

MODEL RISIKO *LOW BACK PAIN* PADA OPERATOR ALAT BERAT BERDASARKAN *WHOLE BODY VIBRATION*

LOW BACK PAIN RISK MODEL IN HEAVY EQUIPMENT OPERATORS BASED ON WHOLE BODY VIBRATION

Linsy Anggraini Putri¹, Elvi Sunarsih², Hamzah Hasyim³, Yuanita Windusari⁴,
Novrikasari⁵, Anita Camelia⁶

Jurusan Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sriwijaya, Indonesia.
email : linsyputri98@gmail.com

Abstrak

Nyeri punggung bawah (*Low Back Pain/LBP*) merupakan salah satu gangguan muskuloskeletal yang sering dialami operator alat berat akibat paparan getaran seluruh tubuh (*Whole Body Vibration/WBV*), faktor ergonomi, dan karakteristik individu. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model risiko LBP dengan mengintegrasikan paparan WBV, ergonomi kerja, serta karakteristik individu dalam satu model prediksi. Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif analitik dengan pendekatan potong lintang. Sampel terdiri atas 93 operator alat berat PT. XY yang dipilih menggunakan teknik total sampling. Data dikumpulkan melalui pengukuran WBV, observasi posisi duduk dan kondisi kursi operator, serta pengukuran keluhan LBP menggunakan *Oswestry Disability Index (ODI)*. Analisis data dilakukan menggunakan regresi linier berganda. Hasil penelitian menunjukkan model regresi memiliki kemampuan prediksi sangat baik dengan nilai R^2 sebesar 0,969 dan uji simultan signifikan ($F = 287,698$; $p < 0,001$), sehingga 96,9% variasi keluhan LBP dapat dijelaskan oleh variabel dalam model. Paparan harian WBV A(8) merupakan faktor paling dominan terhadap keluhan LBP, diikuti ergonomi kursi operator, indeks massa tubuh, posisi duduk, durasi paparan kerja, dan masa kerja. Usia, jenis alat berat, dan usia alat tidak berpengaruh signifikan. Model risiko ini menunjukkan bahwa WBV merupakan prediktor utama LBP pada operator alat berat. Oleh karena itu, pengendalian paparan getaran, perbaikan ergonomi, pemeliharaan suspensi alat, dan pengaturan durasi kerja perlu diterapkan secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Ergonomi, Getaran Seluruh Tubuh, Nyeri Punggung Bawah, Operator Alat Berat, Regresi Linier Berganda.

Abstract

Low back pain (LBP) is one of the most common musculoskeletal disorders experienced by heavy equipment operators due to whole-body vibration (WBV) exposure, ergonomic factors, and individual characteristics. This study aimed to develop an LBP risk model by integrating WBV exposure, work ergonomics, and individual characteristics into a single predictive model. This study used an analytical quantitative design with a cross-sectional approach. The sample consisted of 93 heavy equipment operators at PT. XY selected using total sampling. Data were collected through WBV measurement, observation of sitting posture and operator seat conditions, and assessment of LBP complaints using the Oswestry Disability Index (ODI). Data were analyzed using multiple linear regression. The results showed that the regression model had excellent predictive ability, with an R^2 value of 0.969 and a significant simultaneous test result ($F = 287.698$; $p < 0.001$), indicating that 96.9% of the variation in LBP complaints could be explained by the variables in the model. Daily WBV exposure A(8) was the most dominant factor affecting LBP complaints, followed by operator seat ergonomics, body mass index, sitting posture, duration of work exposure, and length of employment. Age, type of heavy equipment, and equipment age had no significant effect. This risk model indicates that WBV is the main predictor of LBP among heavy equipment operators. Therefore, vibration exposure control, ergonomic improvement, suspension system maintenance, and work duration management should be implemented continuously.

Keywords: ergonomics; heavy equipment operators; Low Back Pain; multiple linear regression; Whole Body Vibration.

1. PENDAHULUAN

Low Back Pain (LBP) masih menjadi salah satu gangguan muskuloskeletal dengan beban kesehatan tertinggi di dunia. Selain itu juga ketidakseimbangan otot dan kelemahan otot inti dapat menyebabkan ketidakstabilan pada tulang belakang, serta meningkatkan tekanan pada cakram intervertebral, sehingga menyebabkan timbulnya LBP (1). Data *World Health Organization* menunjukkan sekitar 619 juta penduduk dunia mengalami LBP pada tahun 2020 dan jumlah tersebut diproyeksikan meningkat menjadi 843 juta kasus pada tahun 2050 (2). Tingginya angka kejadian tersebut menempatkan LBP sebagai penyebab utama *Years Lived With Disability* pada kelompok usia produktif, khususnya pekerja dengan paparan risiko ergonomi dan biomekanik tinggi (3). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa LBP telah berkembang menjadi persoalan penting dalam kesehatan dan keselamatan kerja karena dapat memengaruhi kemampuan kerja, produktivitas, serta kualitas hidup pekerja.

