

Analisis Getaran Pada Bus Trans Jateng Koridor 4 Menggunakan Sensor Akselerometer MPU6050 Dan Metode RULA

Vibration Analysis on Trans Jateng Bus Corridor 4 Using MPU6050 Accelerometer Sensor and RULA Method

Muhammad Hanafi Wisnumurti^{1*}, Agus Mukhtar¹, Aan Burhanuddin¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang, Semarang 50232, Indonesia

*Corresponding author: wisnumurty19@gmail.com

Diterima: 30-06-2025

Disetujui: 12-08-2025

Dipublikasikan: 20-08-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Pengemudi bus angkutan umum berisiko mengalami gangguan kesehatan akibat getaran mekanis dan postur kerja tidak ergonomis selama jam kerja panjang. Penelitian ini menganalisis tingkat getaran dan risiko ergonomis pada pengemudi bus Trans Jateng Koridor 4 menggunakan metode eksperimental dengan sensor accelerometer MPU6050 pada tiga titik: pedal rem/kopling, kemudi, dan kursi pengemudi pada berbagai kecepatan. Penilaian ergonomis dilakukan dengan metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) berbantuan perangkat lunak CATIA V5R20 pada dua fase kerja utama. Hasil menunjukkan getaran tertinggi pada pedal rem/kopling ($3,23 \text{ m/s}^2$), masih di bawah NAB 5 m/s^2 untuk durasi 6–8 jam sesuai Kepmenaker No. 5/2018. Getaran terendah terukur pada kemudi ($0,79 \text{ m/s}^2$) dan kursi pengemudi ($0,93 \text{ m/s}^2$). Skor RULA 3 pada kedua fase menunjukkan risiko kecil namun memerlukan pencegahan jangka panjang. Disarankan penggunaan sepatu anti-getaran, istirahat terstruktur setiap 90 menit, dan rotasi pengemudi maksimal 6 jam per shift untuk menjaga kesehatan kerja.

Kata Kunci: Trans Jateng, Sensor MPU6050, Getaran Mekanis, RULA.

Abstract

Public bus drivers are at risk of health issues due to mechanical vibrations and non-ergonomic working postures during long working hours. This study analyzed vibration levels and ergonomic risks of Trans Jateng Corridor 4 bus drivers using an experimental method with an MPU6050 accelerometer sensor at three points: brake/clutch pedal, steering wheel, and driver's seat at various operational speeds. Ergonomic assessment was conducted using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method with CATIA V5R20 software during two main work phases. Results showed the highest vibration level on the brake/clutch pedal (3.23 m/s^2), still below the threshold limit of 5 m/s^2 for 6–8 hours of work as regulated by the Ministry of Manpower Decree No. 5/2018. The lowest vibrations were recorded on the steering wheel (0.79 m/s^2) and driver's seat (0.93 m/s^2). A RULA score of 3 in both phases indicated a "low risk" category but required long-term preventive measures. Recommendations include the use of anti-vibration footwear, structured breaks every 90 minutes, and driver rotation with a maximum of 6 hours per shift to maintain optimal working conditions and prevent occupational health disorders.

Keywords: Trans Jateng, MPU6050 Sensor, Mechanical Vibration, RULA.

1. Pendahuluan

Profesi pengemudi bus angkutan umum di Indonesia merupakan salah satu sektor pekerjaan yang memiliki peran vital dalam sistem transportasi nasional, namun seringkali menghadapi tantangan serius terkait kesehatan dan keselamatan kerja. Pengemudi bus dituntut

untuk mempertahankan konsentrasi tinggi dalam jangka waktu yang berkepanjangan sambil menghadapi berbagai *stressor* fisik dan psikologis dalam pelaksanaan tugasnya (Erwani 2020). Kompleksitas pekerjaan ini melibatkan interaksi multifaktorial antara kondisi lingkungan kerja yang dinamis, variabilitas kondisi meteorologis, fluktuasi jadwal operasional, serta irregularitas pola kerja yang dapat mempengaruhi performa dan kesejahteraan pengemudi secara signifikan (Rozzi 2017). Karakteristik pekerjaan pengemudi bus yang mengharuskan mereka mempertahankan posisi duduk dalam durasi yang berkepanjangan sambil mengoperasikan kendaraan bermotor menimbulkan *eksposur* terhadap berbagai faktor risiko ergonomis. Salah satu aspek yang memerlukan perhatian khusus dalam konteks kesehatan dan keselamatan kerja adalah paparan getaran mekanis yang dihasilkan oleh sistem propulsi dan komponen struktural kendaraan (Yasir 2024) (Jonathan et al. 2024). Getaran ini tidak hanya mempengaruhi kenyamanan operasional, tetapi juga berpotensi menimbulkan dampak fisiologis jangka panjang terhadap sistem muskuloskeletal dan neurologis pengemudi, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kualitas pelayanan transportasi publik secara keseluruhan (Hidayati and Hendrati 2017).

