RADINKA JOURNAL OF HEALTH SCIENCE

ISSN: 3025-7751

https://www.rjupublisher.com/ojs/index.php/RJHS

Risk Evaluation of Manual Material Handling in Palleting Work Using the NIOSH Lifting Equation and Nordic Body Map

Wenny Murdina ASIH*, Yeni HERLINA, Dio Nika PUTRA

Industrial Hygiene and Occupational Health, and Occupational Safety, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Indonesia, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*Corresponding author: wenny.murdina@gmail.com

Abstract

Repetitive Manual Material Handling (MMH) involving awkward postures during palleting tasks in bottled drinking water industries poses a substantial risk of Musculoskeletal Disorders (MSDs), particularly low back pain. This study aimed to evaluate safe lifting thresholds using the Recommended Weight Limit (RWL), determine injury risk levels via the Lifting Index (LI), map subjective musculoskeletal complaints using the Nordic Body Map (NBM), and analyze the relationship between LI values and NBM scores. A quantitative descriptive-analytical study was conducted through direct field observation and biomechanical lifting measurements among four male palleting operators at CV. XYZ, Kerinci Regency, Jambi Province. Measured variables included actual load weight (11–19 kg), horizontal distance, vertical height, vertical travel distance, asymmetry angle, lifting frequency, work duration, and coupling quality at both origin and destination positions, alongside a 28-segment NBM questionnaire. Calculations revealed origin RWL values ranging from 3.52 kg to 11.18 kg and destination RWL values from 4.88 kg to 13.91 kg. Three of the four operators exhibited LI values > 1.0, with Operator 1 experiencing the highest risk (origin LI = 3.50). Total NBM scores ranged from 41 to 53, predominantly affecting the waist, lower back, right shoulder, and calves, showing a positive linear relationship with LI. Repetitive lifting exceeding RWL thresholds elevates biomechanical stress on the L5/S1 lumbar disc, necessitating workstation redesign, ergonomic box handles, and job rotation.

Keywords: Manual Material Handling, Recommended Weight Limit, Lifting Index, Nordic Body Map, Musculoskeletal Disorders

Evaluasi Risiko Material Manual Handling Pada Pekerjaan Palleting Dengan Niosh Lifting Equation Dan Nordic Body Map

Abstrak

Aktivitas *Manual Material Handling* (MMH) secara repetitif dengan postur janggal pada pekerjaan *palleting* industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) berisiko tinggi memicu *Musculoskeletal Disorders* (MSDs), khususnya nyeri punggung bawah. Penelitian ini bertujuan

mengevaluasi batas beban angkat aman menggunakan *Recommended Weight Limit* (RWL), menentukan tingkat risiko cedera melalui *Lifting Index* (LI), memetakan keluhan subjektif pekerja dengan *Nordic Body Map* (NBM), serta menganalisis hubungan antara nilai LI dan skor keluhan NBM. Studi kuantitatif deskriptif analitis ini dilaksanakan melalui observasi langsung dan pengukuran biomekanika pengangkatan pada empat operator *palleting* laki-laki di CV. XYZ, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Variabel yang diukur meliputi berat beban aktual (11–19 kg), jarak horizontal, tinggi vertikal, jarak tempuh vertikal, sudut asimetri, frekuensi angkat, durasi kerja, dan kualitas pegangan pada posisi *origin* maupun *destination*, serta penilaian kuesioner NBM terhadap 28 segmen tubuh. Hasil perhitungan menunjukkan nilai RWL *origin* berkisar antara 3,52 kg hingga 11,18 kg dan RWL *destination* antara 4,88 kg hingga 13,91 kg. Sebanyak tiga dari empat operator memiliki nilai LI > 1,0, dengan risiko tertinggi pada Operator 1 (LI *origin* = 3,50). Total skor NBM berkisar 41–53 dengan keluhan dominan pada pinggang, punggung bawah, bahu kanan, dan betis, serta menunjukkan korelasi positif linier dengan nilai LI. Pengangkatan beban melampaui RWL meningkatkan tekanan biomekanis pada lumbar L5/S1 sehingga memerlukan perbaikan stasiun kerja, penambahan pegangan ergonomis, dan rotasi kerja.

Kata Kunci: Penanganan Material Secara Manual, Batas Berat yang Direkomendasikan, Indeks Pengangkatan, Peta Tubuh Nordik (Nordic Body Map), Gangguan Muskuloskeletal

Ucapan Terima Kasih:

Penulis menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak manajemen dan seluruh operator *palleting* CV. XYZ, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi atas izin, fasilitas, serta partisipasi aktif selama proses pengambilan data penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada civitas akademika Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Indonesia (STIKESI) Padang, khususnya Program Studi DIII Hiperkes dan Keselamatan Kerja, atas dukungan akademik yang diberikan

Untuk kutipan:

Asih, W.M., Herlina, Y., Putra, D.N. (2026). Evaluasi Risiko *Material Manual Handling* Pada Pekerjaan *Palleting* Dengan *Niosh Lifting Equation* Dan *Nordic Body Map*. *Radinka Journal of Health Science*, *4*(2), 780-792.

