2.1). Walaupun demikian, sekitar 80% anak dengan sindrom Down lahir dari ibu yang berusia kurang dari 35 tahun karena usia tersebut merupakan kelompok usia subur. Didapatkan peningkatan angka kejadian sindrom Down seiring dengan pertambahan usia ibu saat hamil (Li *et al.*, 2023).



Gambar 2.1 Hubungan kejadian sindrom Down dengan usia ibu saat hamil

Anak sindrom Down dapat dikenali dari karakteristik fisiknya. Beberapa karakteristik fisik khusus meliputi: bentuk kepala yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan orang normal (*microcephaly*) dengan area datar di bagian tengkuk. Ubun-ubun berukuran lebih besar dan menutup lebih lambat (rata-rata usia 2 tahun). Bentuk mata sipit dengan sudut bagian tengah membentuk lipatan (*epicanthal folds*). Bentuk mulut yang kecil dengan lidah besar (*macroglossia*) sehingga tampak menonjol keluar. Saluran telinga bisa lebih kecil sehingga mudah buntu dan dapat menyebabkan gangguan pendengaran jika tidak diterapi. Garis telapak tangan yang melintang lurus/horizontal (*simian crease*), penurunan tonus otot (*hypotonia*). Jembatan hidung datar (*depressed nasal bridge*), cuping hidung, dan jalan napas lebih kecil sehingga anak sindrom Down mudah mengalami obstruksi jalan napas.

Untuk skrining pada masa kehamilan, Singh *et al.* (2004) menyarankan dilakukan skrining pada ibu hamil yang mempunyai risiko tinggi, yaitu ibu hamil berusia tua. Skrining dapat dilakukan dengan cara noninvasif, yaitu melalui *triple*, *quad*, *AFP/free beta*, dan *nuchal translucency screening test*. Skrining yang positif harus ditindaklanjuti dengan usaha untuk menegakkan diagnosis prenatal dengan menggunakan cara yang lebih invasif, yaitu *Chorionic Villous Sampling*, *Amniosintesis*, atau *Percutaneous Umbilical Blood Sampling*. Sementara diagnosis sindrom Down postnatal dilakukan berdasarkan identifikasi karakteristik fisik yang sering dijumpai pada bayi baru lahir dengan sindrom Down dan dikonfirmasi dengan analisis kromosom (Shin *et al.*, 2009).

Kelainan genetik yang terjadi pada masa embrio ini, selain memberikan gambaran fisik yang berbeda pada anak sindrom Down, juga berdampak pada munculnya berbagai masalah kesehatan. Kim *et al.* (2017) memaparkan bahwa pada anak sindrom Down terjadi gangguan sistem motorik dan sistem kognitif akibat berkurangnya jumlah neuron sistem saraf pusat, gangguan maturasi myelin, dan disregulasi siklus sel yang berdampak pada produksi prekursor protein berlebih dan kelainan neurotransmisi (Pal and Daley, 2026).

Beberapa penelitian melaporkan bahwa perkembangan motorik pada anak dengan sindrom Down berlangsung lebih lambat dibandingkan anak dengan perkembangan tipikal, dengan laju pencapaian keterampilan motorik yang dapat mencapai dua kali lebih lambat. Menurut penelitian Riquelme Agulló *et al.*, anak dengan sindrom Down menunjukkan keterlambatan dalam pencapaian keterampilan motorik kasar, termasuk meraih, duduk, merangkak, dan berjalan. Sementara anak dengan perkembangan tipikal umumnya mencapai keterampilan tersebut selama tahun pertama kehidupan, anak dengan sindrom Down memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapainya. Keterlambatan tersebut berkaitan dengan berbagai karakteristik yang umum ditemukan pada sindrom Down, seperti hipotonia, kelemahan otot, hiperlaksitas ligamen, gangguan kontrol postural, serta rendahnya partisipasi dalam aktivitas fisik, yang secara keseluruhan dapat memengaruhi



proses perkembangan motorik.

Disfungsi motorik ini menyebabkan terbatasnya perkembangan di berbagai domain (Riquelme Agulló and Manzanal González, 2006). Anugrah *et al.* (2023) menyatakan gangguan kognitif

Gambar 2.2 Wajah dismorfik anak dengan sindrom *Down* (Pal and Daley, 2026).

mengakibatkan berkurangnya proses integrasi dalam sistem saraf, pengambilan keputusan terjadi lebih lama, kemampuan mengintegrasikan informasi multi-indra menjadi lebih rendah, dan waktu reaksi sederhana terjadi lebih lama sehingga anak sindrom Down masuk dalam kategori disabilitas intelektual (Anugrah et al., 2023)

Gangguan kognitif dan gangguan motorik yang dialami anak sindrom Down secara langsung berdampak pada keseimbangan. Keseimbangan tubuh merupakan integrasi kompleks dari sistem somatosensori yang terdiri dari visual, vestibular, proprioseptif dan motorik, yaitu muskuloskeletal, otot, sendi, dan jaringan lunak, yang keseluruhan kerjanya diatur oleh otak untuk merespons pengaruh internal dan eksternal tubuh (Lengkana et al., 2020). Kemampuan untuk menjaga keseimbangan dalam duduk dan berdiri berfungsi sebagai prediktor penting dari keselamatan, kemandirian, dan kualitas hidup individu. Keseimbangan statis dan dinamis sangat penting untuk mempertahankan postur tubuh yang stabil dan melakukan berbagai aktivitas kehidupan sehari-hari. Penelitian oleh Jain et al. (2022) menyatakan bahwa individu sindrom Down lahir dengan keseimbangan dan gangguan kontrol postur yang tidak adekuat yang disebabkan oleh beberapa gangguan, seperti hipotonia, *ligamentous laxity*, penurunan kekuatan otot, gangguan kontraktilitas otot, kontrol postural yang tidak memadai, dan gangguan proprioepsi (Jain et al., 2022). Jung et al. (2017) menyimpulkan bahwa keseimbangan adalah domain yang terkena dampak paling parah pada anak-anak dan remaja dengan sindrom Down dari semua gangguan fungsional yang diteliti (Jung, Chung, and Lee, 2017). Maka, berlandaskan kondisi tersebut, diperlukan latihan terapeutik untuk mengupayakan fungsi keseimbangan anak sindrom Down secara adekuat.

2.2 Latihan keseimbangan

Profesional rehabilitasi menggunakan berbagai jenis latihan terapeutik (misalnya penguatan, program ketahanan, fleksibilitas, aktivitas keseimbangan), serta latihan fungsional pada berbagai kondisi medis. Pada anak dengan sindrom Down terjadi perlambatan perkembangan dan ditemukan bahwa tak satu pun dari anak-anak sindrom Down dalam kelompok usia 3 hingga 6 tahun dapat mengembangkan fungsi motorik sampai 100%, sehingga diperlukan intervensi terapi untuk mengatasi permasalahan tersebut dan untuk memberikan terapi yang sesuai serta efektif. Untuk menentukan program yang diberikan, penting untuk memahami konsep motorik, *motor learning*, dan *postural learning* (Malak et al., 2015).

