

Analisis Ergonomi Berbasis Biomekanika dan Fisiologi pada Manual Material Handling dalam Rangka Optimalisasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja Berkelanjutan

Wahdi Lutfi, Fikri Perwirajati, Okka Adiyanto*

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Indonesia

email: okka.adiyanto@ie.uad.ac.id

Article Info :

Received:

19/04/25

Revised:

20/06/25

Accepted:

29/06/25

ABSTRACT

This study analyzes ergonomic aspects of Manual Material Handling (MMH) based on biomechanical and physiological approaches to optimize sustainable occupational health and safety. The research aims to identify factors influencing musculoskeletal complaints, determine load characteristics, and assess the feasibility of alternative work system improvements. The method involves direct observation of MMH activities during the lifting of iron sacks, followed by biomechanical and physiological assessments. Biomechanical analysis was conducted by calculating the compression load on the intervertebral disc between lumbar 5 and sacrum 1 (L5/S1) and comparing the results with the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) standards for Maximum Permissible Limit (MPL). The findings show that lifting a 35 kg load generates a compression force of 12,361 N at L5/S1, which exceeds both the MPL of 6,500 N and the Action Limit of 3,500 N, indicating that the activity is classified as hazardous. As an improvement, the implementation of a trolley tool significantly reduced the compression force to 650.58 N, far below the MPL threshold. This result highlights that redesigning the work system through ergonomic interventions can effectively minimize spinal injury risks and support sustainable occupational health and safety practices.

Keywords : Biomekanika; Compression load; Manual Material handling; NIOSH; Ergonomi



©2025 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Ergonomi sebagai salah satu ilmu yang ber- usaha untuk menyerasikan antara faktor manusia, faktor pekerjaan dan faktor ling- kungan. Dengan bekerja secara ergonomis diperoleh rasa nyaman dalam bekerja, ter- hindarnya kelelahan, terhindar dari gerakan dan upaya yang tidak perlu serta upaya me- laksanakan pekerjaan menjadi lebih ringan dengan hasil yang sebesar-besarnya [1], [2], [3]. Upaya pencapaian keselamatan dan kesehatan kerja tidak lepas dari peran ergonomi, karena ergonomi berkaitan dengan orang yang bekerja, selain dalam rangka efektivitas dan efisiensi kerja [4]

Pekerjaan pemindahan material secara manual, yang terdiri dari aktivitas mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa merupakan sumber utama komplain karyawan di industri. Akibat yang ditimbulkan dari aktivitas MMH yang tidak benar salah satunya adalah keluhan muskuloskeletal, ya- itu keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit [5]. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dalam jangka waktu yang la- ma akan dapat menyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan inilah yang biasanya disebut sebagai musculoskeletal disorder (MSDs) atau cedera pada sistem muskuloskeletal [6], [7], [8]. Maka, aktivitas MMH dengan posisi tubuh membungkuk dengan dilakukan secara berulang-ulang merupakan salah satu sikap kerja yang tidak baik sehingga berdampak terjadinya cidera pada tulang belakang.

Salah satu masalah ergonomi yang terjadi adalah pada pekerja bidang angkat-angkut adalah nyeri pada otot punggung yang digunakan untuk bekerja. Keluhan yang biasa diderita pekerja dibidang angkat-angkut adalah pada sistem muskuloskeletal. Keluhan muskuloskeletal adalah keluhan pa- da bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan sampai sangat sakit. Apabila otot menerima beban statis secara berulang dan dalam waktu yang lama, akan dapat me- nyebabkan keluhan berupa kerusakan pada sendi, ligamen dan tendon. Keluhan hingga kerusakan inilah yang biasanya diistilahkan dengan musculoskeletal disorders (MSDs) atau cedera pada

system muskuloskeletal [9]. Bagian otot yang sering dikeluhkan adalah otot rangka (skeletal) yang meliputi otot leher, bahu, lengan, tangan, jari, punggung, pinggang dan otot-otot bagian bawah.