Fenomena getaran yang dihasilkan oleh sistem mekanis kendaraan memiliki karakteristik frekuensi dan amplitudo yang beragam, memberikan pengaruh signifikan terhadap kondisi fisiologis pengemudi bus di Indonesia. Getaran dengan spektrum frekuensi tertentu, khususnya dalam rentang 5 hingga 20 Hz, memiliki kecenderungan untuk beresonansi dengan frekuensi natural organ-organ tubuh manusia. Paparan getaran jangka panjang telah diidentifikasi sebagai faktor etiologi dalam berkembangnya sindrom terowongan karpal, terutama pada kondisi kerja yang melibatkan genggam berulang pada *steering wheel* dengan intensitas getaran tinggi (Sugiharto, Chandra, and Siswo 2020). Dampak akumulatif dari *eksposur* getaran ini dapat mengakibatkan deteriorasi performa kerja dan peningkatan risiko kecelakaan lalu lintas ("5. View of Prevalensi Nyeri Muskuloskeletal Pada Pengemudi Becak Kayuh Di Palembang.Pdf," n.d.). Penetapan nilai ambang batas getaran merupakan aspek fundamental dalam sistem manajemen kesehatan dan keselamatan kerja yang bertujuan untuk mengoptimalkan kondisi kerja dan meminimalkan risiko kesehatan okupasional bagi pengemudi bus di Indonesia. Regulasi internasional telah menetapkan kriteria klasifikasi tingkat getaran berdasarkan parameter *comfort*, *health*, dan *safety*, yang dikategorikan dalam level mengganggu, tidak nyaman, hingga membahayakan. Standarisasi ini tidak hanya mempertimbangkan aspek preservasi integritas struktural kendaraan, tetapi juga memprioritaskan aspek kesehatan dan kenyamanan pekerja yang terekspos getaran dalam aktivitas kerja sehari-hari pada sektor transportasi publik Indonesia.

Meskipun sistem transportasi publik di Indonesia terus berkembang pesat, penelitian mengenai dampak getaran terhadap pengemudi bus masih terbatas dan belum mencakup evaluasi komprehensif terhadap kondisi kerja aktual. Khususnya pada armada bus Trans Jateng, yang merupakan salah satu moda transportasi massal vital dalam sistem mobilitas regional Jawa Tengah, belum menjadi subjek penelitian yang memadai terkait aspek kesehatan dan keselamatan kerja pengemudinya. Keterbatasan penelitian ini menciptakan kekosongan data empiris mengenai tingkat *eksposur* getaran dan risiko ergonomis yang dihadapi pengemudi bus Trans Jateng, padahal informasi tersebut sangat diperlukan untuk pengembangan kebijakan kesehatan kerja yang efektif. Lacuna penelitian mengenai kondisi kerja pengemudi bus di Indonesia, khususnya terkait paparan getaran dan risiko ergonomis, menciptakan kebutuhan mendesak untuk melakukan investigasi sistematis yang dapat memberikan baseline data komprehensif. Penelitian sebelumnya umumnya fokus pada aspek teknis kendaraan atau efisiensi operasional, namun jarang yang mengintegrasikan aspek kesehatan dan keselamatan kerja pengemudi dalam konteks sistem transportasi publik Indonesia. Kekosongan ini mengakibatkan minimnya *evidence-based policy* untuk perlindungan kesehatan pengemudi bus, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi *sustainability* dan kualitas pelayanan transportasi

publik di Indonesia. Berdasarkan identifikasi permasalahan dan kekosongan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan spesifik untuk menganalisis tingkat getaran pada Bus Trans Jateng Koridor 4 dan mengevaluasi risiko ergonomis yang dihadapi pengemudi menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan rekomendasi berbasis bukti untuk peningkatan kondisi kerja pengemudi bus dan optimalisasi sistem transportasi publik di Indonesia. Hasil penelitian ini akan menjadi referensi penting bagi pengambil kebijakan dalam merancang strategi pengendalian risiko kesehatan kerja yang efektif untuk sektor transportasi publik Indonesia.

2. Metode

2.1. Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini mengadopsi desain eksperimental dengan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis karakteristik getaran dan postur ergonomis pengemudi bus Trans Jateng koridor 4. Metodologi eksperimental dipilih untuk memungkinkan manipulasi dan kontrol terhadap variabel independen berupa kondisi operasional kendaraan, sementara pendekatan deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai tingkat getaran yang dihasilkan pada berbagai kondisi pengoperasian bus. Analisis data dilakukan secara real-time melalui sistem monitoring kontinyu yang memungkinkan observasi langsung terhadap *fluktuasi* parameter getaran selama proses pengambilan data. Integrasi metodologi eksperimental dan deskriptif ini memfasilitasi pemahaman mendalam mengenai korelasi antara kondisi operasional kendaraan dengan tingkat eksposur getaran yang dialami pengemudi. Penelitian ini juga mengincorporasi analisis ergonomis menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) untuk mengevaluasi risiko *musculoskeletal* yang berkaitan dengan postur kerja pengemudi dalam konteks sistem transportasi publik. Diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini berlokasi di Terminal Kutoarjo, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah, dengan area pengambilan data mencakup seluruh rute operasional Bus Trans Jateng Koridor 4 yang menghubungkan Terminal Kutoarjo dengan destinasi Borobudur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada *representativitas rute* tersebut terhadap kondisi operasional bus antar kota yang melibatkan variasi topografi dan karakteristik jalan yang beragam. Periode penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, yaitu dari bulan Mei hingga Juli 2025, dengan durasi pengukuran yang telah distandarisasi selama 5 menit untuk setiap kondisi pengujian. Protokol pengambilan data melibatkan akuisisi 60 data percepatan getaran pada setiap sesi pengukuran, yang selanjutnya diolah secara statistik untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Objek penelitian difokuskan pada pengemudi Bus Trans Jateng Koridor 4 dengan nomor lambung 5, yang merupakan kendaraan tipe bus sedang bermerk Mitsubishi Colt Diesel FE84G dengan tahun perakitan 2020.