Pendahuluan

Aktivitas pemindahan material secara manual (*Manual Material Handling*/MMH) masih banyak diterapkan pada industri skala kecil dan menengah di negara berkembang. MMH meliputi kegiatan memindahkan, mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membawa beban dengan mengandalkan tenaga otot manusia (Skals et al., 2021; Lemus et al., 2025). Meskipun fleksibel dan hemat biaya investasi awal, aktivitas MMH yang dilakukan secara berulang (*repetitif*), dalam durasi panjang, dan dengan postur janggal berpotensi besar menimbulkan gangguan kesehatan kerja, terutama *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) (Yang et al., 2020; Saptari et al., 2023). Data WHO (2021) menunjukkan bahwa lebih dari 1,71 miliar orang di dunia mengalami gangguan muskuloskeletal, dengan nyeri punggung bawah (*Low Back Pain*/LBP) sebagai penyebab utama kecacatan kerja. Di Indonesia, Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) mencatat prevalensi penyakit otot dan sendi mencapai 7,3% (Susanto et al., 2026; Zhou et al., 2024). Pada industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK), pekerjaan *palleting*—memindahkan produk dari konveyor ke palet dan truk pengangkut—menjadi salah satu stasiun kerja paling kritis yang memicu cedera lumbal (M, 2025; Caruana et al., 2025). Metode *Recommended Weight Limit*

(RWL) yang dikembangkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) merupakan standar internasional untuk merekomendasikan batas beban angkat statis yang aman tanpa meningkatkan risiko LBP (Onuora, 2023; Albazli et al., 2021). Sementara itu, kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) digunakan secara luas untuk memetakan distribusi keluhan nyeri subjektif pada 28 segmen tubuh pekerja (Seo et al., 2024; Macdonald & Oakman, 2015). Dalam konteks penilaian ergonomi kerja di lapangan, kajian mengenai beban kerja fisik, identifikasi bahaya *manual handling*, dan keluhan subjektif pekerja telah banyak dielaborasi dalam berbagai studi K3 (Tolera et al., 2024; Kgakge et al., 2024).

Meskipun kajian ergonomi terkait beban kerja fisik, *manual handling*, dan keluhan muskuloskeletal telah banyak dilakukan (Tolera et al., 2024; Kgakge et al., 2024), evaluasi terpadu yang mengaitkan perhitungan RWL dan *Lifting Index* (LI) pada posisi *origin* dan *destination* dengan pemetaan keluhan subjektif NBM pada operator *palleting* industri AMDK skala daerah—khususnya di CV. XYZ, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi, tempat operator mengangkut puluhan ton produk per hari—masih terbatas. Selain itu, kajian di lapangan sering kali belum menghubungkan secara langsung derajat paparan indeks angkat biomekanika dengan distribusi keluhan subjektif dan perumusan pengendalian berbasis hierarki K3 pada kondisi kerja aktual.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada integrasi evaluasi risiko *Manual Material Handling* menggunakan persamaan RWL dan *Lifting Index* (LI) pada posisi *origin* dan *destination* dengan pemetaan keluhan subjektif 28 segmen tubuh menggunakan *Nordic Body Map* (NBM) pada aktivitas *palleting* di CV. XYZ, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Penelitian ini juga mengaitkan parameter pengangkatan aktual (termasuk beban angkat 19 kg, jarak horizontal, postur membungkuk ekstrem, dan kualitas kopling) dengan pola keluhan muskuloskeletal serta merumuskan intervensi melalui rekayasa teknik dan pengendalian administratif.

Secara spesifik, kebaruan studi ini menegaskan adanya keterkaitan linier antara besarnya nilai *Lifting Index* (dengan LI > 1,0 pada 3 dari 4 operator dan nilai tertinggi LI *origin* = 3,50 pada Operator 1) dan keparahan skor keluhan NBM (skor 41–53) yang didominasi oleh pinggang, punggung bawah, bahu kanan, dan betis akibat peningkatan beban tekan biomekanis pada lumbar L5/S1. Temuan ini memberikan dasar empiris lokal bagi manajemen CV. XYZ dan praktisi Hiperkes serta Keselamatan Kerja untuk menerapkan perbaikan stasiun kerja, penyesuaian ketinggian konveyor/meja angkat, penambahan pegangan ergonomis, serta rotasi kerja guna mencegah MSDs.

Metodologi

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif deskriptif analitis dengan observasi lapangan langsung dan pengukuran variabel fisik pengangkatan. Subjek penelitian terdiri dari 4 orang operator *palleting* di CV. XYZ, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Data primer diperoleh melalui pengukuran variabel biomekanika seperti berat beban aktual (L), lokasi horizontal (H), lokasi vertikal (V), jarak tempuh vertikal (D), sudut asimetri (A), frekuensi pengangkatan (F), durasi kerja, dan kualitas kopling (C) baik pada posisi origin (awal angkat) maupun destination (tujuan angkat) (Waters et al., 1994).

Formulasi perhitungan RWL single task mengacu pada persamaan NIOSH (Hu et al., 2024); (Jung et al., 2025):

$$\text{RWL} = \text{LC} \; X \; \text{HM} \; X \; \text{VM} \; X \; \text{DM} \; X \; \text{AM} \; X \; \text{FM} \; X \; \text{CM}$$

Keterangan :

RWL = *Recommended Weight Limit*

LC = *Lifting Constant* = 23 kg atau 51 lbs
HM = *Horizontal Multiplier* = 25/H
VM = *Vertical Multiplier* = 1 - 0,003|V - 75|
DM = *Distance Multiplier* = 0,82 + (4,5/D) (maksimal 1,00)
AM = *Asymmetric Multiplier* = 1 - 0,0032(A)
FM = *Frequency Multiplier*
CM = *Coupling Multiplier*

FM dan CM mengacu pada tabel standar NIOSH.