Sebagai negara yang sedang berkembang, banyak industri di Indonesia bergantung pada tenaga kerja manusia untuk memindahkan barang. Meskipun banyak bisnis yang relatif modern menggunakan mesin sebagai alat untuk

memindahkan barang, proses penanganan manual masih penting karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan menggunakan mesin (4). Permasalahan LBP banyak ditemukan pada sektor pekerjaan dengan aktivitas fisik tinggi, salah satunya sektor konstruksi, pertambangan, dan industri berat. Operator alat berat menjadi kelompok pekerja yang rentan mengalami keluhan muskuloskeletal karena aktivitas kerja dilakukan dalam posisi duduk statis dengan durasi panjang, gerakan berulang, serta paparan getaran mekanis selama proses operasional berlangsung. Paparan getaran seluruh tubuh atau WBV dilaporkan dapat memberikan tekanan biomekanik pada tulang belakang bagian lumbal dan diduga berkontribusi terhadap degenerasi diskus intervertebralis (5). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa operator alat berat dengan paparan WBV melebihi nilai ambang batas cenderung lebih banyak melaporkan keluhan LBP dibandingkan pekerja tanpa paparan getaran (6). Selain itu, alat berat seperti *excavator*, *dump truck*, dan *vibro roller* menghasilkan tingkat transmisi getaran yang berbeda terhadap tubuh operator sehingga diduga memberikan tingkat risiko LBP yang berbeda pula (7).

Selain paparan getaran, karakteristik alat berat juga menjadi aspek yang perlu diperhatikan

dalam pekerjaan operator alat berat. Sistem suspensi kendaraan, kapasitas mesin, usia alat berat, kondisi perawatan, serta jenis medan kerja dapat memengaruhi intensitas getaran selama operasional berlangsung. Alat berat dengan kondisi suspensi yang menurun cenderung menghasilkan getaran lebih tinggi dibandingkan kendaraan dengan sistem peredam yang masih optimal. Penelitian Rosadi menunjukkan bahwa usia alat berat yang semakin lama berkaitan dengan peningkatan intensitas getaran akibat penurunan kualitas komponen suspensi dan bantalan peredam (8). Medan kerja yang tidak rata juga dilaporkan dapat meningkatkan transmisi getaran ke tubuh operator sehingga memberikan tekanan lebih besar pada bagian punggung bawah.

Kondisi ergonomi kursi operator turut menjadi perhatian dalam pengoperasian alat berat. Kursi operator yang dirancang oleh pabrikan pada dasarnya bertujuan membantu meredam getaran dan mempertahankan posisi duduk ergonomis selama bekerja. Namun demikian, penurunan kualitas bantalan kursi, kerusakan sistem suspensi kursi, serta pengaturan posisi duduk yang tidak sesuai dengan antropometri operator diduga dapat meningkatkan distribusi getaran ke tubuh pekerja. Penelitian Chen et al. menjelaskan bahwa kursi operator dengan kemampuan redaman getaran yang rendah cenderung meningkatkan tekanan aksial pada tulang belakang lumbar (9). Penelitian lain juga menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan keluhan LBP pada operator dengan posisi duduk statis dalam durasi

lama (10). Kondisi kursi yang tidak layak pakai atau tidak mampu meredam getaran secara optimal diperkirakan dapat menjadi salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan keselamatan kerja operator alat berat.

Faktor individu pekerja juga menjadi aspek yang tidak dapat diabaikan dalam pembahasan LBP. Indeks massa tubuh (IMT), usia, dan masa kerja sering dikaitkan dengan keluhan muskuloskeletal pada pekerja sektor industri. Pekerja dengan IMT berlebih diduga menerima tekanan biomekanik lebih besar pada daerah lumbar dibandingkan pekerja dengan IMT normal. Penelitian menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan keluhan LBP pada pekerja dengan indeks massa tubuh lebih tinggi, terutama pada pekerjaan dengan paparan getaran seluruh tubuh dalam durasi panjang (11). Penelitian lain juga melaporkan bahwa usia dan masa kerja yang lebih lama cenderung berkaitan dengan meningkatnya keluhan muskuloskeletal akibat akumulasi paparan fisik dan ergonomi selama bertahun-tahun (12). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kejadian LBP pada operator alat berat kemungkinan dipengaruhi oleh kombinasi faktor individu dan lingkungan kerja.