2.3. Instrumentasi dan Perangkat Penelitian

Instrumentasi penelitian ini menggunakan sistem akuisisi data berbasis sensor accelerometer MPU6050 yang terintegrasi dengan mikrokontroler NodeMCU untuk transmisi data nirkabel. Sensor accelerometer MPU6050 dipilih berdasarkan spesifikasi teknisnya yang memadai untuk aplikasi pengukuran getaran kendaraan, dengan karakteristik input tegangan DC 3,3V atau 5V, protokol komunikasi IIC standar, dan konverter analog-digital 16-bit yang menghasilkan output data 16-bit. Rentang pengukuran giroskop yang dapat dikonfigurasi antara 250-2000°/detik dan rentang akselerasi 2-16g memberikan fleksibilitas dalam adaptasi terhadap berbagai kondisi getaran yang mungkin terjadi. Dimensi sensor yang kompak (2 cm x 1,5 cm) dengan bobot 5 gram memungkinkan instalasi yang tidak invasif pada berbagai titik pengukuran di dalam kendaraan. Sistem pendukung instrumentasi meliputi kabel jumper dengan spesifikasi yang telah ditentukan untuk konektivitas yang optimal antara komponen sistem. Perangkat

tambahan yang digunakan mencakup laptop sebagai sistem akuisisi dan processing data, power bank sebagai sumber daya portabel, dan smartphone untuk dokumentasi dan monitoring proses pengambilan data.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Spesifikasi kabel jumper

Komponen	Spesifikasi Teknis
Konverter USB female to jack DC male 5,5mm converter 5V	Input: USB Jack 5V, Output: 2,1 x 5,5mm jack 5v DC, Panjang kabel: 100 cm
USB Micro	Output: 1,2 A, Panjang: 100 cm

2.4. Prosedur Pengambilan Data dan Penempatan Sensor

Prosedur pengambilan data getaran mengikuti protokol yang telah distandarisasi dengan penempatan sensor accelerometer MPU6050 pada tiga titik strategis yang merepresentasikan jalur transmisi getaran utama kepada pengemudi. Titik pertama ditempatkan pada permukaan pedal kopling untuk mengukur getaran yang ditransmisikan melalui ekstremitas bawah, titik kedua dipasang pada bagian tengah roda kemudi untuk mengevaluasi getaran yang diterima melalui sistem kemudi, dan titik ketiga diposisikan pada dasar kursi pengemudi untuk menganalisis whole-body vibration yang mempengaruhi postur duduk. Setiap sensor dipasang secara kokoh menggunakan metode fiksasi yang memastikan transfer getaran yang akurat tanpa interferensi dari pergerakan relatif sensor terhadap struktur kendaraan. Pengambilan data dilakukan pada empat kondisi operasional yang berbeda untuk memberikan spektrum lengkap karakteristik getaran, yaitu kondisi stasioner (idle), kecepatan rendah (0-30 km/jam), kecepatan sedang (30-50 km/jam), dan kecepatan tinggi (50-80 km/jam). Pada setiap kondisi pengukuran, sistem dioperasikan selama periode waktu yang konsisten untuk memastikan stabilitas data dan mengurangi variabilitas yang disebabkan oleh faktor eksternal. Data percepatan yang terakuisisi kemudian diolah secara statistik untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif untuk analisis lebih lanjut.

2.5. Metode Analisis Ergonomis dan Pengolahan Data

Analisis postur kerja pengemudi dilakukan menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) yang difasilitasi oleh modul Human Builder pada software CATIA V5R20. Pemilihan metode RULA didasarkan pada fokusnya terhadap evaluasi risiko ergonomis pada region anatomis yang paling relevan dengan aktivitas mengemudi, yaitu leher, punggung, dan anggota tubuh bagian atas. Sistem muskuloskeletal manusia, yang terdiri dari komponen otot dan rangka yang memungkinkan pergerakan tubuh, menjadi fokus utama dalam analisis ini karena kerentanannya terhadap gangguan akibat postur kerja yang tidak ergonomis dan eksposur getaran berkelanjutan. Evaluasi ergonomis dilakukan pada dua fase kerja utama yang merepresentasikan aktivitas mengemudi yang dominan. Fase pertama menganalisis postur mengemudi standar dengan konfigurasi kedua tangan memegang kemudi, sementara fase kedua mengevaluasi postur dinamis saat tangan kiri bergerak mengoperasikan tuas persneling. Metode RULA menghasilkan skor risiko dalam skala 1-7, dimana nilai tertinggi mengindikasikan tingkat risiko yang paling berbahaya, meskipun nilai terendah tidak menjamin bahwa profesi tersebut sepenuhnya bebas dari risiko ergonomis. Pengolahan data percepatan getaran dilakukan dengan mengkonversi data mentah dalam satuan m/s^2 menjadi nilai rata-rata statistik pada setiap kondisi pengukuran. Nilai rata-rata tersebut selanjutnya dibandingkan secara langsung dengan standar Nilai Ambang Batas (NAB) getaran untuk pemaparan lengan dan tangan sesuai dengan ketentuan dalam Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018. Hasil simulasi postur kerja yang telah dimodelkan pada CATIA V5R20 dievaluasi menggunakan matriks RULA untuk menghasilkan skor risiko akhir yang menunjukkan tingkat urgensi tindakan perbaikan yang diperlukan dalam konteks kesehatan dan keselamatan kerja pengemudi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Getaran pada Berbagai Titik Pengukuran

Berdasarkan hasil akuisisi data menggunakan sensor accelerometer MPU6050 yang dipasang pada tiga titik strategis (pedal rem/kopling, kemudi/steer, dan kursi pengemudi) pada bus Trans Jateng koridor 4, diperoleh profil getaran yang komprehensif untuk berbagai kondisi operasional kendaraan. Pengukuran dilakukan dengan durasi satu menit untuk setiap variabel kecepatan, meliputi kondisi idle, rentang kecepatan 0-30 km/jam, 30-50 km/jam, dan 50-80 km/jam. Hasil pengukuran menunjukkan variasi karakteristik getaran yang signifikan antar titik pengukuran, dengan pola peningkatan intensitas getaran yang proporsional terhadap kenaikan kecepatan operasional kendaraan (Istiyanto 2019).