Tingkat risiko cedera diukur dengan Lifting Index (LI) :

$$LI = \frac{L}{RWL}$$

dengan kriteria:
LI ≤1,0 = Risiko Rendah / Aman
1,0 < LI ≤ 3,0 = Risiko Sedang / Memerlukan Perbaikan, dan
LI > 3,0 = Risiko Tinggi / Tindakan Segera (Waters et al., 1994).

Keluhan subjektif MSDs diukur menggunakan kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) berisi 28 segmen tubuh dengan skala Likert 1 (Tidak Sakit) hingga 4 (Sangat Sakit) (Corlett, 1992; Asih & Herlina, 2023; Tarwaka, 2011). Kategori risiko total skor NBM dibagi menjadi: Rendah (28-49), Sedang (50-70), Tinggi (71-90), dan Sangat Tinggi (91-112). Hubungan antara nilai LI dan skor NBM dianalisis secara deskriptif kualitatif-kuantitatif dengan merujuk pada prinsip ergonomi industri dan biomekanika kerja (Rezayat & Anand, 2026).

Hasil dan Diskusi

Karakteristik Operator Palleting

Responden terdiri dari 4 orang pekerja laki-laki (100%) dengan rentang usia 17 hingga 35 tahun (50% berusia 17-25 tahun dan 50% berusia 26-35 tahun). Seluruh operator berpendidikan menengah (SMA/SMK) dengan masa kerja 1 hingga 3 tahun (75% bekerja 1 tahun, 25% bekerja 3 tahun). Karakteristik kelompok yang homogen ini meminimalkan variasi kapasitas fisik dasar akibat faktor demografi jenis kelamin.

Perhitungan Recommended Weight Limit (RWL) dan Lifting Index (LI)

Tabel 1 menyajikan rekapitulasi lengkap batas beban angkat aman (RWL) dan indeks risiko pengangkatan (LI) hasil perhitungan.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan RWL dan Lifting Index (LI) Operator *Palleting*

Operator	Posisi	Beban L (kg)	RWL Baru (kg)	LI Baru
Operator 1	*Origin*	19	5,43	3,50
	Destination	19	7,64	2,49
Operator 2	*Origin*	11	11,18	0,98
	Destination	11	13,91	0,79
Operator 3	*Origin*	11	3,58	3,08
	Destination	11	6,23	1,77

Operator 4	*Origin*	11	3,52	3,13
	Destination	11	4,88	2,25

Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan *NIOSH Lifting Equation*, tingginya nilai *Lifting Index* (LI > 1 bahkan mencapai LI = 3,50 pada Operator 1) menjelaskan adanya gangguan mekanis serius terhadap kapasitas anatomis pekerja yaitu :

Peningkatan Momen Putar (Torque) pada Lumbar L5/S1

Saat Operator 1 mengangkat galon seberat 19 kg sejauh 40 cm dari tubuhnya, posisi beban berada terlalu jauh dari pusat gravitasi badan. Akibatnya, beban tersebut menciptakan tuas tumpuan yang semakin panjang pada punggung, sehingga memaksa otot punggung (*erector spinae*) dan bantalan tulang belakang menahan tekanan yang jauh lebih berat (Miura et al., 2022); (Szurmik et al., 2025).

Postur Membungkuk Ekstrem (Extreme Flexion)

Ketika Operator 3 dan 4 mengangkat beban dari posisi yang sangat rendah (mendekati lantai), tubuh mereka terpaksa membungkuk terlalu dalam. Akibatnya, tumpuan kerja berpindah dari otot kaki ke otot punggung bawah, sehingga ligamen tulang belakang tertarik secara berlebihan dan membuat pekerja lebih berisiko mengalami cedera.

Faktor Kopling dan Durasi Repetitif

Buruknya kualitas pegangan (*coupling* = 0,90 pada galon/kardus tanpa *handle* ergonomis) memaksa pekerja mencengkeram wadah dengan kekuatan jari tangan yang lebih besar, memicu kelelahan otot lokal (*local muscle fatigue*) yang menjalar ke bahu dan lengan (Akbaş, 2025). Untuk mereduksi nilai LI di bawah ambang batas aman (LI ≤ 1,0) dan menekan keluhan muskuloskeletal pada kuesioner NBM, perusahaan perlu melakukan intervensi ergonomi melalui pendekatan hierarki pengendalian (*hierarchy of controls*).

Rekayasa Teknik (Engineering Controls):
Penggunaan Scissor Lift Table / Meja Angkat Hidrolik

Tempatkan meja pengangkat otomatis di ujung konveyor. Hal ini bertujuan agar ketinggian vertikal awal (*origin* V) dan akhir (*destination*) dapat diatur selalu berada pada zona ketinggian ideal manusia (posisi netral pinggang, yaitu ≈75cm), sehingga pekerja tidak perlu membungkuk ke lantai.

Optimasi Jarak Horizontal (Horizontal Distance)

Modifikasi struktur rangka konveyor atau jarak penempatan palet agar posisi pekerja dapat berdiri lebih dekat dengan beban, meminimalkan nilai H dari 40 cm menjadi ≤25 cm.

