PROPOSAL PENELITIAN

Hubungan Penggunaan Perangkat Digital dan Alignment Kraniovertebral dengan Nyeri Leher pada Siswa Sekolah Dasar dalam Perspektif Bioenergetika Otot Rangka

Digital Device Use, Craniovertebral Alignment, and Neck Pain in Primary School Children: A Skeletal-Muscle Bioenergetics Perspective

dr. Meutia Atika Faradilla, M. Biomed
dr. Nabila Maudy Salma, M. Biomed
dr. Lenny Setiawati, M. Biomed
dr. Mulia Rahmansyah, Sp. Rad

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Halaman Pengesahan ii
Identitas dan Uraian Umum iii
DAFTAR ISI 1
RINGKASAN PROPOSAL 2
BAB 1. PENDAHULUAN 3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA 7
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN 24
BAB 4. JADWAL PENELITIAN 30
BAB 5. RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB) 31
DAFTAR PUSTAKA 32
LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN 34
LAMPIRAN 2. SURAT KESEDIAAN BERKOMITMEN 35
LAMPIRAN 3. KUESIONER DAN LEMBAR PENGUMPULAN DATA 36

RINGKASAN PROPOSAL

Penggunaan smartphone, tablet, dan komputer semakin melekat pada kegiatan belajar dan rekreasi anak sekolah dasar. Paparan tersebut sering terjadi bersama posisi kepala menunduk dan aktivitas otot servikal yang dipertahankan, sehingga relevan tidak hanya dari sisi ergonomi tetapi juga dari perspektif bioenergetika otot rangka. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dengan alignment kraniovertebral yang diukur menggunakan craniovertebral angle (CVA), serta menilai hubungan CVA dan paparan tersebut dengan nyeri leher pada siswa SD kelas V-VI. Back pain tetap dikumpulkan melalui BackPEI-CA sebagai outcome eksploratif sekunder dan tidak menjadi fokus utama judul maupun hipotesis. Kerangka mekanistik penelitian menghubungkan paparan statis dan peningkatan kerja otot servikal dengan kebutuhan ATP untuk cross-bridge cycling, calcium handling, pemulihan phosphocreatine, oxidative metabolism, oksigenasi/perfusi lokal, fatigue, dan sensitisasi nosiseptif berdasarkan literatur mutakhir. Penelitian menggunakan desain observasional analitik cross-sectional pada minimal 70 siswa dengan data lengkap; sekitar 78 siswa akan diundang untuk mengantisipasi data tidak lengkap. Penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, dan karakteristik nyeri dinilai menggunakan Back Pain and Body Posture Evaluation Instrument for Children and Adolescents (BackPEI-CA). CVA dinilai melalui smartphone-based digital photogrammetry dengan marker tragus dan C7; sudut diukur dari foto lateral menggunakan Angle Meter 360 pada iPhone. Analisis primer menggunakan korelasi dan regresi linear parsimonious dengan CVA sebagai outcome objektif primer. Nyeri leher dianalisis sebagai outcome klinis sekunder utama, sedangkan back pain dianalisis secara eksploratif sesuai jumlah kejadian. Penelitian tidak melakukan pemeriksaan darah, saliva, metabolit, elektromiografi, NIRS, atau biomarker; karena itu bioenergetika otot rangka berfungsi sebagai perspektif mekanistik terencana untuk interpretasi, bukan sebagai variabel yang diukur. Luaran penelitian berupa manuskrip ilmiah interdisipliner ergonomi-biokimia, rekomendasi ergonomi sekolah, dan data awal untuk pengembangan studi fisiologis/bioenergetik lanjutan.

Kata Kunci :

Penggunaan perangkat digital; Bioenergetika otot rangka; Craniovertebral angle; Ergonomi; Nyeri leher

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perangkat digital telah menjadi bagian dari keseharian anak sekolah. Smartphone dan tablet digunakan untuk komunikasi, pencarian informasi, hiburan, permainan, serta tugas sekolah, sedangkan laptop dan komputer tetap digunakan untuk pembelajaran dan pengerjaan tugas tertentu. Perubahan pola aktivitas ini membuat waktu belajar tidak lagi hanya berlangsung di meja kelas, tetapi juga di rumah dan berbagai tempat lain dengan posisi tubuh yang sangat bervariasi. Pada usia sekolah dasar, kebiasaan tersebut penting diperhatikan karena sistem muskuloskeletal masih berkembang dan pola postur yang dilakukan berulang dapat menjadi kebiasaan jangka panjang. (Pirnes et al., 2022; Mongkonkansai et al., 2022; Lee dan Son, 2025).

Hubungan antara penggunaan perangkat digital dan keluhan muskuloskeletal tidak dapat dijelaskan hanya oleh total screen time. Pada anak sekolah, Pirnes et al. (2022) menunjukkan bahwa beberapa bentuk screen time berkaitan dengan insiden nyeri leher dan bahu, sedangkan Mongkonkansai et al. (2022) menegaskan bahwa durasi penggunaan smartphone, penggunaan terus-menerus, dan posisi tubuh saat menggunakan perangkat perlu dipertimbangkan bersama. Systematic review dan meta-analysis terbaru juga menunjukkan bahwa perilaku sedentari dapat berkaitan dengan spinal pain pada anak dan remaja, tetapi besar asosiasi berbeda antarstudi dan dipengaruhi cara mengukur paparan (Montgomery et al., 2025). Temuan tersebut mengarahkan penelitian agar tidak hanya menanyakan "berapa lama" perangkat digunakan, tetapi juga "bagaimana" perangkat digunakan.

Pada anak usia sekolah, pola serupa juga ditemukan. Pirnes et al. (2022) melaporkan hubungan antara screen time dan insiden nyeri leher-bahu pada anak sekolah dalam salah satu periode tindak lanjut. Pada siswa sekolah dasar di Thailand, penggunaan smartphone yang berlangsung terus-menerus dan posisi tubuh tertentu saat menggunakan perangkat berkaitan dengan keluhan muskuloskeletal (Mongkonkansai et al., 2022). Sementara itu, Abdel-Aziem et al. (2022) menunjukkan bahwa durasi melihat layar smartphone dan posisi tubuh memengaruhi postur kepala-leher pada anak usia sekolah dasar. Rangkaian bukti tersebut memperkuat dugaan bahwa perilaku penggunaan perangkat dan postur perlu dinilai secara bersamaan.

Di Indonesia, Nadia et al. (2026) meneliti 240 siswa usia 9–12 tahun dan menunjukkan bahwa screen time, aktivitas fisik, ergonomi, serta status gizi berkaitan dengan gangguan postur tulang belakang. Penelitian tersebut memberikan bukti lokal yang penting, tetapi postur dinilai menggunakan occiput-wall distance dan lumbar-wall distance. Posisi kepala-leher belum diukur secara spesifik melalui craniovertebral angle, dan hubungan antara paparan digital, CVA, serta nyeri leher belum dianalisis dalam satu pendekatan praktis untuk sekolah. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus utama penelitian ini.

Craniovertebral angle (CVA) merupakan parameter fotogrametri yang menggambarkan posisi kepala terhadap cervical spine. CVA dibentuk oleh garis horizontal melalui processus spinosus C7 dan garis yang menghubungkan C7 dengan tragus. Nilai CVA yang lebih kecil menunjukkan posisi kepala yang relatif lebih anterior. Pengukuran ini tidak memerlukan radiografi; foto lateral dapat digunakan apabila posisi subjek, kamera, marker anatomi, dan prosedur analisis distandarkan. Systematic review Mylonas et al. (2022) menunjukkan bahwa metode non-radiografik untuk menilai forward head posture dapat memiliki reliabilitas dan validitas yang memadai bila protokol pengukuran jelas. Aafreen et al. (2023) juga menunjukkan reliabilitas intra-rater yang sangat baik dan kesesuaian tinggi antara pengukuran CVA berbasis aplikasi smartphone yang divalidasi dan perangkat lunak digital pada populasi dewasa. Bukti tersebut mendukung prinsip smartphone-based photogrammetry yang terstandar, dengan catatan bahwa hasil validasi pada dewasa tidak digunakan sebagai nilai referensi atau cut-off pada siswa sekolah dasar. (Mylonas et al., 2022; Aafreen et al., 2023).

Nyeri leher pada anak perlu dipahami sebagai masalah multifaktorial. Keluhan dapat dipengaruhi oleh usia, jenis kelamin, riwayat cedera, aktivitas, kebiasaan postur, faktor psikososial, serta kebiasaan penggunaan layar. BackPEI-CA dikembangkan untuk menilai perilaku postural, penggunaan perangkat mobile, serta karakteristik nyeri leher dan punggung dalam satu instrumen (da Rosa et al., 2022). Dalam penelitian ini, komponen neck pain diposisikan sebagai outcome klinis utama yang menyertai pengukuran CVA, sedangkan

back pain dipertahankan sebagai outcome eksploratif agar informasi yang sudah tersedia dalam instrumen tidak terbuang dan dapat digunakan untuk konteks rantai postural.

Secara biologis, hubungan antara posisi statis, peningkatan aktivitas otot, fatigue, dan nyeri dapat dipahami melalui bioenergetika otot rangka. Ketika fleksi kepala meningkat, otot ekstensor servikal harus menghasilkan momen yang lebih besar untuk menahan berat kepala; Tapanya et al. (2021), Vahedi et al. (2024), dan Chen et al. (2024) menunjukkan bahwa besar fleksi dan posisi penggunaan smartphone memengaruhi aktivitas otot leher. Aktivitas kontraktil tersebut memerlukan ATP untuk siklus aktin-miosin, pemompaan kembali Ca2+ melalui sarcoplasmic reticulum Ca2+-ATPase, serta pemeliharaan gradien ion. Debold dan Westerblad (2024) menegaskan bahwa fatigue otot melibatkan keterbatasan fungsi kontraktil, perubahan calcium handling, serta kontribusi metabolit seperti inorganic phosphate (Pi) dan H+. Hureau et al. (2022), melalui 31P-MRS pada manusia, juga menunjukkan keterkaitan perubahan Pi dan H+ dengan peripheral fatigue. Bukti ini memberi dasar biokimia yang lebih spesifik untuk memahami bagaimana sustained postural recruitment dapat meningkatkan kebutuhan energi dan menurunkan kapasitas mempertahankan gaya, meskipun proses tersebut tidak diukur langsung pada siswa penelitian ini.

Ketersediaan oksigen, perfusi, dan kesempatan relaksasi juga relevan terhadap pemulihan bioenergetik. dos Santos Amorim et al. (2024) menunjukkan bahwa oksigenasi jaringan trapezius dapat dinilai pada konteks nonspecific neck pain, sedangkan Koch et al. (2024) menunjukkan bahwa frekuensi jeda, jumlah muscular rest, dan sustained muscle activity berhubungan dengan neck pain dalam pooled dataset. Secara konseptual, jeda kontraksi memberi kesempatan reperfusi, resintesis phosphocreatine, dan pemulihan homeostasis ion. Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan kualitas postur dan lamanya paparan statis sebagai paparan ergonomi yang memiliki konsekuensi bioenergetik yang masuk akal, tetapi tetap membatasi kesimpulan pada variabel yang benar-benar dikumpulkan. (dos Santos Amorim et al., 2024; Koch et al., 2024).

Kesenjangan penelitian ini berada pada dua lapis. Pertama, masih terbatas studi Indonesia pada siswa SD yang secara bersamaan mengukur penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, alignment kepala-leher secara objektif melalui CVA, dan nyeri leher. Kedua, sebagian besar studi ergonomi anak berhenti pada hubungan antara screen time, postur, dan gejala tanpa membangun perspektif bioenergetika otot rangka secara eksplisit. Penelitian ini tidak mengklaim biomarker yang tidak diukur; kebaruannya adalah menggabungkan satu instrumen anak yang terstruktur, satu ukuran postur objektif, satu outcome klinis leher yang jelas, dan satu perspektif mekanistik bioenergetika yang ditetapkan sejak proposal. Dengan demikian, hasil dapat dibaca dalam alur yang konsisten: paparan digital dan ergonomi -> tuntutan mekanik servikal -> kebutuhan kerja otot -> alignment/CVA -> nyeri leher, dengan ATP turnover, calcium cycling, phosphocreatine recovery, Pi/H+, dan oxygenation sebagai mekanisme teoritis pendukung, bukan outcome penelitian. Back pain tetap dianalisis hanya sebagai outcome eksploratif. (da Rosa et al., 2022; Aafreen et al., 2023; Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022).

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana hubungan penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dengan alignment kraniovertebral (CVA) serta nyeri leher pada siswa sekolah dasar kelas V-VI, dan bagaimana pola hubungan tersebut dapat diinterpretasikan secara hati-hati dalam perspektif bioenergetika otot rangka?

Rumusan masalah khusus:

1. Bagaimana karakteristik siswa berdasarkan usia, jenis kelamin, kelas, dan riwayat cedera leher/punggung?
2. Bagaimana pola penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi siswa?
3. Bagaimana distribusi nilai craniovertebral angle pada siswa?
4. Bagaimana proporsi, frekuensi, intensitas, dan dampak neck pain pada siswa, serta bagaimana gambaran back pain sebagai outcome eksploratif?
5. Apakah penggunaan perangkat digital berhubungan dengan CVA?
6. Apakah perilaku ergonomi berhubungan dengan CVA?

7. Apakah penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, dan CVA berkaitan dengan neck pain? Apakah terdapat pola tambahan pada back pain sebagai outcome eksploratif?
8. Bagaimana pola hubungan empiris antara paparan digital, perilaku ergonomi, CVA, dan neck pain dapat dipetakan terhadap perspektif bioenergetika otot rangka berdasarkan literatur, tanpa menganggap ATP, metabolit, calcium handling, atau oksigenasi sebagai variabel yang diukur?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Umum

Menganalisis hubungan penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dengan alignment kraniovertebral (CVA) serta nyeri leher pada siswa sekolah dasar kelas V–VI, dan menginterpretasikan hubungan tersebut dalam perspektif bioenergetika otot rangka.

Tujuan Khusus

1. Mendeskripsikan karakteristik siswa, pola penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, nilai CVA, serta karakteristik nyeri leher.
2. Menganalisis hubungan penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dengan craniovertebral angle (CVA).
3. Menganalisis hubungan penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, dan CVA dengan nyeri leher.
4. Mengeksplorasi gambaran dan hubungan back pain dengan paparan digital, perilaku ergonomi, dan CVA sebagai outcome tambahan.
5. Menginterpretasikan hubungan penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, CVA, dan nyeri leher dalam perspektif bioenergetika otot rangka berdasarkan mekanisme ATP turnover, calcium handling, energetic recovery, fatigue, dan sensitisasi nosiseptif..

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian dibatasi pada siswa sekolah dasar kelas V-VI yang memenuhi kriteria penelitian dan mengikuti satu kali sesi pengumpulan data. Desain cross-sectional menyebabkan seluruh variabel diukur pada periode yang sama sehingga hasil hanya menggambarkan asosiasi. Paparan digital dan perilaku ergonomi dinilai melalui BackPEI-CA, sedangkan postur objektif dibatasi pada CVA dari foto lateral. Neck pain menjadi outcome klinis sekunder utama; back pain tetap dikumpulkan tetapi hanya dianalisis secara eksploratif. Penelitian tidak melakukan radiografi, elektromiografi, NIRS, 31P-MRS, pengambilan darah, saliva, atau jaringan. Karena itu ATP, phosphocreatine, inorganic phosphate, H+, calcium handling, oksigenasi/perfusi otot, metabolit, maupun mediator inflamasi tidak dianalisis sebagai variabel peserta. Semua konsep bioenergetika digunakan hanya untuk interpretasi mekanistik berbasis literatur. Dengan sampel minimal 70, penelitian difokuskan pada asosiasi berkekuatan sedang dan analisis parsimonious, bukan efek kecil, model prediksi kompleks, atau mediasi kausal.