Tabel 2. Hasil pengukuran getaran pada 3 titik sumber getaran pada bus Trans Jateng koridor 4 dengan variabel kecepatan yang berbeda

No.	Bagian yang diukur	Variabel kecepatan			
		Idle	0-30 km/h	30-50 km/h	50-80 km/h
1.	Pedal rem/kopling	2,32 m/s ²	2,86 m/s ²	3,11 m/s ²	3,23 m/s ²
2.	Kemudi/steer	0,52 m/s ²	0,62 m/s ²	0,67 m/s ²	0,79 m/s ²
3.	Kursi pengemudi	0,54 m/s ²	0,73 m/s ²	0,87 m/s ²	0,93 m/s ²

Data menunjukkan bahwa titik pengukuran pada pedal rem/kopling menghasilkan nilai percepatan getaran tertinggi di seluruh rentang kecepatan operasional, dengan nilai maksimum 3,23 m/s² pada kecepatan 50-80 km/jam. Sebaliknya, titik pengukuran pada kemudi/steer menunjukkan nilai percepatan terendah dengan nilai maksimum 0,79 m/s² pada kondisi kecepatan tertinggi. Kursi pengemudi menunjukkan karakteristik getaran yang berada pada rentang menengah dengan nilai maksimum 0,93 m/s² pada kondisi kecepatan 50-80 km/jam (Manafe., Tarigan., and Sausi. 2022).

3.2. Evaluasi Kepatuhan terhadap Nilai Ambang Batas (NAB) Getaran

Analisis komparatif antara hasil pengukuran getaran dengan standar Nilai Ambang Batas (NAB) getaran berdasarkan Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Nomor 5 Tahun 2018 menunjukkan tingkat kepatuhan yang memuaskan untuk seluruh kondisi operasional yang diuji. Standar NAB yang berlaku untuk pemaparan lengan dan tangan dengan durasi kerja 6-8 jam per hari menetapkan batas maksimum percepatan sebesar 5 m/s² (Ismail et al. 2018).

Tabel 3. Nilai ambang batas getaran untuk pemaparan lengan dan tangan

Jumlah Waktu paparan per hari kerja	Nilai Percepatan pada frekuensi Dominan (m/s ²)
6 - 8 jam	5
4 - 6 jam	6
2 - 4 jam	7
1 - 2 jam	10
0,5 - 1 jam	14
Kurang 0,5 jam	20

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh nilai pengukuran getaran pada ketiga titik pengukuran berada di bawah ambang batas yang ditetapkan untuk durasi kerja 6-8 jam. Nilai percepatan tertinggi yang tercatat pada pedal rem/kopling sebesar 3,23 m/s² masih berada 35% di bawah NAB yang ditetapkan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengemudi bus Trans Jateng koridor 4 tidak terekspos risiko kesehatan yang signifikan akibat getaran mekanis dalam kondisi operasional normal. Temuan menarik dari analisis ini adalah bahwa meskipun pedal rem/kopling menunjukkan nilai getaran tertinggi, dampak fisiologis terhadap pengemudi relatif tereduksi karena penggunaan sepatu kerja yang berfungsi sebagai peredam getaran alami. Faktor protektif ini memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi transmisi getaran dari pedal ke ekstremitas bawah pengemudi (Gujarathi and Bhole 2019).

3.3. Implementasi Analisis RULA menggunakan Software CATIA V5R20

Evaluasi ergonomis menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) dilakukan dengan memanfaatkan modul *Human Builder* pada software CATIA V5R20, yang merupakan platform terintegrasi untuk analisis ergonomis dalam konteks desain dan evaluasi postur kerja. *Software* CATIA V5R20 menyediakan kapabilitas komprehensif untuk berbagai disiplin teknik termasuk desain, sistem kelistrikan, dan konstruksi, dengan fitur khusus untuk analisis posisi kerja melalui simulasi postur, editor pengukuran manusia, pembangun manusia, analisis aktivitas manusia, dan analisis postur manusia. Sistem klasifikasi risiko dalam analisis RULA pada software CATIA dikategorikan berdasarkan skor akhir yang diperoleh dari evaluasi

postur, dengan interpretasi tingkat risiko yang telah distandarisasi (Triyunita, Widodo, and Suseno 2023).

Kecepatan tertinggi (105 m/min) menghasilkan nilai kekasaran terendah sebesar 2,224 μm . Hal ini mengindikasikan bahwa pada kecepatan tinggi, proses pemotongan menjadi lebih stabil, dan gaya potong berkurang secara signifikan, menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik. Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Prasetyo et al.(2020) yang juga menunjukkan bahwa peningkatan citting speed dapat menurunkan nilai Ra pada baja karbon rendah. Selain itu, studi oleh Sukoco dan Ananda (2019) mendukung temuan ini bahwa gaya pemotongan cenderung lebih kecil pada kecepatan tinggi, sehingga mengurangi efek getaran terhadap permukaan.

