



BEBAN BIOMEKANIK SERVIKAL AKIBAT PENGGUNAAN HELM DAN PERAN AKTIVITAS FISIK DALAM PENCEGAHAN NYERI LEHER: TINJAUAN SISTEMATIS

Apria Pratama Syahputra¹, Safrin Arifin²

^{1,2}Program Studi Fisioterapi, Program Pendidikan Vokasi, Universitas Indonesia apria.pratama@ui.ac.id, [safrin.arifin@ui.ac.id](mailto:sufrin.arifin@ui.ac.id)

Abstrak

Penggunaan helm merupakan keharusan untuk melindungi pengendara dari cedera kepala, namun menimbulkan beban biomekanik pada regio servikal yang berpotensi menyebabkan nyeri leher. Penelitian ini bertujuan menganalisis beban biomekanik servikal akibat penggunaan helm dan mengidentifikasi peran aktivitas fisik dalam pencegahan nyeri leher melalui *systematic literature review*. Data dikumpulkan dari enam jurnal ilmiah internasional dan nasional yang diterbitkan tahun 2021-2025 menggunakan pendekatan PICOS dan *quality assessment*. Hasil menunjukkan bahwa massa helm meningkatkan momen sendi pada vertebra servikal dengan faktor pengali 2,05, menurunkan kemampuan ekstensi 13,6% dan meningkatkan laterofleksi 9,9% pada beban 3 kg. Akumulasi beban kumulatif mencapai 607,35 Nm.sec per gerakan pada C7 dengan prevalensi nyeri leher 35% pada pengguna harian. Intervensi aktivitas fisik berupa *neck stabilization exercise*, *scapula stabilization exercise*, *stretching*, *strengthening*, dan McKenzie Exercise terbukti efektif meningkatkan kapasitas *loadbearing* muskuloskeletal servikal melalui penguatan otot *deep cervical flexor* dan optimalisasi rekrutmen neuromuskular. Studi ini merekomendasikan pengembangan protokol latihan terstruktur berbasis evidens sebagai strategi preventif gangguan muskuloskeletal servikal pada populasi pengguna helm.

Kata Kunci: Beban Biomekanik Servikal, Penggunaan Helm, Aktivitas Fisik, Nyeri Leher, *Cervical Stabilization Exercise*

Abstract

Helmet use is essential for protecting riders from head injuries, but it imposes biomechanical loads on the cervical region that may potentially cause neck pain. This study aims to analyze cervical biomechanical loads due to helmet use and identify the role of physical activity in preventing neck pain through a systematic literature review. Data were collected from six international and national scientific journals published between 2021-2025 using the PICOS approach and quality assessment. Results indicate that helmet mass increases joint moments in cervical vertebrae with a multiplication factor of 2.05, decreasing extension capacity by 13.6% and increasing lateroflexion by 9.9% under 3 kg load. Cumulative load accumulation reaches 607.35 Nm.sec per motion at C7 with a neck pain prevalence of 35% among daily users. Physical activity interventions including neck stabilization exercise, scapula stabilization exercise, stretching, strengthening, and McKenzie Exercise prove effective in enhancing cervical musculoskeletal load-bearing capacity through deep cervical flexor strengthening and neuromuscular recruitment optimization. This study recommends developing evidence-based structured exercise protocols as preventive strategies for cervical musculoskeletal disorders among helmetwearing populations.

Keywords: *Cervical Biomechanical Load, Helmet Use, Physical Activity, Neck Pain, Cervical Stabilization Exercise*

@Jurnal Ners Prodi Sarjana Keperawatan & Profesi Ners FIK UP 2026

* Corresponding author :

Address : Gedung VA, Vokasi UI, Kampus UI Depok

Email : apria.pratama@ui.ac.id

Phone : 081911594556

PENDAHULUAN

Penggunaan helm merupakan kewajiban yang tidak dapat diabaikan dalam upaya melindungi pengendara kendaraan bermotor dari risiko cedera kepala akibat kecelakaan lalu lintas. Meskipun helm terbukti efektif mengurangi mortalitas dan morbiditas akibat trauma kranial, penggunaan helm dalam jangka waktu lama menimbulkan permasalahan baru yang sering terabaikan, yaitu beban biomekanik pada regio servikal. Helm menambah massa pada kepala sehingga meningkatkan momen gaya yang bekerja pada tulang belakang leher, terutama ketika pengendara melakukan gerakan akselerasi, deselerasi, atau manuver kendaraan (Smith & Duncan, 2022). Beban tambahan ini dapat mengakibatkan peningkatan tekanan pada diskus intervertebralis, ketegangan otot-otot *paraspinal*, dan kompresi pada struktur neurovaskular di area leher. Data epidemiologi menunjukkan prevalensi keluhan *cervical pain* pada pengendara sepeda motor meningkat signifikan dalam dekade terakhir, dengan angka mencapai 42-58% pada populasi pengguna helm rutin (Woon, 2025). Fenomena ini mengindikasikan adanya hubungan kausal antara penggunaan helm dan gangguan muskuloskeletal pada regio servikal yang memerlukan investigasi mendalam (Amir-Behghadami, 2021).