2.2.1 Motor Learning

Konsep motorik didefinisikan sebagai kemampuan untuk mengatur dan mengarahkan mekanisme gerakan, sedangkan *motor learning* digambarkan sebagai serangkaian proses yang terkait dengan latihan atau pengalaman yang mengarah pada perubahan yang relatif permanen dalam kemampuan menghasilkan gerakan terampil. Tiga tahapan *motor learning* menurut Winstein, C. J. (1987) adalah sebagai berikut (B. Suhartin, 2015):

- **Cognitive stage.** Pada tahap ini diperlukan pemusatan perhatian dalam memahami tugas-tugas motorik yang akan dilakukan dan strategi untuk melakukannya.
- **Associative stage.** Mulai dikembangkan rujukan internal tentang pergerakan motorik yang tepat dalam melakukan suatu tugas motorik.
- **Autonomous stage.** Ditandai dengan atensi minimal pada penampilan motorik.

Kemampuan untuk mendeteksi kesalahan telah berkembang sepenuhnya dan performa motorik bersifat stabil dan otomatis. Pada tahap pertama, gerakan masih lambat, tidak konsisten, dan tidak efisien, dan sebagian besar gerakan dikendalikan secara sadar. Pada tahap kedua, gerakan menjadi lebih lancar, andal, dan efisien, serta beberapa bagian gerakan dikendalikan secara otomatis. Dan pada tahap ketiga, gerakannya akurat, konsisten, dan efisien, dan sebagian besar gerakan dikendalikan secara otomatis (Weaver, 2015).

Menariknya, adaptasi saraf yang mendasari tahapan perilaku ini juga tampaknya bervariasi sesuai durasi pelatihan. Ketika mencoba mempelajari cara manusia mempelajari keterampilan motorik, perlu mempertimbangkan peran penting adaptasi saraf. Ketika keterampilan dilakukan berulang-ulang, berbagai respons adaptif terjadi di seluruh sistem saraf, baik pusat maupun perifer. Kemudian selanjutnya perlu diketahui kapan, pada tingkat saraf, suatu keterampilan dapat dianggap

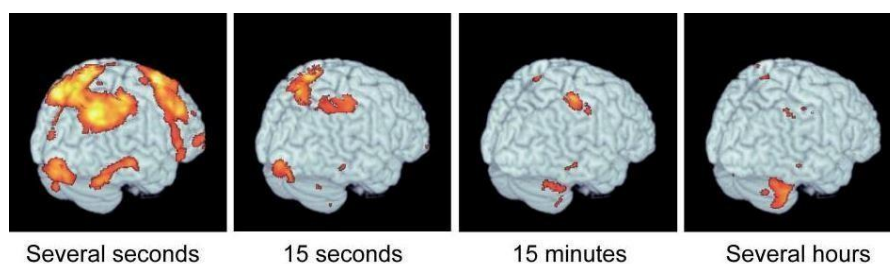
dipelajari dan apakah ada faktor yang memengaruhi tingkat adaptasi saraf terhadap perolehan keterampilan. Bakker dan rekannya (2021) menemukan bahwa satu sesi pelatihan keseimbangan khusus selama 30 menit secara signifikan meningkatkan kinerja tugas, tetapi tidak menemukan perubahan signifikan pada tingkat saraf setelah dilakukan pengukuran fasilitasi intrakortikal (Bakker *et al.*, 2021). Jensen *et al.* (2005) menemukan peningkatan signifikan dalam rangsangan kortikospinal menggunakan *transcranial magnetic stimulation* (TMS) setelah 4 minggu pelatihan berbasis keterampilan, menunjukkan pentingnya adaptasi neuromuskular terhadap pembelajaran motorik (Jensen, Marstrand and Nielsen, 2005).

Terdapat penelitian yang mencoba menguraikan garis waktu adaptasi saraf terkait perolehan dan retensi keterampilan motorik dari tahap jangka pendek hingga retensi keterampilan jangka panjang. Sebuah penelitian melakukan tinjauan yang menguraikan adaptasi yang terkait dengan sistem saraf tepi dan adaptasi saraf di berbagai rentang waktu paparan pelatihan keterampilan motorik yang didefinisikan sebagai: awal - 1 sesi, jangka pendek - 2 hingga 30 sesi, dan jangka panjang - 3+ tahun. Adaptasi pertama yang terkait dengan tugas motorik baru dikaitkan dengan peningkatan kemanjuran sinaptik. Dalam peralihan dari tahap awal ke tahap akhir adaptasi, lebih banyak plastisitas struktural terjadi dengan peningkatan representasi gerakan M1 dan sinaptogenesis (Iacoangeli, 2022).

Ma *et al.* (2011), mencoba menjelaskan adaptasi kortikal terkait dengan pembelajaran motorik. 10 peserta yang tidak kidal diminta untuk mempraktikkan tugas pembelajaran motorik, yaitu pola gerakan jari berurutan, selama 15 menit setiap hari sambil merekam video sesi latihannya. Para peserta juga menjalani sesi fMRI selama minggu 0, minggu 2, dan minggu 4 pelatihan untuk menilai konektivitas fungsional. Para penulis secara menarik mengidentifikasi pola adaptasi saraf yang terkait dengan durasi pelatihan. Selama 2 minggu pertama terdapat peningkatan kekuatan yang signifikan untuk konektivitas fungsional pada girus postcentral kanan dan girus supramarginal bilateral. Peningkatan konektivitas fungsional ini secara signifikan terkait dengan peningkatan kinerja. Terdapat peningkatan berkelanjutan dalam konektivitas fungsional pada Minggu ke-2 hingga Minggu ke-4 (Ma *et al.*, 2011).