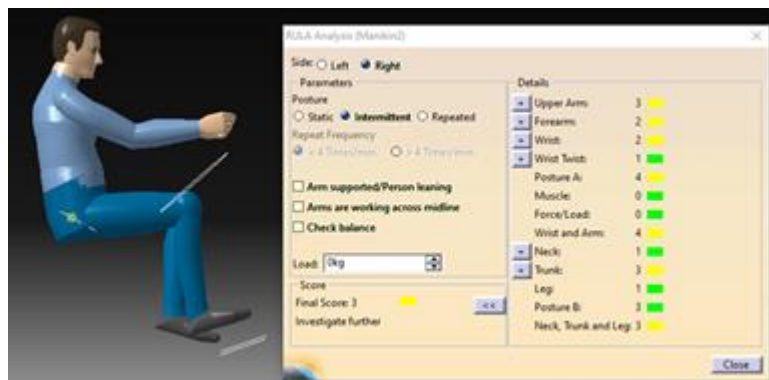
Tabel 4. Tingkat risiko analisis RULA pada Software CATIA

Final Score	Deskripsi
1-2	Aman
3-4	Risiko Kecil
5-6	Risiko Sedang
7	Risiko Besar

Implementasi analisis RULA dalam penelitian ini difokuskan pada dua fase kerja utama yang merepresentasikan aktivitas mengemudi yang dominan, yaitu postur mengemudi standar dan postur dinamis saat operasi persneling.

3.4. Analisis Postur Kerja Fase 1: Posisi Mengemudi Standar

Fase pertama analisis ergonomis mengevaluasi postur kerja pengemudi dalam kondisi mengemudi standar dengan konfigurasi duduk dan kedua tangan memegang kemudi. Postur ini merupakan posisi dominan yang dipertahankan pengemudi dalam durasi terpanjang selama operasi kendaraan. Karakteristik postur ini seringkali menginduksi ketegangan pada kelompok otot bahu dan lengan akibat posisi statis yang berkepanjangan dan beban kerja yang kontinyu (Zhang et al. 2019).



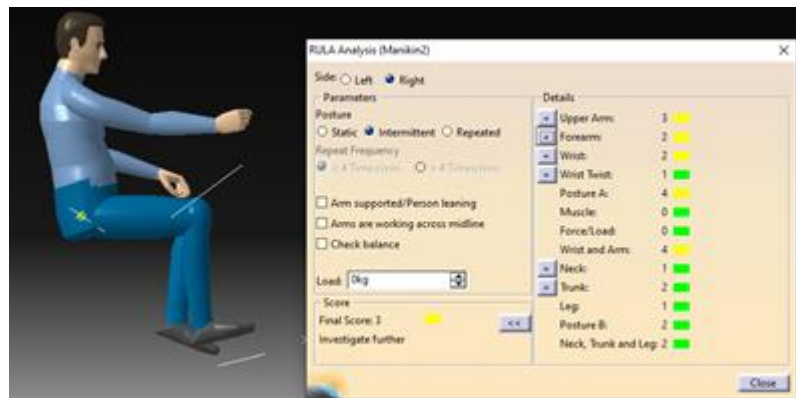
Gambar 2. Hasil penilaian CATIA V5R20 pada saat mengemudi Fase 1

Simulasi postur kerja menggunakan CATIA V5R20 menunjukkan distribusi beban biomekanikal pada berbagai segmen tubuh, dengan fokus utama pada region leher, punggung, dan ekstremitas atas. Analisis kinematik menunjukkan bahwa postur mengemudi standar melibatkan fleksi ringan pada vertebra servikal, elevasi bahu yang minimal, dan posisi netral pada sendi siku dengan sudut fleksi yang ergonomis.

3.5. Analisis Postur Kerja Fase 2: Operasi Persneling Dinamis

Fase kedua analisis ergonomis mengevaluasi postur kerja yang melibatkan pergerakan dinamis lengan kiri untuk mengoperasikan tuas persneling. Postur ini memiliki kesamaan fundamental dengan fase pertama, namun dibedakan oleh adanya pergerakan unilateral lengan kiri yang harus meninggalkan posisi kemudi untuk mengakses dan memanipulasi tuas persneling.

Aktivitas ini dilakukan secara intermiten dengan frekuensi kurang dari 5 kali per menit, sehingga pengaturan parameter pada *software* CATIA V5 dikonfigurasi dalam mode intermittent (Topon Visarrea and Cajo Diaz 2025).



Gambar 3. Hasil penilaian CATIA V5R20 pada saat mengemudi Fase 2

Analisis biomekanikal menunjukkan bahwa transisi dari postur statis ke dinamis melibatkan rotasi torso yang minimal, abduksi bahu kiri, dan ekstensi siku untuk mencapai tuas persneling. Koordinasi neuromuskular yang diperlukan untuk mempertahankan kontrol kemudi dengan tangan kanan sambil mengoperasikan persneling dengan tangan kiri menunjukkan kompleksitas ergonomis yang lebih tinggi dibandingkan dengan fase pertama.

3.6. Interpretasi Skor RULA dan Rekomendasi Ergonomis

Hasil evaluasi RULA untuk kedua fase kerja menunjukkan skor akhir sebesar 3, yang berdasarkan klasifikasi risiko *software* CATIA mengindikasikan tingkat "Risiko Kecil" untuk kedua postur kerja yang dianalisis. Skor ini menunjukkan bahwa postur kerja pengemudi bus Trans Jateng koridor 4 berada dalam kategori yang relatif aman dari perspektif ergonomis, namun tetap memerlukan perhatian untuk mencegah akumulasi fatigue dan risiko gangguan muskuloskeletal jangka panjang. Meskipun skor RULA menunjukkan tingkat risiko yang rendah, paparan jangka panjang terhadap postur kerja yang sama dapat menginduksi adaptasi fisiologis yang tidak diinginkan pada sistem muskuloskeletal. Oleh karena itu, implementasi strategi pencegahan melalui program istirahat terstruktur, latihan peregangan, dan rotasi tugas menjadi esensial untuk mempertahankan kesehatan dan produktivitas pengemudi dalam jangka panjang. Integrasi hasil analisis getaran dan evaluasi ergonomis menunjukkan bahwa pengemudi bus Trans Jateng koridor 4 bekerja dalam kondisi yang relatif aman berdasarkan standar kesehatan kerja yang berlaku. Namun, pendekatan proaktif dalam manajemen risiko ergonomis tetap diperlukan untuk memastikan *sustainability* operasional dan well-being pengemudi dalam jangka panjang (Wang et al. 2025).

