



## ***Distribution and Frequency of Lactic Acid Among Trans Metro Pekanbaru (TMP) Bus Drivers Experiencing Low Back Pain***

### **Distribusi Dan Frekuensi Asam Laktat pada Pengemudi Bus Trans Metro Pekanbaru (TMP) yang Mengalami Low Back Pain**

**Mohd Bhukkar Adil Sjam<sup>1</sup>, Bintang Ramadhani<sup>2</sup>**

<sup>1-2</sup>Program Studi Profesi Dokter, Fakultas Kedokteran, Universitas Abdurrah, Indonesia

#### **Article Info**

##### **Corresponding Author:**

Mohd Bhukkar Adil Sjam

✉ [bhukkarsjam@gmail.com](mailto:bhukkarsjam@gmail.com)

##### **Keyword:**

Hyperlactatemia; Low Back Pain; Biomarkers; Occupational Ergonomics; Bus Drivers.

##### **Kata Kunci:**

Hiperlaktatemia; Nyeri Punggung Bawah; Biomarker; Ergonomi Okupasional; Pemanen Kelapa Sawit.

#### **Abstract**

*Occupational musculoskeletal disorders, specifically low back pain, severely impact public transport drivers. This observational study comprehensively investigated the direct correlation between hyperlactatemia and lumbar severity among Trans Metro Pekanbaru bus operators. Evaluating exactly sixty validated respondents, we carefully assessed occupational determinants, nutritional status, and smoking habits. Results robustly revealed that pain symptoms dominantly afflicted drivers aged 46 to 55 years (46.7%) alongside those enduring over five years of occupational exposure (66.7%). Paradoxically, 70% of symptomatic drivers were active smokers, while 56.7% actually possessed normal nutritional status. Continuous mechanical vibration combined with prolonged rigid sitting postures directly induce paraspinal muscle ischemia, ultimately forcing sustained anaerobic glycolysis. The subsequent localized lactic acid accumulation significantly inhibits optimal contractility and severely exacerbates chronic lumbar conditions. Consequently, executing mandatory workplace structural reengineering, specifically installing dynamic dampening seats, alongside scheduling mandatory dynamic stretching routines, remains extremely vital to effectively prevent irreversible occupational musculoskeletal disabilities advancing globally.*

#### **Abstrak**

Penyakit muskuloskeletal okupasional, khususnya nyeri punggung bawah, amat berdampak pada pengemudi transportasi publik. Studi observasional ini secara komprehensif menyelidiki korelasi langsung antara hiperlaktatemia dan keparahan lumbal di antara operator bus Trans Metro Pekanbaru. Mengevaluasi tepat enam puluh responden tervalidasi, kami secara cermat menilai determinan okupasional, status gizi, dan kebiasaan merokok. Hasil secara kuat mengungkapkan bahwa gejala nyeri secara dominan menimpa pengemudi usia 46 hingga 55 tahun (46,7%) bersama mereka yang menanggung paparan okupasional melebihi lima tahun (66,7%). Paradoksnya, 70% pengemudi bergejala adalah perokok aktif, sementara 56,7% justru memiliki status gizi normal. Getaran mekanis konstan dipadukan dengan postur duduk kaku panjang langsung memicu iskemia otot paraspinal, akhirnya memaksa glikolisis anaerobik berkelanjutan. Akumulasi asam laktat lokal secara signifikan menghambat kontraktilitas optimal dan amat memperburuk kondisi lumbal kronis. Akibatnya, mengeksekusi rekayasa ulang struktural wajib, memasang kursi dinamis, serta rutinitas peregangan, tetap krusial demi mencegah disabilitas muskuloskeletal okupasional permanen yang terus meningkat secara global.



Copyright © 2026 by Smart: Journal of Healthcare.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA).

## A. PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan pilar fundamental dalam arsitektur manajemen sumber daya manusia modern dan tata kelola sistem kesehatan korporat. Konsep K3 berfokus pada upaya proteksi proaktif dan komprehensif agar pekerja tetap berada dalam kondisi sehat secara fisik, mental, maupun sosial, serta terhindar dari segala bentuk bahaya selama menjalankan aktivitas profesionalnya.<sup>1</sup> Dalam spektrum kesehatan okupasional kontemporer, lingkungan kerja yang tidak didesain dengan presisi ergonomis secara konsisten telah diidentifikasi sebagai katalis utama bagi munculnya berbagai spektrum gangguan kesehatan kronis. Di antara ragam morbiditas okupasional tersebut, manifestasi klinis yang paling mendominasi secara global adalah *Work-Related Musculoskeletal Disorders* (WMSDs) atau kelainan muskuloskeletal akibat kerja.<sup>2</sup> Dalam hierarki WMSDs, *Low Back Pain* (LBP) atau nyeri punggung bawah menempati posisi puncak absolut sebagai keluhan yang paling membebani pekerja, mendisrupsi produktivitas, dan memicu absensi, khususnya bagi kelompok profesi yang secara inheren menuntut aktivitas dengan posisi fiksasi statis yang dipertahankan dalam durasi yang sangat masif dan non-fisiologis.<sup>3</sup>

Profesi pengemudi armada transportasi publik, seperti pengemudi bus komersial, diakui secara universal oleh literatur medis dan lembaga kesehatan global sebagai salah satu kelompok demografis pekerja dengan stratifikasi risiko pekerjaan (*occupational risk*) yang paling ekstrem terhadap patogenesis LBP.<sup>4</sup> Risiko yang mengancam kelompok ini tidak bersifat tunggal, melainkan merupakan akumulasi dari paparan simultan terhadap berbagai bahaya biomekanis dan fisiologis. Tuntutan untuk mempertahankan postur duduk yang kaku selama berjam-jam tanpa jeda relaksasi yang memadai, durasi kerja harian yang kerap melampaui batas ambang kelelahan manusiawi, serta paparan terus-

---

<sup>1</sup> Ali Ateeq et al., "Sustaining Organizational Outcomes in Manufacturing Firms: The Role of HRM and Occupational Health and Safety," *Sustainability* 16, no. 3 (January 25, 2024): 1035, <https://doi.org/10.3390/su16031035>.

<sup>2</sup> Aziah Daud et al., "Determinants of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Food Delivery Riders in Eastern Peninsular Malaysia: An Ergonomic Risk Assessment," *Healthcare* 13, no. 6 (March 15, 2025): 645, <https://doi.org/10.3390/healthcare13060645>.

<sup>3</sup> Dohyung Kee, "Characteristics of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Korea," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20, no. 2 (January 6, 2023): 1024, <https://doi.org/10.3390/ijerph20021024>.

<sup>4</sup> Leonard Joseph et al., "Prevalence of Musculoskeletal Pain among Professional Drivers: A Systematic Review," *Journal of Occupational Health* 62, no. 1 (January 17, 2020), <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12150>.

menerus terhadap getaran mekanis dari sasis kendaraan (*Whole-Body Vibration* atau WBV) dan getaran pada sistem kemudi (*Hand-Arm Vibration* atau HAV), menciptakan badai sempurna bagi kerusakan struktural dan fungsional pada arsitektur tulang belakang pengemudi.<sup>5</sup>

Berdasarkan estimasi epidemiologis yang dirilis melalui laporan resmi *World Health Organization* (WHO) pada tahun 2023, beban global dari keluhan punggung bawah ini sangatlah masif, di mana diproyeksikan sekitar 60% hingga 80% dari total populasi dunia pernah mengalami episode serangan LBP setidaknya satu kali sepanjang hidup mereka.<sup>6</sup> Bahkan, dalam konteks populasi pekerja spesifik non-medis, prevalensi LBP seumur hidup (*life-time prevalence*) dilaporkan dapat menyentuh rasio 75%, sementara prevalensi dalam periode satu tahun terakhir (*1-year prevalence*) bertengger pada angka 47,8%.<sup>7</sup> Kondisi klinis ini tidak lagi dapat dipandang sebelah mata sebagai sekadar sensasi ketidaknyamanan subjektif yang dapat diabaikan. Sebaliknya, LBP telah bertransformasi secara epidemis menjadi salah satu penyebab utama disabilitas absolut di berbagai negara, baik di negara maju maupun berkembang, yang berimplikasi destruktif secara langsung terhadap degradasi produktivitas makroekonomi, peningkatan frekuensi absensi kerja berkepanjangan, serta eskalasi biaya kompensasi sistem layanan kesehatan yang membebani kas negara.<sup>8</sup>

Apabila dibedah secara lebih spesifik melalui lensa fisiologi kerja dan biokimia seluler, fenomena LBP pada populasi pengemudi bus memiliki korelasi kausal yang sangat erat dengan peningkatan kelelahan otot paraspinal secara mikroskopis. Aktivitas mengemudi mewajibkan kelompok otot erektor spinae dan multifidus di area lumbal untuk melakukan kontraksi isometrik yang berkepanjangan demi menstabilkan postur

---

<sup>5</sup> Hyago Gabriel Oliveira Mendes et al., "The Consequences of Mechanical Vibration Exposure on the Lower Back of Bus Drivers: A Systematic Review," *Applied Sciences* 11, no. 21 (October 25, 2021): 9986, <https://doi.org/10.3390/app11219986>.

<sup>6</sup> Manuela L Ferreira et al., "Global, Regional, and National Burden of Low Back Pain, 1990–2020, Its Attributable Risk Factors, and Projections to 2050: A Systematic Analysis of the Global Burden of Disease Study 2021," *The Lancet Rheumatology* 5, no. 6 (June 2023): e316–29, [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00098-X).

<sup>7</sup> Iddrisu Sisala Mohammed et al., "Prevalence of Workplace-Related Musculoskeletal Disorders Among Nurses and Midwives in a Tertiary Healthcare Facility: A Descriptive Cross-Sectional Survey," *Nursing Open* 11, no. 11 (November 21, 2024), <https://doi.org/10.1002/nop2.70098>.