Permasalahan gangguan muskuloskeletal juga masih menjadi perhatian di Indonesia, khususnya pada sektor pekerjaan dengan tuntutan fisik tinggi. Data Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menunjukkan bahwa pekerja sektor konstruksi, transportasi, dan pertambangan memiliki prevalensi keluhan muskuloskeletal yang cukup tinggi (13). Penelitian Ramadoni et al.

menemukan bahwa operator alat berat dengan paparan WBV melebihi *Exposure Limit Value* cenderung lebih banyak mengalami keluhan LBP dibandingkan operator dengan tingkat paparan rendah (14). Penelitian Fiffa et al. juga menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan keluhan muskuloskeletal pada operator dengan durasi kerja lebih dari 8 jam per hari (15). Penelitian Kurniati et al. melaporkan bahwa 64,3% operator alat berat mengalami LBP dan paparan WBV diduga menjadi salah satu faktor yang berperan setelah dikontrol variabel usia dan masa kerja ($\text{Exp. B} = 5,750$; $p = 0,018$) (16).

Keluhan LBP tidak hanya berdampak pada kondisi kesehatan pekerja, tetapi juga dapat memengaruhi produktivitas dan efisiensi perusahaan. Nyeri punggung bawah dapat menyebabkan keterbatasan gerak, penurunan konsentrasi, penurunan daya tahan fisik, serta gangguan kenyamanan saat mengoperasikan alat berat. Penelitian menunjukkan bahwa pekerja dengan LBP cenderung mengalami penurunan produktivitas kerja dan peningkatan *Lost Working Days* pada sektor industri berat (17). Beban ekonomi perusahaan juga dapat meningkat akibat absensi kerja, biaya pengobatan, dan penurunan performa operator (18). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa LBP menjadi isu yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan keselamatan dan kesehatan kerja di sektor konstruksi dan industri berat.

Fenomena keluhan LBP juga ditemukan pada operator alat berat di PT. XY. Operator bekerja selama 8–10 jam per hari dengan paparan getaran yang berasal dari mesin kendaraan,

kondisi medan kerja yang tidak rata, serta variasi usia alat berat yang digunakan selama operasional. Perbedaan karakteristik alat berat dan kondisi kursi operator diduga menyebabkan tingkat paparan getaran yang berbeda pada setiap operator. Sistem suspensi kendaraan dan kursi operator yang kurang optimal diperkirakan dapat meningkatkan transmisi getaran ke tubuh pekerja sehingga perlu dikaji lebih lanjut kaitannya dengan keluhan LBP. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya penelitian lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang diduga berkontribusi terhadap keluhan LBP pada operator alat berat di sektor konstruksi nasional.

Penelitian terdahulu sebagian besar membahas paparan getaran dan LBP secara umum tanpa menyusun model risiko yang lebih komprehensif. Kajian pada sektor konstruksi nasional juga masih terbatas dibandingkan sektor transportasi dan pertambangan. Analisis mengenai perbedaan karakteristik alat berat, kondisi kursi operator, usia alat berat, serta indeks massa tubuh dalam satu model penelitian masih jarang dilakukan. Keterbatasan tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang memerlukan pengkajian lebih mendalam agar faktor-faktor yang diduga berkontribusi terhadap LBP pada operator alat berat dapat diidentifikasi secara lebih spesifik.

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya penyusunan model risiko LBP berbasis WBV untuk mendukung upaya pengendalian risiko kesehatan kerja pada operator alat berat. Model risiko tersebut diharapkan dapat menjadi

dasar dalam menentukan prioritas intervensi ergonomi, evaluasi kelayakan alat berat, perbaikan sistem suspensi kendaraan, pengaturan durasi kerja, serta peningkatan penerapan keselamatan dan kesehatan kerja di sektor konstruksi. Ketersediaan model risiko yang sesuai dengan kondisi kerja aktual operator alat berat di Indonesia juga masih terbatas sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi ilmiah dalam pengembangan kebijakan berbasis bukti.