Cedera tulang belakang adalah salah satu yang paling umum terjadi (22% dari semua kecelakaan kerja yang terjadi) dan paling banyak membutuhkan biaya untuk pengobatannya. Salah satu penyebab dari cedera ini adalah overload yang dipikul oleh tulang belakang ($> 60\%$) dan 60% dari overload ini disebabkan oleh pekerjaan mengangkat barang, 20% pekerjaan mendorong atau menarik barang dan 20% akibat membawa barang. Disamping itu juga dilaporkan bahwa 25% kecelakaan disebabkan karena aktivitas angkat-angkut; 50-60% cedera pinggang disebabkan karena aktivitas mengangkat dan menurunkan material. Pekerja yang mengangkat beban berat akan mengalami kemungkinan cedera punggung 8 kali lipat dari pekerja yang hanya mengangkat barang secara tidak terus menerus. Oleh karena itu dibutuhkan adanya penerapan prinsip-prinsip ergonomi pada pekerjaan yang menggunakan kemampuan otot. Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan pengamatan pada salah satu posisi pengangkatan yang dilakukan dalam kegiatan angkat angkut di Gudang Besi. Kegiatan utamanya adalah pengangkatan karung Bracket (besi).. Bracket (besi) di kemas dalam karung, berat per karungnya 35 kg. Pengangkatan ini dilakukan secara manual yaitu dengan cara diangkat. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah melakukan studi yang mendalam pada pembebanan bagian tubuh dan dampak yang ditimbulkan oleh aktivitas manual material handling pengangkatan karung Bracket (besi).

METODE

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan biomekanika dan fisiologi untuk menganalisis risiko kerja pada aktivitas *Manual Material Handling* (MMH), khususnya pada bagian tulang belakang lumbar (L5/S1) saat pekerja melakukan pengangkatan karung besi (*iron sack*). Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

1. Biomekanika

Biomekanika digunakan untuk mendeskripsikan gerakan tubuh (*kinematik*) dan memahami efek gaya serta momen yang bekerja pada tubuh manusia (*kinetik*) [10], [11]. Analisis dilakukan untuk menghitung gaya tekan (compression force) pada tulang belakang L5/S1 selama aktivitas pengangkatan.

Gaya Tekan pada L5/S1

Menurut Chaffin dan Andersson analisis biomekanika statis pada tubuh dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya gaya tekan pada L5/S1 dalam aktivitas pengangkatan tertentu. Model ini memungkinkan prediksi proporsi populasi pekerja yang mampu menahan gaya pada sendi tubuh tertentu saat melakukan angkat beban.

Dalam model ini, gaya luar (*external force*) yang diterima tubuh akan menghasilkan momen dan gaya pada pusat sambungan tubuh (*link centers*). Khususnya pada sambungan pinggul dan segmen tulang belakang (disc L5/S1), gaya ini dipengaruhi oleh:

- Gaya otot erector spinae (FM) – bekerja sebagai penyeimbang momen pada L5/S1.
- Gaya perut (FA) akibat tekanan intra-abdomen (PA) – membantu menjaga kestabilan tubuh terhadap momen dan gaya yang timbul.

Dengan menggunakan teknik perhitungan keseimbangan gaya dan momen pada setiap segmen tubuh (Tayyari, 1997), diperoleh momen resultan pada L5/S1. Selanjutnya, besarnya gaya tekan dihitung dan dibandingkan dengan standar NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health):

- Action Limit (AL): 3.500 N
- Maximum Permissible Limit (MPL): 6.500 N

Aktivitas dinyatakan aman apabila gaya tekan berada di bawah AL, waspada bila melebihi AL namun masih di bawah MPL, dan berbahaya apabila melebihi MPL.