1.5 Kaitan Penelitian dengan Road Map Penelitian Pribadi dan Road Map Penelitian Fakultas

Secara substantif, penelitian ini ditempatkan pada irisan biokimia dan bioenergetika otot rangka, ergonomi, kesehatan anak, kedokteran preventif, dan kesehatan muskuloskeletal. Tahap penelitian sekarang berfungsi sebagai pemetaan fenotip perilaku-postur-nyeri: paparan digital dan perilaku ergonomi diukur bersama CVA dan gejala pada siswa. Kerangka bioenergetika disusun sejak awal untuk menerjemahkan temuan tersebut ke dalam pertanyaan dasar mengenai kebutuhan ATP, calcium cycling, energetic recovery, oxygenation, dan fatigue pada otot postural.

Keterkaitan dengan bidang biokimia dipertegas melalui fokus pada bioenergetika kontraksi otot. Kontraksi dan relaksasi membutuhkan ATP untuk cross-bridge cycling, kerja pompa Ca2+, serta pemeliharaan gradien ion; phosphocreatine dan oxidative metabolism menopang resintesis ATP, sedangkan akumulasi Pi dan

perubahan H+ dapat berkontribusi terhadap penurunan fungsi kontraktil saat fatigue. Dalam penelitian tahap ini jalur tersebut belum diukur secara langsung, tetapi digunakan sebagai kerangka yang konsisten untuk merumuskan hipotesis lanjutan. Tahap berikutnya dapat memasukkan surface EMG dan NIRS untuk menilai pola aktivasi serta oksigenasi otot secara non-invasif, kemudian berkembang ke parameter metabolik/biokimia yang etis dan feasible pada populasi anak. (Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022; dos Santos Amorim et al., 2024).

Pada tingkat fakultas, penelitian ini mendukung road map biomedik-biokimia, promotif-preventif, kesehatan anak dan remaja, kesehatan lingkungan belajar, serta pencegahan gangguan muskuloskeletal. Posisi penelitian sebagai jembatan antara mekanisme dasar dan paparan keseharian memberi jalur pengembangan yang jelas: studi observasional perilaku-postur -> studi fisiologis non-invasif -> intervensi ergonomi/microbreak -> evaluasi recovery otot dan outcome klinis. Dengan alur tersebut, keluaran tidak berhenti pada rekomendasi ergonomi, tetapi juga membangun kesinambungan penelitian bioenergetika otot dalam konteks penggunaan teknologi pada anak.

1.6 Kebaruan Penelitian dan Posisi Keilmuan Biokimia

Kebaruan penelitian terletak pada integrasi tiga tingkat observasi dan satu perspektif mekanistik: (1) paparan perilaku melalui penggunaan perangkat digital dan ergonomi; (2) fenotip postural objektif melalui CVA; (3) outcome klinis utama berupa neck pain; serta (4) interpretasi melalui perspektif bioenergetika otot rangka yang telah ditetapkan sebelum analisis. Back pain dipertahankan hanya sebagai outcome eksploratif. Pendekatan ini berbeda dari sekadar menambahkan pembahasan biokimia setelah hasil diperoleh, karena konsep ATP turnover, calcium handling, phosphocreatine recovery, Pi/H+, oksigenasi, fatigue, dan sensitisasi telah didefinisikan sejak kerangka teori dan digunakan untuk membatasi arah interpretasi secara konsisten.

Posisi keilmuan biokimia dalam penelitian ini adalah menjelaskan bagaimana perubahan tuntutan mekanik servikal dapat diterjemahkan menjadi tuntutan energi pada jaringan otot. CVA tidak diperlakukan sebagai biomarker, tetapi sebagai indikator alignment yang memberikan konteks terhadap kebutuhan kerja otot servikal. Neck pain juga tidak diperlakukan sebagai bukti langsung perubahan metabolisme. Dengan batas tersebut, perspektif bioenergetika tetap kuat secara konseptual tanpa melampaui data yang dikumpulkan. Back pain, bila dianalisis, digunakan sebagai pembanding eksploratif untuk menunjukkan bahwa hubungan CVA dengan gejala diperkirakan lebih spesifik pada region servikal.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penggunaan Perangkat Digital pada Anak Sekolah

Penggunaan perangkat digital pada anak sekolah dasar mencakup smartphone, tablet, laptop, komputer, dan perangkat berlayar lain yang digunakan untuk belajar, berkomunikasi, mencari informasi, bermain, dan menonton. Dalam penelitian ergonomi, paparan digital tidak cukup digambarkan hanya dengan total screen time. Dua anak dengan durasi penggunaan yang sama dapat menerima beban muskuloskeletal yang berbeda apabila satu anak menggunakan perangkat dengan layar mendekati garis pandang dan sering mengubah posisi, sedangkan anak lain menggunakan smartphone di pangkuan dengan kepala menunduk dalam waktu lama. Oleh karena itu, paparan digital perlu dipahami sebagai kombinasi durasi, jenis perangkat, tujuan penggunaan, lama penggunaan tanpa jeda, dan posisi tubuh saat menggunakan perangkat. (Mongkonkansai et al., 2022; Azadvari et al., 2023; Lee dan Son, 2025).

Bukti longitudinal menunjukkan bahwa screen time dapat berkaitan dengan keluhan muskuloskeletal pada usia sekolah, tetapi hubungan tersebut tidak selalu linear dan tidak selalu bertahan pada seluruh periode pengamatan. Pirnes et al. (2022) mengikuti anak usia sekolah dan melaporkan bahwa screen time total, passive gaming, serta penggunaan media sosial berkaitan dengan insiden nyeri leher-bahu pada salah satu periode tindak lanjut. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa perilaku layar merupakan salah satu paparan yang perlu diperhatikan, tetapi tidak dapat dianggap sebagai satu-satunya penyebab nyeri. Faktor pertumbuhan, aktivitas fisik, tidur, stres, jenis kelamin, dan kebiasaan postural juga dapat berkontribusi.

Pada siswa sekolah dasar, pola penggunaan perangkat menjadi semakin penting karena kemampuan anak untuk mempertahankan postur dan mengatur lingkungan belajarnya masih berkembang. Mongkonkansai et al. (2022) pada siswa sekolah dasar pengguna smartphone menemukan bahwa faktor penggunaan smartphone dan posisi tubuh berhubungan dengan keluhan muskuloskeletal. Penelitian tersebut menguatkan bahwa pertanyaan mengenai 'bagaimana perangkat digunakan' perlu dipertimbangkan bersama pertanyaan mengenai 'berapa lama perangkat digunakan'. Dalam konteks sekolah, anak juga sering berpindah dari aktivitas menulis di meja ke penggunaan smartphone atau tablet, sehingga paparan postural bersifat berulang dan berubah sepanjang hari.

Temuan pada kelompok usia yang sedikit lebih tua memberikan gambaran tambahan mengenai pola dosis dan postur. Azadvari et al. (2023) pada 808 remaja usia sekolah melaporkan bahwa penggunaan telepon seluler yang sangat panjang dan kebiasaan posisi tertentu, termasuk duduk di lantai saat menggunakan perangkat, berkaitan dengan neck pain yang dilaporkan. Hasil tersebut tidak dapat langsung digeneralisasikan ke siswa SD kelas V-VI, tetapi mendukung konsep bahwa durasi penggunaan dan posisi tubuh merupakan dua komponen paparan yang sebaiknya tidak dipisahkan dalam analisis.

Data Indonesia juga menunjukkan relevansi masalah ini. Nadia et al. (2026) pada siswa usia 9-12 tahun menemukan hubungan faktor screen time, aktivitas fisik, status gizi, dan faktor ergonomi dengan gangguan postur spinal. Penelitian tersebut memberikan dasar lokal bahwa postur anak sekolah merupakan isu yang nyata, tetapi pengukuran postur menggunakan jarak terhadap dinding sehingga belum secara spesifik menggambarkan alignment kepala-leher melalui craniovertebral angle. Kesenjangan ini menjadi salah satu alasan penelitian sekarang menambahkan CVA sebagai parameter objektif.

Dengan demikian, penelitian ini tidak memaknai screen time sebagai variabel yang berdiri sendiri. BackPEI-CA digunakan untuk menangkap durasi penggunaan perangkat mobile sekaligus kebiasaan postural yang menyertainya. Pendekatan ini diharapkan memberi gambaran paparan yang lebih realistis dan tetap sederhana bagi siswa, tanpa menambah beberapa kuesioner terpisah yang dapat menimbulkan kelelahan saat pengisian. (da Rosa et al., 2022).

Tinjauan yang lebih baru juga menunjukkan bahwa perubahan akibat penggunaan smartphone tidak hanya terbatas pada satu segmen tulang belakang. Lee dan Son (2025) merangkum bukti bahwa penggunaan smartphone dapat meningkatkan fleksi servikal, mengubah alignment torakal dan lumbal, serta meningkatkan kebutuhan aktivitas otot leher-bahu. Hal ini penting untuk penelitian pada siswa karena durasi layar yang sama

dapat menghasilkan beban biomekanik yang berbeda apabila ketinggian layar, posisi tubuh, dukungan punggung, dan kesempatan berganti posisi berbeda. Dengan demikian, screen time digunakan sebagai ukuran jumlah paparan, sedangkan perilaku ergonomi membantu menjelaskan kualitas paparan tersebut.

2.2 Perilaku Ergonomi dan Postur pada Anak

Ergonomi membahas kesesuaian antara manusia, tugas, alat, dan lingkungan. Pada anak sekolah, perilaku ergonomi mencakup cara duduk saat membaca atau menulis, tinggi dan posisi layar, tumpuan punggung dan kaki, posisi lengan saat memegang perangkat, cara membawa tas, serta seberapa sering anak mengubah posisi. Karena tubuh anak sedang tumbuh, tujuan ergonomi bukan memaksa anak mempertahankan satu 'postur sempurna' sepanjang hari, melainkan mengurangi posisi ekstrem yang dipertahankan terlalu lama, menyediakan dukungan yang memadai, dan mendorong variasi gerak. (Tapanya et al., 2021; In et al., 2021; Lee dan Son, 2025).

Saat smartphone berada rendah di bawah garis pandang, pengguna cenderung meningkatkan fleksi kepala dan leher untuk melihat layar. Tapanya et al. (2021) menunjukkan bahwa bertambahnya sudut fleksi leher saat menggunakan smartphone meningkatkan gravitational moment pada segmen kepala-leher dan meningkatkan aktivitas otot ekstensor servikal. Penelitian tersebut dilakukan pada dewasa muda sehingga tidak digunakan sebagai bukti langsung pada anak, tetapi menjelaskan prinsip biomekanik yang relevan: semakin jauh posisi kepala bergerak dari alignment netral, semakin besar kebutuhan momen penahan dari jaringan servikal.

Postur penggunaan perangkat juga memengaruhi keluhan yang dirasakan. Vahedi et al. (2024) membandingkan kondisi penggunaan smartphone dan menemukan bahwa posisi tubuh, tugas yang dilakukan, dan cara memegang perangkat memengaruhi kinematika leher, aktivitas otot, dan rasa tidak nyaman. Posisi duduk pada beberapa kondisi menghasilkan fleksi leher dan discomfort yang lebih tinggi dibanding posisi berdiri. Temuan ini menekankan bahwa intervensi ergonomi tidak cukup hanya meminta anak 'mengurangi gadget', tetapi perlu memperhatikan cara penggunaan perangkat, tinggi layar, dukungan lengan, dan kesempatan untuk berganti posisi.

Pada remaja, perubahan postur akibat penggunaan smartphone tidak terbatas pada daerah kepala-leher. In et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan smartphone dalam posisi duduk berkepanjangan berkaitan dengan perubahan alignment thoracolumbar dan lumbar pada remaja dengan low back pain. Tsang et al. (2023), yang menilai postur secara real time pada 560 remaja, juga mengukur craniovertebral angle, thoracic kyphosis, dan lumbar lordosis saat duduk alami dan saat menggunakan smartphone. Keparahan postur membungkuk berkaitan dengan ketidaknyamanan muskuloskeletal, lama penggunaan harian, dan tingkat sekolah. Hal ini menunjukkan bahwa postur tubuh bekerja sebagai satu rantai, bukan sebagai segmen leher yang sepenuhnya terpisah dari thoraks dan lumbal.

Dalam penelitian ini, perilaku ergonomi dinilai melalui item BackPEI-CA yang relevan dengan posisi duduk, penggunaan perangkat mobile, komputer, membawa tas, dan aktivitas postural sehari-hari. Respons setiap item dipertahankan sesuai struktur instrumen. Penelitian tidak membuat skor total 'risiko ergonomi' baru dengan menjumlahkan seluruh item karena skor tersebut belum tentu memiliki validitas konstruk yang telah dibuktikan. Pendekatan per-item atau pengelompokan kategori yang telah ditetapkan sebelumnya lebih transparan dan lebih mudah diinterpretasikan untuk sampel penelitian yang relatif kecil. (da Rosa et al., 2022).

2.3 Craniovertebral Angle (CVA)

2.3.1 Definisi dan Prinsip Pengukuran

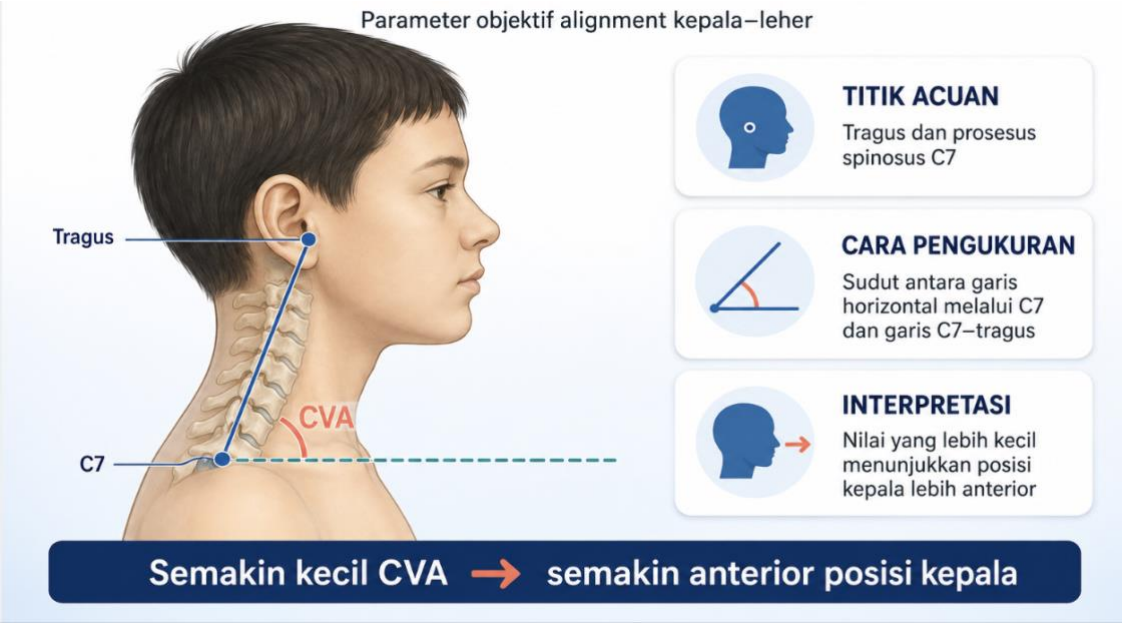
Craniovertebral angle (CVA) merupakan sudut pada bidang sagital yang digunakan untuk menggambarkan posisi kepala terhadap tulang belakang servikal. Secara umum, sudut dibentuk oleh garis horizontal yang melalui processus spinosus C7 dan garis yang menghubungkan C7 dengan tragus telinga. Nilai CVA yang lebih kecil menunjukkan posisi kepala yang relatif lebih anterior terhadap batang tubuh, sedangkan nilai yang lebih

besar menunjukkan alignment kepala yang lebih posterior atau lebih mendekati posisi tegak. (Mylonas et al., 2022; Aafreen et al., 2023).