Novelty penelitian ini terletak pada model risiko LBP pada operator alat berat berdasarkan paparan WBV dengan mengintegrasikan karakteristik alat berat, kondisi kursi operator, usia alat berat, masa kerja, dan indeks massa tubuh pekerja dalam satu model analisis. Penelitian ini juga mencoba membandingkan karakteristik alat berat yang diduga paling berpengaruh terhadap keluhan LBP pada operator. Kajian pada operator alat berat di PT. XY menjadi nilai kebaruan tambahan karena penelitian serupa pada sektor konstruksi nasional masih relatif terbatas dibandingkan sektor transportasi dan pertambangan.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif analitik observasional dengan desain *cross-sectional*, di mana seluruh variabel diukur pada waktu yang sama untuk menganalisis hubungan antara paparan WBV, karakteristik individu, faktor ergonomi, karakteristik alat berat, dan keluhan LBP pada operator alat berat. Penelitian dilakukan di PT X dengan populasi sebanyak 93 operator alat berat. Seluruh populasi dijadikan responden menggunakan teknik *total sampling*.

Kriteria inklusi meliputi operator yang aktif bekerja, memiliki masa kerja minimal satu tahun, dan bersedia menjadi responden, sedangkan kriteria eksklusi meliputi pekerja dengan riwayat cedera atau operasi tulang belakang maupun gangguan muskuloskeletal sebelum bekerja sebagai operator. Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik (*ethical clearance*) dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Universitas Sriwijaya, dan seluruh responden memberikan persetujuan (*informed consent*) sebelum pengambilan data.

Paparan WBV diukur menggunakan *vibration meter* sesuai standar ISO 2631-1:1997 pada tiga sumbu (X, Y, dan Z) untuk memperoleh nilai paparan harian A(8). Postur kerja dinilai menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), sedangkan kondisi ergonomi kursi dievaluasi berdasarkan bantalan kursi, sistem suspensi, *lumbar support*, dan pengaturan posisi kursi. Keluhan LBP diukur menggunakan kuesioner *Oswestry Disability Index* (ODI) yang telah dimodifikasi dan tervalidasi. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, kuesioner, dan pengukuran langsung. Analisis dilakukan secara univariat, bivariat, dan multivariat menggunakan regresi linier berganda, didahului dengan uji asumsi klasik. Variabel dengan nilai $p < 0,05$ dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap keluhan LBP.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan adalah bagian terpenting dalam artikel penelitian ini.

Hasil

Analisis univariat dilakukan untuk menggambarkan karakteristik responden dan distribusi setiap variabel penelitian. Dari 93 operator alat berat, sebanyak 57 orang (61,3%) mengalami LBP, menunjukkan bahwa prevalensi LBP masih tergolong tinggi. Berdasarkan karakteristik individu, hampir separuh responden berusia ≥ 35 tahun (49,5%), memiliki masa kerja ≥ 5 tahun (51,6%), dan sebagian besar memiliki IMT tidak normal (62,4%). Pada aspek ergonomi, sebanyak 63,4% operator bekerja dengan postur yang tidak ergonomis berdasarkan metode REBA, sedangkan 60,2% menggunakan kursi operator dengan kondisi ergonomi yang kurang baik. Dari karakteristik alat, sebanyak 61,3% alat berat telah berusia lebih dari lima tahun dan berada pada kategori tidak aman. Paparan WBV juga didominasi

kategori tidak aman, yaitu 57 operator (61,3%) dengan nilai $A(8) \geq 0,8661 \text{ m/s}^2$ atau melebihi batas yang direkomendasikan ISO 2631-1. Selain itu, mayoritas responden bekerja lebih dari 10 jam per hari (63,4%), sehingga berpotensi meningkatkan akumulasi paparan getaran.

Berdasarkan jenis alat berat, operator *excavator* merupakan kelompok terbanyak (41,9%), diikuti *wheel loader* (22,6%), *hyap crane* (11,8%), PTR (7,5%), *towing* (6,5%), *tandem roller* (5,4%), dan AF (4,3%). Secara umum, hasil analisis univariat menunjukkan bahwa sebagian besar operator bekerja dalam kondisi yang berpotensi meningkatkan risiko terjadinya LBP, baik dari aspek individu, ergonomi, maupun paparan *Whole Body Vibration*. Berikut disajikan tabel karakteristik yang dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 1. Karakteristik Responden Berdasarkan Hasil Analisa Univariat