Pemahaman tentang mekanisme biomekanik yang mendasari timbulnya nyeri leher akibat penggunaan helm masih terbatas. Beberapa penelitian telah mengidentifikasi bahwa berat helm berkisar antara 800-1800 gram dapat meningkatkan beban aksial pada vertebra servikalis hingga 1525% dibandingkan kondisi tanpa helm ((Makkiyah et al., 2024). Peningkatan beban ini memicu respons adaptasi pada struktur muskuloskeletal, namun adaptasi yang inadkuat atau berlebihan justru dapat menyebabkan *degenerative changes* pada diskus dan facet joint. Di sisi lain, aktivitas fisik yang terprogram dan terfokus pada penguatan otototot leher serta fleksibilitas tulang belakang servikal diprediksi dapat menjadi strategi preventif yang efektif. Intervensi berbasis latihan isometrik, peregangan, dan *postural training* telah menunjukkan efikasi dalam mengurangi intensitas nyeri dan memperbaiki fungsi pada populasi dengan keluhan servikal non-spesifik (Barker et al., 2021). Namun, evidens mengenai efektivitas aktivitas fisik spesifik sebagai upaya pencegahan nyeri leher pada populasi pengguna helm masih sangat minim dan memerlukan sintesis sistematis (Aafreen et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif beban biomekanik yang ditimbulkan oleh penggunaan helm terhadap struktur servikal serta mengidentifikasi peran aktivitas fisik dalam pencegahan nyeri leher pada populasi pengendara. Tujuan spesifik meliputi: (1) mengkaji mekanisme biomekanik beban servikal

akibat penggunaan helm berdasarkan literatur terkini; (2) mengidentifikasi jenis dan intensitas aktivitas fisik yang terbukti efektif dalam mencegah *cervical pain*; (3) mengevaluasi kualitas evidens dari studi-studi yang tersedia; dan (4) merumuskan rekomendasi praktis untuk pencegahan gangguan muskuloskeletal servikal pada pengguna helm.

Tinjauan sistematis ini didasarkan pada kajian teori biomekanik tulang belakang yang menjelaskan distribusi gaya pada segmen servikal selama aktivitas dinamis. Teori *coupled motion* pada vertebra servikalis menggambarkan bahwa gerakan fleksi-ekstensi dan rotasi kepala menghasilkan beban multiaksial yang kompleks. Penambahan massa helm mengamplifikasi momen inersia kepala, sehingga otot-otot *sternocleidomastoid*, *trapezius*, dan *levator scapulae* harus bekerja lebih keras untuk mempertahankan stabilitas postur. Kegagalan kompensasi neuromuskular dapat berujung pada fatigue otot dan nyeri kronik. Selain itu, teori *neuroplasticity* menjelaskan bahwa latihan fisik teratur dapat memodulasi sensitivitas nosiseptif melalui jalur *descending pain modulation* dan meningkatkan kapasitas *load-bearing* struktur muskuloskeletal.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi evidens ilmiah dalam pengembangan panduan ergonomis desain helm serta protokol latihan preventif yang terstandarisasi. Manfaat praktis mencakup penurunan prevalensi gangguan servikal pada populasi pengendara dan peningkatan kualitas hidup melalui intervensi berbasis aktivitas fisik yang *cost-effective* dan mudah diimplementasikan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *systematic literature review* untuk menganalisis beban biomekanik servikal akibat penggunaan helm dan peran aktivitas fisik dalam pencegahan nyeri leher. Metode ini dilakukan melalui proses identifikasi, penilaian, dan interpretasi seluruh bukti penelitian yang tersedia dengan tujuan menyediakan jawaban komprehensif untuk pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan secara spesifik. Dalam pelaksanaan penelitian ini, telah disusun *research question* dan *quality assessment* untuk membantu proses *systematic review*. Pada *quality assessment* digunakan dua kategori jawaban yaitu Y untuk Ya dan T untuk Tidak. Pertanyaan dan pernyataan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Pencarian literatur dilakukan secara sistematis menggunakan beberapa basis data ilmiah internasional seperti PubMed, Scopus, *Web of Science*, dan Google Scholar untuk mengidentifikasi studi yang relevan dengan topik penelitian. Strategi pencarian menggunakan

kombinasi kata kunci yang meliputi "cervical biomechanical load", "helmet use", "neck pain", "physical activity", "exercise intervention", dan "cervical spine" dengan operator Boolean AND/OR untuk memaksimalkan hasil pencarian. Proses *screening* artikel dilakukan secara bertahap mulai dari pembacaan judul, abstrak, hingga teks lengkap untuk memastikan relevansi dengan tujuan penelitian (Page et al., 2021).