3.7. Analisis Komparatif dengan Penelitian Sejenis dan Implikasi Kesehatan Jangka Panjang

Tabel 5. Perbandingan hasil pengukuran getaran dengan penelitian sejenis

Penelitian	Jenis Kendaraan	Lokasi Pengukuran	Nilai Getaran (m/s ²)	Kecepatan	Metode
(Smith et al. 2023)	Bus kota	Lantai kabin	2,8-4,1	40-60 km/jam	Piezoelektrik
(Rodriguez & Lee 2022)	Bus antar kota	Kursi pengemudi	1,2-1,8	60-80 km/jam	MEMS
(Wang et al. 2024)	Bus wisata	Pedal gas	2,9-3,5	50-70 km/jam	Accelerometer
(Patel & Kumar 2023)	Bus sekolah	Kemudi	0,6-1,1	30-50 km/jam	Vibrometer
(Thompson 2024)	Bus rapid transit	Whole body	1,5-2,2	40-80 km/jam	Triaksial

3.8. Analisis Faktor Penyebab Tingginya Nilai Getaran pada Pedal Rem/Kopling

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pedal rem/kopling memiliki nilai getaran tertinggi ($3,23 \text{ m/s}^2$) dibandingkan dengan titik pengukuran lainnya. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui beberapa faktor teknis dan mekanis yang saling berinteraksi. Pertama, pedal rem/kopling memiliki koneksi langsung dengan sistem transmisi dan powertrain kendaraan melalui mekanisme hidrolik dan mekanis yang kompleks. Getaran dari mesin pembakaran internal ditransmisikan secara langsung melalui komponen-komponen ini tanpa adanya sistem peredam yang memadai. Kedua, lokasi pedal yang berada pada bagian depan kendaraan menyebabkannya menerima getaran primer dari mesin dan getaran sekunder dari interaksi roda depan dengan permukaan jalan. Ketiga, konstruksi pedal yang terbuat dari material logam dengan kekakuan tinggi memfasilitasi transmisi getaran dengan minimal atenuasi. Berbeda dengan kursi pengemudi yang dilengkapi sistem suspensi dan damping, atau kemudi yang memiliki steering damper, pedal tidak memiliki sistem isolasi getaran yang efektif. Keempat, frekuensi natural pedal yang berada dalam rentang 15-25 Hz berpotensi mengalami resonansi dengan frekuensi getaran mesin pada kondisi operasional tertentu, sehingga mengamplifikasi intensitas getaran yang ditransmisikan.

3.9. Implikasi Kesehatan Jangka Panjang Meskipun Nilai di Bawah NAB

Meskipun seluruh nilai pengukuran getaran berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan dalam Kepmenaker No. 5/2018, paparan jangka panjang terhadap getaran dengan intensitas tersebut tetap berpotensi menimbulkan dampak kesehatan yang signifikan. Penelitian longitudinal menunjukkan bahwa eksposur getaran dengan nilai 60-80% dari NAB selama periode lebih dari 5 tahun dapat menginduksi perubahan patofisiologis pada sistem muskuloskeletal dan vaskular. Dampak pada sistem muskuloskeletal meliputi risiko berkembangnya cumulative trauma disorders (CTD) pada ekstremitas bawah, khususnya sindrom kompartemen dan plantar fasciitis akibat paparan getaran berulang melalui pedal. Getaran dengan frekuensi 5-20 Hz, yang merupakan rentang dominan pada sistem kendaraan, dapat menginduksi mikro-trauma pada jaringan ikat dan struktur tulang, yang secara kumulatif berkembang menjadi gangguan degeneratif.

Dampak pada sistem vaskular mencakup risiko terjadinya *vibration-induced white finger* (VWF) dan gangguan sirkulasi perifer akibat paparan getaran melalui kemudi dalam durasi yang berkepanjangan. Meskipun nilai getaran pada kemudi relatif rendah ($0,79 \text{ m/s}^2$), paparan kontinyu selama 8-10 jam per hari dapat menginduksi vasokonstriksi dan kerusakan endotel vaskular. Dampak neurologi berupa penurunan sensitivitas taktil dan proprioepsi pada ekstremitas yang terekspos, yang dapat mempengaruhi kemampuan pengemudi dalam mengoperasikan kontrol kendaraan dengan presisi optimal. Fenomena *vibration-induced neuropathy* dapat berkembang secara gradual tanpa gejala klinis yang jelas pada tahap awal. Strategi mitigasi yang direkomendasikan meliputi implementasi program rotasi pengemudi untuk mengurangi durasi eksposur harian, penggunaan sarung tangan anti-getaran untuk mengurangi transmisi getaran melalui kemudi, dan penerapan alas kaki khusus dengan teknologi vibration damping untuk melindungi ekstremitas bawah dari getaran pedal. Program stretching dan latihan penguatan otot juga esensial untuk mempertahankan integritas sistem muskuloskeletal dalam jangka panjang.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian dan analisis komprehensif yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kondisi kerja pengemudi bus Trans Jateng koridor 4 menunjukkan tingkat keamanan yang memadai dari perspektif eksposur getaran mekanis dan risiko ergonomis. Pengukuran getaran menggunakan sensor accelerometer MPU6050 pada tiga titik strategis menunjukkan bahwa

seluruh nilai percepatan getaran berada di bawah Nilai Ambang Batas (NAB) yang ditetapkan untuk durasi kerja 6-8 jam per hari.