CVA perlu dibedakan dari sudut fleksi leher sesaat ketika seseorang sedang melihat smartphone. Sudut fleksi saat menggunakan perangkat menggambarkan posisi dinamis pada saat tugas tertentu, sedangkan CVA pada penelitian ini diukur dalam natural head posture yang distandarkan. Dengan cara tersebut, CVA dipakai untuk menangkap alignment kepala-leher pada saat berdiri alami, bukan untuk mengukur seberapa jauh anak menunduk pada satu aktivitas tertentu. Pembedaan ini penting agar interpretasi tidak mencampurkan postur saat tugas dengan alignment postural yang diukur pada kondisi standar. (Tapanya et al., 2021; Titcomb et al., 2024).

Pengukuran CVA dipilih karena non-invasif, cepat, murah, dan dapat dilakukan di sekolah tanpa radiografi. Marker pada tragus dan C7 membantu penilai menentukan titik anatomis pada foto lateral. Kamera smartphone dipasang pada tripod dengan tinggi dan jarak yang sama agar variasi perspektif dapat dikurangi. Anak diminta berdiri santai dengan pandangan alami ke depan; instruksi seperti 'berdiri setegak mungkin' dihindari karena dapat membuat anak mengoreksi posturnya sementara dan menghasilkan nilai yang tidak mencerminkan kebiasaan alami. (Mylonas et al., 2022; Aafreen et al., 2023).

Dalam penelitian ini CVA dianalisis terutama sebagai variabel kontinu dalam satuan derajat. Nilai yang lebih kecil tidak langsung diberi label sebagai penyakit atau kelainan. Penelitian juga tidak menggunakan cut-off orang dewasa untuk mendiagnosis forward head posture pada siswa usia 10-12 tahun karena nilai referensi dapat dipengaruhi usia, karakteristik populasi, posisi pengukuran, dan protokol fotografi. Fokus analisis adalah arah dan kekuatan hubungan antara paparan digital/perilaku ergonomi dan nilai CVA. (Titcomb et al., 2024).



Gambar 1. Pengukuran craniovertebral angle dari foto lateral.
Mylonas et al. (2022) dan Aafreen et al. (2023).

2.3.2 Validitas Digital Photogrammetry dan Pengukuran Sudut pada iPhone

Digital photogrammetry adalah metode pengukuran postur berdasarkan citra yang diambil secara terstandar. Metode ini sesuai untuk penelitian lapangan karena tidak membutuhkan paparan radiasi dan dapat dilakukan dengan kamera yang mudah tersedia. Kualitas pengukuran tetap bergantung pada standardisasi: posisi kamera, jarak kamera-subjek, tinggi tripod, identifikasi titik anatomi, posisi peserta, dan konsistensi penilai harus dibuat sama untuk seluruh subjek. (Mylonas et al., 2022; Aafreen et al., 2023).

Aafreen et al. (2023) mengevaluasi clinimetric properties pengukuran CVA menggunakan aplikasi smartphone dan perangkat lunak digital pada kelompok dewasa dengan neck pain. Mereka melaporkan korelasi

tinggi antara metode serta reliabilitas intra-rater yang sangat baik pada posisi berdiri dan duduk. Populasi penelitian tersebut bukan anak sekolah dan aplikasi yang digunakan bukan instrumen utama pada penelitian ini, sehingga hasilnya tidak dipakai sebagai nilai referensi anak. Namun, penelitian itu memperkuat bahwa CVA dapat diukur secara konsisten dari citra digital apabila landmark dan prosedur pengambilan gambar distandarkan.

Untuk pengukuran sudut pada foto penelitian ini digunakan Angle Meter 360 pada iPhone. Aplikasi tersebut memungkinkan penilai menempatkan vertex pada C7, membuat satu garis horizontal melalui C7, dan membuat garis kedua dari C7 menuju tragus untuk memperoleh CVA. Angle Meter 360 digunakan sebagai alat bantu pengukuran sudut pada gambar dan tidak diposisikan sebagai aplikasi diagnostik CVA yang tervalidasi. Mylonas et al. (2022) menekankan bahwa reliabilitas dan validitas metode non-radiografik bergantung pada standardisasi landmark dan protokol foto, sedangkan Aafreen et al. (2023) menunjukkan bahwa smartphone-based CVA measurement dapat dilakukan secara reliabel dengan aplikasi yang telah divalidasi. Titcomb et al. (2024) juga menunjukkan bahwa posisi tubuh dapat memengaruhi nilai CVA. Oleh karena itu, penelitian menetapkan posisi berdiri, tripod, marker tragus-C7, dua foto lateral, pengukuran berulang, dan penilaian reliabilitas antar-penilai sebagai bagian dari quality control.

Reliabilitas internal akan diperkuat dengan mengambil dua foto lateral yang memenuhi standar, melakukan dua pengukuran dan menggunakan nilai rerata. Bila selisih dua pengukuran lebih dari batas yang ditentukan dalam SOP, pengukuran diulang. Sekitar 20% foto akan dinilai kembali oleh penilai kedua yang tidak mengetahui jawaban kuesioner siswa. Intraclass correlation coefficient digunakan untuk menggambarkan reliabilitas antar-penilai. Langkah ini penting karena kesalahan penempatan marker atau penarikan garis dapat menambah variasi yang bukan berasal dari perbedaan postur sebenarnya. (Aafreen et al., 2023; Titcomb et al., 2024).

2.4 Nyeri Leher pada Anak dan Back Pain sebagai Outcome Eksploratif

Nyeri leher dan punggung dapat muncul sejak usia sekolah dan tidak seharusnya dipandang hanya sebagai masalah orang dewasa. Beban neck pain pada anak dan remaja meningkat sejalan dengan bertambahnya usia. Analisis Global Burden of Disease oleh Sun et al. (2025) menunjukkan bahwa neck pain sudah terukur pada kelompok anak dan remaja, dengan pola yang berbeda menurut usia dan jenis kelamin. Temuan ini menguatkan pentingnya pencegahan dan pengenalan faktor yang dapat dimodifikasi sejak usia sekolah, meskipun sebagian besar keluhan pada anak tidak identik dengan penyakit struktural yang berat.

Pada usia pra-remaja, spinal pain berkaitan dengan banyak faktor. Joergensen et al. (2021) meneliti hubungan spinal pain dengan screen time dan perilaku aktivitas fisik pada pre-adolescents. Hasil penelitian semacam ini menegaskan bahwa paparan layar harus dilihat dalam konteks perilaku sehari-hari yang lebih luas, bukan sebagai penyebab tunggal. Anak yang banyak menggunakan layar dapat sekaligus memiliki waktu duduk lebih panjang, variasi posisi lebih sedikit, waktu tidur berbeda, atau faktor psikososial yang juga berkaitan dengan persepsi nyeri.

Pirnes et al. (2022) memberikan bukti longitudinal bahwa beberapa bentuk screen time berkaitan dengan insiden neck and shoulder pain pada periode tertentu pada anak sekolah. Sementara itu, Azadvari et al. (2023) menunjukkan pada remaja usia sekolah bahwa penggunaan mobile phone yang sangat lama dan posisi penggunaan tertentu berkaitan dengan neck pain yang dilaporkan. Kedua penelitian tersebut mendukung pencatatan durasi sekaligus perilaku postural, tetapi juga mengingatkan bahwa asosiasi dapat berubah menurut usia, durasi follow-up, dan cara paparan dinilai.

Untuk keluhan punggung, posisi duduk selama penggunaan smartphone dapat melibatkan seluruh rantai spinal. In et al. (2021) menunjukkan perubahan thoracolumbar kyphosis dan lumbar lordosis selama penggunaan smartphone dalam posisi duduk, dengan perubahan yang lebih nyata pada remaja yang memiliki low back pain. Dengan demikian, back pain dalam penelitian ini tetap relevan sebagai outcome sekunder, meskipun CVA secara anatomis lebih dekat dengan daerah leher daripada punggung bawah. Nyeri pada anak bersifat multifaktorial. Postur bukan diagnosis, dan satu nilai CVA tidak dapat menjelaskan seluruh pengalaman nyeri.

Persepsi nyeri dipengaruhi beban mekanik, sensitivitas jaringan, kelelahan, aktivitas fisik, tidur, faktor emosional, cedera sebelumnya, dan konteks sosial. Karena itu, penelitian ini menggunakan istilah 'berhubungan dengan' atau 'berkaitan dengan', bukan 'menyebabkan'. Pendekatan ini sesuai dengan desain cross-sectional yang mengukur paparan dan outcome pada waktu yang sama. (Baradaran Mahdavi et al., 2022; Montgomery et al., 2025; Sun et al., 2025).

Untuk back pain, bukti terbaru juga perlu dibaca secara proporsional. Calvo-Muñoz et al. (2026) dalam systematic review dan meta-analysis pada anak dan remaja menemukan bahwa analisis dose-response mengarah pada peningkatan odds low back pain seiring bertambahnya screen time, tetapi pairwise meta-analysis tidak selalu menunjukkan hubungan yang konsisten. Temuan ini memperkuat alasan mengapa penelitian sekarang tidak menggunakan satu ambang screen time sebagai penjelasan tunggal. Durasi penggunaan, posisi tubuh, perubahan alignment, serta faktor individual perlu dipertimbangkan bersama sebelum menarik kesimpulan mengenai nyeri.

2.5 BackPEI-CA sebagai Instrumen Penelitian

Back Pain and Body Posture Evaluation Instrument for Children and Adolescents (BackPEI-CA) merupakan pengembangan instrumen BackPEI untuk menilai nyeri spinal dan faktor perilaku/postural pada anak dan remaja. da Rosa et al. (2022) memperluas instrumen dengan memasukkan aspek penggunaan perangkat mobile dan neck pain. Versi tersebut terdiri atas 30 pertanyaan dan dirancang untuk anak serta remaja yang mampu membaca dan memahami kuesioner, termasuk kelompok usia 10-17 tahun. Karena sasaran penelitian adalah siswa kelas V-VI sekitar usia 10-12 tahun, rentang usia tersebut sesuai dengan populasi yang pernah digunakan dalam pengembangan instrumen. BackPEI-CA menilai beberapa informasi yang dibutuhkan penelitian secara bersamaan, seperti kebiasaan postural, penggunaan perangkat mobile, serta keberadaan, frekuensi, intensitas, dan dampak nyeri leher atau punggung. Keuntungan ini penting pada penelitian sekolah karena waktu pengumpulan data terbatas dan anak lebih mudah mengalami fatigue atau kehilangan fokus jika harus menyelesaikan beberapa skala yang panjang. Dengan satu instrumen inti, beban responden dapat dikurangi tanpa kehilangan domain utama yang sesuai dengan pertanyaan penelitian. (da Rosa et al., 2022).

Validitas isi dan reliabilitas BackPEI-CA telah dilaporkan oleh da Rosa et al. (2022). Meskipun demikian, validitas instrumen tidak berarti seluruh item boleh dijumlahkan menjadi satu skor baru tanpa dasar. Dalam penelitian ini, item perilaku ergonomi dianalisis sesuai respons aslinya atau dikelompokkan menjadi kategori yang ditetapkan secara konseptual sebelum analisis. Penelitian tidak menciptakan 'total ergonomic risk score' baru hanya untuk memudahkan statistik karena skor semacam itu dapat mencampurkan konstruk yang berbeda dan belum memiliki bukti validitas. Penggunaan BackPEI-CA juga memiliki keterbatasan. Durasi penggunaan perangkat dan nyeri merupakan self-report sehingga dapat dipengaruhi kemampuan anak mengingat dan memperkirakan waktu. Untuk mengurangi bias, enumerator menggunakan instruksi yang sama, menjelaskan contoh satuan waktu tanpa mengarahkan jawaban, dan memeriksa kelengkapan isian. Penambahan CVA sebagai pengukuran objektif merupakan strategi untuk mengurangi ketergantungan penelitian pada self-report sebagai satu-satunya sumber data. (da Rosa et al., 2022).

Apabila versi Bahasa Indonesia yang tervalidasi belum tersedia, proses penggunaan harus didahului adaptasi bahasa yang terstruktur dan izin penggunaan dari pengembang bila dipersyaratkan. Tahap terjemahan maju, rekonsiliasi, terjemahan balik, review ahli, dan cognitive debriefing pada siswa di luar sampel utama diperlukan untuk memastikan bahwa istilah seperti posisi tubuh, intensitas nyeri, dan penggunaan perangkat dipahami sesuai makna aslinya. Dalam proposal ini tahap tersebut diposisikan sebagai adaptasi dan uji keterbacaan, bukan diklaim sebagai validasi psikometrik penuh dengan sampel 70 siswa. (da Rosa et al., 2022).

2.6 Bioenergetika Otot Rangka: ATP, Calcium Cycling, Oxygenation, Fatigue, dan Nyeri

Bioenergetika otot rangka digunakan untuk menjelaskan hubungan antara tuntutan mekanik dan kapasitas jaringan mempertahankan kontraksi. Penelitian ini tidak mengambil sampel biologis dan tidak mengukur

metabolit, sehingga bioenergetika bukan variabel statistik. Kerangka ini berfungsi sebagai explanatory bridge: ketika posisi kepala meningkatkan kebutuhan gaya otot, jaringan harus meningkatkan ATP turnover dan mempertahankan homeostasis Ca2+ serta ion; bila aktivitas berlangsung lama tanpa cukup relaksasi, kemampuan mempertahankan gaya dapat menurun dan fatigue berkembang. (Debold dan Westerblad, 2024).

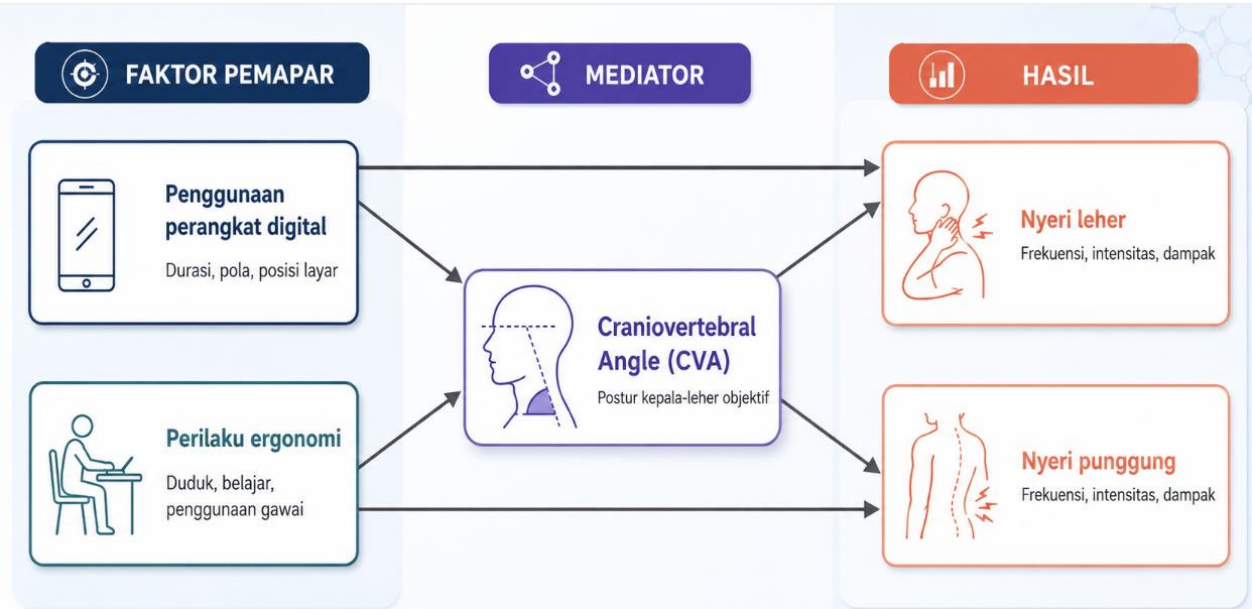
ATP merupakan sumber energi langsung untuk interaksi aktin-miosin. Karena cadangan ATP bebas di serabut otot terbatas, ATP harus terus diregenerasi melalui phosphocreatine buffering, glikolisis, dan oxidative phosphorylation. Pada tugas postural berintensitas rendah, oxidative metabolism menjadi penting untuk mempertahankan ATP dalam jangka lebih panjang, sedangkan phosphocreatine membantu meredam perubahan kebutuhan energi yang cepat. Peningkatan fleksi leher menambah gravitational moment dan aktivitas otot sehingga secara teoritis meningkatkan kebutuhan ATP pada otot servikal yang aktif. (Tapanya et al., 2021; Debold dan Westerblad, 2024).