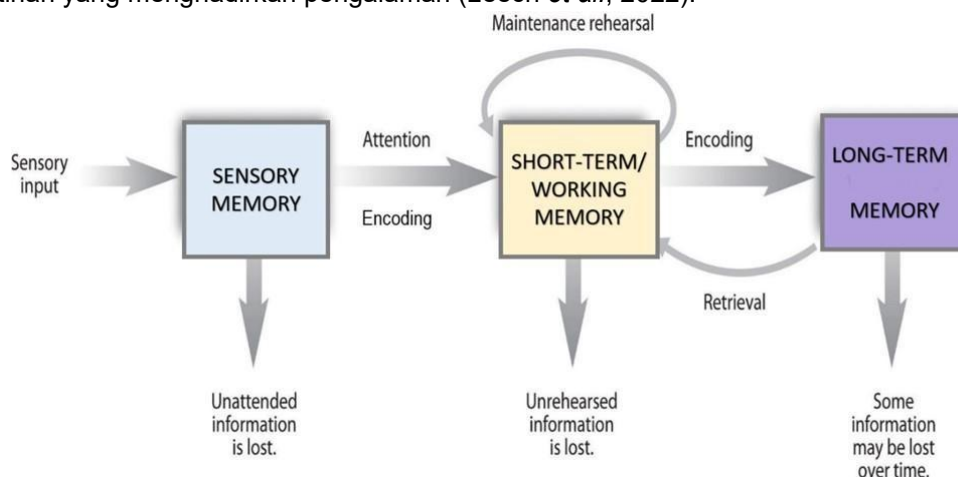
Mencoba untuk memeriksa garis waktu adaptasi kortikal terhadap perolehan dan retensi keterampilan, tinjauan oleh Seidler (2011) menguraikan korelasi saraf pembelajaran motorik pada tahap awal dan akhir perolehan keterampilan. Temuan ini menunjukkan keterlibatan loop thalamokortikal ganglia basal, otak kecil medial, *anterior cingulate cortex*, *gyrus frontal inferior*, serta area kortikal visual dan parietal selama tahap awal pembelajaran motorik. Pola aktivasi ini menunjukkan fase awal dengan fokus perhatian yang tinggi dalam mengobservasi serta fokus dalam mengoreksi kesalahan (upaya penyesuaian). Di sisi lain, tahap akhir pembelajaran motorik melibatkan area kortikal motorik parietal dan cingulate serta otak kecil lateral, yang menunjukkan upaya dalam penyimpanan informasi dan penyempurnaan motorik dalam konteks pembelajaran jangka panjang (Seidler, 2010). Berkaitan dengan hal ini, para peneliti kemudian mengembangkan model untuk menentukan sistem saraf mana yang terlibat dalam berbagai tahap pembelajaran motorik. Peneliti kemudian menemukan bahwa pembelajaran cepat yang terjadi dalam waktu lima detik dikaitkan dengan aktivitas di wilayah *frontal* dan *parietal* otak.

Sebaliknya, pembelajaran menengah antara dua menit dan sekitar satu setengah jam dikaitkan dengan aktivitas di daerah *anterior lobus parietal inferior*. Tahap pembelajaran paling lambat, yang berlangsung selama berjam-jam, dikaitkan dengan aktivitas di bagian anterior hingga medial otak kecil—wilayah otak yang memainkan peran penting dalam kontrol motorik. Secara keseluruhan, temuan tersebut menunjukkan bahwa fase kognitif awal dan asosiatif pembelajaran motorik merekrut wilayah otak *frontal dan parietal*, sedangkan tahap akhir pembelajaran otonom bergantung pada otak kecil *anteromedial* (Weaver, 2015).



Gambar 2.3 Skala waktu yang berbeda untuk pembelajaran motorik.

Untuk memahami proses *motor learning*, penting untuk mempertimbangkan bagaimana informasi baru diterjemahkan ke dalam memori sehingga berdampak pada perubahan yang berkualitas dan bermanfaat. Seseorang dapat menganggap pembelajaran sebagai proses memperoleh informasi baru dan keterampilan baru. Memori kemudian merupakan produk atau hasil dari proses belajar. Pembelajaran adalah salah satu pendorong utama plastisitas dalam SSP, merangsang pembentukan sinapsis baru serta penyempurnaan koneksi saraf yang ada di seluruh otak. Plastisitas ini terlihat ketika informasi dipindahkan dari memori jangka pendek ke dalam penyimpanan memori jangka panjang, yang pada tahap tersebut menghasilkan keterampilan lebih baik, dan proses ini melalui latihan yang menghadirkan pengalaman (Leech *et al.*, 2022).

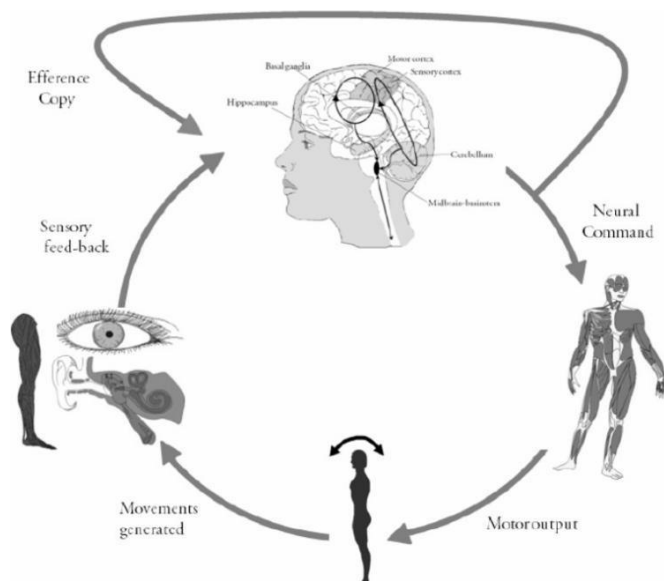


Gambar 2.4 Alur memori dari input sensorik

Seperti yang disebutkan, perubahan kemampuan motorik ini diakibatkan oleh pelaksanaan pelatihan yang berulang-ulang dan berdampak pada perubahan struktural dan fungsional di seluruh SSP (neuroplastisitas yang bergantung pada pengalaman)^[47]. Diperkuat oleh penelitian yang dilakukan Tallet *et al.* yang menunjukkan bahwa keseimbangan yang diinginkan (stabilitas dan fleksibilitas) dapat dicapai melalui sistem yang membentuk pola motorik berulang (Tallet, Albaret and Rivi re, 2015).

Postural learning atau rehabilitasi postural mengikuti proses yang sama dengan pembentukan memori umum, yaitu dari pembelajaran jangka pendek ke jangka panjang melalui proses konsolidasi, di mana pengalaman pelatihan diproses ulang di dalam otak. Proses ini dipengaruhi oleh keadaan pikiran (kognitif) dan plastisitas saraf pusat. Secara spesifik, terdapat berbagai sistem yang berkontribusi terhadap pengontrolan postur tubuh dan keseimbangan, yakni sistem visual, vestibular, dan somatosensory. Ada refleksi penting yang terlibat dalam kontrol postural yang dikenal sebagai *refleks cervicocollic* (CCR), *refleks vestibulo-okular* (VOR) dan *refleks vestibulospinal* (VSR) yang bekerja bersama dengan inti vestibular dan otak kecil (COLUM & COLUM D MACKINNON, 2018). Sistem visual adalah penerima utama informasi sensorik untuk menjaga keseimbangan postur tubuh, dan dengan demikian stabilitas postur tubuh dapat meningkat seiring dengan peningkatan lingkungan visual (Thakkar and Kanase, 2022). Sistem vestibular membantu mengatur postur tubuh dan posisi mata dan mengorientasikan tubuh ke arah vertikal menggunakan orientasi sensorik dan memberi respons sensorik yang sesuai dalam lingkungan sensorik yang berbeda. Sistem vestibular juga mengontrol *Center of Mass* (COM) baik untuk posisi statis maupun dinamis. Sistem

somatosensori adalah sistem kompleks neuron sensorik dan jalur yang merespons perubahan di permukaan atau di dalam tubuh.



Gambar 2.5 Skema kontrol postural umpan balik.