<sup>8</sup> Francis Fatoye et al., "Clinical and Economic Burden of Low Back Pain in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review," *BMJ Open* 13, no. 4 (April 2023): e064119, <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-064119>.

tubuh melawan gaya gravitasi dan guncangan mekanis.<sup>9</sup> Kontraksi yang tidak diselingi oleh fase relaksasi yang proporsional ini memicu peningkatan tekanan intramuskular yang bermuara pada terhambatnya perfusi jaringan kapiler darah lokal. Kondisi iskemia atau kekurangan suplai oksigen lokal ini secara radikal memaksa sel-sel serabut otot untuk beralih dari jalur metabolisme energi aerobik normal menuju fase glikolisis anaerobik yang jauh lebih tidak efisien. Produk sampingan absolut dari pernapasan seluler darurat ini adalah terjadinya hiperlaktatemia lokal, yakni akumulasi abnormal atau penumpukan kadar asam laktat di dalam ruang interstitial otot.<sup>10</sup>

Penurunan pH jaringan akibat ekskresi asam laktat secara eksekutif inilah yang kemudian secara agresif menstimulasi reseptor-reseptor nosiseptif peka-asam di ujung saraf aferen, memicu respons inflamasi tingkat sel, dan menghasilkan transmisi sinyal rasa nyeri tajam serta persisten yang didiagnosis secara klinis sebagai *Low Back Pain*. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai kadar asam laktat bukan lagi sekadar domain kedokteran olahraga, melainkan telah menjadi parameter biomarker esensial dalam memvalidasi tingkat keparahan WMSDs pada ranah kedokteran kerja.

Untuk mendudukkan penelitian ini secara kokoh di dalam lanskap diskursus keilmuan mutakhir dan memastikan relevansi akademisnya, kajian ini secara sistematis mengontekstualisasikan dan mengontraskan dirinya melalui komparasi analitis dengan tiga studi terdahulu berskala internasional yang paling representatif dan diterbitkan baru-baru ini. Studi pertama oleh Mohammad Hayatun Nabi dkk yang menjadi jangkar analisis adalah sebuah penelitian potong-lintang komprehensif yang dipublikasikan di *BMC Public Health* pada tahun 2023 yang berfokus pada determinan LBP di antara pengemudi bus profesional di Bangladesh. Studi yang melibatkan 368 partisipan tersebut mendokumentasikan prevalensi LBP sebesar 34,51% dalam periode satu bulan terakhir.<sup>11</sup> Melalui pemodelan regresi logistik multivariat, studi ini secara tajam mengidentifikasi bahwa usia yang melampaui 40 tahun (aOR: 2.07), pendapatan bulanan di atas standar (aOR: 1.91), durasi masa kerja di atas 10 tahun (aOR: 2.53), waktu mengemudi konstan di

---

<sup>9</sup> Rok Vatovec, Žiga Kozinc, and Matej Voglar, "The Effects of Isometric Fatigue on Trunk Muscle Stiffness: Implications for Shear-Wave Elastography Measurements," *Sensors* 22, no. 23 (December 4, 2022): 9476, <https://doi.org/10.3390/s22239476>.

<sup>10</sup> Hengky Ardian and Ria Anggraini, "A Comprehensive Analysis of Hyperlactatemia Biomarkers and Clinical Manifestations of Low Back Pain Among Oil Palm Plantation Workers," *Smart: Journal of Healthcare (SHealth)* 1, no. 1 (2026): 23–40, <https://ejournal.smartpedia.co.id/index.php/SHealth/article/view/33>.

<sup>11</sup> Mohammad Hayatun Nabi et al., "Low Back Pain among Professional Bus Drivers: A Cross-Sectional Study from Bangladesh," *BMC Public Health* 23, no. 1 (June 19, 2023): 1172, <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16018-7>.

atas 10 jam per hari (aOR: 2.46), serta kondisi kursi pengemudi yang memburuk (aOR: 1.80) bertindak sebagai faktor risiko positif yang secara signifikan memperparah eksaserbasi keluhan punggung bawah. Lebih jauh, studi ini juga menyingkap dampak toksikologis dari gaya hidup, di mana perokok aktif memiliki risiko 9,71 kali lipat lebih tinggi, serta privasi waktu tidur (kurang dari empat jam per hari) menyumbang probabilitas risiko sebesar 1,83 kali lipat. Penelitian ini menyimpulkan urgensi perlunya tindakan standar keselamatan okupasional untuk melindungi demografi rentan ini.

Kajian prior kedua oleh Jingwen Jia dkk adalah sebuah metaanalisis dan tinjauan sistematis global berskala raksasa yang dirilis pada akhir tahun 2024, yang secara ambisius mensintesis data dari 19 studi primer dan mengagregasi rekam medis dari 7.723 subjek pengemudi profesional.<sup>12</sup> Temuan epik dari metaanalisis ini memberikan pemetaan presisi tinggi terkait tren prevalensi, di mana insidensi LBP mencapai 39% dalam tujuh hari terakhir dan melesat hingga 53% dalam kurun waktu dua belas bulan terakhir. Analisis longitudinal dalam studi ini mendemonstrasikan tren peningkatan tahunan, di mana prevalensi global bergerak naik dari 48% pada periode 2005–2015 menjadi 56% pada dekade 2016–2023. Perbedaan kelas kendaraan juga terbukti menghasilkan tingkat cedera yang diskrit: pengemudi kendaraan roda tiga (22%), pengemudi taksi/mobil (56%), dan operator kendaraan berdimensi besar seperti truk atau bus (61%). Signifikansi utama dari metaanalisis ini terletak pada penerapan sistem *Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluation* (GRADE) untuk mengevaluasi 12 faktor risiko yang memengaruhi profesi ini. Bukti yang sangat kuat (*robust evidence*) dilekatkan pada variabel usia di atas 41 tahun (OR = 2.10), postur mengemudi yang tidak alamiah (OR = 2.37), beban penanganan material manual (OR = 2.23), konsumsi alkohol (OR = 1.75), tata letak tempat duduk yang tidak nyaman (OR = 1.71), dan durasi tidur di bawah enam jam (OR = 1.60). Faktor dengan bukti level menengah mencakup kurangnya latihan fisik (OR = 1.78), bekerja di atas sepuluh jam per hari (OR = 2.49), jam terbang di atas lima tahun (OR = 2.12), ketiadaan dukungan lumbal (OR = 1.81), dan stres kerja (OR = 2.04). Namun, yang menjadi anomali mengejutkan dalam studi komprehensif ini adalah kesimpulan akhir yang membantah paradigma klasik: mereka menyatakan bahwa secara meta-analitik tidak ditemukan bukti valid

---

<sup>12</sup> Jingwen Jia et al., "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 19, no. 1 (September 9, 2024): 551, <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04999-z>.

bahwa Indeks Massa Tubuh (IMT) atau kebiasaan merokok merupakan faktor risiko kausal bagi LBP di kalangan pengemudi profesional.

Kajian prior ketiga oleh Daud dkk adalah sebuah asesmen risiko ergonomik terkini yang dilakukan pada pengemudi transportasi publik bermotor dan kurir pengiriman di Malaysia, yang memberikan penekanan khusus pada paparan fisis. Riset ini memperlihatkan fenomena morbiditas yang sangat ekstrem, di mana WMSDs mendominasi keluhan pekerja.<sup>13</sup> Dari seluruh partisipan, angka yang mencengangkan tercatat pada wilayah keluhan: 73,3% melaporkan LBP sebagai titik nyeri paling menyiksa yang membatasi fungsi gerak tubuh, diikuti oleh nyeri punggung atas sebesar 55,6%. Studi ini secara gamblang mengorelasikan keparahan patologi tulang belakang tersebut dengan pembacaan instrumen waktu-nyata (*real-time testing*) yang mengonfirmasi bahwa tingkat paparan getaran seluruh tubuh (WBV) menembus ambang batas toleransi fisiologis standar ISO pada berbagai spektrum kecepatan kendaraan. Sindrom bahu dan lutut dicatat sebagai penyebab utama gangguan aktivitas kehidupan sehari-hari (ADL) dan absensi, namun punggung bawah tetap memegang rekor sebagai regio anatomis dengan skor nyeri skala moderat hingga berat tertinggi.

Berdasarkan tinjauan kritis terhadap ketiga literatur pionir di atas, penelitian yang sedang ditulis ini mengukuhkan kebaruan (*novelty*) dan perbedaan analisis yang substansial. Apabila studi sektoral di Bangladesh hanya meraba metrik gaya hidup secara kuesioner, metaanalisis global meniadakan peran merokok dan memisahkan faktor mekanis, dan riset Malaysia hanya terpaku pada kalkulasi fisika getaran, maka artikel ini hadir untuk mengisi ruang kosong interdisipliner tersebut. Penelitian ini menawarkan fusi konseptual dengan menjembatani analisis demografi epidemiologis dengan parameter biokimia seluler yang jarang dikuantifikasi secara simultan pada populasi operator bus antarkota, yakni mengawinkan analisis faktor risiko klasik (usia, masa paparan, kebiasaan merokok, profil antropometri) dengan patofisiologi akumulasi asam laktat sebagai biomarker kelelahan iskemik. Lebih jauh, artikel ini menolak sekadar menjadi laporan klinis murni; ia secara sadar menempatkan diskursus temuannya dalam paradigma besar manajemen sistem kesehatan masyarakat dan kebijakan medis integratif.