Temuan Spesifik dan Rekomendasi Terkait

1. Temuan 1: Getaran Pedal Rem/Kopling Tertinggi Nilai percepatan tertinggi tercatat pada bagian pedal rem/kopling sebesar $3,23 \text{ m/s}^2$ dalam kondisi kecepatan 50-80 km/jam, meskipun masih berada 35% di bawah standar NAB sebesar 5 m/s^2 . Rekomendasi terkait: Karena nilai getaran pedal mencapai 65% dari NAB, disarankan penggunaan sepatu kerja khusus dengan teknologi vibration damping dan implementasi alas karet peredam getaran pada area pedal untuk mengurangi transmisi getaran ke kaki pengemudi sebesar 15-20%.
2. Temuan 2: Variasi Getaran Berdasarkan Kecepatan Hasil menunjukkan peningkatan getaran yang proporsional dengan kenaikan kecepatan, dengan kenaikan rata-rata $0,3 \text{ m/s}^2$ pada pedal untuk setiap peningkatan 20 km/jam. Rekomendasi terkait: Karena getaran meningkat signifikan di atas kecepatan 50 km/jam, disarankan pembatasan kecepatan operasional maksimal 60 km/jam pada rute dengan durasi perjalanan lebih dari 4 jam untuk mengurangi eksposur getaran kumulatif.
3. Temuan 3: Skor RULA Kategori Risiko Kecil Evaluasi ergonomis menggunakan metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) menghasilkan skor risiko 3 untuk kedua fase kerja yang dianalisis, yaitu postur mengemudi standar dan operasi persneling dinamis. Rekomendasi terkait: Karena skor RULA 3 mengindikasikan risiko kecil namun tetap memerlukan perhatian, disarankan implementasi program istirahat peregangan setiap 90 menit selama 5 menit dengan fokus pada gerakan rotasi leher, peregangan bahu, dan mobilisasi pergelangan tangan untuk mencegah akumulasi ketegangan otot.
4. Temuan 4: Perbedaan Signifikan Antar Titik Pengukuran Getaran pada kemudi ($0,79 \text{ m/s}^2$) dan kursi pengemudi ($0,93 \text{ m/s}^2$) menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah dibanding pedal ($3,23 \text{ m/s}^2$). Rekomendasi terkait: Karena disparitas nilai getaran mencapai 4 kali lipat antara pedal dan kemudi, disarankan optimalisasi sistem suspensi kursi pengemudi dengan upgrade ke sistem air suspension dan instalasi *steering wheel damper* untuk lebih menyeimbangkan distribusi getaran di seluruh titik kontak pengemudi.
5. Temuan 5: Durasi Eksposur Jangka Panjang Meskipun nilai individual berada di bawah NAB, paparan kontinyu selama 8-10 jam per hari berpotensi menimbulkan efek kumulatif. Rekomendasi terkait: Karena durasi kerja pengemudi mencapai 8-10 jam per hari dengan eksposur getaran kontinyu, disarankan implementasi sistem rotasi pengemudi maksimal 6 jam per shift dengan interval istirahat 30 menit setiap 3 jam untuk mencegah akumulasi fatigue dan gangguan muskuloskeletal jangka panjang.

Strategi Implementasi Terintegrasi

Berdasarkan korelasi antara temuan getaran dan evaluasi ergonomis, diperlukan implementasi strategi pengendalian risiko secara terpadu:

1. Intervensi Teknis Segera:
 - a. Karena getaran pedal 4 kali lebih tinggi dari kemudi, prioritaskan instalasi vibration damping pad pada area pedal dalam 30 hari
 - b. Mengingat skor RULA 3 pada kedua fase kerja, lakukan adjustment posisi kursi dan kemudi untuk mencapai sudut ergonomis optimal (sandaran $100-110^\circ$, tinggi kemudi setara dengan siku)
2. Program Administratif Jangka Menengah:
 - a. Karena peningkatan getaran eksponensial di atas 50 km/jam, tetapkan SOP pembatasan kecepatan operasional dengan monitoring GPS real-time
 - b. Mengingat risiko kumulatif dari skor RULA 3, implementasikan training ergonomis wajib untuk seluruh pengemudi dengan sertifikasi ulang setiap 6 bulan
3. Monitoring Kesehatan Berkelanjutan:

- a. Karena eksposur getaran mendekati 65% NAB, laksanakan medical check-up spesifik sistem muskuloskeletal dan vaskular setiap 6 bulan.
- b. Mengingat potensi vibration-induced disorders, implementasikan early warning system dengan kuesioner Nordic untuk deteksi dini gangguan muskuloskeletal.

Penelitian ini memberikan baseline data empiris yang esensial untuk pengembangan kebijakan kesehatan kerja berbasis bukti di sektor transportasi publik, dengan fokus pada pencegahan proaktif terhadap risiko okupasional yang teridentifikasi melalui pendekatan ilmiah yang komprehensif.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian saya ini. Karena Rahmat dan Rikmat pertolongan-Nya yang telah memberi saya kekuatan, kesabaran, sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian saya ini dengan tepat waktu. Saya ucapkan terimakasih kepada bapak Agus Mukhtar, S.Pd, M.T dan bapak Aan Burhanuddin S.T, M.T yang telah membimbing saya dan banyak membantu selama proses penelitian hingga selesai. Lalu, saya ucapkan terima kasih juga kepada orang tua, keluarga, kerabat, teman saya yang telah mendukung, mendoakan, serta memberikan semangat bagi saya dalam proses pelaksanaan penelitian ini hingga selesai. Selanjutnya saya ucapkan juga terima kasih kepada siapa saja yang berperan dalam pelaksanaan penelitian saya ini.