Menjadi sebuah pertanyaan kemudian, bagaimana *motor learning* terjadi pada pasien seperti anak dengan sindrom Down dan *cerebral palsy*. Kemudian, dalam sebuah buku, Schmidt menyatakan bahwa, mengingat pembelajaran keterampilan motorik, sedikit yang diketahui tentang dampak gangguan perkembangan, seperti CP, terhadap kemampuan memperoleh keterampilan baru (Schmidt *et al.*, 2019). Dan pada penelitian selanjutnya dilaporkan bahwa pada pasien CP terjadi peningkatan kemampuan motor learning akibat adanya keterlibatan integrasi visual-spasial tingkat tinggi, juga keterlibatan emosi kesenangan dan motivasi yang kuat pada pasien ketika menjalani terapi berbasis permainan elektronik VR. Dalam penelitian yang sama, proses *motor learning* dipelajari diakibatkan oleh kombinasi stimulasi transkranial dari terapi fisik yang memberikan pengulangan ritmis, yang berdampak pada pemberian rangsangan sensorik yang kaya dengan ambang rangsangan yang dimodifikasi dari korteks motorik primer, untuk meningkatkan kemanjuran sinaptik lokal dan mempotensiasi pembelajaran motorik (Massetti *et al.*, 2014). Terdapat pula beberapa faktor penting yang terbukti memfasilitasi pembelajaran keterampilan motorik, yakni pembelajaran observasi, fokus perhatian eksternal, umpan balik positif, dan latihan pengendalian diri (Wulf, Shea and Lewthwaite, 2010).

2.2.2 Prinsip Latihan keseimbangan

Keseimbangan diartikan sebagai kemampuan individu untuk mengendalikan pusat gravitasinya dalam batas *Base of Support* (BO). Kontrol keseimbangan tubuh adalah fungsi tubuh kompleks yang melibatkan pengaturan postur dan gerakan melalui otak kecil dengan memproses masukan sensorik dari sistem visual, vestibular, dan proprioseptif di korteks serebral. Latihan keseimbangan terutama bertujuan untuk meningkatkan kontrol postural dengan menantang kesejajaran pusat gravitasi tubuh dengan dasar penyangga (yaitu kaki). Ada berbagai macam latihan yang dapat digunakan sebagai intervensi untuk membuat keseimbangan menjadi adekuat dan Latihan keseimbangan pada anak-anak dengan sindrom Down telah dipelajari oleh beberapa peneliti sebelumnya, Wang *et al.* (2010) yang menerapkan program vertikal dan latihan lompat horizontal untuk 14 anak dengan sindrom Down dan anak-anak dengan gangguan mental keterbelakangan tanpa sindrom Down dan mencatat peningkatan signifikan dalam skor keseimbangan yang diukur dengan subtes keseimbangan *Bruininks Osteresky Test of Motor Proficiency* (Wang *et al.*, 2019). Latihan *Core Stability* dalam tinjauan literatur juga menunjukkan adanya efek positif dalam memberikan perbaikan keseimbangan tubuh statis dan dinamis anak sindrom Down (Anugrah *et al.*, no date). *Core stability* merupakan fondasi untuk mengontrol keseimbangan tubuh. *Core stability* adalah kemampuan untuk mengontrol posisi dan gerakan batang tubuh di atas panggul dan kaki dengan memproduksi,

mentransfer, dan mengontrol kekuatan dan gerakan yang optimal menuju ke segmen terminal saat beraktivitas secara dinamis. Ketika latihan *core stability* dilakukan, terjadi peningkatan sistem motorik yang ditunjukkan oleh kondisi meningkatnya refleks otot dan proses propriosepsi menjadi lebih cepat dalam hal memengaruhi kontrol keseimbangan (Anugrah et al., no date). Penelitian oleh Alfiana et al. melaporkan bahwa pemberian intervensi latihan berjalan di atas jembatan bertekstur akan meningkatkan kemampuan pasien sindrom Down dalam menjaga keseimbangan. Hal ini dinilai dengan *Balance Beam Test*, di mana sebelum intervensi pasien mendapatkan nilai 1, dan setelah intervensi diberikan diperoleh nilai 2, dan pasien sudah bisa melintasi jembatan meski harus terhenti beberapa kali (Yani et al., no date). Berdasarkan analisis hasil yang diperoleh oleh Kumar et al. (2021), disimpulkan bahwa pelatihan *figure of eight balance beam* terbukti efektif dalam meningkatkan keseimbangan. Intervensi balok keseimbangan angka delapan ini juga berhasil menunjukkan peningkatan keseimbangan statis dan dinamis, serta meningkatkan keterampilan perhatian dan konsentrasi anak (Arun Kumar and Saravanan, 2021). Selain latihan yang disebutkan di atas, terdapat juga intervensi *Bobath* dan *Vojta*. Intervensi hidroterapi dan hippoterapi juga ditawarkan dalam penanganan sindrom Down. Akan tetapi, tidak ada bukti berkualitas yang mendukung penggunaan modalitas ini.

Terdapat penelitian yang juga menerapkan dukungan visual sebagai media atau alat bantu untuk membantu anak-anak sindrom Down dalam mempraktikkan setiap gerakan latihan. Adapun dukungan visual yang dimaksud yakni melalui gambar yang dapat ditampilkan pada kartu gambar, *iPad*, presentasi *PowerPoint*, dan lainnya. Young et al. (2017) menyatakan dukungan visual sebagai alat untuk anak-anak sindrom Down memperhatikan dan mempraktikkan pose-pose latihan yoga. Hal yang itu memungkinkan untuk diterapkan pada latihan *core stability* untuk anak-anak sindrom Down dalam mengaktifkan sistem visualnya (Young, Silliman-French and Crawford, 2017). Dalam bidang motorik, dilaporkan bahwa pasien sindrom Down telah menunjukkan kemahiran relatif dalam keterampilan yang melibatkan demonstrasi gerakan visual. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa individu dengan sindrom Down mengalami kesulitan dalam melakukan tugas atau latihan motorik berdasarkan instruksi verbal. Memanfaatkan teknologi yang kian berkembang dengan pesat, program rehabilitasi juga mulai menggunakan lingkungan realitas virtual untuk meningkatkan intervensi pada pasien, termasuk pasien sindrom Down.

Immersive learning adalah metode pembelajaran di mana subjek ditempatkan ke dalam lingkungan virtual untuk menstimulasikan skenario nyata dan membantu subjek untuk mempelajari keterampilan baru. Metodologi pelatihan berdasarkan pengalaman ini memungkinkan subjek, baik secara fisik maupun kognitif, mengalami sesuatu seolah-olah itu benar-benar terjadi. Berdasarkan penelitian ilmu saraf selama puluhan tahun, pembelajaran *Immersive* adalah cara yang sangat efisien dan aman untuk menanamkan suatu *skill* ataupun peningkatan kemampuan subjek (Kim et al., 2017a). Berkaitan dengan pembahasan sebelumnya, kemampuan otak paling baik menerima pembelajaran melalui pengalaman yang berulang, yang kemudian akan menguatkan koneksi simpatik di dalam otak, dan dengan adanya IR dapat mempercepat proses pasien untuk mempelajari hal-hal baru dan menjadikan pembelajaran motorik jauh lebih efektif dan efisien. VR juga memanfaatkan berbagai organ sensorik dalam tubuh manusia untuk menghantarkan input simulasi dunia maya ke dalam otak dengan cara menggunakan indera seperti mata, telinga, dan kulit. Salah satu atribut paling signifikan dari IR adalah kemampuannya untuk memicu reaksi emosional. Karena otak meyakini simulasi VR adalah situasi kehidupan nyata, reaksi emosional yang dipicu meningkatkan kapasitas pengguna untuk belajar (Strojny and Dużmańska-Misiarczyk, 2023). Studi mengenai peran emosi dan ingatan telah menemukan bahwa kita lebih mudah mengingat situasi ketika emosi terangsang, dan bukan seberapa penting seseorang mempertimbangkan peristiwa tersebut. Oleh karena itu, manfaat IR untuk pembelajaran sudah jelas (Wu et al., 2023).