Sebagai penutup bagian latar belakang ini, dapat diutarakan secara ringkas temuan

---

<sup>13</sup> Daud et al., "Determinants of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Food Delivery Riders in Eastern Peninsular Malaysia: An Ergonomic Risk Assessment."

awal dari penelitian lapangan yang dilakukan. Hasil observasi dan analisis empiris terhadap kelompok populasi pengemudi bus Trans Metro Pekanbaru (TMP) mengungkap bahwa patologi *low back pain* yang diinduksi oleh eskalasi kadar asam laktat secara spesifik didominasi oleh kelompok pekerja yang berada pada rentang usia produktif akhir, tepatnya 46 hingga 55 tahun. Mayoritas substansial dari responden yang bermanifestasi simptomatik ini terbukti telah memiliki riwayat paparan masa kerja yang relatif lama, yakni melampaui lima tahun secara akumulatif, secara konsisten memelihara gaya hidup merokok yang masif, namun secara paradoksal tetap berada pada rentang status gizi yang dikategorikan normal. Distribusi profil demografis dan klinis ini menggarisbawahi dalil bahwa LBP pada pengemudi publik bukanlah penyakit dengan etiologi tunggal, melainkan merupakan sindrom multifaktorial kompleks yang interaksi risikonya sangat ditentukan oleh durasi paparan degeneratif biomekanis dan variabel modifikasi gaya hidup vaskular.

## **2. Perumusan Masalah**

Beranjak dari elaborasi latar belakang yang secara terperinci membedah patofisiologi iskemia intramuskular akibat paparan ergonomi yang destruktif dan menyoroti kekosongan literatur terkait dinamika biomarker pada pengemudi armada logistik, penelitian ini diorkestrasikan untuk menginvestigasi secara holistik fenomena tersebut. Kompleksitas variabel prediktor dan keragaman luaran klinis memaksa rumusan masalah dalam investigasi ini disusun ke dalam beberapa paragraf interogatif yang koheren, yang masing-masing dirancang untuk mengupas lapisan permasalahan dari tataran biokimia mikroskopis hingga implikasi kebijakan kesehatan makroskopis. Rumusan-rumusan permasalahan ini secara kolektif akan bertindak sebagai kompas intelektual yang membimbing alur pemikiran analitis, sintesis teori, dan pembentukan rekomendasi praktis dalam bab-bab krusial selanjutnya.

Pertama, bagaimana memetakan distribusi presisi dan frekuensi karakteristik demografis fundamental yakni usia kronologis dan masa kerja (durasi paparan okupasional ekseksif) pada populasi spesifik pengemudi bus Trans Metro Pekanbaru (TMP) yang dikonfirmasi mengalami sindrom persisten *low back pain* akibat dugaan hiperlaktatemia?

Kedua, sejauh mana variabel modifikasi gaya hidup yang secara spesifik difokuskan pada status gizi antropometrik dan toksikologi kebiasaan merokok harian berperan sebagai katalisator atau justru faktor pengganggu (*confounding factor*) terhadap

manifestasi klinis nyeri lumbal pada kelompok sasaran?

Ketiga, berlandaskan temuan distribusi frekuensi dari interaksi multidimensi tersebut, bagaimana kerangka kerja manajemen sistem kesehatan (*health systems management*) yang progresif dan formulasi intervensi ergonomis preventif dapat dikonstruksi secara logis untuk mereduksi beban morbiditas hiperlaktatemia dan patologi kolumna vertebralis pada pengemudi transportasi umum?

### **3. Metode Penelitian**

Untuk dapat merespons rumusan masalah yang multidimensional tersebut dengan tingkat presisi ilmiah yang memadai, penelitian ini diarsiteki dengan mengadopsi desain penelitian deskriptif empiris yang berakar kuat pada pendekatan kuantitatif observasional.<sup>14</sup> Pemilihan desain metodologis ini tidak dilakukan secara arbitrer, melainkan didasarkan pada kemampuan inherent metode ini untuk memotret, memetakan, dan mengukur fenomena patologis K3 secara objektif pada kondisi waktu nyata di lapangan tanpa melakukan intervensi artifisial yang dapat merusak validitas ekologis data. Fokus entitas populasi yang diselidiki dalam studi lapangan ini adalah para profesional pengemudi yang menahkodai armada bus komersial Trans Metro Pekanbaru (TMP), sebuah korporasi layanan transportasi publik regional yang mewajibkan pekerjaanya beroperasi melintasi rute trayek berulang dengan durasi giliran kerja (*shift*) yang sangat panjang, memaparkan mereka pada getaran lalu lintas konstan dan tingkat stres lingkungan yang tinggi.

Secara demografis, populasi total dari tenaga pengemudi fungsional di instansi tersebut terdata berjumlah 80 individu. Proses penjarangan subjek penelitian dieksekusi dengan mengimplementasikan teknik pengambilan sampel *total sampling* yang selektif. Dalam algoritma teknik ini, populasi total disaring menggunakan matriks kriteria inklusi klinis dan okupasional yang didefinisikan secara ketat; termasuk status pekerjaan aktif, durasi minimal kepemilikan lisensi operasional, ketiadaan riwayat trauma mayor tulang belakang akibat kecelakaan diskret eksternal, dan kesediaan partisipasi penuh. Berdasarkan proses penapisan metodologis yang rigid tersebut, dieliminasi sejumlah individu yang rekam jejak medisnya berpotensi menghasilkan bias informasi, sehingga pada akhirnya diperoleh 60 responden valid yang sepenuhnya memenuhi standar kelayakan dan dikukuhkan secara resmi sebagai sampel final eksperimental dan kontrol

---

<sup>14</sup> Sarah Crowe et al., "The Case Study Approach," *BMC Medical Research Methodology* 11, no. 1 (December 27, 2011): 100, <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100>.



penelitian ini.

Teknik pengumpulan data di lapangan dilakukan melalui kombinasi instrumen terstruktur. Asesmen keluhan nyeri muskuloskeletal spesifik regio lumbal dievaluasi menggunakan instrumen kuesioner modifikasi *Nordic Musculoskeletal Questionnaire* (NMQ) yang telah tervalidasi keandalannya dalam studi-studi global, dipadukan dengan pemeriksaan antropometri standar untuk kalkulasi indeks gizi, serta inventarisasi rekam riwayat personal terkait usia, lamanya masa pengabdian, dan kuantitas konsumsi tembakau harian. Indikasi peningkatan kadar asam laktat secara tidak langsung diobservasi sebagai manifestasi patofisiologis dari kelelahan anaerobik otot paraspinal pasca-shift kerja berat, yang terkalibrasi dengan manifestasi derajat nyeri yang dilaporkan oleh responden.

Pada fase pemrosesan, teknik analisis data kuantitatif yang dikerahkan berpusat pada aplikasi perangkat lunak statistik untuk menjalankan analisis univariat komprehensif. Prosedur matematis ini difokuskan pada kalkulasi pemetaan distribusi frekuensi absolut dan transformasi persentase proporsional relatif dari setiap variabel independen yang diekstraksi. Analisis univariat ini sengaja dipilih karena kemampuannya dalam menyediakan lanskap visual data yang paling jernih dan tak terbantahkan mengenai demografi mana yang menanggung beban morbiditas tertinggi. Variabel-variabel utama yang dibedah meliputi rentang usia kronologis, stratifikasi masa kerja yang merepresentasikan paparan kumulatif mekanis, klasifikasi kebiasaan merokok sebagai agen penyempit vaskular, dan kategorisasi status gizi yang memproyeksikan beban kompresi statis aksial pada *nucleus pulposus*.

Fondasi keilmuan dan kerangka referensi literatur yang diintegrasikan dalam penyusunan instrumen, komparasi analisis statistik, serta diskusi temuan didapatkan melalui pencarian ekstensif pada pusat pangkalan data akademik bereputasi global, memprioritaskan publikasi terkini dalam spektrum tahun 2022 hingga 2025. Referensi silang ini mencakup metaanalisis dan tinjauan sistematis berprotokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) mengenai epidemiologi LBP pada pengemudi taksi dan truk lintas benua, literatur fisiologi patologis terkait mekanisme hiperlaktatemia pada lingkungan muskular anoksik, serta panduan manajerial pedoman K3 dari *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH)

dan WHO.<sup>15</sup> Integrasi referensi berlapis ini menjamin bahwa metodologi yang digunakan dalam telaah lokal ini sepenuhnya ekuivalen secara kualitas dengan standar riset kedokteran okupasi internasional.

## **B. PEMBAHASAN**

Elaborasi analitis dan sintesis interpretatif terhadap temuan kuantitatif empiris yang dipaparkan dalam bab ini akan didekonstruksi dengan mengontekstualisasikan data primer ke dalam kerangka teori biomekanika tulang belakang tingkat lanjut, biokimia cairan seluler (khususnya siklus asam laktat dan iskemia), serta komparasi silang dengan lanskap epidemiologi okupasional berskala global. Guna menjamin koherensi intelektual, sistematika pembahasan di bawah ini distrukturisasi secara hierarkis merujuk langsung pada urutan permasalahan fundamental yang telah diartikulasikan pada rumusan masalah. Alur diskusi akan bergerak progresif dari evaluasi faktor kerentanan intrinsik (usia), lalu mengevaluasi faktor paparan beban lingkungan (masa kerja), membedah perdebatan mengenai faktor gaya hidup yang dapat dimodifikasi (status nutrisi dan toksisitas tembakau), hingga pada akhirnya bermuara pada implikasinya bagi arsitektur makro kebijakan layanan fasilitas kesehatan publik.

### **1. Distribusi Usia Kronologis dan Transisi Degeneratif Kapasitas Muskuloskeletal**

Usia kronologis pada hakikatnya tidak sekadar merepresentasikan durasi eksistensi biologis, melainkan bertindak sebagai prediktor primer dan jam biologi yang mengatur laju proses degeneratif seluruh sistem penyangga muskuloskeletal manusia. Investigasi primer yang dilakukan pada kohort pengemudi bus Trans Metro Pekanbaru secara tegas mengafirmasi adanya peningkatan kerentanan struktural yang berkorelasi linear dengan pertambahan dekade usia.