2. Fisiologi

Selain biomekanika, analisis fisiologi digunakan untuk menilai respon tubuh pekerja terhadap beban kerja, terutama dari aspek kelelahan fisik akibat aktivitas pengangkatan. Parameter yang diamati meliputi:

- Kebutuhan energi kerja, dihitung dari metabolisme kerja pada saat aktivitas.
- Beban kerja fisiologis, ditinjau dari potensi peningkatan denyut jantung serta konsumsi oksigen.
- Evaluasi kelelahan otot, dilihat dari posisi kerja yang berulang dan durasi kerja.

Analisis ini membantu memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi tubuh pekerja serta potensi risiko jangka panjang terhadap kesehatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

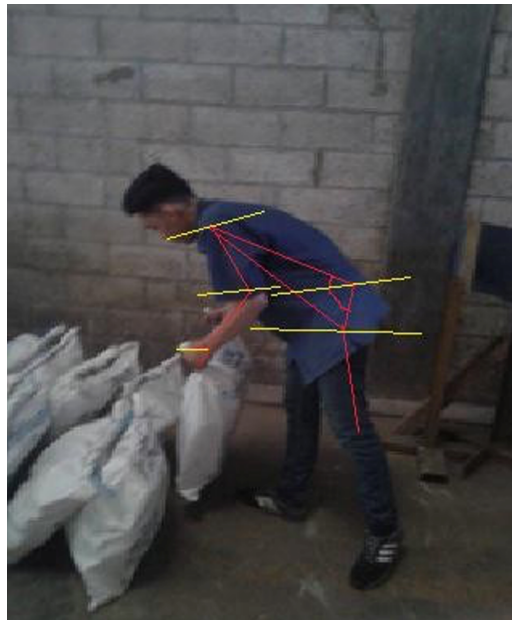
Hasil Perhitungan Biomekanika Sebelum Perbaikan

Hasil pengukuran dan perhitungan biomekanika menunjukkan bahwa aktivitas pengangkatan karung besi seberat 35 kg secara manual menghasilkan gaya kompresi (Force Compression, FC) sebesar 12.361 N pada segmen tulang belakang L5/S1. Nilai ini melebihi standar National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), yaitu:

- a) Action Limit (AL): 3.400 N
- b) Maximum Permissible Limit (MPL): 6.500 N

Dengan demikian, aktivitas pengangkatan karung termasuk kategori berbahaya karena $FC > MPL$. Kondisi ini berpotensi tinggi menyebabkan cedera tulang belakang, terutama bila dilakukan dalam frekuensi tinggi dan dalam jangka waktu panjang.

Temuan ini konsisten dengan penelitian yang menyatakan bahwa pekerjaan manual material handling dengan beban berat merupakan penyebab utama keluhan muskuloskeletal [12], [13]. Aktivitas mengangkat beban berat secara membungkuk juga sejalan dengan laporan, yang menyebutkan bahwa beban statis pada otot punggung bawah dapat memicu *musculoskeletal disorders* (MSDs) dan cedera permanen pada tulang belakang.



Gambar 1. Aktivitas Pengangkatan Karung Sebelum perbaikan

Hasil Perbaikan dengan Alat Bantu Troli

Setelah dilakukan perbaikan sistem kerja dengan menggunakan alat bantu troli, terjadi penurunan drastis pada nilai FC menjadi 650,58 N. Nilai ini jauh di bawah AL (3.400 N), yang berarti aktivitas pengangkatan dengan bantuan troli dapat dikategorikan aman dan tidak menimbulkan risiko signifikan terhadap cedera tulang belakang. Perbaikan ini menunjukkan efektivitas intervensi ergonomi sederhana dalam menekan risiko cedera. Secara kuantitatif, penurunan gaya kompresi dari 12.361 N menjadi 650,58 N berarti terdapat pengurangan beban sebesar 94,7%, suatu capaian yang sangat signifikan dalam konteks pencegahan risiko K3. Selain aspek biomekanis, penggunaan troli juga memberikan keuntungan fisiologis bagi pekerja, yakni menurunkan beban kerja fisik, mengurangi kelelahan otot, serta menekan risiko jangka panjang seperti keausan sendi tulang belakang (*degenerative disc disease*).