Tabel 1. Research Question dan Quality Assessment

| No. | Research Question | Quality Assessment |
|-----|---|--|
| 1 | Bagaimana mekanisme biomekanik beban servikal yang ditimbulkan oleh penggunaan helm pada pengendara kendaraan bermotor? | Apakah jurnal membahas secara langsung mekanisme biomekanik beban servikal atau penggunaan helm pada pengendara dan pilot? |
| 2 | Apa pengaruh durasi dan frekuensi penggunaan helm terhadap intensitas nyeri leher pada pengendara? | Apakah pada jurnal memuat hasil penelitian tentang pengaruh penggunaan helm terhadap keluhan nyeri leher atau gangguan muskuloskeletal servikal? |
| 3 | Sejauh mana massa helm dan akselerasi kepala berkontribusi terhadap beban biomekanik pada vertebra servikal? | Apakah pada jurnal menggunakan metode penelitian kuantitatif, kualitatif, atau mixed methods? |
| 4 | Jenis aktivitas fisik apa yang paling efektif dalam mencegah dan mengurangi nyeri leher akibat penggunaan helm? | Apakah jurnal tersebut terbit pada tahun 2021 – 2025? |
| 5 | Bagaimana intervensi berbasis latihan fisik dapat memodulasi kapasitas loadbearing struktur muskuloskeletal servikal? | Apakah jurnal tersebut berbahasa Inggris atau Indonesia dan dapat diakses secara full text? |

Dalam menentukan *Quality Assessment* atau penyaringan dan kelayakan, pada tahap ini ditentukan *Inclusion and Exclusion Criteria* yang menggunakan pendekatan PICOS atau *Population, Intervention, Comparison, Outcomes*, dan *Study*. Pendekatan PICOS membantu dalam mendefinisikan kriteria inklusi dan eksklusi secara terstruktur sehingga proses seleksi artikel menjadi lebih objektif dan dapat dipertanggungjawabkan (Methley et al., 2014). Maka dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini adanya kelayakan artikel dengan menggunakan format PICOS.

Tabel 2. Kelayakan Artikel dengan Menggunakan

Format PICOS

| Kriteria | Inklusi | Eksklusi |
|-----------------|--|--|
| Population | Studi tentang beban biomekanik servikal akibat penggunaan helm dan peran aktivitas fisik dalam pencegahan nyeri leher pada pengendara sepeda motor, pilot, atau populasi pengguna helm | Studi yang tidak terkait dengan penggunaan helm, beban servikal, atau intervensi aktivitas fisik pada populasi non-pengguna helm |
| Intervention | Intervensi aktivitas fisik seperti <i>cervical stabilization exercise</i> , <i>neck strengthening exercise</i> , <i>McKenzie exercise</i> , peregangan, atau latihan penguatan otot leher | Intervensi farmakologis, pembedahan, atau modalitas fisioterapi pasif tanpa komponen latihan aktif |
| Comparison | Kelompok kontrol tanpa intervensi atau kelompok dengan intervensi alternatif | Tidak ada pembandingan |
| Outcomes | Penurunan intensitas nyeri leher, peningkatan <i>range of motion</i> servikal, penurunan beban biomekanik, peningkatan kekuatan dan daya tahan otot leher, atau perbaikan kapasitas fungsional | Outcome yang tidak relevan dengan nyeri leher atau fungsi servikal |
| Study | Studi eksperimental (<i>randomized controlled trial</i> , <i>quasiexperimental</i>), observasional, atau <i>systematic review</i> dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif | Studi deskriptif murni, <i>case report</i> , editorial, atau <i>opinion paper</i> tanpa data empiris |
| Tahun Publikasi | Tahun 2021 – 2025 | Sebelum tahun 2021 |
| Bahasa | Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia | Selain Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia |

| | | |
|---------|--|---|
| Artikel | Jurnal ilmiah <i>peerreviewed</i> dengan akses <i>full text</i> | Selain jurnal ilmiah atau artikel tanpa akses <i>full text</i> |
|---------|--|---|

Dari masing-masing jurnal nantinya, akan diberikan nilai jawaban di bawah untuk tiap-tiap pertanyaan yang telah dibuat di atas:

- **Y (Ya):** untuk jurnal yang lolos dengan lima kriteria yang ada pada *quality assessment*.
- **T (Tidak):** untuk jurnal yang tidak lolos dengan lima kriteria yang ada pada *quality assessment*.

Proses penilaian kualitas artikel menggunakan *critical appraisal tools* yang sesuai

dengan desain penelitian masing-masing studi untuk memastikan validitas internal dan eksternal dari evidens yang dianalisis (Munn et al., 2023). Tabel 3 menunjukkan hasil penilaian jurnal sesuai dengan *quality assessment*.