Setiap siklus kontraksi juga bergantung pada calcium handling. Pelepasan Ca2+ dari retikulum sarkoplasma memungkinkan aktivasi aparatus kontraktil, sedangkan relaksasi memerlukan pemompaan Ca2+ kembali melalui sarcoplasmic reticulum Ca2+-ATPase (SERCA), yang menggunakan ATP. Dengan demikian, sustained muscle activity membebani bukan hanya cross-bridge cycling, tetapi juga proses pemulihan ion dan eksitasi-kontraksi. Debold dan Westerblad (2024) menempatkan gangguan excitation-contraction coupling dan perubahan pelepasan Ca2+ sebagai bagian penting mekanisme fatigue otot. Hal ini memberikan dasar biokimia untuk memahami mengapa postur yang menuntut aktivasi berkepanjangan dapat menurunkan endurance meskipun beban eksternal tampak ringan.

Selama aktivitas berulang, perubahan metabolit intraseluler dapat memengaruhi kemampuan menghasilkan gaya. Inorganic phosphate (Pi) dan H+ telah lama dipelajari dalam kaitannya dengan fatigue, tetapi kontribusinya bergantung pada intensitas, durasi, dan kondisi kontraksi. Hureau et al. (2022) menggunakan 31P-MRS pada manusia dan menunjukkan bahwa perubahan Pi dan H+ menyertai peripheral fatigue, sementara Debold dan Westerblad (2024) menjelaskan bagaimana Pi dapat mengurangi force generation melalui efek pada cross-bridge dan calcium handling. Temuan ini tidak berarti siswa yang menunduk pasti mengalami akumulasi Pi/H+; literatur tersebut hanya menunjukkan mekanisme yang secara biologis mungkin ketika aktivitas otot dipertahankan.

Oksigenasi dan perfusi lokal mendukung oxidative ATP resynthesis serta pemulihan phosphocreatine. Kontraksi yang dipertahankan dapat mengurangi fase relaksasi, sementara jeda memungkinkan reperfusi dan energetic recovery. dos Santos Amorim et al. (2024) menunjukkan bahwa tissue oxygenation pada trapezius dapat dinilai secara non-invasif dalam konteks nonspecific neck pain. Koch et al. (2024) juga menemukan keterkaitan frekuensi breaks, jumlah muscular rest, sustained muscle activity, dan neck pain. Secara konseptual, temuan ini mendukung alasan mengapa variasi posisi dan microbreak dapat relevan tidak hanya secara mekanik tetapi juga bagi pemulihan fisiologis otot, walaupun penelitian ini tidak mengukur oxygenation atau muscle activation.

Fatigue tidak identik dengan nyeri, dan nyeri tidak dapat dijelaskan oleh satu metabolit. Perubahan energetic state, oxygenation, pH, Pi, ion, dan kontrol motorik dapat memodulasi input perifer, tetapi pengalaman nyeri merupakan hasil integrasi proses nosiseptif dengan faktor sensorik, psikologis, tidur, aktivitas, dan konteks. Oleh karena itu, penelitian ini tidak akan menggunakan kalimat kausal seperti "screen time meningkatkan laktat sehingga menyebabkan nyeri". Bila hubungan paparan digital, CVA, dan nyeri ditemukan, hasil dilaporkan sebagai asosiasi; bioenergetika hanya digunakan untuk menjelaskan plausibilitas mekanistik. (Montgomery et al., 2025; Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022).



Gambar 2. Hubungan konseptual penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, CVA, nyeri, dan kerangka mekanistik biokimia. Tapanya et al. (2021), In et al. (2021), Torkamani et al. (2023), Debold dan Westerblad (2024), serta dos Santos Amorim et al. (2024).

2.7 Hubungan Penggunaan Perangkat Digital dan Perilaku Ergonomi dengan CVA

Hubungan antara penggunaan perangkat digital dan CVA dapat dipahami dari posisi layar terhadap mata. Smartphone biasanya digunakan pada ketinggian di bawah garis pandang. Untuk mempertahankan pandangan ke layar, pengguna melakukan fleksi pada kepala, leher, atau kombinasi keduanya. Bila posisi ini sering diulang dan dipertahankan cukup lama, pola penggunaan dapat berkaitan dengan alignment kepala-leher yang diukur pada kondisi standar. Secara teori, semakin besar dan semakin lama fleksi leher, semakin besar pula tuntutan momen ekstensor yang harus dihasilkan jaringan posterior leher untuk menahan berat kepala. (Tapanya et al., 2021; Vahedi et al., 2024; Chen et al., 2024).

Tapanya et al. (2021) memberikan dasar mekanik untuk hubungan tersebut dengan menunjukkan bahwa penambahan sudut fleksi leher selama penggunaan smartphone meningkatkan gravitational moment dan aktivitas otot leher. Vahedi et al. (2024) menambahkan bahwa kinematika dan aktivitas otot berbeda menurut posisi tubuh dan cara menggunakan smartphone. Dengan demikian, dua anak dengan screen time yang sama belum tentu memiliki paparan mekanik yang sama. Anak yang menggunakan perangkat pada meja dengan layar lebih tinggi dan sering mengubah posisi dapat menerima paparan berbeda dari anak yang menggunakan perangkat di pangkuan dengan leher menunduk dan lengan tanpa dukungan.

Bukti yang paling relevan dengan populasi penelitian berasal dari Abdel-Aziem et al. (2022), yang menilai anak usia 5-12 tahun berdasarkan durasi penggunaan smartphone dan posisi tubuh. Anak dengan durasi penggunaan yang lebih panjang menunjukkan parameter postur kepala-leher yang kurang menguntungkan dibanding kelompok dengan durasi lebih singkat. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa posisi duduk dapat menghasilkan pola fleksi kepala-leher yang berbeda dibanding posisi berdiri. Temuan ini mendukung hipotesis bahwa durasi penggunaan dan posisi tubuh perlu dianalisis bersama ketika menilai CVA pada siswa SD. Pada remaja, Tsang et al. (2023) mengukur postur secara real time pada 560 peserta, termasuk craniovertebral angle, thoracic kyphosis, dan lumbar lordosis selama duduk alami dan penggunaan smartphone. Postur yang lebih membungkuk saat menggunakan smartphone berkaitan dengan ketidaknyamanan muskuloskeletal, penggunaan harian, dan tingkat sekolah. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa perubahan postur selama penggunaan smartphone bukan fenomena yang hanya terjadi pada leher, tetapi dapat muncul bersama perubahan kurva thorakal dan lumbal.

Torkamani et al. (2023) pada dewasa muda juga menemukan perbedaan cervical sagittal posture dan endurance otot menurut tingkat smartphone addiction. Walaupun usia peserta lebih tua daripada populasi penelitian, hasil tersebut memberikan dukungan tambahan bahwa frekuensi atau pola penggunaan smartphone yang tinggi dapat berjalan bersama perubahan alignment servikal dan kapasitas otot. Karena perbedaan usia, temuan ini hanya dipakai sebagai bukti pendukung mekanistik dan tidak digunakan untuk menetapkan nilai normal CVA pada siswa SD.

Konteks lokal Indonesia memperkuat alasan penelitian. Nadia et al. (2026) menunjukkan bahwa pada siswa usia 9-12 tahun, screen time dan faktor ergonomi berkaitan dengan gangguan postur spinal. Namun, outcome postur yang digunakan berbeda dengan CVA. Penelitian sekarang berusaha mempersempit pertanyaan: apakah pola penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi pada anak kelas V-VI berhubungan dengan alignment kepala-leher yang dinilai sebagai sudut kontinu melalui CVA?

Perilaku ergonomi dapat memperkuat atau mengurangi beban yang timbul dari penggunaan perangkat. Posisi layar yang lebih tinggi, dukungan lengan, punggung yang ditopang, kaki yang stabil, variasi posisi, dan jeda gerak dapat mengurangi kebutuhan mempertahankan fleksi leher dalam waktu lama. Sebaliknya, penggunaan smartphone pada posisi rendah, duduk membungkuk, berbaring dengan posisi leher terpuntir, atau penggunaan terus-menerus tanpa jeda dapat memperpanjang paparan postural. Karena itu, screen time tidak diperlakukan sebagai pengganti perilaku ergonomi; keduanya merupakan informasi yang saling melengkapi. (Tapanya et al., 2021; Vahedi et al., 2024; Lee dan Son, 2025).

BackPEI-CA memungkinkan penelitian menangkap dua sisi tersebut secara ringkas. Durasi penggunaan perangkat menggambarkan jumlah paparan secara kasar, sedangkan item postural memberikan informasi mengenai cara paparan terjadi. Dalam analisis, hubungan utama akan diuji terhadap CVA sebagai nilai kontinu. Apabila durasi tinggi atau perilaku ergonomi tertentu berhubungan dengan CVA yang lebih kecil, hasil tersebut menunjukkan adanya asosiasi postural, tetapi belum membuktikan bahwa penggunaan perangkat telah menyebabkan perubahan struktur servikal. (da Rosa et al., 2022).

Perlu dibedakan antara fleksi akut saat melihat layar dan CVA yang diukur setelah anak berdiri dalam natural head posture. Seseorang dapat menunduk dalam saat menggunakan smartphone tetapi kembali ke alignment yang lebih netral setelah perangkat dilepas. Sebaliknya, seseorang dapat memiliki CVA yang relatif kecil karena variasi anatomis, kebiasaan postur, pertumbuhan, atau faktor lain yang tidak berkaitan langsung dengan screen time. Oleh karena itu, korelasi antara penggunaan perangkat dan CVA tidak boleh diartikan sebagai bukti bahwa smartphone mengubah struktur tulang belakang. (Tapanya et al., 2021; Titcomb et al., 2024).

Desain cross-sectional juga tidak dapat memastikan urutan waktu. Bila anak dengan neck discomfort cenderung mengubah posisi saat menggunakan perangkat, arah hubungan dapat berlawanan dengan asumsi awal. Karena alasan tersebut, penelitian menggunakan bahasa 'berhubungan' dan memprioritaskan effect size serta confidence interval. Hasil penelitian terutama diharapkan memberikan dasar untuk studi longitudinal atau intervensi ergonomi berikutnya, bukan menyimpulkan kausalitas dari satu kali pengukuran. (Montgomery et al., 2025).

Secara keseluruhan, hubungan pada Bab 2.7 dapat dipahami sebagai rangkaian paparan dan respons postural. Penggunaan perangkat digital memberikan paparan dalam bentuk durasi dan frekuensi, sedangkan perilaku ergonomi menentukan bagaimana paparan tersebut diterima tubuh. Ketika layar berada rendah atau penggunaan dilakukan dengan kepala menunduk dalam waktu lama, kebutuhan fleksi servikal meningkat dan beban otot posterior bertambah. Bila pola tersebut berulang, alignment kepala-leher saat pengukuran standar dapat berbeda dan tercermin pada nilai CVA. Namun, CVA bukan 'jejak pasti' screen time: usia, anatomi, kebiasaan aktivitas, posisi pengukuran, dan kemampuan anak mengubah postur dapat ikut memengaruhi nilainya. Karena itu, penelitian menguji apakah pola digital dan ergonomi berjalan bersama dengan variasi CVA, bukan menganggap penggunaan smartphone otomatis menyebabkan forward head posture. (Abdel-Aziem et al., 2022; Tsang et al., 2023; Tapanya et al., 2021).

2.8 Hubungan CVA dengan Neck Pain; Back Pain sebagai Outcome Eksploratif

2.8.1 Hubungan CVA dengan Neck Pain

Secara anatomi dan biomekanik, hubungan CVA paling langsung diperkirakan terjadi dengan neck pain. CVA yang lebih kecil menggambarkan kepala berada lebih anterior terhadap C7. Posisi tersebut dapat meningkatkan kebutuhan kerja otot ekstensor leher untuk mempertahankan orientasi kepala dan pandangan. Bila dikombinasikan dengan aktivitas statis yang lama, kebutuhan kerja ini secara teoritis dapat meningkatkan fatigue dan discomfort. Namun, CVA tetap merupakan ukuran alignment, bukan ukuran nyeri dan bukan diagnosis penyakit. (Torkamani et al., 2023; Aafreen et al., 2023).

Torkamani et al. (2023) menunjukkan bahwa perubahan cervical sagittal posture pada pengguna smartphone berkaitan dengan aspek fungsi leher, termasuk endurance otot. Temuan tersebut memberikan jalur yang masuk akal untuk menghubungkan alignment dengan gejala: postur yang lebih anterior dapat muncul bersama perubahan kapasitas otot, sementara endurance yang lebih rendah dapat membuat aktivitas statis lebih mudah menimbulkan fatigue. Akan tetapi, karena penelitian tersebut dilakukan pada dewasa muda, mekanisme ini perlu diuji secara khusus pada populasi anak dan tidak boleh langsung diasumsikan identik.

Bukti pada populasi usia sekolah menunjukkan bahwa neck pain juga berhubungan dengan karakteristik penggunaan perangkat. Azadvari et al. (2023) melaporkan hubungan antara penggunaan telepon seluler yang sangat lama, posisi penggunaan, dan neck pain pada remaja sekolah. Pirnes et al. (2022) menemukan hubungan screen time dengan insiden nyeri leher-bahu pada periode tindak lanjut tertentu. Data tersebut menunjukkan bahwa gejala dapat berkaitan dengan paparan digital bahkan sebelum memasukkan CVA, sehingga dalam penelitian ini CVA dipandang sebagai salah satu komponen postural yang mungkin menjembatani atau menandai paparan mekanik, bukan satu-satunya penjelasan nyeri.

Data Indonesia pada mahasiswa fisioterapi juga memberikan konteks lokal. Wibisono, Soesanto, dan Azam (2022) melaporkan hubungan antara craniovertebral angle dan frekuensi neck pain pada penggunaan smartphone sebagai media belajar. Populasi mahasiswa tentu berbeda secara usia dan perkembangan muskuloskeletal dari siswa SD. Oleh sebab itu, temuan tersebut tidak digunakan sebagai dasar nilai cut-off anak, tetapi menunjukkan bahwa pengukuran CVA telah digunakan dalam konteks Indonesia dan memiliki relevansi klinis untuk penelitian penggunaan smartphone dan keluhan leher.

Pada skala populasi, Sun et al. (2025) menunjukkan bahwa neck pain pada anak dan remaja memiliki beban yang nyata serta meningkat pada kelompok usia yang lebih tinggi. Hal ini mendukung pentingnya memahami faktor yang dapat dimodifikasi sejak sebelum masa remaja. Meski demikian, penelitian pada siswa SD harus berhati-hati agar tidak memedisisasi variasi postur normal. Tujuan penelitian bukan mencari 'kelainan leher' pada anak, melainkan memetakan hubungan perilaku, alignment, dan keluhan secara proporsional.

2.8.2 Back Pain sebagai Outcome Eksploratif dan Rantai Postural

Hubungan CVA dengan back pain diperkirakan lebih tidak langsung dibanding hubungannya dengan neck pain. Kepala, thoraks, lumbal, dan pelvis membentuk rantai postural. Ketika seseorang duduk membungkuk untuk melihat smartphone, perubahan tidak berhenti di leher; fleksi thorakal dapat meningkat, pelvis dapat bergerak ke posterior, dan kurva lumbal dapat berubah. Karena itu, CVA yang kecil dapat muncul sebagai bagian dari pola slouched posture yang lebih luas, tetapi CVA sendiri tidak dapat dianggap sebagai penyebab low back pain. (In et al., 2021; Tsang et al., 2023; Lee dan Son, 2025).