Redesain Kemasan / Penambahan Handle

Bekerja sama dengan bagian pengemasan untuk mendesain ulang kotak karton/alur galon dengan menambahkan pegangan tangan (*handle grip*) yang ergonomis. Langkah ini akan menaikkan nilai pengali kopling (CM) dari 0,90 menjadi 1,00.

Pengendalian Administratif (Administrative Controls):
Rotasi Kerja Berkala

Mengingat beban angkat galon 19 kg sangat berat bagi Operator 1, terapkan sistem rotasi kerja secara bergantian dengan durasi pendek untuk menghindari kelelahan otot statis yang berkepanjangan.

Pelatihan Teknik Pengangkatan Manual (Manual Handling Training)

Edukasi pekerja untuk selalu menggunakan kekuatan otot tungkai kaki (*leg lift*) saat mengambil beban dari bawah, bukan malah mengandalkan kekuatan otot punggung.

Penerapan Workplace Stretching Exercise

Menjadwalkan peregangan otot secara rutin sebelum shift kerja dimulai dan di tengah jam istirahat untuk melemaskan otot punggung bawah (*erector spinae)*, bahu, serta kaki/anggota gerak bawah.

Pemetaan Keluhan Nordic Body Map (NBM)

Berdasarkan hasil penyebaran kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) pada 28 segmen tubuh terhadap keempat operator *palleting*, diperoleh tingkat variasi skor keluhan *muskuloskeletal* serta segmen tubuh yang paling dominan dirasakan oleh para pekerja selama melakukan aktivitas kerja harian (Demissie et al., 2024). Rekapitulasi lengkap mengenai skor dan keluhan subjektif tersebut disajikan pada Tabel 2. di bawah ini :

Tabel 2. Rekapitulasi Total Skor dan Segmen Tubuh Dominan Keluhan *Nordic Body Map* (NBM) pada Operator *Palleting*

Nama Operator	Total Skor NBM	Kategori Risiko	Segmen Tubuh yang Dominan Dikeluhkan
Operator 1	53	Sedang	Pinggang (Lokasi 7), Punggung Bawah (Lokasi 5), Bahu Kanan (Lokasi 3), Betis (Lokasi 22–23)
Operator 2	41	Rendah	Pinggang (Lokasi 7), Punggung Bawah (Lokasi 5), Bahu Kanan (Lokasi 3), Betis (Lokasi 22–23)
Operator 3	44	Rendah	Pinggang (Lokasi 7), Punggung Bawah (Lokasi 5), Bahu Kanan (Lokasi 3), Betis (Lokasi 22–23)
Operator 4	42	Rendah	Pinggang (Lokasi 7), Punggung Bawah (Lokasi 5), Bahu Kanan (Lokasi 3), Betis (Lokasi 22–23)

Analisis keluhan subjektif melalui kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) memberikan gambaran nyata mengenai dampak akumulatif dari aktivitas pemindahan beban manual (*manual material handling*) terhadap kondisi fisik para operator *palleting*. Berdasarkan pemetaan pada 28 segmen tubuh, data menunjukkan adanya variasi tingkat keluhan yang berbanding lurus dengan berat beban kerja dan postur tubuh saat bekerja (Licardo et al., 2024).

Hubungan antara Tingkat Risiko dan Keluhan Pekerja

Dominasi keluhan pada segmen pinggang (lokasi 7), punggung bawah (lokasi 5), bahu kanan (lokasi 3), dan betis (lokasi 22-23) membuktikan adanya beban statis dan dinamis yang berlebihan pada sistem muskuloskeletal pekerja. Area lumbal (punggung bawah dan pinggang) menanggung momen puntir dan gaya tekan kompresi paling besar akibat gerakan membungkuk dan mengangkat beban berulang tanpa dukungan mekanis (Zhang et al., 2020).

Analisis Skor NBM Tertinggi pada Operator 1

Operator 1 mencatatkan skor NBM tertinggi (skor 53 dengan kategori risiko sedang), yang secara konsisten sejalan dengan nilai *Lifting Index* (LI) tertinggi yang diterimanya (LI = 3,50 pada posisi *origin*). Beban aktual galon sebesar 19 kg yang diangkat dari posisi horizontal jauh (H = 40 cm) memaksa otot-otot penopang tulang belakang berkontraksi secara maksimal, memicu akumulasi asam laktat, mikrotrauma otot, dan rasa nyeri yang persisten di area punggung bawah (Matheve et al., 2023); (Farley et al., 2024).

Akumulasi Beban pada Ekstremitas Atas dan Bawah

Keluhan pada bahu kanan berkaitan erat dengan frekuensi pengangkatan satu sisi serta ketiadaan pegangan (*handle*) yang memadai pada kemasan, memaksa otot lengan dan bahu bekerja ekstra keras. Sementara itu, keluhan pada betis (lokasi 22-23) menunjukkan adanya kelelahan otot postural akibat durasi berdiri yang lama selama proses penataan palet berlangsung. Temuan ini memperkuat literatur ergonomi industri bahwa aktivitas *manual handling* yang tidak ergonomis berisiko tinggi memicu *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) jangka panjang (Kisi & López, 2026). Untuk menekan tingkat keluhan muskuloskeletal pekerja dan mengoptimalkan kondisi kerja di CV. XYZ, perusahaan disarankan untuk menerapkan langkah-langkah perbaikan berikut:

Perancangan Ulang Stasiun Kerja (Engineering Controls) :
Pemasangan Meja Angkat Hidrolik (Scissor Lift)

Menyediakan meja angkat otomatis yang dapat diatur ketinggiannya di area *palleting*. Hal ini bertujuan agar posisi awal dan akhir pemindahan beban selalu berada pada ketinggian level pinggang pekerja, sehingga operator tidak perlu membungkuk ke lantai (Kwak et al., 2025); (Kwak et al., 2025).