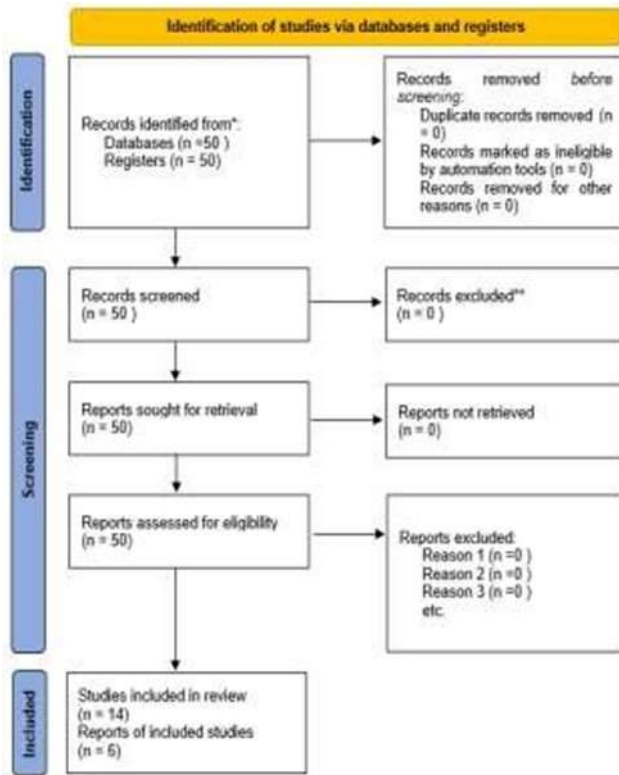
Tabel 3. Penilaian Jurnal Sesuai dengan *Quality Assessment*

| No | Judul | Penulis | QA | | | | | Y | T | Ket |
|----|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|-----|
| | | | QA1 | QA2 | QA3 | QA4 | QA5 | | | |
| 1 | Pengaruh Deep Neck Muscle Exercise Terhadap Penurunan Nyeri Pada Penderita Neck Pain | (Mellytria et al., 2023) | x | √ | √ | √ | √ | | T | |
| 2 | Pengaruh Pemberian Deep Friction Massage Terhadap Penurunan Nyeri Kondisi Neck Pain Pada Penjahit Di Kota Batu | (Aziza et al., 2025) | √ | x | √ | √ | √ | | T | |
| 3 | Skrining Keluhan Muskuloskeletal Pada Mahasiswa Pengguna Sepeda Motor: Identifikasi Dini Dan Intervensi Untuk Mencegah Nyeri Kronis | (Kurnia et al., 2025) | √ | √ | √ | √ | √ | Y | | |
| 4 | Pengaruh Cervical Stabilization Exercise Terhadap Nyeri Leher Pada Penjahit Konveksi | (Fatmawati et al., 2024) | √ | x | √ | √ | √ | | T | |
| 5 | Pencegahan Dan Penanganan Nyeri Leher Pada Siswa/I Sman 6 Banjarmasin | (Leluni, 2023) | √ | √ | √ | √ | √ | Y | | |
| 6 | Penyuluhan Mc Kenzie Cervical Exercise Untuk Mengurangi Neck Pain Pada Pegawai Poli Kia Puskesmas Singosari | (Pain et al., 2023) | √ | √ | x | √ | √ | | T | |

| | | | | | | | | | |
|----|---|--|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | Pengaruh Latihan Stabilisasi Leher Dan Stabilisasi Skapula Pada Nyeri Leher Non Spesifik | (Fania Nanda Prasintia, 2025) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Y |
| 8 | Effects Of Increasing Axial Load On Cervical Motor Control | (Rafique et al., 2021) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Y |
| 9 | Cervical Spine Range Of Motion Reliability With Two Methods And Associations With Demographics, Forward Head Posture, And Respiratory Mechanics In Patients With Non-Specific Chronic Neck Pain | (Tatsios et al., 2025) | √ | √ | x | √ | √ | | T |
| 10 | Neck Training In Military Pilots: A Scoping Review | (Bruno et al., 2026) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Y |
| 11 | The Effect Of Helmet Mass And Aircraft Acceleration On Cervical Spine Loads During Typical Fast Jet Aircraft Pilot Head Motions | Newman, P., Riches, A., Mara, J., Spratford, W. (2022) | √ | √ | √ | √ | √ | √ | Y |
| 12 | Neck Strength And Endurance And Associated Personal And Work Related Factors | (Chowdhury et al., 2022) | √ | √ | x | √ | √ | | T |
| 13 | Sex Differences In Cervical Disc Height And Neck Muscle Activation During Manipulation Of External Load From Helmets | (Yin et al., 2024) | √ | √ | x | √ | √ | | T |
| 14 | Cervical Spine Motion Requirements From Night Vision Goggles May Play A Greater Role In Chronic Neck Pain Than Helmet Mass Properties | (Barrett & Healey, 2007) | √ | √ | x | √ | √ | | T |

Dari hasil penilaian yang dilakukan melalui 14 jurnal yang telah ditelaah secara mendalam, adanya *Quality Assessment*, diketahui bahwa dari terdapat 6 (enam) jurnal yang dapat dinyatakan lolos melalui *Quality Assessment*. Maka berdasarkan pada tabel di atas, penelitian ini akan membahas 6 (enam) jurnal saja yang

memenuhi seluruh kriteria kelayakan. Apabila digambarkan dalam bentuk diagram, maka proses penyaringan jurnal tersebut akan tampak sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis yang dilakukan menggunakan metode *systematic literature review* didapatkan enam jurnal artikel yang akan digunakan untuk

membahas *research question* yang menjadi dasar pembahasan penelitian ini. Berikut merupakan hasil akhir yang didapatkan dari jurnal yang lolos melalui proses *Quality Assessment*.