Gambar 2. Perbaikan aktivitas dengan penambahan alat bantu

Analisis Fisiologi

Dari sisi fisiologi, aktivitas pengangkatan manual dengan beban berat dapat menyebabkan peningkatan denyut jantung, konsumsi oksigen, dan akumulasi kelelahan otot. Apabila aktivitas ini dilakukan berulang, maka tubuh tidak memiliki waktu pemulihan yang cukup, sehingga risiko cedera meningkat. Penggunaan alat bantu trolis, beban metabolik dan energi kerja menurun signifikan karena pekerja tidak lagi menopang beban 35 kg secara langsung. Hal ini mendukung prinsip *work-rest cycle*, dimana sistem kerja yang lebih ergonomis memungkinkan pekerja mempertahankan produktivitas dengan tingkat kelelahan minimal. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya penerapan ergonomi dalam konteks Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) berkelanjutan. Beberapa implikasi yang dapat ditarik adalah:

1. Pencegahan Cedera Jangka Panjang – Aktivitas tanpa perbaikan berisiko menyebabkan *low back pain* kronis, yang merupakan salah satu penyebab utama penurunan produktivitas tenaga kerja di industri.
2. Efisiensi Operasional – Penurunan risiko cedera, perusahaan dapat menekan biaya akibat absensi pekerja, kompensasi kecelakaan kerja, dan biaya pengobatan.
3. Sustainability Practice – Penggunaan alat bantu sederhana seperti trolis adalah bentuk implementasi *sustainable ergonomics*, karena selain meningkatkan keselamatan, juga memperpanjang usia kerja pekerja dan menjaga keberlanjutan tenaga kerja produktif.
4. Rekomendasi Ergonomis – Hasil ini dapat menjadi dasar bagi manajemen perusahaan untuk merancang sistem kerja yang lebih aman, termasuk pengaturan beban maksimum yang dapat diangkat pekerja, penyediaan peralatan bantu, serta pelatihan postur kerja yang benar.

Cedera tulang belakang merupakan salah satu jenis kecelakaan kerja paling umum dan paling mahal dalam penanganannya. Dengan demikian, implementasi perbaikan ergonomis seperti yang dilakukan dalam penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi. Lebih lanjut, pendekatan biomekanika dan fisiologi yang digunakan dalam penelitian ini membuktikan bahwa analisis multidisiplin mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai risiko kerja. Dengan penghitungan gaya tekan pada L5/S1 serta evaluasi respon fisiologis pekerja, hasil penelitian ini tidak hanya bersifat akademis, tetapi juga praktis dalam mendukung kebijakan keselamatan kerja di industri.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas *Manual Material Handling* (MMH) berupa pengangkatan karung besi seberat 35 kg secara manual menghasilkan gaya kompresi (Force Compression, FC) pada segmen L5/S1 sebesar 12.361 N, yang melebihi standar NIOSH baik Action Limit (3.400 N) maupun Maximum Permissible Limit (6.500 N). Kondisi tersebut menempatkan pekerjaan dalam kategori berbahaya karena berpotensi menimbulkan cedera tulang belakang serta gangguan muskuloskeletal jika dilakukan secara berulang dalam jangka panjang. Setelah dilakukan

perbaikan dengan menggunakan alat bantu troli, nilai FC menurun drastis menjadi 650,58 N, yang berada jauh di bawah Action Limit, sehingga aktivitas dapat dikategorikan aman. Temuan ini membuktikan bahwa penerapan prinsip ergonomi melalui rekayasa sistem kerja mampu menurunkan risiko cedera secara signifikan, sekaligus mendukung tercapainya Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) berkelanjutan. Penerapan intervensi ergonomi sederhana, seperti penggunaan troli, tidak hanya meningkatkan keselamatan pekerja tetapi juga memberikan dampak positif terhadap efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan tenaga kerja di sektor industri yang masih mengandalkan aktivitas angkat-angkut manual.