2.3 Penilaian Kontrol Postur dan Keseimbangan

Postur ditentukan dan dipertahankan oleh koordinasi berbagai otot yang menggerakkan anggota tubuh, propriosepsi dan keseimbangan. Istilah kontrol postural sering digunakan untuk menggambarkan keseimbangan. Keseimbangan melibatkan kontrol tubuh karena tubuh bergerak dalam ruang, sehingga sangat penting untuk memiliki pedoman dan standar untuk menilai keseimbangan individu dengan gangguan motorik. Pedoman dan standar memungkinkan pendidik

jasmani, ahli terapi fisik, dan pihak lain untuk membuat keputusan yang tepat mengenai intervensi, penempatan dan perencanaan program, serta tujuan berdasarkan hasil penilaian (LEITE *et al.*, 2018).

Pemeriksaan kontrol postur, terutama keseimbangan, pada anak dengan sindrom Down perlu perhatian khusus, karena pemeriksaan tersebut sebaiknya menggunakan perintah yang sederhana dan aman serta menilai keseimbangan statis dan dinamis. Sebuah penelitian menilai reliabilitas dari 16 pemeriksaan keseimbangan pada individu dengan sindrom Down. Berdasarkan penelitian tersebut, pemeriksaan yang memenuhi validitas dan reliabilitas untuk menilai keseimbangan pada individu dengan sindrom Down adalah pemeriksaan berdiri satu kaki dan pemeriksaan berjalan di atas papan (Tun *et al.*, 2023). Pemeriksaan berdiri satu kaki hanya menilai keseimbangan statis, sedangkan pemeriksaan berjalan di atas papan memerlukan peralatan dan tempat pemeriksaan yang lebih luas (Macy *et al.*, 2013). Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan lain yang dapat menilai komponen keseimbangan dengan peralatan dan tempat yang lebih sederhana.

PBS dan *Test of Gross Motor Development* (TGMD-2) merupakan uji fungsi untuk menilai keseimbangan dinamis yang telah teruji validitas dan reliabilitasnya pada populasi anak sindrom Down.

- *Pediatric Balance Scale* (PBS) merupakan versi modifikasi dari *Berg Balance Scale* yang dikembangkan khusus untuk anak-anak. PBS digunakan untuk menilai keseimbangan fungsional anak usia 5–15 tahun melalui aktivitas sehari-hari yang melibatkan kontrol postur statis dan dinamis.

Instrumen ini terdiri atas 14 item aktivitas, seperti berdiri tanpa bantuan, duduk-berdiri, berdiri satu kaki, meraih objek, berputar, dan berpindah posisi. Skor diberikan menggunakan skala ordinal 0–4, sehingga skor total berkisar antara 0 hingga 56, dengan skor yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan keseimbangan yang lebih baik (Michaels *et al.*, 2023).

- *Test of Gross Motor Development-2* (TGMD-2) merupakan instrumen standar yang digunakan untuk menilai kemampuan motorik kasar pada anak usia 3–10 tahun. Tes ini dikembangkan oleh Dale A. Ulrich dan berfokus pada dua domain utama, yaitu *locomotor skills* (lari, lompat, hop, gallop, slide, leap) dan *object control skills* (melempar, menangkap, menendang, memukul, dan menggiring bola) (Tun *et al.*, 2023).



Gambar 2.6 Ilustrasi TGMD-2

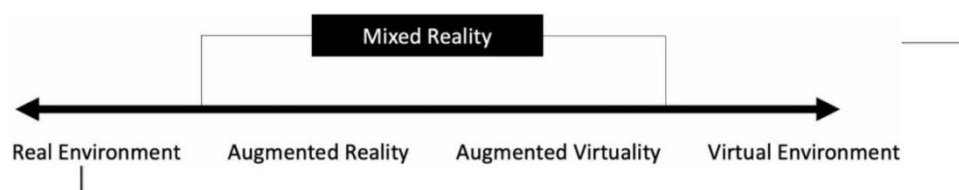
TGMD-2 menggunakan metode observasional berbasis kriteria, di mana setiap keterampilan dinilai melalui komponen gerakan spesifik. Setiap item dilakukan dua kali percobaan, dan skor diberikan berdasarkan terpenuhinya kriteria performa gerakan. Hasil tes berupa skor kuantitatif yang menggambarkan tingkat perkembangan motorik kasar anak. Pada populasi anak dengan sindrom Down, TGMD-2 terbukti memiliki reliabilitas dan validitas yang baik untuk mengevaluasi kemampuan motorik kasar. Instrumen ini sering digunakan untuk melihat efektivitas intervensi

latihan motorik dan keseimbangan pada anak dengan kebutuhan khusus (Cichy *et al.*, 2022; Tun *et al.*, 2023). Belum ada protokol tetap kapan waktu yang tepat untuk melakukan evaluasi, dan dari referensi sebelumnya, evaluasi rata-rata dilakukan sebelum dan setelah intervensi (Capotosto *et al.*, 2015; Chailloux Peguero, Mendoza-Montoya and Antelis, 2020). Referensi lainnya melakukan evaluasi dalam 2 minggu dan 4 minggu (Takeuchi *et al.*, 2013), serta terdapat referensi yang melakukan evaluasi pada minggu ke-2 dan minggu ke-4 post intervensi (Leiton-Muñoz, Cartes-Velásquez and Gatica-Rojas, 2023).

2.4 IMMERSIVE REALITY

Dalam literatur internasional, teknologi imersif umumnya diklasifikasikan dalam spektrum *extended reality* (XR), yang mencakup *virtual reality* (VR), *augmented reality* (AR), dan *mixed reality* (MR). Pada penelitian ini, istilah *Immersive Reality* (IR) digunakan sebagai istilah operasional untuk menggambarkan pendekatan latihan yang memanfaatkan pengalaman virtual imersif berbasis VR dan/atau AR. Slater (2009) memandang teknologi imersif sebagai teknologi yang menyediakan informasi sensorik berkualitas tinggi atau bervolume tinggi kepada pengguna dan pada studinya lebih berfokus pada kualitas dan kuantitas informasi sensorik yang diterima oleh pengguna (Slater, 2009). Di sisi lain, Lee (2022) memandang teknologi imersif sebagai teknologi yang membuat batas antara dunia nyata dan dunia maya menjadi kabur, sehingga menciptakan rasa imersif. Para pakar tersebut lebih menekankan karakter teknologi yang mendalam (Lee, Oh, and Lee, 2022b).