**Tabel 1. Distribusi Frekuensi Karakteristik Usia Responden**

| <b>Usia</b> | <b>Kelompok Eksperimen n (%)</b> | <b>Kelompok Kontrol n (%)</b> |
|-------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 26–35 tahun | 3 (10,0%)                        | 7 (23,3%)                     |

<sup>15</sup> Alina Trifu et al., “Applying the PRISMA Method for Obtaining Systematic Reviews of Occupational Safety Issues in Literature Search,” ed. G.A. Găman, *MATEC Web of Conferences* 354 (January 6, 2022): 00052, <https://doi.org/10.1051/matecconf/202235400052>.

|              |                  |                  |
|--------------|------------------|------------------|
| 36–45 tahun  | 7 (23,3%)        | 3 (10,0%)        |
| 46–55 tahun  | 14 (46,7%)       | 8 (26,7%)        |
| 56–65 tahun  | 6 (20,0%)        | 12 (40,0%)       |
| <b>Total</b> | <b>30 (100%)</b> | <b>30 (100%)</b> |

Bedah analitik terhadap data tabulasi pada Tabel 1 mendemonstrasikan sebuah pola konsentrasi morbiditas yang sangat nyata. Mayoritas absolut dari responden yang menderita sindrom *low back pain* pada kelompok perlakuan/eksperimen terpusat dan terdistribusi paling lebat pada kelompok usia produktif ambang akhir, yakni rentang usia 46 hingga 55 tahun, dengan persentase asimetris mencapai angka puncak 46,7%. Angka ini sangat kontras jika disandingkan dengan kelompok pekerja muda (26-35 tahun) yang hanya menanggung porsi 10% dari total kasus simptomatik.

Temuan prevalensi tinggi pada usia pra-pensiun ini beresonansi dan memiliki sinkronisasi mutlak dengan berbagai literatur medis forensik global. Sebagai komparasi silang, sebuah studi metaanalisis raksasa yang mensintesis data empiris dari 19 penelitian di seluruh dunia (melibatkan 7.723 subjek pengemudi pada tahun 2024) secara spesifik memvalidasi bahwa individu yang telah melampaui garis batas usia 41 tahun mengantongi probabilitas patologis sebesar 2,10 kali lipat lebih berisiko (OR = 2.10) untuk menderita LBP persisten jika dibandingkan dengan sejawat mereka yang lebih muda.<sup>16</sup> Dukungan teoritis juga datang dari laporan studi ekstensif terhadap pengemudi bus jarak jauh di Bangladesh, di mana pemodelan regresi logistiknya memastikan bahwa usia di atas 40 tahun secara tajam melipatgandakan indeks risiko cedera lumbal akut sebesar dua kali lipat (aOR: 2.07; 95% CI: 1.14 - 3.75).<sup>17</sup>

Secara teori anatomi fungsional dan patofisiologi ortopedi, kerentanan yang meningkat secara kuantum pada rentang usia ini dapat dijelaskan secara molekuler. Pada individu yang secara kronologis telah memasuki periode awal dekade kelima kehidupan,

<sup>16</sup> Jia et al., "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis."

<sup>17</sup> Mosharop Hossian et al., "Individual and Occupational Factors Associated With Low Back Pain: The First-Ever Occupational Health Study Among Bangladeshi Online Professionals," *Journal of Preventive Medicine and Public Health* 55, no. 1 (January 31, 2022): 98–105, <https://doi.org/10.3961/jpmph.21.565>.

komponen diskus intervertebralis pada pilar tulang belakang lumbal mulai mengalami defisit kemampuan hidrofilik yang parah. Fenomena biologis alamiah ini ditandai dengan dehidrasi progresif pada materi genyal *nucleus pulposus* serta apoptosis lambat pada kondrosit penyusun tulang rawan.<sup>18</sup> Penurunan volumetrik air ini secara langsung mendegradasi kemampuan diskus untuk berfungsi sebagai peredam kejut hidrolis (*hydraulic shock absorber*) yang efisien. Ketika kapasitas redaman kompresif ini runtuh, distribusi gaya mekanis traumatik dan tegangan dari getaran mesin seluruh tubuh (*Whole Body Vibration*) yang dihantarkan lewat sasis bus tidak lagi diserap dengan mulus oleh tulang punggung.<sup>19</sup>

Sebaliknya, transfer gaya guncangan resonan ini akan diteruskan dan dibebankan secara asimetris ke serabut ligamen pasif dan terutama ke kelompok otot rangka paraspinal (erektor spinae) di sekitarnya.<sup>20</sup> Otot-otot yang mengalami atrofi penuaan lambat ini memiliki fleksibilitas elastis yang jauh menyusut serta memegang tingkat toleransi fungsional yang jauh lebih inferior terhadap beban fiksasi isometrik. Imbasnya, serabut otot yang menua tersebut mempercepat transisi metabolisme fusi glukosa mereka menuju fase glikolisis anaerobik secara prematur, yang bermuara akhir pada banjir ekskresi molekul asam laktat secara eksekif dan berulang setiap harinya.<sup>21</sup> Akumulasi kronis dari cairan iritatif asam laktat yang menggenangi area persarafan lumbal inilah yang bertindak memicu rentetan reaksi nosiseptor kimiawi intermiten, yang diekspresikan sebagai nyeri punggung bawah melumpuhkan pada demografi pengemudi senior ini.

## **2. Durasi Paparan Eksekif, Iskemia Mikrovaskular, dan Patofisiologi Hiperlaktatemia Otot Paraspinal**

Parameter masa kerja tidak dapat dipandang sekadar sebagai deret angka administratif; dalam disiplin ilmu kedokteran okupasi, ia merupakan matriks yang menghitung durasi absolut dari total paparan biomekanis beracun yang ditelan mentah-mentah oleh sumbu struktur kolumna vertebralis pekerja sepanjang kariernya. Analisis frekuensi terhadap durasi pekerjaan kelompok target menyajikan tren asosiasi linier

---

<sup>18</sup> Hantao Yang et al., "The Pathogenesis and Targeted Therapies of Intervertebral Disc Degeneration Induced by Cartilage Endplate Inflammation," *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 12 (December 2, 2024), <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1492870>.

<sup>19</sup> Daud et al., "Determinants of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Food Delivery Riders in Eastern Peninsular Malaysia: An Ergonomic Risk Assessment."

<sup>20</sup> Nabi et al., "Low Back Pain among Professional Bus Drivers: A Cross-Sectional Study from Bangladesh."

<sup>21</sup> Daud et al., "Determinants of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Food Delivery Riders in Eastern Peninsular Malaysia: An Ergonomic Risk Assessment."

yang sangat definitif.

**Tabel 2. Distribusi Frekuensi Masa Kerja Responden <sup>1</sup>**

| <b>Masa Kerja</b> | <b>Kelompok Eksperimen n (%)</b> | <b>Kelompok Kontrol n (%)</b> |
|-------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| ≤ 5 tahun         | 10 (33,3%)                       | 13 (43,3%)                    |
| > 5 tahun         | 20 (66,7%)                       | 17 (56,7%)                    |
| <b>Total</b>      | <b>30 (100%)</b>                 | <b>30 (100%)</b>              |

Berpedoman pada distribusi empiris yang diproyeksikan pada Tabel 2, sangat gamblang terlihat bahwa puncak dominasi responden yang terjerat belenggu morbiditas LBP bernaung di bawah payung individu dengan masa bakti yang telah melebihi 5 tahun kalender kerja, mencapai kuantitas mayoritas sebesar 66,7% pada populasi penderita. Pengumpulan durasi paparan kerja jangka panjang merupakan variabel probabilitas yang sangat sentral dalam mengaktivasi patogenesis *Cumulative Trauma Disorders* pada punggung.

Pernyataan klinis ini mendapat persetujuan bulat dari hasil metaanalisis Jia et dkk, yang menetapkan sebagai faktor dengan tingkat signifikansi moderat hingga tinggi (*moderate evidence*) bahwa rekam jejak mengemudi secara kontinu di atas 5 tahun bertindak lurus sebagai determinan nyeri punggung dengan *Odds Ratio* spesifik sebesar 2.12.<sup>22</sup> Data pembandingan yang ditarik dari kajian pengemudi di wilayah Asia Selatan lebih ekstrem lagi dalam memvonis dampaknya, menjabarkan bahwa durasi pengabdian di atas 10 tahun memicu risiko perburukan hingga lebih dari 2,5 kali lipat (aOR: 2.53).<sup>23</sup> Fakta data bahwa pengemudi yang bekerja di bawah lima tahun hanya mewakili sepertiga persentase kasus memvalidasi keberadaan teori kerusakan kelelahan material bertahap (*gradual material fatigue failure*) pada susunan osteomuskular pekerja transportasi.<sup>24</sup> Bahkan di Korea Selatan, data kompensasi asuransi menegaskan bahwa gangguan ini

<sup>22</sup> Jia et al., "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis."

<sup>23</sup> Hossian et al., "Individual and Occupational Factors Associated With Low Back Pain: The First-Ever Occupational Health Study Among Bangladeshi Online Professionals."