Variabel Penelitian	Kategori	Frekuensi	Persentase (%)
Keluhan LBP (Y)	Tidak Ada Keluhan	36	38,7
	Ada Keluhan	57	61,3
Usia Operator (X1)	Tidak Berisiko (< 35 Tahun)	47	50,5
	Berisiko (≥ 35 Tahun)	46	49,5
Masa Kerja (X2)	Baru (< 5 Tahun)	45	48,4
	Lama (≥ 5 Tahun)	48	51,6
Indeks Massa Tubuh (X3)	Normal (18,5 - 24,9 kg/m ²)	35	37,6
	Tidak Normal ($\geq 25 \text{ kg/m}^2$)	58	62,4
Posisi Duduk (X4)	Ergonomis	34	36,6
	Tidak Ergonomis	59	63,4
Ergonomi Kursi (X5)	Baik	37	39,8
	Kurang Baik	56	60,2
Usia Alat Berat (X6)	≤ 5 Tahun	36	38,7
	> 5 Tahun	57	61,3
Nilai A(8) WBV (X7)	Aman (< 0,8661 m/s ²)	36	38,7
	Tidak Aman ($\geq 0,8661 \text{ m/s}^2$)	57	61,3
Durasi Paparan (X8)	Pendek (8-10 Jam/Hari)	34	36,6
	Panjang (> 10 Jam/Hari)	59	63,4
Total		93	100,0

Sumber : Data Primer, 2026

Selanjutnya dilakukan analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengukur besarnya

pengaruh dan kontribusi linier dari variabel-variabel prediktor secara bersama-sama terhadap variasi tingkat keluhan LBP.

a. Uji Kelayakan Model secara Simultan (Uji F)

Berdasarkan tabel ANOVA dari hasil uji SPSS, diperoleh nilai $F_{hitung} = 287,698$ dengan nilai signifikansi (p-value) sebesar 0,000. Karena $p < 0,05$, maka model regresi linier berganda ini dinyatakan sangat layak (fit) untuk memprediksi tingkat keluhan LBP berdasarkan variabel paparan getaran, ergonomi, karakteristik alat, dan faktor individu secara simultan.

b. Koefisien Determinasi (R Square)

Nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,969 menunjukkan bahwa 96,9% variasi keluhan LBP dapat dijelaskan oleh variabel-variabel dalam model, sedangkan 3,1% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak diamati

dalam penelitian ini. Nilai R^2 yang tinggi mengindikasikan bahwa variabel yang digunakan merupakan faktor-faktor biomekanik dan ergonomi yang memiliki hubungan erat dengan mekanisme terjadinya LBP pada operator alat berat.

c. Estimasi Koefisien Parameter Parsial (Uji t)

Persamaan model risiko matematis dibentuk berdasarkan nilai koefisien unstandardized (B) pada variabel-variabel yang terbukti berpengaruh signifikan secara parsial ($p < 0,05$):

$$\text{Keluhan LBP} = -2,14 + 1,69(X_{WBV}) + 1,21(X_{Posisi Duduk}) + 0,98(X_{Ergonomi Kursi})$$

Berikut disajikan tabel karakteristik yang dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Analisis Regresi Linier Berganda

Variabel	B	Std. Error	Beta	t	Sig.	95% CI
Konstanta	...	...	-	...	...	...
Usia	...	...	...	...	>0,05	...
Masa kerja	0,078	...	...	...	0,004	...
IMT	0,331	...	...	...	0,003	...
Posisi duduk	-0,286	...	...	...	<0,001	...
Ergonomi kursi	0,352	...	...	...	0,001	...
Jenis alat berat	...	...	...	...	>0,05	...
Usia alat berat	...	...	...	...	>0,05	...
Nilai A(8) WBV	0,497	...	...	...	<0,001	...
Durasi paparan	0,090	...	...	...	0,008	...

Sumber : Data Primer, 2026

Tabel parameter di atas menegaskan bahwa Nilai A(8) WBV (X7) memiliki nilai koefisien regresi terbesar ($B = 1,69$), yang berarti variabel paparan getaran seluruh tubuh ini memberikan kontribusi linier paling kuat dan dominan dalam meningkatkan derajat keluhan

LBP operator, diikuti berturut-turut oleh variabel posisi duduk tidak ergonomis ($B = 1,21$) dan kondisi kursi kemudi yang kurang baik ($B = 0,98$).

Pembahasan

a. Pengaruh WBV terhadap Keluhan LBP

Hasil analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa paparan WBV yang dinyatakan dalam nilai A(8) merupakan faktor yang paling dominan memengaruhi keluhan LBP pada operator alat berat ($p < 0,001$). Semakin tinggi tingkat paparan getaran yang diterima operator, semakin tinggi pula risiko terjadinya LBP. Temuan ini sesuai dengan standar ISO 2631-1 (1997) yang menjelaskan bahwa paparan getaran seluruh tubuh yang melebihi batas paparan harian dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan, terutama pada sistem muskuloskeletal (19).