In et al. (2021) memberikan bukti bahwa penggunaan smartphone dalam posisi duduk berkepanjangan berkaitan dengan perubahan thoracolumbar kyphosis dan lumbar lordosis pada remaja, dengan respons yang berbeda pada kelompok dengan low back pain. Tsang et al. (2023) juga menunjukkan bahwa selama penggunaan smartphone, perubahan craniovertebral angle dapat diamati bersamaan dengan perubahan thoracic kyphosis dan lumbar lordosis. Kedua penelitian tersebut mendukung konsep kinetic/postural chain: posisi kepala dapat berjalan bersama perubahan segmen lain pada tulang belakang ketika anak atau remaja menggunakan perangkat dalam posisi membungkuk.

Berdasarkan konsep tersebut, back pain tetap dinilai dalam penelitian karena dapat memberi gambaran apakah perilaku digital dan postur kepala-leher merupakan bagian dari pola keluhan muskuloskeletal yang lebih luas. Namun, back pain ditempatkan sebagai outcome sekunder. Penelitian tidak akan menyimpulkan bahwa CVA yang lebih kecil menyebabkan nyeri punggung. Jika ditemukan hubungan, hasil lebih tepat ditafsirkan sebagai kemungkinan coexistence dari pola postural dan paparan ergonomi yang sama. (In et al., 2021; Calvo-Muñoz et al., 2026).

Tidak semua anak dengan CVA kecil akan mengalami nyeri, dan tidak semua anak dengan neck pain memiliki CVA kecil. Nyeri merupakan pengalaman multidimensi yang dipengaruhi beban fisik, endurance otot, riwayat cedera, sensitivitas individu, aktivitas fisik, tidur, stres, dan faktor psikososial. Selain itu, satu foto CVA menggambarkan alignment pada saat tertentu, sedangkan anak bergerak dan mengubah postur berkali-kali sepanjang hari. Perbedaan ini dapat membuat hubungan statistik antara CVA dan nyeri lebih lemah daripada hubungan antara postur selama tugas tertentu dan discomfort akut. (Baradaran Mahdavi et al., 2022; Montgomery et al., 2025; Sun et al., 2025). Kemungkinan reverse causality juga perlu dipertimbangkan. Anak yang sudah merasa nyeri dapat memilih posisi tubuh tertentu untuk mencari kenyamanan, sehingga nyeri dapat memengaruhi postur pada saat pengukuran. Desain potong lintang tidak dapat membedakan dengan pasti apakah postur mendahului nyeri atau sebaliknya. Oleh karena itu, interpretasi hubungan CVA dengan neck pain dan, secara eksploratif, back pain harus tetap sebagai asosiasi. (Montgomery et al., 2025).

Dengan besar sampel minimal 70 siswa, analisis primer difokuskan pada hubungan penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dengan CVA sebagai variabel kontinu. Neck pain dan back pain dianalisis sebagai outcome sekunder melalui distribusi keluhan, perbandingan nilai CVA, dan analisis bivariat yang sesuai. Regresi logistik hanya dilakukan bila jumlah kejadian memadai dan jumlah prediktor dibatasi untuk menghindari overfitting. Strategi ini membuat analisis konsisten dengan besar sampel dan mencegah model statistik yang terlalu kompleks untuk data yang tersedia.

Penelitian juga tidak merencanakan analisis mediasi formal CVA sebagai mediator antara screen time dan nyeri. Secara konseptual jalur tersebut menarik, tetapi desain cross-sectional dan sampel 70 siswa tidak cukup kuat untuk memastikan urutan temporal atau mengestimasi jalur kompleks secara stabil. Temuan dari penelitian ini lebih tepat digunakan untuk membangun hipotesis dan memperkirakan effect size sebagai dasar studi longitudinal yang lebih besar. (Montgomery et al., 2025). CVA sebagai penanda alignment yang mungkin berkaitan dengan nyeri, bukan sebagai diagnosis atau penyebab tunggal. Hubungan yang diharapkan lebih langsung adalah antara CVA dan neck pain karena keduanya berada pada region servikal, sedangkan hubungan dengan back pain lebih mungkin mencerminkan rantai postural yang lebih luas. Pada saat yang sama, nyeri sendiri dapat mengubah cara anak duduk atau memegang perangkat, sehingga reverse causality tetap mungkin terjadi. Interpretasi akhir karena itu harus menggabungkan tiga lapis informasi: jumlah dan pola paparan digital, perilaku ergonomi, serta pengukuran objektif CVA. Bila ketiganya menunjukkan arah yang konsisten dan berjalan bersama dengan keluhan nyeri, hasil tersebut akan memperkuat hipotesis biologis untuk penelitian longitudinal berikutnya; bila tidak konsisten, temuan tersebut tetap penting karena menunjukkan bahwa nyeri pada anak tidak dapat direduksi menjadi satu ukuran postur. (Torkamani et al., 2023; In et al., 2021; Montgomery et al., 2025).

2.9 Integrasi Ergonomi-Bioenergetika dengan penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, craniovertebral angle (CVA), neck pain, dan back pain.

Aspek biokimia pada penelitian ini tidak berdiri sebagai variabel laboratorium tersendiri, melainkan sebagai jembatan mekanistik yang menjelaskan mengapa paparan digital dan perilaku ergonomi dapat berhubungan dengan perubahan alignment kepala-leher dan keluhan nyeri. Variabel yang benar-benar diukur tetap penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, craniovertebral angle (CVA), neck pain, dan back pain. Karena tidak dilakukan pemeriksaan darah, saliva, microdialysis, elektromiografi, atau near-infrared spectroscopy, perubahan ATP, oksigenasi otot, laktat, ion hidrogen, mediator inflamasi, atau neurotransmiter tidak boleh dilaporkan sebagai hasil penelitian. Parameter tersebut hanya digunakan untuk menjelaskan plausibilitas biologis dari asosiasi yang ditemukan. (Debold dan Westerblad, 2024; dos Santos Amorim et al., 2024).

Penggunaan smartphone atau tablet dalam posisi layar rendah biasanya membutuhkan fleksi kepala dan leher agar mata tetap mengarah ke layar. Semakin besar fleksi leher, semakin besar pula gravitational moment yang harus dilawan oleh otot ekstensor servikal. Tapanya et al. (2021) menunjukkan bahwa peningkatan sudut fleksi leher selama penggunaan smartphone diikuti peningkatan momen gravitasi dan aktivitas otot leher. Vahedi et al. (2024) dan Chen et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa posisi penggunaan smartphone dan derajat fleksi kepala memengaruhi aktivitas otot serta kinematika servikal. Secara biokimia, aktivitas otot yang meningkat berarti kebutuhan turnover adenosine triphosphate (ATP) juga meningkat. ATP diperlukan untuk siklus cross-bridge aktin-miosin, pemompaan kembali Ca2+ ke retikulum sarkoplasma, dan pemeliharaan gradien ion membran. Review seluler-molekuler terbaru oleh Debold dan Westerblad (2024) menegaskan bahwa fatigue otot berkaitan dengan pembatasan fungsi kontraktil, gangguan pelepasan Ca2+ retikulum sarkoplasma, serta efek metabolit seperti fosfat anorganik dan H+ terhadap kemampuan miosin menghasilkan gaya. Pada penggunaan singkat kebutuhan ini dapat dipenuhi tanpa masalah, tetapi pada kontraksi statis berulang dengan kesempatan relaksasi yang terbatas, kebutuhan energi lokal berlangsung lebih lama dan dapat berkontribusi pada fatigue.

CVA bukan biomarker biokimia, tetapi merupakan penanda alignment yang dapat memberi konteks terhadap kebutuhan mekanik otot. Nilai CVA yang lebih kecil menggambarkan posisi kepala lebih anterior terhadap C7. Secara konseptual, posisi tersebut memperpanjang lengan momen beban kepala dan dapat meningkatkan kebutuhan kontraksi otot ekstensor leher untuk mempertahankan kepala terhadap gravitasi. Oleh karena itu, apabila siswa dengan paparan digital tinggi atau perilaku ergonomi kurang baik juga menunjukkan CVA yang lebih kecil, temuan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai pola yang konsisten dengan peningkatan beban kerja otot servikal. Namun, penelitian ini tidak dapat menyatakan bahwa CVA kecil secara langsung menyebabkan deplesi ATP atau peningkatan metabolit tertentu karena parameter metabolik tersebut tidak diukur. (Tapanya et al., 2021; Torkamani et al., 2023; Aafreen et al., 2023).

Pada kontraksi berintensitas rendah yang dipertahankan lama, sebagian unit motor dapat tetap aktif tanpa fase relaksasi yang memadai. Kondisi tersebut dapat meningkatkan kebutuhan oksigen dan substrat energi, sementara kompresi intramuskular dapat memengaruhi perfusi lokal. Studi dos Santos Amorim et al. (2024) menunjukkan bahwa oksigenasi perifer otot trapezius merupakan parameter fisiologis yang relevan pada individu dengan nonspecific neck pain. Secara biokimia, ketidakseimbangan antara kebutuhan energi dan suplai lokal dapat disertai perubahan milieu ekstraseluler, perubahan pH, konsentrasi ion, serta metabolit hasil aktivitas otot. Perubahan lingkungan lokal tersebut dapat meningkatkan sensitivitas aferen nosiseptif, tetapi nyeri tidak ditentukan oleh satu metabolit tunggal. Nyeri merupakan hasil integrasi input perifer dengan faktor sensorik, motorik, psikologis, dan konteks aktivitas.

Jalur mekanistik paling langsung diperkirakan terjadi pada neck pain karena paparan digital dan CVA sama-sama berkaitan dengan region servikal. Posisi kepala fleksi atau anterior yang dipertahankan dapat meningkatkan kerja otot posterior leher dan bahu, mempercepat fatigue, dan menurunkan toleransi terhadap beban statis. Pada back pain, hubungan diperkirakan lebih tidak langsung melalui rantai postural. Duduk membungkuk untuk melihat layar dapat mengubah alignment torakal, lumbal, dan pelvis; In et al. (2021) menunjukkan perubahan spinal-pelvic alignment saat penggunaan smartphone pada remaja dengan low back pain. Kontraksi statis otot paraspinal serta berkurangnya variasi gerak dapat meningkatkan kebutuhan energi lokal dan fatigue. Dengan demikian, mekanisme biokimia yang dibahas tidak terbatas pada otot leher, tetapi dapat pula berlaku sebagai penjelasan umum terhadap jaringan otot postural yang bekerja terus-menerus.

Penelitian menentukan apakah penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi berhubungan dengan CVA. Kedua, penelitian menilai apakah CVA dan paparan tersebut berkaitan dengan neck pain atau back pain. Ketiga, apabila ditemukan pola asosiasi yang konsisten, mekanisme biokimia dipakai untuk menjelaskan bagaimana sustained muscle activity, kebutuhan energi, perfusi/oksigenasi, fatigue, dan sensitisasi nosiseptif mungkin berkontribusi terhadap hubungan tersebut. Kata yang digunakan dalam pembahasan adalah 'dapat menjelaskan', 'mungkin berkontribusi', atau 'secara biologis masuk akal', bukan 'menyebabkan peningkatan laktat', 'menyebabkan inflamasi', atau klaim biokimia lain yang tidak diperiksa secara langsung. (Debold dan Westerblad, 2024; dos Santos Amorim et al., 2024; Montgomery et al., 2025).

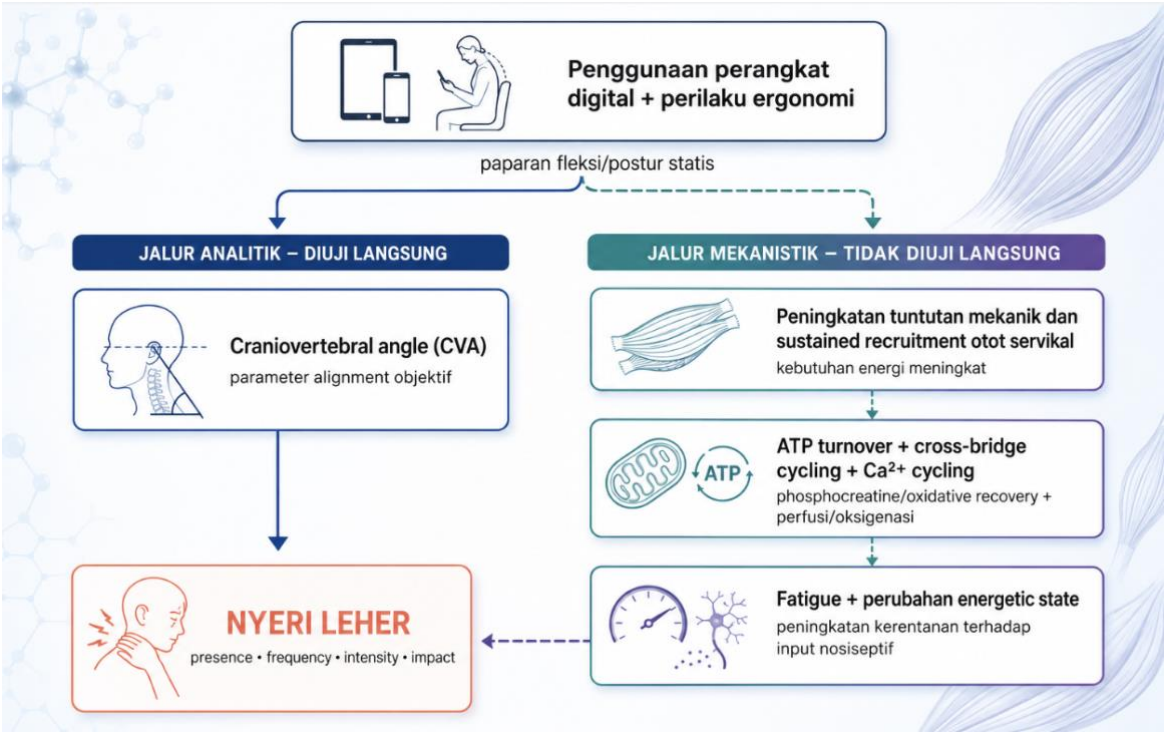
Tabel 2.1. Integrasi variabel penelitian dengan mekanisme biokimia yang digunakan dalam interpretasi.

Variabel penelitian	Makna biomekanik	Hubungan biokimia/fisiologis yang dihipotesiskan	Diukur dengan
Penggunaan perangkat digital	Durasi/frekuensi penggunaan dan posisi layar dapat meningkatkan waktu paparan statis.	Durasi/frekuensi dan posisi penggunaan dapat meningkatkan sustained recruitment. Secara teoritis meningkatkan ATP turnover, calcium-cycling work, dan kebutuhan energetic recovery.	BackPEI-CA
Perilaku ergonomi	Posisi duduk, posisi smartphone/tablet, dukungan tubuh, dan variasi posisi menentukan besar beban mekanik.	Memodifikasi tuntutan mekanik, kesempatan muscular rest, perfusi/oxygenation, dan recovery phosphocreatine/oxidative metabolism.	BackPEI-CA
CVA	Menunjukkan alignment kepala terhadap C7; nilai lebih kecil menggambarkan kepala lebih anterior.	Bukan biomarker; nilai lebih kecil memberi konteks alignment yang dapat berkaitan dengan kebutuhan gaya dan energi otot servikal yang lebih besar.	Digital photogrammetry + Angle Meter 360
Neck pain	Outcome klinis pada region yang paling langsung menerima beban servikal; fokus utama gejala.	Dapat diinterpretasikan dalam konteks sustained recruitment, fatigue, dan sensitisasi; ATP, Pi/H+, Ca2+, dan oxygenation tidak diukur.	BackPEI-CA
Back pain	Outcome eksploratif untuk konteks rantai postural servikal-torakal-lumbal-pelvis.	Hubungan bioenergetik bersifat teoritis dan tidak diperlakukan sebagai mediator terukur; bukan fokus hipotesis utama.	BackPEI-CA

Integrasi tersebut menghasilkan urutan analitik yang dapat diuji dan urutan mekanistik yang tidak diuji langsung. Urutan analitik adalah penggunaan perangkat/perilaku ergonomi -> CVA -> neck pain; back pain eksploratif. Urutan mekanistik pendukung adalah peningkatan sustained muscle recruitment -> peningkatan ATP demand dan calcium-cycling work -> kebutuhan pemulihan phosphocreatine/oxidative metabolism -> perubahan energetic state dan fatigue -> peningkatan kerentanan terhadap sensitisasi nosiseptif. Pemisahan dua urutan ini penting agar kontribusi biokimia terlihat jelas tanpa mengubah literatur mekanistik menjadi data peserta. (Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022; Koch et al., 2024).