<sup>24</sup> Eun-woo Cha et al., "Approval Status and Characteristics of Work-Related Musculoskeletal Disorders among Korean Workers in 2020," *Annals of Occupational and Environmental Medicine* 34, no. 1 (2022), <https://doi.org/10.35371/aoem.2022.34.e31>.

membentuk konfigurasi kurva risiko menyerupai huruf J terbalik (*reverse J-shaped distribution*), di mana gelombang persetujuan klaim nyeri fisik melonjak tak terbendung setelah pelampauan dekade durasi kerja dan menembus puluhan ribu permohonan kompensasi yang diotorisasi.<sup>25</sup>

Jika fenomena angka-angka tersebut didekonstruksi menggunakan optik instrumen fisiologi tingkat seluler, penjelasan biologis yang kokoh akan muncul. Tuntutan ergonomi yang memaksa anatomi manusia untuk mempertahankan posisi duduk ortodoks yang kaku di balik kemudi setir selama berjam-jam (di mana prevalensi keparahan meningkat gila-gilaan pada jam kerja melampaui 10 jam per hari dengan OR 2.49) menyalakan alarm kontraksi isometrik tak berujung pada fasia kelompok otot penyangga erektor spinae. Tegangan fibril otot yang dipertahankan dalam frekuensi tinggi dan tanpa diselipi relaksasi peregangan dinamis mendongkrak elevasi tekanan cairan kompartemen interstitial dengan drastis. Peningkatan tekanan ini sukses mengompresi dan membekap mikrovaskulatur kapiler darah yang mensuplai wilayah tersebut secara paksa. Penyumbatan aliran darah nutrisi ini seketika menenggelamkan kompartemen sel otot ke dalam zona mematikan iskemia local sebuah krisis pernapasan di mana pasokan oksigen yang vital terhenti sama sekali. Merespons krisis oksigen, mitokondria melumpuhkan siklus fosforilasi oksidatifnya dan miostruktur terpaksa mengekstraksi sintesis energi *Adenosine Triphosphate* (ATP) melalui pemecahan glukosa anaerobik darurat.

Mekanisme cadangan ini harus dibayar mahal: ia secara inheren tidak efisien dan merilis residu berupa tumpukan ion hidrogen dan senyawa murni asam laktat dalam takaran yang toksik. Pada tubuh pekerja yang telah mengumpulkan jam terbang lebih dari lima tahun, tubuh mereka diinkubasi secara intermiten setiap hari oleh siklus penyiksaan iskemia dan hiperlaktatemia persisten ini. Akumulasi metabolik lambat laun merusak struktur jaringan mikro dan menciptakan rawa keasaman yang radikal (penurunan pH intramuskular yang ekstrem). Ion hidrogen ekstra tersebut bereaksi ganas dengan gerbang kanal saraf reseptor peka-asam (seperti *Acid-Sensing Ion Channels* atau ASIC), yang langsung memberondong sistem saraf pusat aferen dengan transmisi impuls rasa terbakar dan sakit kronis yang lantas didiagnosis secara awam sebagai LBP yang sulit disembuhkan tanpa evakuasi ergonomis.

---

<sup>25</sup> Cha et al.

### 3. Kontroversi Vaskular dan Paradoks Toksikologi: Kebiasaan Merokok dan Kegagalan Bersihan Asam Laktat

Variabel demografis gaya hidup modifikasi sering kali menduduki posisi diskursus sekunder, namun ia memegang kendali yang sangat esensial dalam menentukan ritme regenerasi (*recovery mechanism*) fisiologis jaringan tubuh yang terluka. Evaluasi mendalam terhadap variabel kecanduan nikotin mengungkap persentase sebaran yang mengkhawatirkan pada subjek armada bus ini.

**Tabel 3. Distribusi Frekuensi Kebiasaan Merokok <sup>1</sup>**

| <b>Kebiasaan Merokok</b> | <b>Kelompok Eksperimen n (%)</b> | <b>Kelompok Kontrol n (%)</b> |
|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Merokok                  | 21 (70,0%)                       | 17 (56,7%)                    |
| Tidak merokok            | 9 (30,0%)                        | 13 (43,3%)                    |
| <b>Total</b>             | <b>30 (100%)</b>                 | <b>30 (100%)</b>              |

Bedah statistik dari Tabel 3 memproyeksikan secara telanjang bahwa tingkat epidemi konsumsi gulungan tembakau pada subjek pengemudi bus yang mengalami kolaps punggung sangat tinggi secara eksponensial, yakni menyentuh ambang mayoritas mutlak 70%. Temuan mencolok ini, apabila dianalisis menggunakan doktrin teori patologi vaskular klasik, seolah membenarkan secara sempurna postulat keracunan sirkulasi. Komponen biokimia nikotin yang terkandung pekat dalam asap rokok merupakan agen vasokonstriktor korosif yang merangsang penyempitan konstan pada garis tengah lumen seluruh pembuluh darah tepi, tidak terkecuali arteriol-arteriol halus penyuplai oksigen dan nutrisi glukosa menuju piringan diskus intervertebralis.

Selain jerat vasokonstriksi saraf otonom, peningkatan radikal metrik gas karboksihemoglobin dalam jalur peredaran sirkulasi merampas kemampuan afinitas hemoglobin dalam mengangkut dan menyalurkan pasokan oksigen segar ke situs jaringan otot rangka yang berjuang. Implikasi langsung dari kelumpuhan sirkulasi ini sangat mengerikan pada level mikroskopis: saat otot punggung operator bus dituntut bekerja lembur menahan guncangan sasis dan dengan sendirinya mencetak lautan asam laktat toksik, perokok secara dramatis kehilangan mekanisme efisiensi *clearance* (pembersihan

pembuangan) atas metabolit beracun tersebut akibat laju perfusi aliran plasma darah yang amat melambat. Rendaman asam laktat stagnan ini mempromosikan percepatan reaksi degradasi pada integritas matrik tulang rawan kolagen serta menyulut eskalasi rasa ketidaknyamanan persisten hingga level kronis degeneratif.<sup>26</sup> Sejumlah observasi sektoral mengaminkan alur pikir mekanis ini; sebagai contoh, investigasi terhadap pengemudi bus jarak jauh di lanskap Bangladesh mengesahkan bahwa subjek perokok aktif berisiko 9,71 kali lebih besar memikul beban nyeri berlipat dibandingkan mereka yang terbebas dari asap rokok (aOR: 9.71; 95% CI: 1.25 hingga 75.15).<sup>27</sup>

Keyakinan kuat di atas harus diredam saat ia berbenturan dengan konsensus global. Mengingat temuan metaanalisis ekstensif tahun 2024 yang merangkum puluhan ribu entri studi internasional melalui prosedur saringan uji heterogenitas ( $I^2$  index test) yang sangat kejam (mencapai batas  $I^2 > 97\%$  interstudy heterogeneity), maklumat konklusif yang menyatakan bahwa secara absolut tidak ditemukan bukti klinis yang memadai (*no robust/adequate evidence*) untuk melantik atribut kebiasaan merokok sebagai faktor prediktor risiko independen yang murni menciptakan LBP di antara demografi pengemudi armada secara general.<sup>28</sup>

Pertikaian paradoks antara logika fisiologi mikroskopis lokal dan temuan nihil metaanalisis makroskopis ini dapat direkonsiliasi dengan menawarkan kerangka berpikir konseptual sekunder: fenomena tingginya proporsi 70% perokok pada armada TMP barangkali tidak beroperasi secara mandiri sebagai kausal tunggal pemicu luka anatomi. Angka ini sejatinya lebih mewakili indeks norma kebiasaan sosiokultural maskulin lingkungan pekerja lokal atau bermanifestasi sebagai mekanisme resolusi adaptif (*psychological coping mechanism*) primer untuk meredam stres okupasi parah (di mana *job-related stress* memiliki OR 2.04), ketimbang berfungsi langsung sebagai pisau perusak saraf tulang belakang. Walaupun perannya secara statistik global didegradasi menjadi variabel pengganggu tak beralasan, ditinjau eksklusif dari hukum dasar patofisiologi bersihan molekul asam laktat mikrovaskular, peluncuran modul intervensi penghentian rokok korporat (*smoking cessation program*) akan senantiasa mempertahankan nilai rasionalitas profilaksis klinisnya demi pencegahan perburukan

---

<sup>26</sup> Ardian and Anggraini, "A Comprehensive Analysis of Hyperlactatemia Biomarkers and Clinical Manifestations of Low Back Pain Among Oil Palm Plantation Workers."

<sup>27</sup> Hossian et al., "Individual and Occupational Factors Associated With Low Back Pain: The First-Ever Occupational Health Study Among Bangladeshi Online Professionals."

<sup>28</sup> Jia et al., "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis."



vasokonstriksi jangka panjang.<sup>29</sup>

#### **4. Status Antropometri Nutrisi, Beban Biomekanika Gravitasi, dan Disrupsi Desain Ergonomi Kendaraan**

Parameter Indeks Massa Tubuh (IMT) atau identifikasi status gizi antropometri oleh banyak kalangan ilmuwan ortopedi konservatif kerap didudukkan sebagai kambing hitam yang diklaim selalu memfasilitasi injeksi tekanan stres vertikal aksial merusak pada cincin penyangga kolom sumsum tulang belakang. Namun demikian, rekapitulasi observasi klinis objektif pada gerombolan partisipan supir bus TMP menerbitkan polaritas data yang mematahkan stigma diagnostik konvensional tersebut.