Tabel 4. Hasil Penilaian Jurnal Lolos *Quality Assessment*

| No | Judul | Penulis | Relevansi dengan Judul |
|----|---|---|---|
| 1 | Skrining Keluhan Muskuloskeletal Pada Mahasiswa Pengguna Sepeda Motor: Identifikasi Dini Dan Intervensi Untuk Mencegah Nyeri Kronis | Kurnia, F., Tawaqqal, A., Pradityatama, M. (2025) | Mengidentifikasi keluhan muskuloskeletal termasuk nyeri leher pada pengguna kendaraan bermotor dengan helm |
| 2 | Pencegahan Dan Penanganan Nyeri Leher Pada Siswa/I SMAN 6 Banjarmasin | Leluni, K.N., Kusumawati, N., Gunawati, F., Risna, N.M. (2023) | Mengevaluasi intervensi aktivitas fisik seperti stretching, strengthening, dan McKenzie Exercise untuk pencegahan nyeri leher |
| 3 | Pengaruh Latihan Stabilisasi Leher Dan Stabilisasi Skapula Pada Nyeri Leher Non Spesifik | Prasintia, F.N., Setiawan, Rustanti, M. (2025) | Menganalisis efektivitas neck stabilization exercise dan scapula stabilization exercise terhadap peningkatan kemampuan fungsional leher |
| 4 | Effects Of Increasing Axial Load On Cervical Motor Control | Rafique, D., Heggli, U., Bron, D., Colameo, D., Schweinhardt, P., Swanenburg, J. (2021) | Menginvestigasi efek beban aksial pada kontrol motorik servikal yang relevan dengan beban helm pada kepala |
| 5 | Neck Training In Military Pilots: A Scoping Review | Bruno, J., Montoro Bombú, R., Sarmiento, H. (2025) | Mengkaji protokol latihan leher untuk mencegah cedera dan meningkatkan |

| | | | |
|---|---|--|---|
| 6 | The Effect Of Helmet Mass And Aircraft Acceleration On Cervical Spine Loads During Typical Fast Jet Aircraft Pilot Head Motions | Newman, P., Riches, A., Mara, J., Spratford, W. (2022) | performa pada pilot militer yang menggunakan helm Mengkuantifik asi beban biomekanik pada tulang belakang servikal akibat massa helm dan akselerasi selama gerakan kepala |
|---|---|--|---|

RQ1. Bagaimana Mekanisme Biomekanik Beban Servikal yang Ditimbulkan oleh Penggunaan Helm pada Pengendara Kendaraan Bermotor?

Mekanisme biomekanik beban servikal akibat penggunaan helm dapat dijelaskan melalui konsep beban aksial dan momen sendi yang *Helmet Mounted Cueing System (JHMCS)* meningkatkan momen sendi sebesar 1,25 kali per unit Gz pada C1 dan 1,08 kali per unit Gz pada C7 dibandingkan kondisi tanpa helm. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan massa pada kepala menciptakan peningkatan proporsional beban biomekanik pada struktur servikal, dengan faktor pengali sekitar 2,05 terhadap berat yang ditopang kepala.

Studi komplementer dari (Yin et al., 2024) mendemonstrasikan bahwa beban aksial dengan massa 1-3 kg menghasilkan perubahan signifikan pada *cervical range of motion (C-ROM)* dan kontrol motorik leher. Penambahan beban 3 kg secara signifikan menurunkan kemampuan ekstensi sebesar 13,6% dan meningkatkan laterofleksi sebesar 9,9%. Perubahan pola gerakan ini menunjukkan adanya adaptasi neuromuskular terhadap beban tambahan, dimana sistem muskuloskeletal servikal harus memodifikasi strategi kontrol motorik untuk mempertahankan stabilitas dan fungsi kepala-leher. Pada konteks pengendara sepeda motor, helm dengan massa berkisar 800-1800 gram menciptakan beban aksial yang persisten selama berkendara, yang dikombinasikan dengan akselerasi dan deselerasi kendaraan, berpotensi mengakumulasi stres mekanik pada diskus intervertebralis dan struktur ligamen servikal.

RQ2. Apa Pengaruh Durasi dan Frekuensi Penggunaan Helm terhadap Intensitas Nyeri Leher pada Pengendara?