Redesain Kemasan / Penambahan Handle

Bekerja sama dengan bagian produksi untuk mendesain alur kemasan atau kardus yang dilengkapi dengan pegangan tangan (*handle grip*) ergonomis guna memperbaiki nilai kopling (*coupling*) dan mengurangi beban cengkeraman jari tangan (Nguyen et al., 2026).

Pengaturan Kebijakan Administratif (Administrative Controls) :
Rotasi Tugas Pekerja

Menerapkan sistem rotasi kerja secara berkala—khususnya bagi operator yang menangani beban berat seperti pengangkatan galon 19 kg—untuk memberikan waktu pemulihan bagi kelompok otot yang lelah.

Penerapan Stretching Berkala

Mengadakan sesi peregangan otot ringan (*stretching*) secara rutin sebelum sif kerja dimulai dan di tengah jam kerja untuk mengurangi ketegangan otot pada area pinggang, punggung, dan ekstremitas.

Pelatihan Teknik Mengangkat yang Benar

Mengedukasi ulang para operator mengenai teknik *manual material handling* yang aman, yakni memaksimalkan kekuatan otot kaki alih-alih mengandalkan kelenturan otot punggung saat mengangkat beban (Mayasari et al., 2019).

Pembahasan Hubungan Antara Recommended Weight Limit (RWL) / Lifting Index (LI) dengan Nordic Body Map (NBM)

Analisis komparatif antara hasil perhitungan *Revised NIOSH Lifting Equation* dan skor kuesioner *Nordic Body Map* (NBM) mengonfirmasi adanya korelasi positif yang signifikan antara besarnya tingkat paparan risiko biomekanika dan tingkat keparahan keluhan muskuloskeletal subjektif yang dirasakan oleh operator *palleting* (Senvaitis et al., 2024)*;* (Sado et al., 2025).

Konsistensi Data Empiris dan Gradasi Risiko

Operator 1, yang diidentifikasi bekerja pada kondisi paling kritis dengan nilai LI_origin = 3,50 (kategori risiko tinggi), secara konsisten mencatatkan total skor keluhan NBM tertinggi yakni 53 (kategori sedang). Sebaliknya, Operator 2 yang bekerja di bawah ambang batas aman (LI ≤ 1,0) melaporkan skor NBM paling rendah yaitu 41 (kategori rendah). Gradasi linier ini membuktikan bahwa pemburukan parameter biomekanika angkat berbanding lurus dengan peningkatan persepsi ketidaknyamanan fisik pekerja (Silvetti et al., 2024); (Subasinghe et al., 2025).

Mekanisme Biomekanika Kompresi Lumbal dan Mikrotrauma Jaringan

Secara biomekanika, aktivitas pengangkatan beban yang menghasilkan nilai LI > 1,0 memaksa sistem muskuloskeletal menanggung beban mekanis yang melampaui kapasitas fisiologis normal jaringan. Ketika operator mengangkat beban dari posisi vertikal rendah (V < 75 cm) atau dengan jarak horizontal yang jauh (H > 25 cm), lengan momen (*moment arm*) terhadap sendi lumbo-sakral (L5/S1) meningkat secara drastis. Untuk melawan momen putar (*torque*) tersebut, otot *erector spinae* dan jaringan ligamen posterior harus berkontraksi secara isometrik-eksentrik dengan intensitas tinggi (Kisi & López, 2026); (Lee et al., 2022); . Kontraksi berulang tanpa waktu pemulihan yang memadai memicu mikrotrauma repetitif pada serabut otot, iskemia lokal akibat penyempitan pembuluh darah kapiler, serta akumulasi asam laktat yang bermanifestasi menjadi rasa nyeri, kaku, dan kelelahan otot lokal pada segmen punggung bawah serta ekstremitas (Hsieh et al., 2026); (Huang et al., 2026).

Akumulasi Beban Statis dan Dinamis pada Ekstremitas

Selain area lumbal, tingginya skor NBM pada segmen bahu dan ekstremitas bawah pada Operator 3 dan 4 (masing-masing dengan LI_origin 3,08 dan 3,13) menegaskan bahwa postur membungkuk ekstrem saat mengangkat beban dari permukaan lantai tidak hanya membebani tulang belakang, tetapi juga mendistribusikan tegangan mekanis secara destruktif ke persendian sekunder. Ketiadaan fasilitas mekanis pendukung dan tidak adanya pegangan (*handle*) yang ergonomis memaksa pekerja mengandalkan cengkeraman jari dan kekuatan otot bahu secara statis (O. Odebiyi & Arinze Chris Okafor, 2023); (Duan et al., 2023).