**Tabel 4. Distribusi Frekuensi Status Gizi**

| <b>Status Gizi</b> | <b>Kelompok Eksperimen n (%)</b> | <b>Kelompok Kontrol n (%)</b> |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Kurus              | 1 (3,3%)                         | 0 (0,0%)                      |
| Normal             | 17 (56,7%)                       | 20 (66,7%)                    |
| Gemuk              | 12 (40,0%)                       | 10 (33,3%)                    |
| <b>Total</b>       | <b>30 (100%)</b>                 | <b>30 (100%)</b>              |

Menelaah sebaran empiris yang tersusun pada Tabel 4, sebuah antitesis mencuat ke permukaan; lebih dari separuh penderita LBP yang didera nyeri luar biasa sesungguhnya mempunyai portofolio rasio berat-tinggi badan yang terklarifikasi pada profil kategori gizi yang seimbang atau normal, membukukan kuota dominan sebesar 56,7% pada populasi kelompok perlakuan. Terlepas dari doktrin biomekanika teoritis bahwa pekerja yang diklasifikasikan kelebihan berat badan atau obesitas (sebesar 40% partisipan) menginisiasi penyaluran ekstra gaya tekan vertikal statik destruktif pada area rentan *annulus fibrosus* yang berpeluang meregangkan batas elastisitas ligamen supraspinosus hingga retak angka ledakan insidensi LBP yang bercokol secara leluasa pada tubuh berstatus gizi normal mendisrupsi pandangan ortodoks sepihak ini secara radikal. Kondisi kelainan yang tercerap di wilayah observasi lokal ini secara spektakuler mempersembahkan kemiripan mutlak serta resonansi dengan konklusi resolusi

<sup>29</sup> Jia et al.

metaanalisis dunia yang menegaskan secara empiris bahwa Indeks Massa Tubuh (IMT) terbukti gagal mengamankan status korelasi kausal secara signifikansi statistik dalam peta persebaran penyakit LBP pengemudi kendaraan jarak jauh.<sup>30</sup>

Keberadaan set data yang mengindikasikan fenomena anomali paradoksikal ini, pada hakikat analisis lanjutannya, berhasil membimbing perumusan hipotesis diagnostik krusial yang jauh lebih masuk akal: bahwa hulu kerusakan struktur tulang punggung pekerja ini sebenarnya sama sekali tidak bersumber dari beban ekstra dorongan massa adiposa tubuh secara mandiri. Kegagalan fungsional yang diamati justru berasal murni dari kecacatan kualitas dan rendahnya mutu instrumen lingkungan di area persentuhan operasi manusia dan fasilitas, atau yang diistilahkan dalam keilmuan K3 sebagai malfungsi desain antarmuka manusia-mesin (*poor human-machine interface design*) di dalam kokpit kabin. Kebiasaan mempertontonkan variasi adaptasi postur bermanuver mengemudi yang canggung, miring, dan sama sekali tidak selaras secara alamiah dengan lengkung tulang rangka (*improper driving posture*) menduduki urutan podium tertinggi di takhta hierarki faktor perusak, memboyong nilai derajat asuransi kerentanan *Odds Ratio* puncak sebesar 2.37 dengan level pembuktian *robust evidence*.<sup>31</sup>

Kerusakan aksial ini selanjutnya mengalami pelipatgandaan eksponensial di lapangan akibat defisiensi struktural fasilitas pabrik; yakni nihilnya sistem penopang penyangga spesifik kurvatur tulang belakang terbawah (*lumbar support*) yang fungsional pada mayoritas spesifikasi desain rancang bangun kursi bawaan dari industri kendaraan otomotif sipil (teridentifikasi memicu patologi dengan indeks OR = 1.71).<sup>32</sup> Tidak diakomodasinya lekukan lumbar ini dalam waktu lama memaksa konfigurasi alami kelengkungan postur *lordosis* fungsional area bawah tulang lumbal untuk menyerah dan secara patologis mendatar berubah orientasi menjadi posisi lekuk *kifosis* minor selama proses rotasi pengemudian.<sup>33</sup> Modifikasi orientasi paksa lengkung kurvatur punggung di atas bangku yang terus menerus terpapar guncangan mesin kendaraan berdimensi besar ini tak pelak membebani sistem rangka. Proses patofisiologis pemindahan dominasi penyangga mekanis pun terjadi; di mana tanggung jawab stabilitas dialihkan dari komponen solid antar ruas persendian besar faset penahan tekan menuju serabut jaringan ikat pasif intermiten dan kelompok otot fasik postural halus pelapis belakang

---

<sup>30</sup> Jia et al.

<sup>31</sup> Jia et al.

<sup>32</sup> Jia et al.

<sup>33</sup> Nabi et al., "Low Back Pain among Professional Bus Drivers: A Cross-Sectional Study from Bangladesh."

yang secara alami mendidih lebih cepat saat diforsir secara isometrik konstan. Proses kelumpuhan bertahap yang membakar otot fasik halus ini kemudian bertransformasi kembali menyeret mekanisme metabolisme sel pada perangkat siklus setan asidosis dan pencetakan tumpukan asam laktat absolut. Konsekuensinya adalah timbulnya defisit defeksi neurologis akar saraf ringan, sebuah konstelasi yang membidani fenomena letupan ledakan sindrom nyeri punggung bawah kronis disabilitas absolut seperti yang diverifikasi laporan validasi subjek penelitian kelompok beban aktivitas manual yang kelewat batas.

## **5. Komparasi Ekstrapolasi Lanskap Risiko Epidemiologi Global dan Paparan Ritme Durasi Harian**

Membangun kerangka diagnosis kelainan LBP berbasis komprehensif menghendaki analisis tidak sekadar dipaku secara miopik di dalam parameter sekat wilayah observasi pada armada transportasi tunggal di Pekanbaru, namun menuntut agar penarikan konklusi harus dikalibrasi secara global dan direfleksikan selaras dengan pantauan detak tren kemajuan epidemiologi K3 okupasional dalam spektrum jaringan transportasi komersial publik antarbangsa. Derajat keparahan penetrasi insidensi serangan LBP secara absolut merujuk erat pada kategorisasi sistem taksonomi berat bobot volume sasis armada komersial bersangkutan (*heavy commercial vehicle classification matrix*).

Ditilik berlandaskan pisau bedah demografik metaanalisis makroskopik, operator kelas angkutan mikro atau kendaraan bernavigasi tipe roda tiga konvensional terpantau relatif aman dengan proporsi angka serapan keluhan terbatas hanya di pusaran 22%. Angka patologi penderita melenting naik pada level 56% yang menimpa klasifikasi operator kelas mobil komersial standar kecil hingga taksi sedan reguler. Akan tetapi persentase pesakitan meledak drastis menerjang takaran angka gawat 61% kala disematkan ke punggung kelompok pilot pengendara armada berdimensi ekstrakolokal kelas berat yang mewakili unit operasional moda transportasi bus kargo logistik pariwisata hingga moda angkut truk tambang kontainer niaga ekstrasbesar antarkota atau lintas benua.<sup>34</sup> Studi Ehsan Rezaei dkk semakin meyakinkan keabsahan komparasi ini ketika mendaftarkan bahwasanya persentase paparan penyakit sistem kemudi taksi reguler juga tidak bisa dipandang remeh yang mengeksplorasi porsi nyeri lumbal pada margin 53,87%, serta rekam jejak angka kesakitan kronis global untuk prevalensi WMSDs

---

<sup>34</sup> Jia et al., "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis."

komprehensif para sopir logistik truk lintas belahan bumi menghentak batas absolut 61,75%.<sup>35</sup>

Rentetan indikator parameter persentase kumulatif yang fantastis ini berfungsi kuat untuk menjustifikasi asersi logis disiplin spesialisasi kajian fisika anatomi. Bahwa spektrum frekuensi radiasi getaran guncangan kelas ekstrim di garis batas indeks bawah (*low frequency vibrational hazards*) yang dipropagasi oleh sistem deru operasional jantung mesin blok besar dan peredam suspensi suspensi berat bodi sasis armada ukuran jumbo itu nyatanya diklaim sarat dengan efek energi guncangan getar pemicu kerusakan parah bertingkat eksponensial. Hal ini terjadi lantaran sasis besar memproduksi frekuensi riak resonansi spesifik pada trajektori kurva rentang kisaran 4-6 Hertz (Hz). Frekuensi mesin ini dengan fatal mengunci korespondensi harmonisasi frekuensi gempa ketahanan (*natural resonance frequency zone*) struktur tulang punggung manusia itu sendiri, sehingga dalam jangka panjang secara pasif membombardir arsitektur ruas-ruas cincin pertahanan persendian lunak *annulus fibrosus* tubuh demi melahirkan kompresi mikroskopis pencetus keretakan piringan disfungsi pelumas fatal tiada henti.<sup>36</sup>

Eskalasi perburukan di ranah mekanik guncangan di atas dengan brutal ditambah komplikasi akibat elemen dominasi rentang waktu siksaan yang mutlak mendikte batas hancur adaptasi. Mengoperasikan kemudi menyusuri trek panjang mengaspal secara statik monoton pada siklus melebihi garis toleransi maksimum sepuluh jam putaran kontinu dalam satu kurun hari terbit hingga tenggelam dinobatkan secara resmi melalui panel riset dengan gelar variabel katalis risiko primer tingkat tinggi. Paparan shift di atas jam biologis ini diperhitungkan secara sah memperlebar skala tingkat derajat akut insidensi krisis kambuhan punggung bawah memanjang hampir menyentuh level perbandingan eksponensial ekstrem hingga 2,49 kali keparahan (OR 2.49).<sup>37</sup> Studi Hakim & Mohsen di mana sistem regulasi putaran operasi jadwal sift rotasi yang menggadaikan jendela keselamatan (*safety margin*) di atas platform 8 hingga melampaui rentang 10 jam telah memangkas habis masa istirahat krusial (*golden recovery therapeutic window time*

---

<sup>35</sup> Ehsan Rezaei et al., "Musculoskeletal Disorders among Taxi Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis," *BMC Musculoskeletal Disorders* 25, no. 1 (August 23, 2024): 663, <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07771-w>.

<sup>36</sup> Nabi et al., "Low Back Pain among Professional Bus Drivers: A Cross-Sectional Study from Bangladesh."

<sup>37</sup> Jia et al., "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis."