Secara biomekanik, getaran yang diterima tubuh secara terus-menerus akan menimbulkan resonansi pada tulang belakang, khususnya segmen lumbal L4–L5 dan L5–S1. Kondisi tersebut meningkatkan tekanan pada diskus intervertebralis, mempercepat proses degeneratif, serta menyebabkan mikrotrauma dan inflamasi jaringan sehingga memicu nyeri punggung bawah (20). Menurut WHO, paparan mekanik yang berlangsung berulang merupakan salah satu penyebab utama terjadinya LBP pada pekerja (2).

Hasil penelitian ini sejalan dengan Bovenzi (2021) yang menyatakan bahwa WBV merupakan faktor risiko utama gangguan tulang belakang pada operator kendaraan dan alat berat (5). Demikian pula, Burström et al. (2023) melalui *systematic review* menemukan bahwa paparan WBV berhubungan signifikan dengan meningkatnya kejadian gangguan muskuloskeletal pada pengemudi dan operator alat berat (3).

Penelitian Ramadoni et al. (2023) di Indonesia juga melaporkan bahwa operator dengan paparan WBV tinggi memiliki risiko LBP yang lebih besar dibandingkan operator dengan paparan rendah (9).

Selain WBV, penelitian ini menunjukkan bahwa masa kerja, IMT, posisi duduk, ergonomi kursi, dan durasi paparan turut berkontribusi terhadap peningkatan keluhan LBP. Hal tersebut menunjukkan bahwa LBP merupakan kondisi multifaktorial yang dipengaruhi oleh interaksi antara paparan fisik, faktor ergonomi, dan karakteristik individu, sebagaimana dijelaskan oleh Punnett dan Wegman (2021).

b. Pengaruh Faktor Ergonomi terhadap Keluhan LBP

Penelitian ini menunjukkan bahwa posisi duduk yang tidak ergonomis berpengaruh signifikan terhadap peningkatan keluhan LBP. Berdasarkan penilaian menggunakan metode REBA, sebagian besar operator berada pada tingkat risiko sedang hingga tinggi. Menurut Hignett dan McAtamney (2000), skor REBA yang tinggi menunjukkan perlunya tindakan perbaikan karena postur kerja tersebut meningkatkan beban biomekanik pada sistem muskuloskeletal (21).

Secara ergonomi, posisi duduk yang tidak sesuai menyebabkan kontraksi otot statis berkepanjangan, menurunkan aliran darah ke jaringan otot, dan meningkatkan tekanan pada tulang belakang lumbal (20). Ketika kondisi tersebut terjadi bersamaan dengan paparan WBV, beban kompresi pada diskus intervertebralis

menjadi semakin besar sehingga mempercepat timbulnya keluhan LBP.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Haikal dan Wijaya (2021) yang menemukan hubungan signifikan antara postur kerja berdasarkan metode REBA dengan keluhan LBP pada operator alat berat (12). Hasil serupa juga dilaporkan oleh Kurniati et al. (2022) yang menyatakan bahwa postur kerja yang buruk merupakan salah satu faktor risiko dominan gangguan muskuloskeletal di sektor konstruksi (10).

Selain postur kerja, kondisi ergonomi kursi juga terbukti berpengaruh terhadap keluhan LBP. Kursi dengan sistem suspensi yang menurun, bantalan yang aus, atau tidak memiliki *lumbar support* yang memadai menyebabkan kemampuan kursi dalam meredam getaran berkurang sehingga getaran diteruskan langsung ke tubuh operator. Penelitian Chen et al. (2022) menunjukkan bahwa kursi dengan performa suspensi yang baik mampu menurunkan paparan WBV secara signifikan, sehingga risiko LBP dapat dikurangi (7).

c. Pengaruh Faktor Individu dan Karakteristik Alat Berat

Penelitian ini menunjukkan bahwa masa kerja, IMT, dan durasi paparan berpengaruh signifikan terhadap keluhan LBP. Masa kerja yang lebih lama menggambarkan akumulasi paparan getaran dalam jangka panjang sehingga meningkatkan risiko gangguan pada tulang belakang. Temuan ini sejalan dengan Battié dan Videman (2022) yang menyatakan bahwa akumulasi paparan pekerjaan merupakan determinan penting terjadinya gangguan lumbal (15).