2.10 Kerangka Teori dan Hubungan Antarvariabel

Kerangka teori penelitian ini menyatukan dua lapis hubungan yang harus dibedakan secara tegas. Lapis pertama adalah jalur analitik yang benar-benar diuji pada peserta, yaitu hubungan penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dengan craniovertebral angle (CVA), serta hubungan paparan dan CVA dengan nyeri leher. Lapis kedua adalah jalur mekanistik bioenergetik yang digunakan untuk menjelaskan biological plausibility, tetapi tidak diukur secara langsung. Pemisahan kedua lapis ini mencegah interpretasi berlebihan seolah-olah nilai CVA atau keluhan nyeri merupakan bukti perubahan ATP, phosphocreatine, Pi/H+, calcium handling, atau oksigenasi otot. (da Rosa et al., 2022; Aafreen et al., 2023; Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022).



Gambar 3. Kerangka teori dan hubungan antarvariabel penelitian.

. (Montgomery et al., 2025; Debold dan Westerblad, 2024).

Penggunaan smartphone atau tablet sering menempatkan layar di bawah garis pandang, sehingga pengguna meningkatkan fleksi kepala dan leher untuk mempertahankan pandangan ke layar. Pada anak sekolah dasar, Abdel-Aziem et al. (2022) menunjukkan bahwa durasi screen viewing yang lebih panjang dan posisi duduk berkaitan dengan sudut kepala-leher yang kurang menguntungkan. Secara eksperimental, Tapanya et al. (2021) menunjukkan bahwa peningkatan sudut fleksi leher meningkatkan gravitational moment dan aktivitas otot ekstensor servikal, sedangkan Vahedi et al. (2024) dan Chen et al. (2024) menunjukkan bahwa postur penggunaan smartphone memengaruhi kinematika serta aktivitas otot leher. Oleh karena itu, durasi penggunaan perangkat dipahami bersama dengan cara penggunaan, bukan sebagai paparan tunggal yang berdiri sendiri.

Dalam populasi usia sekolah, hubungan penggunaan perangkat dengan keluhan leher juga telah dilaporkan. Pirnes et al. (2022) menemukan hubungan beberapa bentuk screen time dengan insiden nyeri leher-bahu pada anak sekolah dalam periode tindak lanjut tertentu; Mongkonkansai et al. (2022) menunjukkan bahwa durasi dan posisi penggunaan smartphone berkaitan dengan keluhan muskuloskeletal pada siswa sekolah dasar; sedangkan Azadvari et al. (2023) melaporkan hubungan paparan perangkat dan neck pain pada remaja sekolah. Systematic review pada anak dan remaja juga menunjukkan adanya asosiasi antara sedentary behavior dan neck pain, tetapi heterogenitas antarstudi menegaskan bahwa durasi layar tidak dapat diperlakukan sebagai satu-satunya faktor penjelas. (Baradaran Mahdavi et al., 2022).

CVA digunakan sebagai fenotip alignment objektif, bukan sebagai biomarker atau diagnosis. Nilai CVA yang lebih kecil menggambarkan posisi kepala yang relatif lebih anterior terhadap C7. Secara biomekanik, posisi tersebut dapat memperbesar tuntutan momen ekstensor yang harus dipertahankan otot posterior leher. Torkamani et al. (2023) menunjukkan bahwa cervical sagittal posture berjalan bersama dengan muscle endurance dan parameter fungsi servikal pada pengguna smartphone, sedangkan penelitian Indonesia pada mahasiswa fisioterapi melaporkan hubungan antara CVA dan karakteristik nyeri leher. Namun, bukti langsung pada siswa sekolah dasar masih terbatas; karena itu penelitian ini menguji hubungan tersebut pada populasi anak tanpa menggunakan cut-off dewasa untuk mendefinisikan abnormalitas. (Torkamani et al., 2023; Wibisono et al., 2022; Aafreen et al., 2023). Hubungan CVA dengan nyeri leher tidak diasumsikan linear atau deterministik. Anak dengan CVA relatif kecil belum tentu mengalami nyeri, dan anak dengan nyeri dapat memiliki CVA dalam rentang yang sama dengan anak tanpa nyeri. Nyeri leher merupakan fenomena multifaktorial yang

dipengaruhi paparan mekanik, kapasitas dan endurance otot, aktivitas fisik, tidur, faktor psikososial, riwayat cedera, serta konteks aktivitas. Karena desain penelitian bersifat cross-sectional, temuan hanya akan ditafsirkan sebagai asosiasi dan dilaporkan bersama effect size serta confidence interval. (Montgomery et al., 2025; Sun et al., 2025).

Ketika kebutuhan kontraksi otot servikal meningkat, kebutuhan energi seluler ikut meningkat. ATP digunakan untuk cross-bridge cycling aktin-miosin, kerja pompa ion, dan pemompaan kembali Ca2+ melalui sarcoplasmic reticulum Ca2+-ATPase (SERCA). Cadangan ATP bebas dalam serabut otot terbatas sehingga regenerasi ATP bergantung pada phosphocreatine buffering, glikolisis, dan oxidative phosphorylation. Debold dan Westerblad (2024) menjelaskan bahwa fatigue merupakan penurunan kemampuan kontraktil yang melibatkan perubahan excitation-contraction coupling, pelepasan Ca2+, serta efek metabolit seperti inorganic phosphate (Pi) terhadap fungsi kontraktil. Hureau et al. (2022), menggunakan 31P-MRS pada manusia, menunjukkan bahwa Pi dan H+ berkaitan dengan komponen peripheral dan central fatigue dalam kondisi kontraksi yang terkontrol. Temuan tersebut menjadi dasar mekanistik, bukan bukti bahwa metabolit yang sama berubah pada siswa penelitian ini. Pada aktivitas postural intensitas rendah, kesempatan relaksasi dan pemulihan juga penting. Sustained muscle activity yang berlangsung dengan jeda terbatas dapat meningkatkan cumulative workload. Koch et al. (2024) menunjukkan hubungan pola sustained trapezius activity, muscular rest, dan neck pain pada pooled dataset pekerja dewasa. Sementara itu, dos Santos Amorim et al. (2024) menunjukkan bahwa oksigenasi otot trapezius dapat diukur secara non-invasif dengan NIRS dalam konteks nonspecific neck pain. Kedua studi tersebut tidak langsung mewakili anak sekolah, tetapi mendukung konsep bahwa muscular rest, perfusi/oksigenasi, dan energetic recovery merupakan komponen fisiologis yang relevan untuk hipotesis penelitian lanjutan.

Titik temu kedua jalur berada pada tuntutan kerja otot servikal. Secara empiris, penelitian menguji apakah paparan digital dan perilaku ergonomi berkaitan dengan CVA, serta apakah CVA dan paparan tersebut berkaitan dengan nyeri leher. Secara mekanistik, pola yang sama dapat dibaca sebagai situasi di mana tuntutan momen servikal yang lebih besar memerlukan sustained recruitment dan ATP turnover yang lebih tinggi, diikuti kebutuhan pemulihan phosphocreatine dan oxidative metabolism. Bila recovery tidak seimbang dengan tuntutan kerja, fatigue dapat berkembang dan berpotensi meningkatkan kerentanan terhadap input nosiseptif. Hubungan ini bersifat plausibel secara biologis, tetapi tidak diuji melalui biomarker pada penelitian ini. (Tapanya et al., 2021; Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022; Koch et al., 2024).

Tabel 2.2. Ringkasan hubungan antarvariabel dan dasar referensinya.

Hubungan yang dinilai	**Arah hipotesis/interpretasi**	**Status dalam penelitian**	**Referensi utama**
Penggunaan perangkat digital -> CVA	Paparan lebih tinggi/posisi penggunaan kurang menguntungkan diperkirakan berjalan bersama CVA yang lebih kecil.	Diuji langsung	Abdel-Aziem et al., 2022; Tsang et al., 2023
Perilaku ergonomi -> CVA	Layar rendah, fleksi berulang, dan postur statis diperkirakan berjalan bersama alignment lebih anterior.	Diuji langsung	Tapanya et al., 2021; Vahedi et al., 2024; da Rosa et al., 2022
Penggunaan perangkat digital -> nyeri leher	Durasi/pola penggunaan tertentu dapat berkaitan dengan peluang keluhan leher yang lebih tinggi.	Diuji langsung sebagai hubungan klinis	Pirnes et al., 2022; Mongkonkansai et al., 2022; Azadvari et al., 2023

Hubungan yang dinilai	Arah hipotesis/interpretasi	Status dalam penelitian	Referensi utama
CVA -> nyeri leher	CVA yang lebih kecil diperkirakan berjalan bersama peluang neck pain yang lebih tinggi.	Diuji langsung	Torkamani et al., 2023; Wibisono et al., 2022
Tuntutan mekanik -> ATP/Ca2+/energetic recovery	Kerja otot yang lebih besar meningkatkan kebutuhan turnover energi dan calcium cycling.	Tidak diukur; kerangka mekanistik	Debold dan Westerblad, 2024; Hureau et al., 2022
Muscular rest/oxygenation/fatigue -> nyeri	Kurang recovery dan cumulative workload dapat meningkatkan fatigue serta kerentanan terhadap input nosiseptif.	Tidak diukur; kerangka mekanistik	Koch et al., 2024; dos Santos Amorim et al., 2024

2.11 Hipotesis Penelitian dan Hipotesis Mekanistik

Hipotesis statistik utama adalah bahwa penggunaan perangkat digital yang lebih tinggi dan perilaku ergonomi yang kurang baik berhubungan dengan nilai CVA yang lebih kecil. Hipotesis klinis sekunder adalah bahwa CVA yang lebih kecil berhubungan dengan peluang neck pain yang lebih tinggi. Back pain tidak dijadikan hipotesis utama dan hanya dianalisis secara eksploratif untuk menilai apakah pola pada region servikal juga tampak pada keluhan punggung.

Hipotesis mekanistik pendukung adalah bahwa hubungan paparan digital, alignment kraniovertebral, dan neck pain secara biologis konsisten dengan peningkatan sustained recruitment otot servikal dan kebutuhan bioenergetik yang lebih besar. Perspektif mekanistik ini tidak diuji sebagai hipotesis statistik karena penelitian tidak mengukur ATP, phosphocreatine, Pi, H+, Ca2+, oxygenation, atau muscle activation. Kerangka tersebut digunakan untuk menentukan arah interpretasi dan merancang studi lanjutan yang dapat mengukur parameter bioenergetik secara langsung.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian direncanakan berlangsung selama delapan bulan pada tahun 2026–2027. Pengambilan data dilakukan di satu sekolah dasar mitra di wilayah Jabodetabek/Jawa Barat yang memiliki jumlah siswa kelas V–VI mencukupi untuk target rekrutmen. Nama sekolah dan lokasi final dicantumkan setelah persetujuan mitra dan perizinan etik selesai. Kegiatan mencakup persiapan administrasi, adaptasi instrumen bila diperlukan, pelatihan enumerator, pengumpulan data, pembersihan data, analisis statistik, penyusunan laporan, dan penulisan manuskrip.

3.2 Metode Penelitian

Desain Penelitian

Penelitian menggunakan desain observasional analitik dengan pendekatan cross-sectional. Variabel paparan, yaitu penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi, serta outcome berupa CVA dan neck pain diukur pada satu periode pengambilan data yang sama. Back pain tetap dikumpulkan melalui BackPEI-CA sebagai outcome eksploratif. Desain ini dipilih karena efisien, sesuai untuk penelitian sekolah, dan memungkinkan pengumpulan data tanpa intervensi. Keterbatasannya adalah urutan waktu antarvariabel tidak dapat dipastikan, sehingga hasil diinterpretasikan sebagai asosiasi, bukan hubungan sebab-akibat. (Montgomery et al., 2025).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengumpulan data utama dilakukan dalam satu kali kunjungan per siswa. Pengisian kuesioner dilakukan di ruang kelas atau ruang yang disediakan sekolah, sedangkan foto CVA dilakukan di area terpisah yang menjaga privasi. Seluruh siswa menjalani urutan prosedur yang sama. Data diambil pada waktu sekolah yang telah disepakati agar tidak mengganggu kegiatan belajar utama.

3.3 Populasi Penelitian

Populasi target

Populasi target adalah siswa sekolah dasar kelas V–VI, terutama usia 10–12 tahun.

Populasi terjangkau

Populasi terjangkau adalah seluruh siswa kelas V–VI pada sekolah mitra yang hadir selama periode pengumpulan data, memperoleh izin orang tua/wali, memberikan assent, dan memenuhi kriteria pemilihan subjek.

Sampel Penelitian

Sampel penelitian adalah bagian dari populasi terjangkau yang memenuhi kriteria inklusi, tidak memenuhi kriteria eksklusi, dan memiliki data utama yang lengkap.

Besar sampel

Besar sampel dihitung menggunakan uji hipotesis koefisien korelasi dengan transformasi Fisher karena tujuan primer adalah menilai hubungan penggunaan perangkat digital/perilaku ergonomi dengan CVA sebagai data kontinu.

$$n = [\ (Z\alpha/2 + Z\beta) / \{0{,}5 \times \ln[(1+r)/(1-r)]\}\ ]^2 + 3$$

Keterangan:

- n = besar sampel minimum;
- $Z\alpha/2 = 1{,}96$ untuk tingkat kemaknaan 5% dua sisi;
- $Z\beta = 0{,}84$ untuk power 80%;

• r = koefisien korelasi minimal yang diharapkan, yaitu 0,33.

Dengan α=0,05, power 80%, dan r=0,33, diperoleh n≈69,7 sehingga dibulatkan menjadi 70 siswa dengan data lengkap. Untuk mengantisipasi sekitar 10% data tidak lengkap atau foto yang tidak dapat dianalisis, sekitar 78 siswa akan diundang. Besar sampel 70 sesuai untuk mendeteksi hubungan berkekuatan sedang pada analisis primer CVA, tetapi tidak cukup untuk mendeteksi efek kecil atau membuat model multivariabel dengan banyak prediktor. Oleh karena itu, jumlah variabel pada model akhir dibatasi secara parsimonious; neck pain diposisikan sebagai outcome klinis sekunder utama dan back pain sebagai outcome eksploratif.

3.4 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan total/consecutive sampling. Seluruh siswa kelas V–VI yang memenuhi syarat ditawarkan untuk berpartisipasi secara berurutan sampai target minimal 70 data lengkap tercapai. Pendekatan ini dipilih karena pelaksanaan dilakukan pada satu sekolah dan jumlah siswa eligible dapat diidentifikasi melalui daftar kelas. Response rate dan alasan tidak ikut, sejauh dapat dicatat tanpa mengganggu privasi, dilaporkan untuk menilai potensi selection bias.

Kriteria Pemilihan Subjek

Kriteria inklusi

1. Siswa kelas V atau VI, terutama usia 10–12 tahun.
2. Mampu membaca dan memahami instruksi kuesioner.
3. Mendapat informed consent tertulis dari orang tua/wali.
4. Memberikan assent untuk mengikuti penelitian.
5. Bersedia difoto dari sisi lateral untuk pengukuran CVA sesuai prosedur privasi.

Kriteria eksklusi

1. Riwayat trauma leher/punggung akut atau kecelakaan bermakna dalam tiga bulan terakhir yang secara langsung dapat menjelaskan keluhan.
2. Kelainan kongenital, neuromuskular, atau ortopedi yang telah diketahui dan secara nyata memengaruhi postur, berdasarkan informasi orang tua/sekolah.
3. Tidak mampu berdiri atau mempertahankan posisi pengukuran CVA dengan aman.
4. Kuesioner tidak lengkap pada variabel utama atau foto CVA tidak dapat dianalisis karena buram/marker tidak terlihat.