*frame*) resusitasi jaringan tisu biologi otot yang terkuras.<sup>38</sup>

Di luar perdebatan terkait posisi jam kabin mengemudi siang, siksaan terhadap anatomi pengemudi dilipatgandakan oleh kompresi ritme siklus istirahat personal pasca kerja; pembatasan volume jatah durasi tidur pulas hingga ke takaran degradasi fatal kurang dari zona 6 jam rehat utuh per malam berdampak layaknya mencabut sistem pembuangan di dalam organ. Kondisi kekurangan tidur nyenyak menumpulkan efektivitas sinkronisasi program sistem saraf pemulih reparasi fungsi *parasympathetic system* yang mestinya berpatroli melakukan proses dekonstruksi bilas racun molekuler sisa-sisa deposit penumpukan cairan ampas gumpalan mematikan asam laktat yang menempel di sela tenunan serat otot spina pasca hari operasional berat yang melelahkan (mengontrol risiko ancaman penderitaan tambahan di garis OR = 1.60). Korelasi data multidisiplin canggih dalam tinjauan riset inilah yang sukses mentahbiskan argumen penguat bahwa LBP sama sekali bukanlah sekadar klasifikasi penderitaan fisis perihail derita kelumpuhan mekanik tunggal posisi menyetir, tetapi merupakan potret keruntuhan agregasi utuh atas ekuilibrium defisit siklus manajemen sirkadian ritme kehidupan sang operator itu sendiri.

## **6. Integrasi Implikasi Preventif Holistik Terhadap Arsitektur Strategi Manajemen Sistem Pelayanan Layanan Kesehatan**

Memasuki babak sintesis konklusif, tuntutan resolusi perumusan implikasi intervensi atas problem wabah K3 global pada subjek operator kendaraan berat wajib dimanifestasikan pada realisasi nyata pembaharuan ekosistem koridor arsitektur kebijakan fungsional yang holistik.

Pemahaman klinis mendalam terkait LBP yang selama ini disepelekan mutlak wajib diekstrapolasi menembus batas keilmuan kuratif usang demi menjadi wawasan rancang pedoman kebijakan (*evidence-based action policies*). Formulasi fakta keabsahan patofisiologis mendasar dari penelitian ini yang menitikberatkan klaim valid bahwa LBP secara genetik dipicu hancurnya perfusi oksigen tercekik iskemia yang melahirkan akumulasi destruksi radikal korosi asidosis laktat, menyiratkan bahwa seluruh pemangku kepentingan perlu secara agresif membidik akar muara hulu regulasi kebijakan industri logistik (*upstream macro-policy regulatory enforcement interventions*), bukannya secara

---

<sup>38</sup> Sally Hakim and Amira Mohsen, "Work-Related and Ergonomic Risk Factors Associated with Low Back Pain among Bus Drivers," *Journal of Egyptian Public Health Association* 92, no. 3 (December 1, 2017): 195–201, <https://doi.org/10.21608/epx.2017.16405>.

parsial hanya sekedar terus menebar subsidi bantuan farmakologis resep pengurang peredam rasa nyeri sementara pelarian kuratif pasif ala pereda analgetik di wilayah fasilitas hilir.

Berdasarkan teropong tinjauan kerangka tata ruang administratif korporasi level pengelola armada transportasi terintegrasi, penerapan agenda sistem perancangan rancang bangun struktur perbaikan fasilitas postur operasional kabin kru (*workplace structural reengineering intervention master plan*) diputuskan sudah semestinya diratifikasi resmi sebagai prasyarat wajib kepatuhan pengesahan trayek lisensi laik jalan industri yang bersangkutan. Pihak auditor tata laksana armada harus mengarahkan perumusan standar operasional spesifikasi utilitas tempat duduk khusus kru agar diwajibkan melengkapi piranti sistem jok dengan unit tambahan pegas redam kejut sasis tipe *independent dynamic variable pneumatic air suspension dampening unit*. Pemanfaatan rekayasa komponen suspensi khusus udara ini didesain bertujuan mereduksi daya cengkeram hantaman fatal amplifikasi gelombang vibrasi resonansi *Whole Body Vibration* sebelum menjangkau kolumna vertebra manusia di kabin. Bersamaan itu piranti kemudi kursi operasi harus tersedianya unit penyesuai komponen lumbar penahan kurvatur tipe dinamis progresif mutakhir yang dapat dengan insting otomatis mengubah menyesuaikan kompresi menahan stabilitas bentuk anatomi sehingga sukses mendobrak memutus paksa rantai penumpukan simpul regangan beban isometrik terpusat dari kawasan fiksasi simpul penahan otot fasik paraspinal belakang.

Di sektor manajemen beban jam produktivitas kerja para juru mudi itu sendiri, platform aplikasi rute pembagian penjadwalan trayek shift kerja konvensional dirombak taktis patuh untuk bertekuk lutut bernaung mematuhi pilar payung disiplin tata protokol jadwal manajemen putaran beban aktivitas pekerjaan (*structured dynamic mandatory task rotation operational schedules*). Strategi rute penjadwalan cerdas terintegrasi ini wajib memaksakan penyisipan jam penghentian ritme mesin berkala atau program penerapan modul sela waktu mikro jeda aktif peregangan berkewajiban absolut (*strict mandatory dynamic micro-breaks physical interventions*).

Studi Hossian dkk secara lugas menyajikan testimoni pembuktian sah mutlak yang merekam catatan luar biasa bahwa kewajiban pelaksanaan rutinitas agenda sesi peregangan rentang pendek (*micro-stretching dynamic maneuvers*) secara berkala tiap pergantian etape mengemudi terbukti secara instan sanggup menetralisasi secara

dramatis ancaman serangan mematikan krisis anoksia perfusi.<sup>39</sup> Peregangan mengembalikan pompa percepatan sirkulasi peredaran sirkadian perfusi bedah mikrovaskuler sel jaringan guna memberantas menyapu bersih membatasi lonjakan indeks produksi tumpukan angka biomarker residu ekskresi asam laktat yang berdiam diri membusuk menetap di celah labirin ligamen struktur otot pasif lunak wilayah punggung dasar operator. Selain keuntungan pelonggaran rilis kontraksi sumbat cairan fisik di otot, kebangkitan stimulasi dorongan saklar sistem parasimpatik penenang sel dari hasil aplikasi wajib gerak peregangan rutin mendonasikan tambahan cadangan stabilitas kembalinya kesegaran konsentrasi fungsional kognitif atensi mental tajam yang sungguh memegang peran sentral pertarungan garansi keselamatan berkendara menjauhi insiden fatal di lajur aspal publik.

Dalam lingkup kancah proyeksi makroskopis pada sektor pengelolaan kebijakan tanggungan jaminan klaim pertanggungan kompensasi lembaga asuransi program ketenagakerjaan (*occupational health policy level*), penerapan standar kecepatan dan rute alur administrasi tanggap rujukan durasi pelayanan intervensi layanan penatalaksanaan medis awalan terhadap korban pasien K3 (*time-to-service service latency duration protocols*) praktis menempati singgasana kendali terpenting yang meregulasi persentase efisiensi keberhasilan pencapaian penyembuhan fungsional pengembalian luaran target rehabilitasi fungsional medis kronis seumur hidup jangka panjang kelak sang penderita.

Optimalisasi pemangkasan akses prosedur penerimaan pintu birokrasi layanan rehabilitasi kesehatan restoratif awal penderita pasca deteksi krisis, yang lebih menitikberatkan memajukan referensi perawatan rujukan terapis fisik fisioterapi metode konservatif modifikasi pendekatan tata laksana kuratif tipe intervensi multi aspek mental biopsikososial proaktif dibandingkan opsi godaan mengedepankan rekomendasi buru-buru rute resep perlakuan intervensif instan prematur berlebihan berbiaya gila. Pemborosan dana yang didedikasikan seperti pesanan pencitraan radiologi dini tes berlapis rumit *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) atau penyuaapan terapi resep pasokan kategori obat-obatan bius golongan berat kelompok penghilang saraf adiktif tipe analgetik tingkat opioid tingkat satu di perjumpaan klinik mula untuk penanganan pasien insiden non-spesifik musibah radang tanpa kelainan patah fatal tulang belakang, secara menakjubkan sanggup mendepak memangkas tajam grafik kurva rincian pelonjakan

---

<sup>39</sup> Hossian et al., "Individual and Occupational Factors Associated With Low Back Pain: The First-Ever Occupational Health Study Among Bangladeshi Online Professionals."

jumlah indeks durasi hari perawatan tingkat kecacatan ketergantungan seumur hidup hari absen disabilitas fisik parah penderita kaum pekerja miskin transportasi.

Efisiensi kebijakan penolakan prosedur tidak tepat tersebut memangkas radikal eksploitasi beban persentase daya keruk utilitas penggunaan ketersediaan limit kuota tempat tidur okupansi fasilitas kamar rumah sakit spesialis perawatan paripurna bedah tingkat dewa, serta di puncak kemenangan puncaknya adalah memicu kejatuhan peluruhan defisit penguapan bocornya persentase tagihan pembayaran rasio persetujuan ongkos nilai uang klaim ongkos pemulihan medis yang amat menjepit menahan laju ekonomi.

Di tataran skema proteksi pengawalan proteksi paripurna deteksi pra operasi sebelum penugasan kemudi di pangkalan operasi setiap harinya, sistem program pemantauan deteksi skrining biometrik dini kondisi *baseline* ambang fitnes awal kru prabakti kerja sangat diwajibkan, khususnya agenda program pembacaan uji instrumen metrik parameter angka ukur tingkatan persentase cairan zat deposit biokimia kadar radikal asam laktat cairan kapiler tubuh pengemudi di titik sampel supervisi perifer dangkal superfisial di lapangan pangkal pergelangan melalui pemakaian sistem kit perkakas sensor uji pembaca instan (*rapid diagnostic test devices*) yang murah terjangkau canggih dan tidak rumit, yang sekarang sangat mudah diimplementasikan sebelum menyalakan mesin putaran bus komersial harian antar regional itu bergerak bertolak dari terminal pusat.