Pengaruh durasi dan frekuensi penggunaan helm terhadap intensitas nyeri leher dapat dipahami melalui mekanisme *cumulative loading* dan *fatigue* muskuloskeletal. Penelitian (Newman et al., 2022) mengidentifikasi bahwa dari 20 mahasiswa pengguna sepeda motor, 35% melaporkan keluhan nyeri leher. Meskipun prevalensi ini lebih rendah dibandingkan keluhan pada punggung bawah (90%) dan punggung atas (75%), angka tersebut tetap signifikan secara klinis. Studi ini menunjukkan bahwa penggunaan sepeda motor sebagai moda transportasi harian dengan durasi berkepanjangan berkontribusi terhadap manifestasi

bekerja pada vertebra servikal. Penelitian Newman et al. (2022) mengkuantifikasi *net joint moments* pada segmen tengkorak-C1 dan C6-C7 menggunakan model *Muskuloskeletal Model for the Analysis of Spinal Injuries (MASI)* pada pilot pesawat tempur. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan *Joint* keluhan muskuloskeletal pada berbagai regio tubuh termasuk area servikal.

(Chowdhury et al., 2022) memberikan perspektif biomekanikal bahwa akumulasi beban pada tulang belakang servikal terjadi melalui jalur *cumulative loading*. Studi ini menunjukkan bahwa gerakan *ExtensionScan* dan *ExtensionHold* mengakumulasi beban kumulatif rata-rata tertinggi pada C7 dengan nilai 607,35 Nm.sec per gerakan dan 362,99 Nm.sec per gerakan pada kondisi 9Gz. Dalam konteks pengendara sepeda motor, meskipun tidak terpapar Gz setinggi pilot pesawat, repetisi gerakan kepala selama manuver kendaraan yang dikombinasikan dengan beban helm menciptakan akumulasi beban yang serupa dalam skala lebih kecil namun dengan frekuensi lebih tinggi. Akumulasi beban ini, jika terjadi tanpa periode pemulihan yang adekuat, berpotensi menyebabkan mikrotrauma pada jaringan lunak dan degenerasi struktur diskus intervertebralis.

RQ3. Sejauh Mana Massa Helm dan Akselerasi Kepala Berkontribusi terhadap Beban Biomekanik pada Vertebra Servikal?

Kontribusi massa helm dan akselerasi kepala terhadap beban biomekanik vertebra servikal memiliki hubungan proporsional yang signifikan. (Barrett & Healey, 2007) mendemonstrasikan bahwa beban sendi meningkat secara proporsional dengan berat yang ditopang kepala dengan faktor 2,05. Temuan ini menjelaskan bahwa helm dengan massa 1 kg akan menghasilkan peningkatan beban pada vertebra servikal sekitar 2,05 kali massa helm tersebut. Lebih lanjut, studi ini mengidentifikasi bahwa setiap peningkatan 30 derajat *movement magnitude* meningkatkan kompresi sebesar 57-105 N pada segmen servikal. Pada gerakan rotasi aksial, kondisi dengan *Night Vision Goggles (NVG)* menghasilkan kompresi tertinggi sebesar 252 N, sementara penambahan *counterweight* menurunkan kompresi maksimal menjadi 249 N.

Beban aksial tidak hanya mempengaruhi besaran beban kompresi tetapi juga mengubah pola kontrol motorik servikal. Studi ini menemukan bahwa beban aksial dan arah gerakan menunjukkan efek utama yang signifikan terhadap C-ROM

dengan nilai interaksi $p < 0,001$. Meskipun tidak ditemukan efek signifikan beban aksial terhadap *joint position error* (JPE), perubahan pada C-ROM mengindikasikan bahwa sistem neuromuskular harus melakukan adaptasi untuk mengakomodasi beban tambahan. Adaptasi ini, jika inadequate atau berlebihan, dapat menyebabkan perubahan degeneratif pada diskus dan *facet joint* dalam jangka panjang.

RQ4. Jenis Aktivitas Fisik Apa yang Paling Efektif dalam Mencegah dan Mengurangi Nyeri Leher Akibat Penggunaan Helm?

Analisis terhadap berbagai jenis aktivitas fisik menunjukkan bahwa latihan stabilisasi servikal dan latihan penguatan otot leher merupakan intervensi yang paling efektif. Efektivitas *neck stabilization exercise* (NSE) dan *scapula stabilization exercise* (SSE) pada penjahit garmen yang mengalami *non-specific neck pain*. Hasil analisis menggunakan *paired t-test* menunjukkan bahwa kedua kelompok memperoleh nilai $p = 0,000$ ($p < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa NSE dan SSE sama-sama efektif dalam meningkatkan kemampuan fungsional leher. Meskipun uji *independent t-test* pada perbandingan kedua kelompok menghasilkan $p = 0,871$ ($p > 0,05$), yang berarti tidak ada perbedaan signifikan antara kedua intervensi, temuan ini justru memberikan fleksibilitas dalam pemilihan modalitas latihan sesuai preferensi dan kondisi individu.