Penghentian Keikutsertaan dan Data Tidak Lengkap

Siswa dapat menghentikan keikutsertaan kapan saja tanpa konsekuensi akademik. Bila peserta berhenti sebelum prosedur selesai, data yang tidak memenuhi kelengkapan minimum tidak dimasukkan dalam analisis utama. Istilah drop-out tidak digunakan karena penelitian tidak memiliki masa follow-up. Penambahan calon peserta dilakukan untuk mengantisipasi non-response, ketidaklengkapan kuesioner, atau foto yang tidak dapat dianalisis.

3.5 Variabel dan Definisi Operasional

Variabel terukur penelitian terdiri atas paparan digital, perilaku ergonomi, CVA, neck pain, back pain, dan karakteristik dasar. Tidak terdapat variabel biokimia langsung. ATP turnover, phosphocreatine, Pi/H+, calcium handling, oxygenation/perfusion, dan fatigue ditempatkan sebagai konstruk mekanistik berbasis literatur dan tidak diberi kolom data pada dataset peserta.

Tabel 3.1 Definisi operasional variabel penelitian.

Variabel	Peran	Definisi Operasional	Skala/Hasil	Alat/Cara Ukur
Penggunaan perangkat digital	Variabel bebas	Durasi/pola penggunaan smartphone/tablet/komputer serta kebiasaan penggunaan perangkat yang tercakup dalam BackPEI-CA.	Jam/kategori sesuai item; numerik/ordinal	BackPEI-CA
Perilaku ergonomi	Variabel bebas	Kebiasaan postural saat duduk, belajar, menggunakan komputer/mobile device, dan aktivitas postural relevan.	Kategori per item; tidak dibuat skor total baru tanpa validasi	BackPEI-CA
Craniovertebral angle	Outcome objektif utama	Sudut antara garis horizontal melalui C7 dan garis C7–tragus pada foto lateral.	Derajat; rasio/kontinu	iPhone + marker + Angle Meter 360
Neck pain	Outcome klinis sekunder utama	Keberadaan, frekuensi, intensitas, dan dampak nyeri leher sesuai BackPEI-CA.	Nominal/ordinal/kontinu sesuai item	BackPEI-CA
Back pain	Outcome eksploratif	Keberadaan, frekuensi, intensitas, dan dampak nyeri punggung sesuai BackPEI-CA.	Nominal/ordinal/kontinu sesuai item	BackPEI-CA
Usia	Kovariat	Usia dalam tahun saat penelitian.	Rasio	Form karakteristik
Jenis kelamin	Kovariat	Jenis kelamin yang dicatat pada form responden.	Nominal	Form karakteristik
Kelas	Kovariat/deskriptif	Kelas V atau VI.	Ordinal	Form karakteristik
Riwayat cedera	Kriteria/kofaktor	Riwayat cedera leher/punggung bermakna dalam 3 bulan terakhir.	Nominal	Form karakteristik/orang tua

Instrumen Penelitian

Tabel 3.2 Spesifikasi instrumen penelitian.

Instrumen	Spesifikasi	Fungsi
BackPEI-CA	Kuesioner 30 pertanyaan; versi laki-laki/perempuan sesuai instrumen	Menilai faktor risiko/postur, penggunaan mobile device, back

Instrumen	Spesifikasi	Fungsi
		pain, neck pain, frekuensi, intensitas, dan dampak.
Smartphone camera	Kamera dengan resolusi memadai; pengaturan konsisten	Mengambil foto lateral untuk CVA.
Tripod	Tripod stabil dengan tinggi dapat disesuaikan	Menjaga posisi dan tinggi kamera konsisten.
Marker anatomi	Stiker kecil/marker yang aman untuk kulit	Menandai tragus dan processus spinosus C7.
Angle Meter 360	Aplikasi iPhone untuk mengukur sudut pada gambar/foto	Mengukur sudut CVA dari foto lateral dengan vertex di C7 dan garis C7-tragus.
Form karakteristik	Form singkat	Usia, jenis kelamin, kelas, riwayat cedera, kode peserta.

3.6 Alur Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilaksanakan melalui enam tahap berurutan untuk menjaga standardisasi dan memudahkan siswa memahami alur. Pertama, sekolah mendistribusikan lembar informasi dan consent kepada orang tua. Kedua, pada hari pengambilan data, peneliti memverifikasi consent dan meminta assent siswa. Ketiga, siswa memperoleh kode penelitian dan mengisi form karakteristik serta BackPEI-CA. Keempat, siswa diarahkan ke stasiun CVA untuk penandaan tragus dan C7 serta pengambilan dua foto lateral. Kelima, petugas memeriksa kelengkapan data. Keenam, foto diukur menggunakan Angle Meter 360 pada iPhone setelah kegiatan lapangan selesai.

Tabel 3.3 Alur stasiun pengumpulan data.

Sesi	Kegiatan	Standardisasi	Estimasi
1	Registrasi dan assent	Verifikasi consent, pemberian kode, penjelasan singkat	±2 menit
2	Form karakteristik	Usia, jenis kelamin, kelas, riwayat cedera	±2 menit
3	BackPEI-CA	Penggunaan perangkat, perilaku ergonomi, neck pain; back pain sebagai outcome eksploratif	±10–15 menit
4	Foto CVA	Marker tragus-C7; dua foto lateral	±3–5 menit
5	Quality check	Pemeriksaan kelengkapan kuesioner dan kualitas foto	±1 menit
6	Analisis foto	Pengukuran CVA di Angle Meter 360; dilakukan setelah sesi siswa	Tidak menambah waktu peserta

Penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi dinilai melalui BackPEI-CA. Peneliti membacakan petunjuk umum yang sama untuk semua siswa, tetapi tidak membacakan jawaban atau memberi contoh yang dapat mengarahkan pilihan. Apabila siswa tidak memahami istilah, peneliti hanya menjelaskan arti kata secara netral. Item BackPEI-CA dianalisis sesuai struktur instrumen; penelitian tidak membuat skor total ergonomi baru tanpa dasar validasi.

Pengukuran CVA dilakukan di area dengan latar polos dan pencahayaan cukup. Smartphone dipasang pada tripod pada jarak sekitar 1,5–2 meter dari siswa dan tinggi kamera disesuaikan mendekati level bahu/C7. Petugas terlatih menempatkan marker kecil pada tragus dan processus spinosus C7. Siswa berdiri dengan posisi alami, pandangan ke depan, lengan rileks, dan tidak diminta "berdiri setegak mungkin" karena instruksi tersebut dapat mengubah postur spontan. Dua foto lateral diambil dengan kondisi yang sama.

Foto dibuka pada Angle Meter 360 di iPhone. Penilai membuat garis horizontal melalui C7 dan garis kedua dari C7 ke tragus; sudut yang terbentuk dicatat sebagai CVA. Pengukuran dilakukan dua kali dan dirata-ratakan. Bila terdapat perbedaan lebih dari 2°, pengukuran diulang. Sekitar 20% foto dipilih untuk dinilai ulang oleh penilai kedua yang tidak mengetahui hasil kuesioner, sehingga reliabilitas antar-penilai dapat dihitung dengan intraclass correlation coefficient (ICC).

Neck pain dan back pain dinilai dari bagian nyeri pada BackPEI-CA, termasuk keberadaan, frekuensi, intensitas, serta gangguan terhadap aktivitas bermain atau kehadiran sekolah sesuai item instrumen. Hasil kuesioner tidak digunakan untuk memberikan diagnosis. Bila siswa melaporkan tanda bahaya seperti nyeri berat menetap, riwayat trauma bermakna, kelemahan, baal, demam, atau nyeri malam yang mengganggu, orang tua disarankan melakukan evaluasi tenaga kesehatan.

3.7 Metode Analisis

Data dianalisis secara deskriptif, bivariat, dan multivariabel. Karakteristik siswa, penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, CVA, dan nyeri leher disajikan sebagai jumlah dan persentase untuk data kategorik, serta mean ± standar deviasi atau median dan interquartile range untuk data numerik sesuai distribusinya.

Hubungan penggunaan perangkat digital dengan CVA dianalisis menggunakan uji korelasi yang sesuai dengan skala dan distribusi data. Perbedaan nilai CVA berdasarkan kategori perilaku ergonomi dianalisis menggunakan uji komparatif parametrik atau nonparametrik sesuai karakteristik data.

Untuk mengetahui hubungan yang telah mempertimbangkan faktor lain, dilakukan regresi linear multivariabel dengan CVA sebagai outcome. Variabel utama yang dianalisis adalah penggunaan perangkat digital dan perilaku ergonomi, dengan usia dan jenis kelamin sebagai kovariat. Hasil dilaporkan sebagai koefisien beta, 95% confidence interval, dan nilai p.

Hubungan penggunaan perangkat digital, perilaku ergonomi, dan CVA dengan nyeri leher dianalisis sesuai jenis data. Jika jumlah kejadian nyeri leher mencukupi, dilakukan regresi logistik untuk mengetahui faktor yang berhubungan dengan kemungkinan terjadinya nyeri leher. Back pain hanya dianalisis secara deskriptif dan eksploratif.

Perspektif bioenergetika otot rangka tidak dianalisis sebagai biomarker, tetapi digunakan untuk menginterpretasikan hubungan yang ditemukan berdasarkan mekanisme sustained muscle recruitment, ATP turnover, calcium cycling, pemulihan energi, fatigue, dan sensitisasi nosiseptif. Taraf kemaknaan statistik ditetapkan pada $p < 0,05$, dengan tetap mempertimbangkan besar efek dan 95% confidence interval.

Tujuan	Bentuk data	Metode analisis
Durasi gadget ↔ CVA	Durasi = kategori berurutan; CVA = angka derajat	**Spearman/pearson**
Ergonomi ↔ CVA	Ergonomi = 2 kelompok; CVA = angka derajat	**t-test**
CVA/digital/ergonomi ↔ neck pain	Neck pain = ya/tidak	**Regresi logistik**
Penyesuaian usia/jenis kelamin terhadap CVA	CVA = angka derajat	**Regresi linear**

BAB 4. JADWAL PENELITIAN

Penelitian direncanakan berlangsung selama delapan bulan. Dua bulan pertama digunakan untuk finalisasi protokol, etik, perizinan sekolah, dan persiapan instrumen. Pengumpulan data dilaksanakan setelah uji coba prosedur dan pelatihan enumerator. Analisis dan penulisan laporan dilakukan setelah seluruh kuesioner dan foto dinyatakan lengkap.

Tabel 4.1 Jadwal pelaksanaan penelitian.

No.	Tahap Penelitian	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
1	Pengusulan/finalisasi proposal	✓							
2	Etik, izin sekolah, dan persiapan instrumen	✓	✓						
3	Adaptasi/uji keterbacaan dan pelatihan SOP		✓	✓					
4	Akuisisi data			✓	✓				
5	Cleaning, pengukuran CVA, dan quality control				✓	✓			
6	Analisis statistik					✓	✓		
7	Penyusunan laporan dan manuskrip						✓	✓	
8	Finalisasi luaran/ submission							✓	✓

BAB 5. RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB)

No.	Komponen	Total
I. Biaya Langsung		
A	Tenaga Ahli dan Tenaga Penunjang	Rp 10.000.000
B.1	Bahan habis, sewa/peralatan, pengolahan data, dan kegiatan tambahan	Rp 18.500.000
B.2	Perjalanan dan transport lokal	Rp 16.500.000
	Sub Total Biaya Langsung	**Rp 45.000.000**
II. Biaya Tidak Langsung		
A	Laporan, seminar, dan publikasi	Rp 4.000.000
B	Forum Group Discussion / Diseminasi	Rp 1.000.000
	Sub Total Biaya Tidak Langsung	**Rp 5.000.000**
	TOTAL	**Rp 50.000.000**

DAFTAR PUSTAKA

Aafreen, Khan A, Ahmad A, Khan AR, Maurya N, Alameer MM, et al. Clinimetric properties of a smartphone application to measure the craniovertebral angle in different age groups and positions. Heliyon. 2023;9(9):e19336. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19336

Abdel-Aziem AA, Abdel-Ghafar MA, Ali OI, Abdelraouf OR. Effects of smartphone screen viewing duration and body position on head and neck posture in elementary school children. J Back Musculoskelet Rehabil. 2022;35(1):185-193. DOI: https://doi.org/10.3233/BMR-200334

Azadvari M, Sarzaeim M, Rajabi S, Yahyaee A, Emami Razavi SZ, Haghparast A, et al. Associations between exposure to common technology devices and reported neck pain among Iranian school-age adolescents: a cross-sectional study. BMC Musculoskelet Disord. 2023;24:883. DOI: https://doi.org/10.1186/s12891-023-07010-8

Baradaran Mahdavi S, Mazaheri-Tehrani S, Riahi R, Vahdatpour B, Kelishadi R. Sedentary behavior and neck pain in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. Health Promot Perspect. 2022;12(3):240-249. DOI: https://doi.org/10.34172/hpp.2022.31

Calvo-Muñoz I, García-Moreno JM, Gómez-Conesa A, López-López JA. Sedentary Behavior and Low Back Pain in Children and Adolescents: A Systematic Review and Meta-Analysis. Healthcare (Basel). 2026;14(2):233. DOI: https://doi.org/10.3390/healthcare14020233

Chen YL, Chan YC, Alexander H. Gender differences in neck muscle activity during near-maximum forward head flexion while using smartphones with varied postures. Sci Rep. 2024;14:12994. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-63734-0

da Rosa BN, Candotti CT, Pivotto LR, Noll M, Silva MG, Vieira A, Loss JF. Back Pain and Body Posture Evaluation Instrument for Children and Adolescents (BackPEI-CA): Expansion, Content Validation, and Reliability. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(3):1398. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph19031398

Debold EP, Westerblad H. New insights into the cellular and molecular mechanisms of skeletal muscle fatigue: the Marion J. Siegman Award Lectureships. Am J Physiol Cell Physiol. 2024;327(4):C946-C958. DOI: https://doi.org/10.1152/ajpcell.00213.2024

dos Santos Amorim M, Sinhorim L, Baptistella do Nascimento I, Wagner J, de Paula Lemos F, Duarte França ME, et al. Peripheral muscle oxygenation, pain, and disability indices in individuals with and without nonspecific neck pain, before and after myofascial reorganization: a double-blind randomized controlled trial. PLoS One. 2024;19(2):e0292114. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292114

Hureau TJ, Broxterman RM, Weavil JC, Lewis MT, Layec G, Amann M. On the role of skeletal muscle acidosis and inorganic phosphates as determinants of central and peripheral fatigue: a 31P-MRS study. J Physiol. 2022;600(13):3069-3081. DOI: https://doi.org/10.1113/JP283036

In TS, Jung JH, Jung KS, Cho HY. Spinal and Pelvic Alignment of Sitting Posture Associated with Smartphone Use in Adolescents with Low Back Pain. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(16):8369. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph18168369

Joergensen AC, Strandberg-Larsen K, Andersen PK, Hestbaek L, Andersen AMN. Spinal pain in pre-adolescence and the relation with screen time and physical activity behavior. BMC Musculoskelet Disord. 2021;22:393. DOI: https://doi.org/10.1186/s12891-021-04263-z

Koch M, Forsman M, Enquist H, Baare Olsen H, Søgaard K, Sjøgaard G, et al. Frequency of breaks, amount of muscular rest, and sustained muscle activity related to neck pain in a pooled dataset. PLoS One. 2024;19(6):e0297859. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297859

Lee IG, Son SJ. Effects of Smartphone Use on Posture and Gait: A Narrative Review. Appl Sci. 2025;15(12):6770. DOI: https://doi.org/10.3390/app15126770

Mongkonkansai J, Veerasakul S, Tamrin SBM, Madardam U. Predictors of Musculoskeletal Pain among Primary School Students Using Smartphones in Nakhon Si Thammarat, Thailand. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(17):10530. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph191710530