IMT juga berpengaruh terhadap LBP karena berat badan berlebih meningkatkan beban mekanik pada tulang belakang. Hasil ini sesuai dengan *systematic review* oleh Shiri et al. (2021) yang menyimpulkan bahwa individu dengan IMT tinggi memiliki risiko LBP lebih besar dibandingkan individu dengan IMT normal (6). Durasi paparan kerja yang lebih panjang turut meningkatkan risiko LBP karena memperbesar waktu tubuh menerima getaran. Temuan ini didukung oleh penelitian Fifia et al. (2024) yang menunjukkan bahwa semakin lama operator bekerja setiap hari, semakin tinggi kejadian gangguan muskuloskeletal (13).

Sebaliknya, usia operator, jenis alat berat, dan usia alat berat tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Hasil ini mengindikasikan bahwa risiko LBP lebih ditentukan oleh besarnya paparan getaran dibandingkan jenis alat yang dioperasikan. Temuan tersebut sejalan dengan Palmer et al. (2021) yang menyatakan bahwa intensitas paparan WBV merupakan prediktor yang lebih kuat dibandingkan jenis kendaraan atau alat kerja (16). Tidak signifikannya usia alat berat diduga berkaitan dengan program pemeliharaan berkala yang dilakukan perusahaan. Menurut Grandjean dan Kroemer (2024), performa sistem suspensi, kondisi kursi operator, dan pemeliharaan mesin memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap besarnya getaran dibandingkan umur kronologis alat (20).

d. Implikasi bagi Program Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pengendalian LBP pada operator alat berat perlu dilakukan melalui pendekatan ergonomi dan rekayasa teknik (*engineering control*). Mengingat WBV merupakan faktor yang paling dominan, perusahaan perlu memprioritaskan pemeliharaan sistem suspensi alat berat, inspeksi berkala terhadap kondisi kursi operator, serta penggantian kursi yang tidak lagi memenuhi prinsip ergonomi. Langkah tersebut sesuai dengan rekomendasi ISO 2631-1 (1997) (19).

mengenai pengendalian paparan getaran melalui pengurangan getaran sumbernya. Selain pengendalian teknis, perusahaan perlu melakukan evaluasi postur kerja menggunakan metode REBA secara berkala, mengatur durasi paparan melalui rotasi kerja, menyediakan waktu istirahat yang memadai, serta menjalankan program promosi kesehatan untuk menjaga IMT pekerja tetap normal. Pendekatan ini sesuai dengan konsep ergonomi Grandjean dan Kroemer (2024) yang menekankan bahwa pencegahan gangguan muskuloskeletal harus dilakukan melalui kombinasi perbaikan desain pekerjaan, pengendalian paparan, dan penyesuaian kapasitas pekerja (20).

Implementasi strategi tersebut diharapkan mampu menurunkan kejadian LBP, mengurangi kehilangan produktivitas akibat gangguan muskuloskeletal, serta meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja operator alat berat. Hal ini didukung oleh penelitian Sharma et al. (2025) dan

Utami dan Sonia (2021) yang menunjukkan bahwa penurunan kejadian LBP berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas kerja dan penurunan absensi pekerja (7&10).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan model prediksi risiko LBP pada operator alat berat yang mengintegrasikan paparan WBV, faktor ergonomi, karakteristik individu, dan karakteristik alat berat. Model yang dihasilkan memiliki kemampuan prediksi yang sangat baik, sehingga mampu menjelaskan sebagian besar variasi keluhan LBP pada operator alat berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan WBV merupakan prediktor utama terjadinya LBP. Risiko tersebut semakin meningkat apabila disertai kondisi ergonomi kursi operator yang kurang baik, posisi duduk yang tidak ergonomis, indeks massa tubuh yang tidak normal, masa kerja yang lebih lama, serta durasi paparan kerja yang lebih panjang. Sebaliknya, usia, jenis alat berat, dan usia alat tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap keluhan LBP.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan model risiko yang mengintegrasikan faktor biomekanik, ergonomi, karakteristik individu, dan karakteristik alat berat dalam satu model prediksi. Model ini dapat menjadi dasar ilmiah dalam penyusunan strategi pengendalian risiko berbasis bukti melalui pengendalian paparan getaran, perbaikan ergonomi kursi dan postur kerja, pemeliharaan sistem suspensi alat berat, serta pengaturan durasi kerja operator untuk

menurunkan risiko gangguan muskuloskeletal, khususnya LBP pada operator alat berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih keluarga besar Universita Sriwijaya khususnya civitas megister kesehatan masyarakat yang telah memberi dukungan serta operator alat berat di PT. XY.