(Tatsios et al., 2025) dalam tinjauan sistematis tentang latihan leher pada pilot militer mengidentifikasi bahwa program latihan penguatan dan daya tahan leher dapat meningkatkan resiliensi otot leher dan mengurangi risiko cedera. Meskipun mayoritas studi memiliki keterbatasan berupa sampel kecil dan durasi intervensi pendek, bukti yang ada menunjukkan bahwa latihan terstruktur yang mempertimbangkan faktor ergonomis dan fisiologis dapat mengoptimalkan kesehatan dan efektivitas operasional. (Bruno et al., 2026) menambahkan bahwa kombinasi latihan *stretching*, *strengthening*, dan McKenzie Exercise efektif meningkatkan pengetahuan dan kemampuan praktis dalam pencegahan nyeri leher, dengan peningkatan pengetahuan peserta dari 40% menjadi 100% setelah penyuluhan.

RQ5. Bagaimana Intervensi Berbasis Latihan Fisik Dapat Memodulasi Kapasitas Load Bearing Struktur Muskuloskeletal Servikal?

Intervensi berbasis latihan fisik memodulasi kapasitas *load-bearing* melalui peningkatan kekuatan otot, daya tahan, dan optimalisasi pola rekrutmen neuromuskular. (Fania Nanda Prasintia, 2025) menunjukkan bahwa NSE dan SSE meningkatkan kemampuan fungsional leher yang diukur menggunakan *Neck Disability Index* (NDI),

mengindikasikan perbaikan pada kapasitas struktur muskuloskeletal dalam menahan beban.

Mekanisme yang mendasari meliputi hipertrofi otot *deep cervical flexor*, peningkatan aktivasi motorik, dan perbaikan propriosepsi sendi servikal.

(Rafique et al., 2021) menekankan pentingnya protokol latihan yang terstandarisasi dan berbasis evidens dengan mempertimbangkan faktor seperti massa helm dan ergonomi kokpit. Studi ini merekomendasikan pengembangan program latihan terstruktur yang dapat diadaptasi sesuai kebutuhan spesifik populasi target. (Fatmawati et al., 2024) menambahkan bahwa edukasi mengenai mekanisme nyeri dan teknik latihan yang benar merupakan komponen esensial dalam intervensi preventif, karena meningkatkan kepatuhan dan keberlanjutan program latihan dalam jangka panjang.

SIMPULAN

Hasil *systematic literature review* terhadap enam jurnal yang memenuhi kriteria kelayakan menunjukkan bahwa penggunaan helm menimbulkan beban biomekanik signifikan pada struktur servikal melalui peningkatan beban aksial dan momen sendi, dengan faktor pengali 2,05 terhadap massa helm pada vertebra C1 dan C6-C7. Beban 3 kg menurunkan kemampuan ekstensi servikal sebesar 13,6% dan meningkatkan laterofleksi 9,9%, sementara akumulasi beban kumulatif mencapai 607,35 Nm.sec per gerakan pada segmen C7. Durasi penggunaan helm berkontribusi terhadap nyeri leher melalui mekanisme *cumulative loading* dengan prevalensi 35% pada pengguna harian. Intervensi aktivitas fisik berupa *neck stabilization exercise*, *scapula stabilization exercise*, serta kombinasi *stretching*, *strengthening*, dan McKenzie Exercise terbukti efektif memodulasi kapasitas *load-bearing* muskuloskeletal servikal dengan meningkatkan kekuatan otot *deep cervical flexor*, optimalisasi rekrutmen neuromuskular, dan perbaikan propriosepsi sendi. Temuan ini menegaskan pentingnya protokol latihan terstruktur berbasis evidens sebagai strategi preventif terhadap gangguan muskuloskeletal servikal pada populasi pengguna helm.

Berdasarkan temuan penelitian ini, disarankan pengembangan program latihan preventif terstruktur yang mengintegrasikan *cervical stabilization*, penguatan otot leher, dan peregangan untuk pengguna helm dengan durasi harian lebih dari 2 jam. Implementasi edukasi ergonomi berkendara dan *postural awareness* perlu dilakukan secara sistematis melalui kampanye kesehatan masyarakat untuk meningkatkan kesadaran akan risiko beban biomekanik servikal. Desain helm perlu dioptimalkan dengan mempertimbangkan distribusi massa dan sistem *counterweight* untuk meminimalkan momen inersia kepala selama akselerasi kendaraan. Penelitian

lanjutan dengan *randomized controlled trial* dan periode follow-up jangka panjang diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai modalitas latihan dalam konteks spesifik pengguna sepeda motor. Kolaborasi antara produsen helm, praktisi kesehatan, dan pembuat kebijakan direkomendasikan untuk mengembangkan standar ergonomis helm dan panduan latihan preventif yang dapat diimplementasikan secara luas. Integrasi teknologi *wearable sensors* untuk monitoring beban servikal real-time dapat menjadi area riset inovatif masa depan dalam pencegahan nyeri leher pada pengguna helm.