Montgomery LRC, Swain M, Dario AB, O'Keeffe M, Yamato TP, Hartvigsen J, et al. Does sedentary behaviour cause spinal pain in children and adolescents? A systematic review with meta-analysis. Br J Sports Med. 2025;59(6):409-422. DOI: https://doi.org/10.1136/bjsports-2024-108648

Mylonas K, Tsekoura M, Billis E, Aggelopoulos P, Tsepis E, Fousekis K. Reliability and Validity of Non-radiographic Methods of Forward Head Posture Measurement: A Systematic Review. Cureus. 2022;14(8):e27696. DOI: https://doi.org/10.7759/cureus.27696

Nadia Z, Moelyo AG, Novika RGH, Astirin OP, Ghozali DA. Analysis of Risk Factors for Spinal Postural Disorders among Primary School Children. Indonesian Journal of Medicine. 2026;11(3):151-163. DOI: https://doi.org/10.26911/theijmed.2026.11.3.950

Pirnes KP, Kallio J, Hakonen H, Hautala A, Häkkinen AH, Tammelin T. Physical activity, screen time and the incidence of neck and shoulder pain in school-aged children. Sci Rep. 2022;12:10635. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-14612-0

Sun C, Lin H, Zhang Z, Yang X, Zhou J, Wang R, Xue Y. Global, regional and national burden of neck pain in children and adolescents: GBD 2021 systematic analysis. Front Neurol. 2025;16:1625954. DOI: https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1625954

Tapanya W, Puntumetakul R, Swangnetr Neubert M, Boucaut R. Influence of neck flexion angle on gravitational moment and neck muscle activity when using a smartphone while standing. Ergonomics. 2021;64(7):900-911. DOI: https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1873423

Titcomb DA, Melton BF, Bland HW, Miyashita T. Evaluation of the Craniovertebral Angle in Standing versus Sitting Positions in Young Adults with and without Severe Forward Head Posture. Int J Exerc Sci. 2024;17(1):73-85. DOI: https://doi.org/10.70252/GDNN4363

Torkamani MH, Mokhtarinia HR, Vahedi M, Gabel CP. Relationships between cervical sagittal posture, muscle endurance, joint position sense, range of motion and level of smartphone addiction. BMC Musculoskelet Disord. 2023;24:61. DOI: https://doi.org/10.1186/s12891-023-06168-5

Tsang SMH, Cheing GLY, Chan JWK. Severity of slouched posture during smartphone use is associated with the musculoskeletal discomfort, daily usage, and school year among adolescents. Ergonomics. 2023;66(9):1340-1353. DOI: https://doi.org/10.1080/00140139.2022.2146208

Vahedi Z, Kazemi Z, Sharifnezhad A, Mazloumi A. Perceived Discomfort, Neck Kinematics, and Muscular Activity During Smartphone Usage: A Comparative Study. Hum Factors. 2024;66(2):437-450. DOI: https://doi.org/10.1177/00187208221087760

Wibisono I, Soesanto, Azam M. The Effect of Neck Pain on Craniovertebral Angle Due to the Use of Smartphone as a Learning Media for Physiotherapy Students in Widya Husada University Semarang. Jurnal Keperawatan dan Fisioterapi. 2022;4(2):284-289. DOI: https://doi.org/10.35451/jkf.v4i2.1089

LAMPIRAN 1. ROAD MAP PENELITIAN

Road map berikut menggambarkan arah pengembangan topik yang diusulkan. Tahap saat ini berfungsi sebagai studi dasar untuk menghasilkan data objektif mengenai postur kepala-leher dan keluhan muskuloskeletal pada siswa. Tahap berikutnya dapat berkembang ke intervensi dan evaluasi longitudinal.

Periode	Fokus	Metode Utama	Luaran yang Diharapkan
2025-2026	Pemetaan paparan ergonomi dan penggunaan perangkat digital pada siswa	Kuesioner terstruktur dan pemetaan postur	Profil paparan ergonomi dan hipotesis bioenergetik awal
2026-2027	Studi hubungan paparan digital, CVA, dan neck pain dengan perspektif bioenergetika otot	BackPEI-CA + smartphone photogrammetry + mechanistic bioenergetic framework	Dataset CVA-neck pain dan manuskrip interdisipliner ergonomi-biokimia
2027-2028	Intervensi ergonomi dan microbreak dengan evaluasi pemulihan otot	Quasi-experimental; CVA; gejala; surface EMG/NIRS bila feasible	Model intervensi dan bukti muscle rest/oxygenation secara non-invasif
2028-2030	Studi longitudinal bioenergetika otot pada paparan digital	Follow-up; parameter fisiologis/metabolik yang etis dan feasible	Model mekanistik dan skrining pencegahan berbasis bukti

Gambar/Tabel Lampiran 1. Road map pengembangan penelitian.

LAMPIRAN 2. SURAT KESEDIAAN BERKOMITMEN

SURAT PERNYATAAN KESEDIAAN BERKOMITMEN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Identitas	Keterangan
Nama	_____
NIDN/NIK	_____
Program Studi/Bagian	_____
Institusi	Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti
Posisi dalam Tim	Ketua / Anggota Peneliti

Dengan ini menyatakan bersedia berkomitmen untuk melaksanakan penelitian berjudul "Hubungan Penggunaan Perangkat Digital dan Alignment Kraniovertebral dengan Nyeri Leher pada Siswa Sekolah Dasar dalam Perspektif Bioenergetika Otot Rangka" sesuai protokol yang telah disetujui, mematuhi prinsip etik penelitian, menjaga kerahasiaan data peserta, melaksanakan tugas sesuai pembagian peran, serta menyelesaikan laporan dan luaran penelitian sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, _____ 2026

Yang membuat pernyataan,

(_____)

LAMPIRAN 3. KUESIONER DAN LEMBAR PENGUMPULAN DATA PENELITIAN

Catatan penting: lampiran ini disusun sebagai draf operasional Bahasa Indonesia berdasarkan struktur Back Pain and Body Posture Evaluation Instrument for Children and Adolescents (BackPEI-CA). BackPEI-CA asli terdiri atas 30 pertanyaan; 28 pertanyaan berbentuk pilihan dan dua pertanyaan intensitas nyeri menggunakan skala visual 0–10. Pertanyaan 1–20 menilai faktor risiko/perilaku, sedangkan pertanyaan 21–30 menilai back pain dan neck pain. Untuk pelaksanaan penelitian, peneliti tetap harus menggunakan versi resmi BackPEI-CA (male/female version) dan melakukan adaptasi lintas budaya Bahasa Indonesia bila belum tersedia versi Indonesia yang tervalidasi. Item yang bergantung pada gambar postur tidak boleh diganti dengan gambar buatan sendiri karena dapat mengubah makna dan validitas instrumen.

Sumber instrumen: da Rosa BN, Candotti CT, Pivotto LR, et al. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(3):1398. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph19031398

A. IDENTITAS PESERTA (BERKODE)

Data	Isian
Kode peserta	_____
Tanggal pengisian	____ / ____ / _____
Usia	_____ tahun
Jenis kelamin	Laki-laki / Perempuan
Kelas	V / VI
Sekolah	_____
Riwayat cedera leher/punggung 3 bulan terakhir	Ya / Tidak

B. BACKPEI-CA – DRAF ADAPTASI OPERASIONAL BAHASA INDONESIA

Petunjuk: baca setiap pertanyaan dengan teliti dan pilih satu jawaban yang paling menggambarkan keadaan Anda. Bila suatu pertanyaan meminta gambar, gunakan lembar gambar resmi BackPEI-CA sesuai jenis kelamin peserta.

1. Apakah Anda secara teratur melakukan olahraga atau latihan fisik di sekolah atau di luar sekolah?

☐ Ya, sebutkan jenisnya: _____

☐ Tidak (lanjut ke nomor 4)

2. Berapa hari dalam satu minggu Anda biasanya melakukan olahraga atau latihan fisik?

☐ 1–2 hari/minggu

☐ 3–4 hari/minggu

☐ 5 hari atau lebih/minggu

☐ Berubah-ubah setiap minggu

3. Apakah olahraga atau latihan fisik tersebut Anda lakukan secara kompetitif?

☐ Ya

☐ Tidak

4. Berapa jam per hari Anda biasanya duduk sambil menonton televisi?

☐ 0–1 jam/hari

☐ 2–3 jam/hari

☐ 4–5 jam/hari

☐ 6–7 jam/hari

☐ 8 jam atau lebih/hari

☐ Tidak tahu/tergantung hari

5. Berapa jam per hari Anda duduk menggunakan komputer desktop atau laptop?

☐ 0–1 jam/hari

☐ 2–3 jam/hari

☐ 4–5 jam/hari

☐ 6 jam atau lebih/hari

☐ Tidak tahu/tergantung hari

6. Berapa jam per hari Anda menggunakan telepon genggam atau tablet?

☐ 0–1 jam/hari

☐ 2–3 jam/hari

☐ 4–5 jam/hari

☐ 6 jam atau lebih/hari

☐ Tidak tahu/tergantung hari

7. Apakah Anda biasanya membaca atau belajar di tempat tidur?

☐ Ya

☐ Tidak

☐ Kadang-kadang

8. Posisi tidur mana yang paling sering Anda pilih?

☐ Miring

☐ Telentang

☐ Tengkurap

☐ Berubah-ubah

9. Berapa lama total Anda tidur dalam 24 jam?

☐ 0–6 jam

☐ 7 jam

☐ 8–9 jam

☐ 10 jam atau lebih

☐ Tidak tahu/tergantung hari

10. Bagaimana posisi Anda biasanya duduk di meja ketika menulis di sekolah?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 10.

11. Bagaimana posisi Anda biasanya duduk di kursi/bangku ketika berbicara dengan teman?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 11.

12. Bagaimana posisi Anda biasanya duduk ketika menggunakan komputer desktop/laptop?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 12.

13. Bagaimana posisi Anda biasanya duduk ketika menggunakan telepon genggam/tablet?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 13.

14. Bagaimana posisi Anda biasanya menggunakan telepon genggam/tablet ketika berdiri?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 14.

15. Bagaimana cara Anda biasanya mengambil benda dari lantai?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 15.

16. Jenis tas apa yang biasanya Anda gunakan untuk membawa perlengkapan sekolah?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 16: ransel dua tali, ransel satu tali, tas beroda, tas tangan/jenis lain.

17. Jika menggunakan ransel dua tali, bagaimana Anda biasanya membawa ransel tersebut ke sekolah?

☐ Pilih satu gambar yang paling sesuai

☐ Tidak dapat menentukan satu gambar

Gunakan pilihan gambar resmi BackPEI-CA nomor 17. Bila nomor 16 bukan ransel dua tali, ikuti alur instrumen resmi dan lanjut ke nomor 18.

18. Pendidikan formal tertinggi yang telah diselesaikan ibu/wali perempuan?

☐ Tidak bersekolah

☐ Sekolah dasar

☐ Sekolah menengah

☐ Pendidikan tinggi/universitas

☐ Tidak tahu

☐ Tidak memiliki wali perempuan

19. Pendidikan formal tertinggi yang telah diselesaikan ayah/wali laki-laki?

☐ Tidak bersekolah

☐ Sekolah dasar

☐ Sekolah menengah

☐ Pendidikan tinggi/universitas

☐ Tidak tahu

☐ Tidak memiliki wali laki-laki

20. Apakah salah satu orang tua/wali Anda memiliki nyeri punggung?

☐ Ya, siapa: _____

☐ Tidak

☐ Tidak tahu

C. PENILAIAN BACK PAIN (3 BULAN TERAKHIR)

21. Apakah dalam 3 bulan terakhir Anda pernah merasakan nyeri pada daerah punggung?

☐ Ya (lanjutkan nomor 22–25)

☐ Tidak (lanjut ke nomor 26)

☐ Tidak tahu

22. Seberapa sering nyeri punggung tersebut dirasakan?

☐ Hanya satu kali

☐ Sekitar satu kali per bulan

☐ Sekitar satu kali per minggu

☐ Lebih dari satu kali per minggu

☐ Tidak tahu

23. Apakah Anda pernah tidak masuk sekolah karena nyeri punggung?

☐ Ya

☐ Tidak

☐ Tidak tahu

24. Apakah nyeri punggung pernah menghambat aktivitas sehari-hari, misalnya bermain atau berolahraga?

☐ Ya

☐ Tidak

☐ Tidak tahu

25. Beri tanda pada intensitas nyeri punggung yang paling menggambarkan nyeri selama 3 bulan terakhir.

☐ 0 = tidak nyeri

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10 = nyeri terburuk yang dapat dibayangkan

Pada versi resmi digunakan visual analog pain scale (VAS) 0–10.

D. PENILAIAN NECK PAIN (3 BULAN TERAKHIR)

26. Apakah dalam 3 bulan terakhir Anda pernah merasakan nyeri pada daerah leher?

☐ Ya (lanjutkan nomor 27–30)

☐ Tidak (kuesioner selesai)

☐ Tidak tahu

27. Seberapa sering nyeri leher tersebut dirasakan?

☐ Hanya satu kali

☐ Setidaknya satu kali per bulan

☐ Setidaknya satu kali per minggu

☐ Lebih dari satu kali per minggu

☐ Tidak tahu

28. Apakah Anda pernah tidak masuk sekolah karena nyeri leher?

☐ Ya

☐ Tidak

☐ Tidak tahu

29. Apakah nyeri leher pernah menghambat aktivitas sehari-hari, misalnya bermain atau berolahraga?

☐ Ya

☐ Tidak

☐ Tidak tahu

30. Beri tanda pada intensitas nyeri leher yang paling menggambarkan nyeri selama 3 bulan terakhir.

☐ 0 = tidak nyeri

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

☐ 6

☐ 7

☐ 8

☐ 9

☐ 10 = nyeri terburuk yang dapat dibayangkan

Pada versi resmi digunakan visual analog pain scale (VAS) 0–10.

E. LEMBAR PENGUKURAN CRANIOVERTEBRAL ANGLE (CVA)

Parameter	Hasil
Kode peserta	_____
Posisi pengukuran	Berdiri / natural head posture
Foto lateral 1	CVA = _____ °
Foto lateral 2	CVA = _____ °
Rerata CVA	_____ °
Selisih dua pengukuran	_____ °
Perlu pengukuran ulang?	Ya / Tidak
ID penilai	_____
Penilaian rater kedua (sub-sampel)	CVA = _____ °

F. PANDUAN PENGODEAN UNTUK ANALISIS

Variabel/item	Rencana pengodean
Durasi mobile device (Q6)	Pertahankan sebagai kategori asli; untuk analisis tren dapat dikode ordinal setelah ditetapkan a priori.
Perilaku postural Q10–Q17	Analisis per item sesuai kategori/gambar resmi. Jangan menjumlahkan menjadi skor ergonomi total baru tanpa validasi.
Back pain (Q21)	Outcome eksploratif: ya vs tidak; 'tidak tahu' diperlakukan missing/terpisah sesuai SAP.
Neck pain (Q26)	Outcome biner klinis sekunder utama: ya vs tidak; 'tidak tahu' diperlakukan missing/terpisah sesuai SAP.
Frekuensi nyeri (Q22/Q27)	Ordinal sesuai kategori asli.
Dampak sekolah/aktivitas (Q23–24/Q28–29)	Ya/tidak; deskriptif atau analisis eksploratif.
Intensitas nyeri (Q25/Q30)	0–10 sebagai data numerik; distribusi diperiksa sebelum pemilihan uji.

CVA	Derajat sebagai variabel kontinu; analisis utama tidak menggunakan cut-off dewasa.

Catatan validitas: BackPEI-CA asli memiliki versi laki-laki dan perempuan dengan struktur pertanyaan yang sama tetapi ilustrasi yang disesuaikan. Draf Bahasa Indonesia di atas dimaksudkan untuk mendokumentasikan variabel penelitian dan membantu proses etik/adaptasi. Sebelum pengambilan data, versi final Bahasa Indonesia perlu melalui izin penggunaan serta proses adaptasi lintas budaya dan uji keterbacaan sesuai protokol penelitian.