Di samping itu, definisi yang paling umum digunakan terkait dengan teknologi imersif adalah definisi yang dikemukakan oleh Suh & Prophet (2018) bahwa teknologi imersif adalah istilah yang menggambarkan teknologi *Virtual Reality*, *Augmented Reality*, dan *Mixed Reality* secara keseluruhan (Suh & Prophet, 2018). Dasar pemikiran definisi ini berasal dari konsep yang disebut kontinum realitas-virtualitas (Gambar 2.1). Tang *et al.* (2020) mendefinisikan empat tingkat pengalaman imersif berdasarkan tingkat perpaduan berbagai teknologi tampilan. Kontinum realitas-virtualitas menganggap dunia fisik dan dunia virtual sebagai dua ujung yang berbeda, yaitu lingkungan nyata dan lingkungan maya. Lingkungan nyata di paling kiri seluruhnya terdiri dari hal-hal nyata. *Augmented reality* digunakan bersamaan dengan lingkungan nyata. Ini menyinggung konsep tampilan yang menggabungkan data digital ke dalam dunia nyata. Lingkungan virtual, di sisi lain, adalah dunia yang seluruhnya terdiri dari objek virtual di sisi lain spektrum (Tang *et al.*, 2022). VR sering dipandang sebagai contoh tujuan ini. *Augmented virtuality* (AV), yaitu antara lingkungan virtual dan AR, mengacu pada konsep menambah tampilan lingkungan virtual dengan objek sebenarnya.



Terakhir, MR mengacu pada tempat di antara dua ekstrem di mana dunia fisik dan dunia maya bertabrakan (Tang *et al.*, 2022). Demikian pula, Logeswaran *et al.* (2021) menyelidiki peran teknologi *extended reality* (XR) dalam pendidikan dan pelatihan layanan kesehatan. XR adalah istilah yang mencakup seluruh lingkungan virtual hingga lingkungan nyata yang mencakup VR, AR, dan MR (Logeswaran *et al.*, 2021).

Gambar 2.7 Kontinum realitas-virtualitas (Tang *et al.*, 2022)

2.4.1 Immersive Reality dalam bidang Kedokteran

Penelitian terbaru mengeksplorasi potensi penggunaan teknologi imersif sebagai cara intervensi layanan kesehatan dan jalur alternatif pemberian layanan, misalnya dalam rehabilitasi, VR, AR, dan MR digunakan sebagai alat bantu rehabilitasi bagi pasien yang menderita stroke (Fong *et al.*, 2022; Gorman and Gustafsson, 2022), *Cerebral Palsy* (Ravi, Kumar and Singhi, 2017; Choi *et al.*, 2021), dan luka bakar parah (Scapin *et al.*, 2018; Kamel and Basha, 2021). Rehabilitasi berbasis teknologi yang mendalam memungkinkan pasien memperoleh pembelajaran dan pengalaman rehabilitasi yang lebih intensif dengan membenamkan diri dalam lingkungan praktik yang dirancang khusus untuk tujuan rehabilitasi (Levin and Demers, 2021). Selain rehabilitasi, teknologi imersif juga

digunakan dalam *tele medicine* dan perawatan virtual. Misalnya, Rutkowski (2021) memperkenalkan *platform telehealth* berbasis VR yang digunakan untuk mendiagnosis dan menangani pasien dengan penyakit paru obstruktif kronik selama pandemi COVID-19 (Rutkowski, 2021). Tsiouris *et al.* (2020) menggabungkan teknologi AR, *Internet of Things* dan teknologi *cloud* untuk menyembuhkan gangguan keseimbangan dari jarak jauh (Tsiouris *et al.*, 2020). Boyd *et al.* (2020) juga membangun aplikasi *telehealth* menggunakan *Microsoft HoloLens* (Boyd *et al.*, 2020). Kombinasi teknologi IR dan *telehealth* memungkinkan pasien menyelesaikan program rumah sehari-hari tanpa memerlukan tenaga profesional kesehatan untuk mendampingi mereka. Pada saat yang sama, dokter dapat mengambil informasi pasien yang berguna untuk dilacak. Oleh karena itu, penggunaan teknologi IR sebagai alat layanan kesehatan dapat meningkatkan efektivitas ekologis, umpan balik kinerja secara *real-time*, kemungkinan modifikasi antarmuka, dan fleksibilitas, sekaligus menyediakan lingkungan praktik dan pelatihan yang lebih aman bagi pasien (Rose, Nam and Chen, 2018).

Bidang penting lainnya yang menggunakan teknologi IR adalah pendidikan dan pelatihan. Pelatihan berbasis teknologi IR dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif, menarik, dan aman bagi para profesional medis sambil menekankan kemampuan transfer keterampilan ke dalam lingkungan klinis (Butt, Kardong-Edgren and Ellertson, 2018). Hal ini mendukung pembelajaran sambil melakukan, menjembatani kesenjangan teori-praktik, dan meningkatkan perolehan dan transfer keterampilan (King *et al.*, 2018). Saat ini, para akademisi sering menerapkan teknologi VR, AR, dan MR pada pelatihan dan pendidikan medis sebagai alat bantu pengajaran (Davies, Crohn and Treadgold, 2019)^[85] untuk mendukung, melengkapi, atau bahkan menggantikan metode pengajaran konvensional. Misalnya, teknologi diterapkan pada pendidikan anatomi bagi mahasiswa kedokteran (Ali *et al.*, 2018; Duarte *et al.*, 2020). Di sisi lain, praktik medis dan perawatan kesehatan biasanya melibatkan banyak keterampilan praktis. Teknologi VR, AR, dan MR diterapkan untuk meningkatkan pelatihan praktis dan prosedural (Wang *et al.*, 2017; Ali *et al.*, 2018; Verhey *et al.*, 2020).

Dampak dari pelatihan simulasi saat ini sedang dipelajari secara luas. Studi uji coba kontrol acak menunjukkan bahwa pelatihan berbasis teknologi imersif dapat meningkatkan perolehan pengetahuan siswa (Sultan *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2020). Teknologi imersif diyakini dapat memberikan kepada siswa cara baru untuk belajar dan memfasilitasi siswa dalam memperoleh pengetahuan dan praktik penting dalam perawatan kesehatan. Secara khusus, dengan penggunaan pelatihan simulasi yang lebih luas bagi praktisi dan pelajar di bidang kesehatan atau medis, VR dapat dirancang untuk menciptakan simulasi operasi yang akurat dan sangat interaktif dengan opsi untuk merekam dan menganalisis hasil. AR dan MR mempunyai potensi untuk merevolusi alur kerja dan ketepatan keterampilan klinis, seperti pembedahan, diagnosis, rehabilitasi, rekonstruksi gambar, dan visualisasi intraoperative (Verhey *et al.*, 2020).