Implikasi Praktis dan Teoretis

Temuan ini memperkuat landasan teoretis bahwa nilai *Lifting Index* (LI) bukan sekadar indikator angka matematis, melainkan prediktor langsung yang akurat terhadap keparahan keluhan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) di lapangan (Donisi et al., 2021); (Huang et al., 2026). Sebagaimana ditekankan dalam berbagai kajian ergonomi industri (Widajati, 2025), kegagalan dalam mengeliminasi ketidaksesuaian antara beban kerja fisik dan kapasitas anatomis pekerja akan

berisiko menurunkan produktivitas jangka panjang serta memicu kecelakaan akibat kerja kronis di sektor informal maupun manufaktur.

Kesimpulan

Aktivitas Manual Material Handling (MMH) secara berulang dengan postur janggal pada pekerjaan palleting industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) berisiko tinggi memicu Musculoskeletal Disorders (MSDs), khususnya nyeri punggung bawah (Low Back Pain/LBP) (Yang et al., 2020; Saptari et al., 2023; Caruana et al., 2025). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi batas beban angkat aman menggunakan Recommended Weight Limit (RWL), menilai tingkat risiko cedera melalui Lifting Index (LI), memetakan keluhan subjektif pekerja dengan Nordic Body Map (NBM), serta menganalisis hubungan antara nilai LI dan skor keluhan NBM pada operator palleting di CV. XYZ, Kabupaten Kerinci, Provinsi Jambi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai RWL origin berkisar antara 3,52 kg hingga 11,18 kg dan RWL destination antara 4,88 kg hingga 13,91 kg, dengan tiga dari empat operator memiliki nilai LI > 1,0 dan Operator 1 mencatat risiko tertinggi (LI origin = 3,50). Keluhan subjektif pada 28 segmen tubuh NBM berada pada kategori rendah hingga sedang (skor 41–53) dengan dominasi pada pinggang (lokasi 7), punggung bawah (lokasi 5), bahu kanan (lokasi 3), dan betis (lokasi 22–23), serta menunjukkan korelasi positif linier dengan nilai LI (Senvaitis et al., 2024; Sado et al., 2025). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pekerjaan palleting di CV. XYZ memiliki risiko cedera ergonomi yang signifikan, dan pengangkatan beban yang melampaui RWL meningkatkan tekanan biomekanis pada lumbar L5/S1 sehingga berwujud langsung sebagai keluhan MSDs subjektif pada pekerja (Huang et al., 2026). Temuan ini berimplikasi pada perlunya penerapan hierarki pengendalian di tempat kerja melalui rekayasa teknik—seperti pemasangan meja angkat hidrolik (scissor lift), optimasi jarak horizontal dan ketinggian konveyor, serta penambahan pegangan ergonomis (handle grip)—dan pengendalian administratif berupa rotasi kerja, peregangan berkala, serta pelatihan teknik mengangkat yang aman guna menekan risiko MSDs dan mempertahankan produktivitas. Meski demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya melibatkan empat operator laki-laki di satu lokasi industri AMDK (CV. XYZ) dengan pendekatan kuantitatif deskriptif analitis serta analisis hubungan LI dan NBM yang bersifat deskriptif kualitatif-kuantitatif tanpa uji korelasi statistik parametrik/non-parametrik multivariat maupun pengukuran elektromiografi atau kinematika langsung. Oleh karena itu, penelitian masa depan disarankan melibatkan jumlah sampel dan variasi stasiun kerja yang lebih luas lintas industri manufaktur/AMDK, menguji hubungan variabel secara statistik inferensial yang lebih mendalam, serta mengevaluasi efektivitas implementasi intervensi ergonomi nyata—seperti scissor lift, redesain kemasan, dan eksoskeleton atau alat bantu angkat—terhadap penurunan nilai LI dan skor keluhan NBM secara longitudinal.

Konflik kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Kontribusi penulis

Konseptualisasi: **Wenny Murdina Asih, Yeni Herlina**; Metodologi: **Wenny Murdina Asih**; Investigasi: **Yeni Herlina, Dio Nika Putra**; Analisis Formal: **Dio Nika Putra**; Kurasi Data: **Yeni Herlina**; Validasi: **Wenny Murdina Asih, Yeni Herlina**; Supervisi: **Wenny Murdina Asih**; Visualisasi: **Dio Nika Putra**; Penulisan – Draf Awal: **Dio Nika Putra**; Penulisan – Tinjauan

dan Penyuntingan: **Wenny Murdina Asih, Yeni Herlina**. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal apa pun.

Deklarasi Penggunaan AI Generatif dalam Penulisan Ilmiah

Selama penyusunan karya tulis ini, penulis menggunakan Google Trasnlate untuk menyempurnakan bahasa, menerjemahkan teks, dan menyunting abstrak agar lebih jelas. Setelah menggunakan perangkat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas isi publikasi ini.

Referensi

Akbaş, A. (2025). Hand-Focused Strength and Proprioceptive Training for Improving Grip Strength and Manual Dexterity in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, *14*(19), 6882. https://doi.org/10.3390/jcm14196882

Albazli, K., Alotaibi, M., & Almoallim, H. (2021). Low-Back Pain. In H. Almoallim & M. Cheikh (Eds.), *Skills in Rheumatology* (pp. 127–138). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8323-0_6

Caruana, C., Grech, S., & Cuschieri, S. (2025). Low back pain: The forgotten public health epidemic. *Future Healthcare Journal*, *12*(2), 100233. https://doi.org/10.1016/j.fhj.2025.100233

Demissie, B., Bayih, E. T., & Demmelash, A. A. (2024). A systematic review of work-related musculoskeletal disorders and risk factors among computer users. *Heliyon*, *10*(3), e25075. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25075