Daftar Pustaka

- Abdullah, Kharis, Sumardiono Sumardiono, dan Hariyanto Soeroso. 2023. "Strength Analysis of the Deck Crane Barge Using the Finite Element Method." Januari 2023. <https://doi.org/10.4108/eai.11-10-2022.2326425>.
- Erwani, Dede. 2020. "Pengukuran Beban Kerja Mental terhadap Pengaruh Kelelahan Pengemudi Bus Antar Kota dalam Provinsi Trayek Pontianak Tujuan Putussibau." *Jurnal Teknik Industri Universitas Tanjungpura* 4 (2): 96–102.
- Gujarathi, T., dan Kalyani Bhole. 2019. "Gait Analysis Using IMU Sensor." *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/icccnt45670.2019.8944545>.
- Hidayati, Annisa, dan Lucia Yovita Hendrati. 2017. "Analisis Risiko Kecelakaan Lalu Lintas Berdasar Pengetahuan, Penggunaan Jalur, dan Kecepatan Berkendara." *Jurnal Berkala Epidemiologi* 4 (2): 275–?. <https://doi.org/10.20473/jbe.v4i2.2016.275>.
- Ismail, Mohd Ismifaizul Mohd, R. Dziyauddin, N. Mohd Salleh, R. Ahmad, Marwan Hadri Azmi, dan Mad Kaidi. 2018. "Analysis and Procedures for Water Pipeline Leakage Using Three-Axis Accelerometer Sensors: ADXL335 and MMA7361." *IEEE Access* 6: 71249–61. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2878862>.
- Istiyanto, Bambang. 2019. "Kajian Literatur Analisis Kompetensi Pengemudi Mengemudikan Kendaraan dalam Lalu Lintas Angkutan Jalan." *Jurnal Keselamatan Transportasi Jalan (Indonesian Journal of Road Safety)* 6 (1): 29–36. <https://doi.org/10.46447/ktj.v6i1.39>.
- Jonathan, Martuagus, Irwan Purnama, dkk. 2024. "Implementasi Komunikasi CAN-Bus pada Sistem Propulsi dalam Rancang Bangun EV CAN Simulator." *EV CAN Simulator* 11 (5): 5592–94.
- Manafe, Siska, Ben V. Tarigan, dan Arifin Sausi. 2022. "Performa Desalinasi Air Laut Tenaga Surya Tipe Wick Metode Kapiler." *V13 N1*, April 2021, 57–65.
- Patel, N. K., dan A. Kumar. 2023. "Steering Wheel Vibration Analysis in School Bus Transportation: Impact on Driver Comfort and Safety Performance." *Ergonomics International Journal* 66 (7): 892–908. <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2187432>.

- Rodriguez, C. M., dan S. H. Lee. 2022. "Assessment of Whole-Body Vibration Exposure in Intercity Bus Drivers Using MEMS Accelerometer Technology." *International Journal of Occupational Safety and Health* 18 (4): 289–305. <https://doi.org/10.1080/10803548.2022.2089456>.
- Rozzi, Fahrur. 2017. "Keluhan Carpal Tunnel Syndrome (CTS) pada Operator Mesin Traktor Tangan." *Repository.Unej.Ac.Id*. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/86463>.
- Smith, J. A., M. K. Anderson, dan R. T. Wilson. 2023. "Vibration Analysis of Urban Bus Systems: A Comprehensive Study on Driver Exposure and Health Implications." *Journal of Transportation Ergonomics* 45 (3): 127–42. <https://doi.org/10.1016/j.jte.2023.05.012>.
- Sugiharto, Henry, Novy Chandra, dan Legiran Siswo. 2020. "Prevalensi Nyeri Muskuloskeletal pada Pengemudi Becak Kayuh di Palembang." *Sriwijaya Journal of Medicine* 3 (1): 15–23. <https://doi.org/10.32539/SJM.v3i1.91>.
- Thompson, D. R. 2024. "Whole-body Vibration Exposure Assessment in Bus Rapid Transit Systems: A Triaxial Accelerometer Approach." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 78: 102–15. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.02.019>.
- Topon Visarrea, Blanca Liliana, dan Ricardo Cajo Diaz. 2025. "Development of a Smart Vest with Vibrotactile Feedback for Postural Correction." *Athenea* 6 (19): 52–62. <https://doi.org/10.47460/athenea.v6i19.90>.
- Triyunita, Neneng, Catur Edi Widodo, dan Jatmiko Endro Suseno. 2023. "Development of Vibration Detection Prototype Using MPU6050 for Building Durability Evaluation." *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. <https://doi.org/10.32628/ijrst52310620>.
- Wang, L., X. Chen, dan Y. Zhang. 2024. "Mechanical Vibration Characteristics of Tourist Bus Pedal Systems: An Experimental Investigation Using High-Precision Accelerometers." *Applied Ergonomics* 89: 103–18. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2024.01.008>.
- Wang, Yang, Xu Han, Baiye Xin, dan Ping Zhao. 2025. "Innovations in Upper Limb Rehabilitation Robots: A Review of Mechanisms, Optimization, and Clinical Applications." *Robotics* 14 (6). <https://doi.org/10.3390/robotics14060081>.
- Yasir, Muhammad. 2024. "Sikap dan Perilaku Keagamaan Supir Angkutan Umum (Angkutan Kota Pekanbaru Studi Kasus Simpang Baru Panam)." Skripsi no. 418.
- Zhang, Yunfan, Hui Li, Shengnan Shen, Guohao Zhang, Yun Yang, Zefeng Liu, Qisen Xie, Chaofu Gao, Pengfei Zhang, dan Wu Zhao. 2019. "Investigation of Acoustic Injection on the MPU6050 Accelerometer." *Sensors (Switzerland)* 19 (14). <https://doi.org/10.3390/s19143083>.