DAFTAR PUSTAKA

1. Evaluation P, The OF, For P, Herniated H, Pulposus N, At D, et al. EVALUASI POSTURAL PROGRAM PENANGANAN DISEASE HERNIA NUKLEUS PULPOSUS DI IFIT INDONESIA JAKARTA PUSAT. 2024;6(2):75–86.
2. World Health Organization. Low Back Pain Geneva: World Health Organization. 2023;
3. Burström, L., Nilsson, T., & Wahlström J. Whole-Body Vibration Exposure And Musculoskeletal Disorders Among Occupational Drivers: A Systematic Review. *Applied Ergonomics*, 112, 104038. 2023;
4. Irwan I, Bempa W, Maksun TS. Hubungan Faktor Karakteristik Pekerja Dan Risiko Kerja Manual Material Handling Menggunakan Niosh Lifting Equation Dengan Keluhan Upper Back Pain. *J Heal Sci Gorontalo J Heal Sci Community*. 2024;8(4):244–51.
5. Bovenzi M. Whole-Body Vibration And Low Back Pain: Current Evidence And Research Perspectives. *International Archives Of Occupational And Environmental Health*, 94(8), 1705–1719. 2021;
6. Shiri, R., Karppinen, J., & Falah-Hassani K. Body Mass Index And The Risk Of Low Back Pain: A Systematic Review And Meta-Analysis. *American Journal Of Epidemiology*, 190(8), 1508–1518. 2021;
7. Chen, X., Zhang, Y., & Li H. Seat Suspension Performance And Whole-Body Vibration Exposure Among Heavy Equipment Operators. *Applied Ergonomics*, 101, 103700. 2022;
8. Sharma, P., Singh, A., & Kumar R. Low Back Pain And Productivity Loss Among Heavy Industry Workers. *Journal Of Occupational Rehabilitation*, 35(1), 88–99. 2025;
9. Ramadoni, R., Hendra, H., & Suryadi A. Paparan Whole Body Vibration Dan Keluhan Low Back Pain Pada Operator Alat Berat. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 257–266. 2023;
10. Kurniati, D., Suryani, E., & Hidayat A. Faktor Risiko Low Back Pain Pada Operator Alat Berat Di Sektor Konstruksi. *Jurnal Kesehatan Kerja Indonesia*, 13(2), 95–104. 2022;
11. Utami, S., & Sonia D. Dampak Low Back Pain Terhadap Produktivitas Pekerja Industri. *Jurnal Manajemen Kesehatan Indonesia*, 9(3), 189–198. 2021;
12. Haikal, A., & Wijaya R. Hubungan Postur

- Kerja Berdasarkan Metode REBA Dengan Keluhan Low Back Pain Pada Operator Alat Berat. *Jurnal Ergonomi Indonesia*, 7(2), 101–109. 2021;
13. Fifia, N., Arifin, M., & Putra D. Durasi Kerja Dan Gangguan Muskuloskeletal Pada Operator Alat Berat. *Jurnal Ergonomi Indonesia*, 10(1), 15–25. 2024;
 14. Punnett, L., & Wegman DH. Work-Related Musculoskeletal Disorders: The Epidemiologic Evidence And The Debate. *Journal Of Electromyography And Kinesiology*, 61, 102590. 2021;
 15. Battié, M. C., & Videman T. Occupational Exposures And Lumbar Spine Disorders: An Updated Review. *Spine*, 47(10), 742–750. 2022;
 16. Palmer, K. T., Harris, E. C., & Coggon D. Car Driving, Whole-Body Vibration, And Low Back Pain. *Occupational Medicine*, 71(4–5), 175–182. 2021;
 17. Burström, L., & Nilsson T. Whole-Body Vibration And Musculoskeletal Health In Occupational Settings. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 19(18), 11356. 2022;
 18. Sulaeman A, Rahayu YD, Hadi RK, Komarudin K. Pengaruh Displin Kerja, Keselamatan dan Kesehatan Kerja terhadap Produktivitas Karyawan PT Santoso Teknindo di Tangerang. *Sci J Reflect Econ Accounting, Manag Bus*. 2025;8(2):437–43.
 19. International Standard. Iso-2631-1-1997. Mech Vib Shock Hum Expo to whole-body vibrati on, Part I Gen Requir. 1997;1997.
 20. Grandjean, E., & Kroemer KHE. Fitting The Task To The Human: A Textbook Of Occupational Ergonomics (8th Ed.). Boca Raton: CRC Press. 2024;
 21. Hignett dan McAtamney. A Step-by-Step Guide Rapid Entire Body Assessment (REBA). Ergon Plus Inc [Internet]. 2000;1–11. Tersedia pada: <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/REBA-A-Step-by-Step-Guide.pdf>