2.4.2 Immersive Reality pada pasien sindrom Down

Intervensi berbagai jenis latihan merupakan intervensi umum yang diberikan pada anak-anak dengan sindrom Down yang bertujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan kemahiran motorik dan kualitas hidup secara keseluruhan (Zhao *et al.*, 2020). Di samping itu, metode rehabilitasi baru yang menarik perhatian adalah terapi realitas virtual (VR), yang menggunakan konsep IR (Hickman *et al.*, 2017). Terapi realitas virtual telah dieksplorasi dalam berbagai kondisi neurologis, seperti penyakit Parkinson, autisme, CP, dan pasien yang dipengaruhi oleh kondisi perkembangan lainnya, termasuk sindrom Down (Hickman *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019). Sebuah penelitian terbaru menyimpulkan bahwa terapi realitas virtual dapat meningkatkan kapasitas orientasi spasial dan mengaktifkan korteks serebral, sehingga memfasilitasi kontrol keseimbangan dan fungsi motorik yang lebih baik (Mao *et al.*, 2014).

Prinsip IR adalah membawa pasien untuk merasakan lingkungan virtual saat melakukan latihan. Melalui prinsip tersebut, pengalaman akan menjadi lebih terasa nyata sehingga dapat meningkatkan integrasi persepsi, perencanaan dan strategi gerak motorik (Gagliardi *et al.*, 2018). Selain itu, penggunaan IR juga memotivasi pasien dalam berbagai situasi dan tingkat kesulitan yang dapat disesuaikan. Penyesuaian terhadap kesulitan dan variasi situasi serta adanya umpan balik multisensori dapat meningkatkan neuroplastisitas, meningkatkan kapasitas orientasi spasial dan mengaktifkan korteks serebral sehingga faktor-faktor inilah yang dapat meningkatkan kognitif dan

berpengaruh pada motorik pasien (Lee, Oh and Lee, 2022a). Penggunaan alat IR di kepala memfasilitasi lapang pandang yang sesuai dengan gerakan kepala terhadap dunia virtual dan hal tersebut mencetuskan *virtual optic flow*. *Virtual optic flow* diasumsikan dapat meningkatkan adaptasi visuo-postural yang berpengaruh pada strategi kontrol keseimbangan pasien (Gascuel *et al.*, 2012).

Alvares *et al.* pada studi *Randomized Controlled Trial*-nya melakukan perbandingan antara intervensi berupa terapi berbasis VR dengan terapi berbasis konvensional selama 5 minggu pada pasien sindrom Down. Hasilnya menunjukkan bahwa terapi berbasis VR efektif dalam meningkatkan kontrol postural dan keterampilan motorik anak yang terdiagnosis sindrom Down (Gómez Álvarez *et al.*, 2018). Begitu pun pada studi Wuang *et al.* yang melaporkan bahwa setelah pelatihan dengan VR terdapat peningkatan fungsi sensorimotorik, keterampilan motorik, visual-integratif, dan fungsi integrasi sensorik pada anak-anak dengan sindrom Down (Wuang *et al.*, 2011). Teknologi imersif menunjukkan efek yang menjanjikan pada anak-anak yang memiliki gangguan perkembangan neuromuskular, termasuk pasien sindrom Down, melalui aktivasi sensorimotor dan keseimbangan postural. Peningkatan keterampilan motorik juga didukung oleh efek dari teknologi imersif yang mampu memberikan *biofeedback* visual dan auditori sehingga meningkatkan plastisitas saraf dan melatih keterampilan motorik pada pasien sindrom Down (Boato *et al.*, 2022). Sebuah kajian sistematis yang dituliskan oleh Boato *et al.* melaporkan bahwa saat ini setidaknya terdapat 18 studi yang menilai pengaruh VR terhadap perkembangan psikomotor dan kognitif anak sindrom Down.

Dalam kajian sistematis tersebut dilaporkan bahwa permainan berbasis VR mampu merangsang melalui bidang visual, keterampilan motorik global, keseimbangan, skema tubuh dan organisasi spasial pada anak sindrom Down (Boato *et al.*, 2022). Stander *et al.* juga sebelumnya telah melaporkan dalam kajian sistematisnya bahwa penggunaan VR yang dikombinasikan dengan terapi fisioterapi dan okupasi bermanfaat untuk meningkatkan kelincahan dan kekuatan pada anak dengan sindrom Down, serta keseimbangan dan koordinasi pada anak-anak dengan sindrom Down (Stander *et al.*, 2021).

Sebuah penelitian metaanalisis oleh Wei Liu *et al.* yang meneliti pengaruh VR pada keseimbangan pasien cerebral palsy menyimpulkan bahwa setidaknya 20 menit per sesi, dua kali seminggu selama enam minggu atau lebih terapi VR reguler lebih efektif untuk meningkatkan fungsi keseimbangan pada anak CP (Liu *et al.*, 2022). Hingga saat ini, belum ada terapi IR yang pernah diterapkan pada populasi sindrom Down. Namun, IR ini sedang dikembangkan untuk penyandang CP. Adapun peresepan IR pada pasien CP pada sebuah penelitian dilakukan selama 4 minggu dengan frekuensi 5 kali per minggu, durasi 30 menit yang dibagi menjadi 3 set, interval waktu istirahat 5 menit, dengan total pertemuan sebanyak 18 sesi. Peresepan ini dapat meningkatkan fungsi motorik dan keseimbangan pada penyandang CP (Gascuel *et al.*, 2012; Gagliardi *et al.*, 2018).

2.4.3. Pengaruh latihan *Immersive* terhadap Keseimbangan

Latihan *immersive*, termasuk teknologi seperti *immersive virtual reality* maupun *immersive neurofeedback/BCI-based training*, menyediakan pengalaman sensorimotor yang kaya, interaktif, dan sangat menarik bagi anak-anak dengan sindrom Down. Pendekatan ini diyakini mampu merangsang neuroplastisitas, meningkatkan integrasi sensoris (visual–auditori–proprioseptif), serta memperbaiki fungsi motorik, termasuk kemampuan keseimbangan. Mekanisme tersebut sejalan dengan prinsip-prinsip rehabilitasi modern yang menekankan latihan intensif, repetitif, *task-specific*, dan umpan balik *real-time* (Drigas and Sideraki, 2024).

Berikut adalah pengaruh latihan *immersive* terhadap neuroplastisitas, kemampuan motorik, persepsi visual, persepsi auditori, dan *sensorimotor integration*.

2.4.3.1. *Immersive Training* untuk Neuroplastisitas dan Motor Skills

Neuroplastisitas adalah kemampuan otak untuk beradaptasi dan berorganisasi ulang sebagai respons terhadap pengalaman. Proses ini sangat penting dalam pembentukan, pematangan, dan pemeliharaan keterampilan motorik. Perubahan struktural dan fungsional dapat terjadi pada jalur motorik seperti korteks motorik primer, premotor, dan serebelum (Capotosto *et al.*, 2015; Drigas and Sideraki, 2024).