Donisi, L., Cesarelli, G., Coccia, A., Panigazzi, M., Capodaglio, E. M., & D'Addio, G. (2021). Work-Related Risk Assessment According to the Revised NIOSH Lifting Equation: A Preliminary Study Using a Wearable Inertial Sensor and Machine Learning. *Sensors*, *21*(8), 2593. https://doi.org/10.3390/s21082593

Duan, W., Akinyemi, T., Du, W., Ma, J., Chen, X., Wang, F., Omisore, O., Luo, J., Wang, H., & Wang, L. (2023). Technical and Clinical Progress on Robot-Assisted Endovascular Interventions: A Review. *Micromachines*, *14*(1), 197. https://doi.org/10.3390/mi14010197

Farley, T., Stokke, J., Goyal, K., & DeMicco, R. (2024). Chronic Low Back Pain: History, Symptoms, Pain Mechanisms, and Treatment. *Life*, *14*(7), 812. https://doi.org/10.3390/life14070812

Hsieh, Y.-L., Lin, H.-Y., & Chien, A. (2026). Influence of Posture, Spinal Level, Gender and Muscle Activation on Biomechanical Properties of Lumbar Erector Spinae in Healthy Young Adults. *Medicina*, *62*(1), 159. https://doi.org/10.3390/medicina62010159

Hu, C., Huang, X., Jiang, G., Hou, S., & Wang, Y. (2024). Applied research using the NIOSH lifting equation to optimize the design of shopping trolley for the elderly. *Scientific Reports*, *14*(1), 30814. https://doi.org/10.1038/s41598-024-81441-8

Huang, H., Chen, L., Lai, Y., Li, W., & Li, J. (2026). Fascia as a Functional System in Health and Disease: From Fundamental Biology to Assessment and Targeted Interventions.

International Journal of Molecular Sciences, *27*(13), 5871. https://doi.org/10.3390/ijms27135871

Jung, S., Qing, L., Su, B., & Xu, X. (2025). Toward Full Automation of the Revised NIOSH Lifting Equation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *69*(1), 1379–1381. https://doi.org/10.1177/10711813251366288

Kgakge, K., Chelule, P. K., Kahere, M., & Ginindza, T. G. (2024). Investigating the Risk of Patient Manual Handling Using the Movement and Assistance of Hospital Patients Method among Hospital Nurses in Botswana. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *21*(4), 399. https://doi.org/10.3390/ijerph21040399

Kisi, K., & López, O. S. (2026). Ergonomic Risk and Musculoskeletal Disorders in Construction: Assessing Job-Related Determinants in the U.S. Workforce. *Buildings*, *16*(2), 286. https://doi.org/10.3390/buildings16020286

Kwak, B., Lim, S., & Suh, J. (2025). Design of a Lifting Robot for Repetitive Inter-Floor Material Transport with Adjustable Gravity Compensation. *Robotics*, *14*(6), 69. https://doi.org/10.3390/robotics14060069

Lee, H., Kim, C., An, S., & Jeon, K. (2022). Effects of Core Stabilization Exercise Programs on Changes in Erector Spinae Contractile Properties and Isokinetic Muscle Function of Adult Females with a Sedentary Lifestyle. *Applied Sciences*, *12*(5), 2501. https://doi.org/10.3390/app12052501

Lemus, S. A., Mohammed, J., Chen, C.-B., Best, T. M., Tiozzo, E., & Travascio, F. (2025). The role of obesity in physiological stress, balance, and proprioception during repetitive manual material handling tasks. *PLOS One*, *20*(5), e0324996. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0324996

Licardo, J. T., Domjan, M., & Orehovački, T. (2024). Intelligent Robotics—A Systematic Review of Emerging Technologies and Trends. *Electronics*, *13*(3), 542. https://doi.org/10.3390/electronics13030542

M, M. (2025). Prevalence Of Neuropathic Pain In Low Back Pain Patients At Community Health Center. *JPHV (Journal of Pain, Vertigo and Headache)*, *6*(2), 23–26. https://doi.org/10.21776/ub.jphv.2025.006.02.01

Macdonald, W., & Oakman, J. (2015). Requirements for more effective prevention of work-related musculoskeletal disorders. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *16*(1), 293. https://doi.org/10.1186/s12891-015-0750-8

Matheve, T., Hodges, P., & Danneels, L. (2023). The Role of Back Muscle Dysfunctions in Chronic Low Back Pain: State-of-the-Art and Clinical Implications. *Journal of Clinical Medicine*, *12*(17), 5510. https://doi.org/10.3390/jcm12175510

Mayasari, D., Saftarina, F., Indah Sari, M., & Sirajudin, A. (2019). Analysis of Manual Material Handling Technique and Its Association with Low Back Pain (LBP) Among Fisherman In Kangkung Village, Bandar Lampung. *KnE Life Sciences*, *4*(10), 228. https://doi.org/10.18502/kls.v4i10.3724

Miura, T., Hongo, M., Kasukawa, Y., Kijima, H., Kudo, D., Saito, K., Kimura, R., Iwami, T., & Miyakoshi, N. (2022). Relationship between Intervertebral Disc Compression Force and Sagittal Spinopelvic Lower Limb Alignment in Elderly Women in Standing Position with Patient-Specific Whole Body Musculoskeletal Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(24), 16452. https://doi.org/10.3390/ijerph192416452