REFERENSI

- [1] J. Bartnicka, "Knowledge-based ergonomic assessment of working conditions in surgical ward - A case study," *Saf Sci*, vol. 71, no. PB, pp. 178–188, 2015, doi: 10.1016/j.ssci.2014.08.010.
- [2] M. Khalidy, R. Zakaria, and P. Ariscasari, "Analisis risiko Ergonomis dan keluhan kesehatan pekerja produksi rokok PT Rampago Jaya Sukamakmur Aceh Besar tahun 2024," *Jurnal Kesehatan Tambusai*, vol. 5, no. 4, pp. 11660–11669, 2024.
- [3] R. Laili, "Ergonomi sebagai Upaya Pencegahan Gangguan Musculoskeletal pada Perawat," *Browne*, p. 3, 2020.
- [4] C. S. Moriguchi *et al.*, "Impact of experience when using the Rapid Upper Limb Assessment to assess postural risk in children using information and communication technologies," *Int J Ind Ergon*, vol. 70, no. December 2018, pp. 398–405, 2019, doi: 10.1016/j.apergo.2013.05.004.
- [5] M. Rajendran, A. Sajeew, R. Shanmugavel, and T. Rajpradeesh, "Ergonomic evaluation of workers during manual material handling," *Mater Today Proc*, vol. 46, pp. 7770–7776, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.283.
- [6] D. R. Jones, "The Relationship Between Working Conditions and Musculoskeletal/Ergonomic Disorders in a Manufacturing Facility – A Longitudinal Research Study," *Procedia Manuf*, vol. 3, no. Ahfe, pp. 4480–4484, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.461.
- [7] F. C. Trevelyan, "Musculoskeletal disorders in a handmade brick manufacturing plant," *Int J Ind Ergon*, vol. 27, no. 1, pp. 43–55, 2001, doi: 10.1016/S0169-8141(00)00036-6.
- [8] M. Rasoulivalajoozi, M. Rasouli, C. Cucuzzella, and T. H. Kwok, "Prevalence of musculoskeletal disorders and postural analysis of beekeepers," *Int J Ind Ergon*, vol. 98, no. July, p. 103504, 2023, doi: 10.1016/j.ergon.2023.103504.
- [9] D. Dane, M. Feuerstein, G. D. Huang, L. Dimberg, D. Ali, and A. Lincoln, "Measurement properties of a self-report index of ergonomic exposures for use in an office work environment," *J Occup Environ Med*, vol. 44, no. 1, pp. 73–81, 2002, doi: 10.1097/00043764-200201000-00012.
- [10] U. Karukunchit, R. Puntumetakul, M. Swangnetr, and R. Boucaut, "Prevalence and risk factor analysis of lower extremity abnormal alignment characteristics among rice farmers," *Patient Prefer Adherence*, vol. 9, pp. 785–795, 2015, doi: 10.2147/PPA.S81898.
- [11] S. Vinberg, "Occupational safety and health challenges in small-scale enterprises," *Ind Health*, vol. 58, no. 4, pp. 303–305, 2020, doi: 10.2486/indhealth.58_400.
- [12] M. Siska and M. Teza, "Analisa Posisi Kerja pada Proses Pencetakan Batu Bata Menggunakan Metode NIOSH," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 11, no. 1, pp. 61–70, 2012.
- [13] J. Chin, Herlina, H. Iridiastadi, L. Shu-Chiang, and S. Fadil Persada, "Workload Analysis by Using Nordic Body Map, Borg RPE and NIOSH Manual Lifting Equation Analyses: A Case Study in Sheet Metal Industry," *J Phys Conf Ser*, vol. 1424, no. 1, pp. 4–10, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1424/1/012047.