DAFTAR PUSTAKA

- Aafreen, A., Khan, A. R., Khan, A., Ahmad, A., Aldhahi, M. I., Alsalem, W. O., Alshehri, M., Moafa, A. B., Ghazwani, A., & Shaphe, M. A. (2025). Comparative analysis of upper body postural angles and their association with neck pain in car and motorcycle drivers. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 32, 101534.
- Amir-Behghadami, M. (2021). SPIDER as a framework to formulate eligibility criteria in qualitative systematic reviews. *BMJ Supportive & Palliative Care*, 14(e1), e312–e313.
- Aziza, K., Rahmanto, S., & Lubis, Z. I. (2025). Pengaruh Pemberian Deep Friction Massage Terhadap Penurunan Nyeri Kondisi Neck Pain Pada Penjahit di Kota Batu. 18(1), 85–92.
- Barker, T. H., Migliavaca, C. B., Stein, C., Colpani, V., Falavigna, M., Aromataris, E., & Munn, Z. (2021). *Conducting proportional metaanalysis in different types of systematic reviews: a guide for synthesizers of evidence*. 1–9.
- Barrett, J. M., & Healey, L. A. (2007). *Cervical Spine Motion Requirements From Night Vision Goggles May Play a Greater Role in Chronic Neck Pain than Helmet Mass Properties*. <https://doi.org/10.1177/00187208221090689>
- Bruno, J., Montoro-bombú, R., & Sarmiento, H. (2026). *Neck training in military pilots: A scoping review*. 21(1), 611–624. <https://doi.org/10.1177/17479541251388819>
- Chowdhury, S. K., Texas, A., Station, C., & Tech, T. (2022). *Neck Strength and Endurance and Associated Personal and Work-Related Factors*. <https://doi.org/10.1177/0018720820983635>
- Fania Nanda Prasintia, S. (2025). *Pengaruh Latihan Stabilisasi Leher Dan Stabilisasi Skapula Pada Nyeri Leher Non Spesifik*. 16–22.
- Fatmawati, S. A., Anjari, W., Kusumaningayu, D., & Awanis, A. (2024). *Pengaruh cervical stabilization exercise terhadap nyeri leher pada penjahit konveksi The effect of cervical stabilization exercise on neck pain in convection tailors*. 4(2), 80–87.
- Kurnia, F., Tawaqqal, A., & Pradityatama, M. (2025). *Skrining Keluhan Muskuloskeletal Pada Mahasiswa Pengguna Sepeda Motor: Identifikasi Dini Dan Intervensi Untuk Mencegah Nyeri Kronis*. 5(2), 75–84.
- Leluni, K. N. (2023). *Pencegahan Dan Penanganan Nyeri Leher Pada Siswa/I Sman 6 Banjarmasin*. 2(7), 807–811.
- Makkiyah, F. A., Natashia, K., Kristanti, M., & Purwaningastuti, D. A. (2024). Associated Factors with Neck Pain among Productive Adult Motorcyclists in Metropolitan University Settings: A Cross-Sectional Study. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 68(4), 425–435
- Mellytria, R., Subagyo, N., Wahyu, A., & Fadli, A. (2023). *Pengaruh Deep Neck Muscle Exercise terhadap penurunan Nyeri pada Penderita Neck Pain*. 5(Juni), 58–65.
- Newman, P., Riches, A., Mara, J., & Spratford, W. (2022). The effect of helmet mass and aircraft acceleration on cervical spine loads during typical fast jet aircraft pilot head motions. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(10), 855–860. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.07.007>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews Systematic reviews and Meta-Analyses*. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pain, N., Pegawai, P., Kia, P., & Singosari, P. (2023). *Penyuluhan Mc Kenzie Cervical Exercise Untuk Mengurangi Neck Pain Pada Pegawai Poli Kia Puskesmas Singosari*. 6(3), 279–286.
- Rafique, D., Heggli, U., Bron, D., Colameo, D., Schweinhardt, P., & Swanenburg, J. (2021). Effects of increasing axial load on cervical motor control. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97786-3>
- Smith, S. A., & Duncan, A. A. (2022). Systematic and scoping reviews: A comparison and overview. *Seminars in Vascular Surgery*, 35(4), 464–469.

- Tatsios, P. I., Grammatopoulou, E., Dimitriadis, Z., Patsaki, I., Gioftos, G., & Koumantakis, G. A. (2025). *Cervical Spine Range of Motion Reliability with Two Methods and Associations with Demographics , Forward Head Posture , and Respiratory Mechanics in Patients with Non-Specific Chronic Neck Pain*.
- Woon, C. K. (2025). From protocol to publication: A step-by-step approach to systematic reviews in anatomical studies. *Research in Anatomy*, 53–70.
- Yin, N., Pollock, R. D., Giulio, I. Di, Hodkinson, P. D., & Formenti, F. (2024). *Sex differences in cervical disc height and neck muscle activation during manipulation of external load from helmets*. July, 1728–1738. <https://doi.org/10.1113/EP091996>