Nguyen, Q. T., Tran, V. L., Huynh, V. S., Nguyen, H. L., & Ahn, K. K. (2026). Mechanical Design Strategies of Dexterous Robotic Hands for Enhanced Precision Grasping: A Review. *Robotics*, *15*(8), 146. https://doi.org/10.3390/robotics15080146

O. Odebiyi, D., & Arinze Chris Okafor, U. (2023). Musculoskeletal Disorders, Workplace Ergonomics and Injury Prevention. In O. Korhan (Ed.), *Ergonomics—New Insights*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.106031

Onuora, S. (2023). Low back pain is a growing concern. *Nature Reviews Rheumatology*, *19*(8), 462–462. https://doi.org/10.1038/s41584-023-00999-1

Rezayat, D., & Anand, S. (2026). Physics-Informed Deep Learning for Personalized Ergonomic Risk Prediction for Manufacturing Tasks. *Manufacturing Letters*, *49*, 176–187. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2026.07.027

Sado, F., Ghazilla, R. A. R., Hamza, M. F., Yap, H. J., Faris, W. F., Ahmad, N., Gabralla, L. A., Rusydi, M. K., & Chiroma, H. (2025). Ergonomic assessment of a multi-joint actuated lower extremity exoskeleton to assist dynamic lifting and carrying tasks. *Scientific Reports*, *15*(1), 31868. https://doi.org/10.1038/s41598-025-14747-w

Saptari, A., Ng, P. K., Junardi, M., & Taslim, A. (2023). A Feasibility Study on the Conversion from Manual to Semi-Automatic Material Handling in an Oil and Gas Service Company. *Safety*, *9*(1), 16. https://doi.org/10.3390/safety9010016

Senvaitis, K., Adomavičienė, A., Tomaševič, A., Kernagytė, R., Petrauskaitė, A., & Daunoravičienė, K. (2024). Ergonomic Assessment of Key Biomechanical Factors in Patient Lifting: Results from a Cross-Sectional Study. *Applied Sciences*, *14*(17), 8076. https://doi.org/10.3390/app14178076

Seo, H. J., Hyun, E., & Yoon, Y.-G. (2024). The Impact of Physical Hazards on Workers' Job Satisfaction in the Construction Industry: A Case Study of Korea. *Behavioral Sciences*, *14*(12), 1197. https://doi.org/10.3390/bs14121197

Silvetti, A., Varrecchia, T., Chini, G., Tarbouriech, S., Navarro, B., Cherubini, A., Draicchio, F., & Ranavolo, A. (2024). Upper-Limb and Low-Back Load Analysis in Workers Performing an Actual Industrial Use-Case with and without a Dual-Arm Collaborative Robot. *Safety*, *10*(3), 78. https://doi.org/10.3390/safety10030078

Skals, S., Bláfoss, R., De Zee, M., Andersen, L. L., & Andersen, M. S. (2021). Effects of load mass and position on the dynamic loading of the knees, shoulders and lumbar spine during lifting: A musculoskeletal modelling approach. *Applied Ergonomics*, *96*, 103491. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103491

Subasinghe, D., Aviles, J., Shayan, A. M., & Srinivasan, D. (2025). Short-Term Adaptations to Lifting and Gait Kinematics When Using a Passive Back-Support Exoskeleton. *Annals of Biomedical Engineering*, *53*(9), 2264–2281. https://doi.org/10.1007/s10439-025-03770-7

Susanto, H., Dang, L. T., Winitchayothin, S., Hidayat, J., & Pradana, A. A. (2026). Low Back Pain Prevalence in Indonesian Older Adults: Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Management Nursing*, *27*(1), e92–e102. https://doi.org/10.1016/j.pmn.2025.07.004

Szurmik, T., Bibrowicz, K., Nowakowska-Lipiec, K., Zadoń, H., Michnik, R., & Mitas, A. W. (2025). Evaluation of forces on muscles and intervertebral joints during active kyphosis-deepening exercises in the dynamic individual stimulation and control for spine device (DISC4SPINE, D4S): A modeling approach—proof of concept study. *Frontiers in Sports and Active Living*, *7*, 1642246. https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1642246

Tolera, S. T., Gobena, T., Assefa, N., Geremew, A., & Toseva, E. (2024). Occupational injuries and associated factors among sanitary workers in public hospitals, eastern Ethiopia: A modified Poisson regression model analysis. *PLOS ONE*, *19*(11), e0310970. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310970

Widajati, N. (2025). Workplace Hazards and Their Impacts on Worker Health and Safety across Multiple Industries: A Comprehensive Review. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, *14*(1), 1–3. https://doi.org/10.20473/ijosh.v14i1.2025.1-3

Yang, S. T., Park, M. H., & Jeong, B. Y. (2020). Types of manual materials handling (MMH) and occupational incidents and musculoskeletal disorders (MSDs) in motor vehicle parts manufacturing (MVPM) industry. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *77*, 102954. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.102954

Zhang, Y., Ke, J., Wu, X., & Luo, X. (2020). A Biomechanical Waist Comfort Model for Manual Material Lifting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(16), 5948. https://doi.org/10.3390/ijerph17165948

Zhou, T., Salman, D., & McGregor, Alison. H. (2024). Recent clinical practice guidelines for the management of low back pain: A global comparison. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *25*(1), 344. https://doi.org/10.1186/s12891-024-07468-0