Salah satu mekanisme kunci adalah *synaptic plasticity*—penguatan atau pelemahan hubungan antarneuron selama latihan atau pembelajaran motorik. Latihan berulang menghasilkan peningkatan

efisiensi sinaps, pembentukan memori motorik, serta perbaikan koordinasi dan kelancaran gerak (Capotosto *et al.*, 2015; Drigas and Sideraki, 2024).

Melalui latihan yang intensif dan berulang, jalur motorik menjadi lebih terorganisasi. Studi pencitraan menunjukkan bahwa latihan motorik menyebabkan perubahan pola aktivasi di area motorik, meningkatkan rekrutmen jaringan yang relevan dan kinerja motorik secara keseluruhan. Proses seperti *axonal sprouting*, *dendritic remodeling*, dan *cortical remapping* membantu area otak yang masih utuh mengambil alih fungsi area yang rusak. Lingkungan yang kaya stimulasi, aktivitas fisik, dan latihan terstruktur terbukti meningkatkan sinaptogenesis dan memperbaiki koordinasi motorik (Chailloux Peguero, Mendoza-Montoya and Antelis, 2020; Drigas and Sideraki, 2024).

2.4.3.2. Immersive Training untuk Persepsi Sensoris (Visual)

Teknologi *immersive* dapat meningkatkan persepsi sensoris dengan memberikan real-time feedback dan memodulasi aktivitas saraf pada area otak yang mengolah sensasi tersebut. Pada persepsi visual, *neurofeedback* yang menargetkan area visual primer dan sekunder terbukti meningkatkan ketajaman visual dan kecepatan proses visual (Takeuchi *et al.*, 2013; Drigas and Sideraki, 2024).

Penelitian lain, seperti Capotosto *et al.* (2015), menegaskan bahwa ritme EEG memainkan peran kunci dalam pengaturan perhatian visual. Aktivitas osilasi saraf menjadi dasar mekanisme seleksi visual, sehingga latihan imersif yang mampu memodulasi ritme ini berpotensi meningkatkan fokus dan pengolahan visual (Capotosto *et al.*, 2015).

Bettencourt & Xu (2016) menambahkan bahwa fokus perhatian berpengaruh langsung pada proses penyandian dan pengambilan memori visual jangka pendek, sehingga latihan imersif yang menstimulasi perhatian visual dapat memperbaiki kemampuan memproses informasi visual kompleks (Bettencourt and Xu, 2016).

2.4.3.3. Immersive Training untuk Persepsi Auditori

Selain visual, latihan imersif juga berpotensi meningkatkan persepsi auditori, terutama bila menysasar jalur-jalur saraf yang mengolah suara. Pelatihan *neurofeedback* yang meningkatkan sinkronisasi gelombang otak tertentu—misalnya gelombang gamma—telah terbukti memperbaiki diskriminasi suara dan pemahaman ujaran (Drigas and Sideraki, 2024).

Studi lain menemukan bahwa pelatihan *immersive* berbasis *neurofeedback* mampu meningkatkan kemampuan mengenali kata dan membedakan suara. Peserta menunjukkan peningkatan kemampuan diskriminasi auditori setelah modulasi pola gelombang otak terkait pemrosesan suara. (Choi *et al.*, 2021)

Pada anak sindrom *Down*, yang sering mengalami masalah integrasi sensori dan persepsi auditori, intervensi imersif seperti ini dapat membantu memperbaiki respons terhadap instruksi verbal dan meningkatkan kemampuan mengikuti perintah saat latihan keseimbangan (Drigas and Sideraki, 2024).

2.4.4. Perbedaan Latihan Immersive dan Non-Immersive

Secara umum, latihan *immersive* dan *non-immersive* sama-sama menggunakan media virtual untuk meningkatkan kemampuan motorik dan keseimbangan. Namun, keduanya berbeda dalam tingkat keterlibatan sensoris, intensitas umpan balik, dan kedalaman pengalaman yang diberikan kepada anak. Perbedaan ini penting karena anak sindrom Down memiliki tantangan khas seperti hipotonia, kelemahan otot, cepat lelah, joint laxity, dan integrasi sensoris yang kurang optimal—semua ini sangat memengaruhi kontrol postural dan keseimbangan (Piñar-Lara *et al.*, 2024a).

2.4.4.1 Latihan Immersive (Fully atau Semi-Immersive)

Latihan imersif melibatkan penggunaan perangkat seperti VR *headset* (*head-mounted display*) atau lingkungan virtual 3D yang membuat anak seolah-olah berada langsung di dalam lingkungan latihan. Ciri-ciri:

- Pengalaman masuk penuh ("*presence*"): Anak merasakan dirinya berada di dunia virtual.
- Stimulasi multisensori yang lebih kuat mencakup visual 360°, auditori, vestibular, dan kadang haptic.

- *Feedback real-time* yang intens dan sangat jelas memudahkan koreksi postur.
- *Engagement* lebih tinggi karena lingkungan yang sangat menarik dan *imersif*.
- Meningkatkan neuroplastisitas melalui paparan multisensori yang kaya, sehingga memperkuat respons adaptif sistem saraf pusat.

Dampak pada keseimbangan anak sindrom Down:

- Membantu meningkatkan *sensory reweighting* (kemampuan mengombinasikan visual, vestibular, proprioseptif).
- Meningkatkan kontrol postural karena anak “dipaksa” menjaga keseimbangan dalam lingkungan yang kompleks.
- Sering kali lebih efektif memperbaiki orientasi tubuh dan reaksi keseimbangan.

2.4.4.2 Latihan *Non-Immersive* (Seperti *Nintendo Wii*, *Xbox Kinect*)

Latihan *non-immersive* menggunakan layar TV atau monitor sebagai tampilan, sehingga anak tidak sepenuhnya masuk ke lingkungan virtual, tetapi tetap berinteraksi melalui gerakan tubuh. Ciri-ciri:

- Anak hanya melihat tampilan virtual di depan mata, bukan berada di dalamnya.
- Fokus visual terbatas pada layar dua dimensi.
- Menggunakan exergames seperti *Wii Sports* (tenis, golf, baseball, ski, jumping).
- Mayoritas penelitian VRBT untuk anak sindrom Down memakai tipe *non-immersive* ($\pm 90\%$), karena:
 - lebih mudah digunakan,
 - lebih aman untuk anak,
 - lebih murah dan mudah dipahami,
 - Bisa dilakukan di rumah di bawah supervisi orang tua.
- Tetap menyediakan umpan balik visual-auditori dan gerakan fungsional.

Dampak pada keseimbangan anak sindrom Down:

- Repetisi gerakan global seperti *reach*, *squat*, *shifting*, *jumping* → memperkuat otot tungkai dan endurance.
- *Visual feedback* membantu memperbaiki kontrol postural.
- Permainan mendorong motivasi dan kepatuhan terhadap latihan.
- Menyediakan *somatosensory input* (*visual*, *auditory*, *vestibular*, *proprioceptive*) yang penting untuk keseimbangan.