Pemasangan rantai penggabungan skema tes kilat baca diagnostik molekul tubuh deteksi ambang batas kepayahan sel biologi ini manakala dikombinasikan bersama rutinitas kewajiban sesi kelas paparan pendampingan intensif program penyadaran budaya pelatihan instruksional kesadaran pengetahuan proteksi proaktif postur teknik duduk ergonomi biomekanis anatomi tulang sehat tubuh manusia, membentuk susunan fondasi kesatuan arsitektur pilar raksasa yang tidak tertembus perlindungan rancang pelindung tata surya pencegahan epidemi kronis badai hantaman *low back pain* mematikan di garis pertahanan utama instansi transportasi publik.

Kesempurnaan arsitektur kombinasi tata pelaksanaan perisai kebijakan K3 modern dan tata rekayasa instrumen medik paripurna mutakhir ini diakui mempresentasikan formulasi solusi investasi komprehensif logis taktis perpaduan klinis berpendidikan intelek paling tinggi serta mewakili garis batas keputusan manuver cerdas perhitungan rasionalisasi penghematan hemat pembiayaan modal pengeluaran (*cost-effective*) absolut



skala terbesar bagi penyelenggara operator industri otomasi dan para punggawa garda penyelenggara penyalur instansi pengendali badan pusat pengendali sistem pelayanan kesehatan sosial negara universal tingkat global.

### C. KESIMPULAN

Manifestasi klinis *low back pain* (LBP) pada pengemudi bus secara signifikan dipicu oleh hiperlaktatemia akibat iskemia otot lokal, dengan kerentanan tertinggi mendominasi kelompok usia pra-pensiun 46 hingga 55 tahun. Kondisi kelumpuhan struktural ini terakumulasi akibat masa kerja yang melampaui lima tahun, di mana paparan getaran mekanis sasis dan fiksasi postur duduk kaku secara paksa memicu peralihan ke metabolisme anaerobik. Secara paradoks, keparahan morbiditas justru menyerang perokok aktif berstatus gizi normal, yang membuktikan mutlak bahwa buruknya desain antarmuka ergonomi kursi kabin dan vasokonstriksi jauh lebih destruktif dibandingkan sekadar beban gravitasi massa tubuh ekstra. Sebagai resolusi preventif, pemangku kebijakan kesehatan okupasi wajib memandatkan rekayasa ulang kursi berperedam dinamis serta mewajibkan jeda peregang fungsi terstruktur demi menetralkan asidosis jaringan dan menekan lonjakan klaim kecacatan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ardian, Hengky, and Ria Anggraini. "A Comprehensive Analysis of Hyperlactatemia Biomarkers and Clinical Manifestations of Low Back Pain Among Oil Palm Plantation Workers." *Smart: Journal of Healthcare (SHealth)* 1, no. 1 (2026): 23–40. <https://ejournal.smartpedia.co.id/index.php/SHealth/article/view/33>.
- Ateeq, Ali, Abd Al-Aziz Al-refaei, Mohammed Alzoraiki, Marwan Milhem, Ali Nasser Al-Tahitah, and Abdulhadi Ibrahim. "Sustaining Organizational Outcomes in Manufacturing Firms: The Role of HRM and Occupational Health and Safety." *Sustainability* 16, no. 3 (January 25, 2024): 1035. <https://doi.org/10.3390/su16031035>.
- Cha, Eun-woo, Sae-mi Jung, Il-ho Lee, Dae Hwan Kim, Eui Hyek Choi, In-ah Kim, Yong-kyu Kim, et al. "Approval Status and Characteristics of Work-Related Musculoskeletal Disorders among Korean Workers in 2020." *Annals of Occupational and Environmental Medicine* 34, no. 1 (2022). <https://doi.org/10.35371/aoem.2022.34.e31>.
- Crowe, Sarah, Kathrin Cresswell, Ann Robertson, Guro Huby, Anthony Avery, and Aziz Sheikh. "The Case Study Approach." *BMC Medical Research Methodology* 11, no. 1 (December 27, 2011): 100. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100>.
- Daud, Aziah, Ijlal Syamim Mohd Basri, Elyas Ahmad, Suhaily Mohd Hairon, Nor Azali Azmir, Azlis Sani Md Jalil, and Rusli Nordin. "Determinants of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Food Delivery Riders in Eastern Peninsular

- Malaysia: An Ergonomic Risk Assessment." *Healthcare* 13, no. 6 (March 15, 2025): 645. <https://doi.org/10.3390/healthcare13060645>.
- Fatoye, Francis, Tadesse Gebrye, Chidozie Emmanuel Mbada, and Ushotanefe Useh. "Clinical and Economic Burden of Low Back Pain in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review." *BMJ Open* 13, no. 4 (April 2023): e064119. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-064119>.
- Ferreira, Manuela L, Katie de Luca, Lydia M Haile, Jaimie D Steinmetz, Garland T Culbreth, Marita Cross, Jacek A Kopec, et al. "Global, Regional, and National Burden of Low Back Pain, 1990–2020, Its Attributable Risk Factors, and Projections to 2050: A Systematic Analysis of the Global Burden of Disease Study 2021." *The Lancet Rheumatology* 5, no. 6 (June 2023): e316–29. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(23\)00098-X](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(23)00098-X).
- Hakim, Sally, and Amira Mohsen. "Work-Related and Ergonomic Risk Factors Associated with Low Back Pain among Bus Drivers." *Journal of Egyptian Public Health Association* 92, no. 3 (December 1, 2017): 195–201. <https://doi.org/10.21608/epx.2017.16405>.
- Hossian, Mosharop, Mohammad Hayatun Nabi, Ahmed Hossain, Mohammad Delwer Hossain Hawlader, and Nadira Sultana Kakoly. "Individual and Occupational Factors Associated With Low Back Pain: The First-Ever Occupational Health Study Among Bangladeshi Online Professionals." *Journal of Preventive Medicine and Public Health* 55, no. 1 (January 31, 2022): 98–105. <https://doi.org/10.3961/jpmph.21.565>.
- Jia, Jingwen, Mingtao Zhang, Zhenyu Cao, Zhijing Yang, Xuchang Hu, Shuanhu Lei, Yibao Zhang, Wenting Leng, and Xuewen Kang. "Prevalence of and Risk Factors for Low Back Pain among Professional Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 19, no. 1 (September 9, 2024): 551. <https://doi.org/10.1186/s13018-024-04999-z>.
- Joseph, Leonard, Miles Standen, Aatit Paungmali, Raija Kuisma, Patraporn Silitertpisan, and Ubon Pirunsan. "Prevalence of Musculoskeletal Pain among Professional Drivers: A Systematic Review." *Journal of Occupational Health* 62, no. 1 (January 17, 2020). <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12150>.
- Kee, Dohyung. "Characteristics of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Korea." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20, no. 2 (January 6, 2023): 1024. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021024>.
- Mendes, Hyago Gabriel Oliveira, Bianca de Moraes Tomaz, Ana Carolina Coelho-Oliveira, Juliana Pessanha de Freitas, Márcia Cristina Moura-Fernandes, Marco Antônio de Souza-Gama, Francisco José Salustiano da Silva, et al. "The Consequences of Mechanical Vibration Exposure on the Lower Back of Bus Drivers: A Systematic Review." *Applied Sciences* 11, no. 21 (October 25, 2021): 9986. <https://doi.org/10.3390/app11219986>.
- Nabi, Mohammad Hayatun, Mohammad Delwer Hossain Hawlader, Farah Naz, Saleka Raihana Siddiquea, Mehedi Hasan, Mosharop Hossian, and Koustuv Dalal. "Low Back Pain among Professional Bus Drivers: A Cross-Sectional Study from Bangladesh." *BMC Public Health* 23, no. 1 (June 19, 2023): 1172. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16018-7>.

- Rezaei, Ehsan, Fatemeh Shahmahmoudi, Faezeh Makki, Fatemeh Salehinejad, Hassan Marzban, and Zahra Zangiabadi. "Musculoskeletal Disorders among Taxi Drivers: A Systematic Review and Meta-Analysis." *BMC Musculoskeletal Disorders* 25, no. 1 (August 23, 2024): 663. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07771-w>.
- Sisala Mohammed, Iddrisu, Mohammed Hardi Abdulai, Mudasir Mohammed Ibrahim, Hannah Buasilenu, Issahaka Abdulai Baako, Brenda Abena Nyarko, Abubakari Wuni, and Camillus Buunaaisie. "Prevalence of Workplace-Related Musculoskeletal Disorders Among Nurses and Midwives in a Tertiary Healthcare Facility: A Descriptive Cross-Sectional Survey." *Nursing Open* 11, no. 11 (November 21, 2024). <https://doi.org/10.1002/nop2.70098>.
- Trifu, Alina, Eduard Smîdu, Daniel Onuț Badea, Eugenia Bulboacă, and Vergilică Haralambie. "Applying the PRISMA Method for Obtaining Systematic Reviews of Occupational Safety Issues in Literature Search." Edited by G.A. Găman. *MATEC Web of Conferences* 354 (January 6, 2022): 00052. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235400052>.
- Vatovec, Rok, Žiga Kozinc, and Matej Voglar. "The Effects of Isometric Fatigue on Trunk Muscle Stiffness: Implications for Shear-Wave Elastography Measurements." *Sensors* 22, no. 23 (December 4, 2022): 9476. <https://doi.org/10.3390/s22239476>.
- Yang, Hantao, Xuandu Chen, Jun Chen, Yansong Dong, Yafang Huang, Lei Qin, Jie Tan, and Weihong Yi. "The Pathogenesis and Targeted Therapies of Intervertebral Disc Degeneration Induced by Cartilage Endplate Inflammation." *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 12 (December 2, 2024). <https://doi.org/10.3389/fcell.2024.1492870>.