



PAPER – **OPEN ACCESS**

Analisis Human Factors Ergonomics pada Kegiatan Pemasangan Tiang Listrik Menggunakan Crane: Pendekatan Multidimensi Berbasis REBA, %CVL, dan NASA-TLX

Author : Nurul Annisa, et al
DOI : 10.32734/ee.v9i2.2791
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 9 Issue 2 – 2026 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Analisis *Human Factors Ergonomics* pada Kegiatan Pemasangan Tiang Listrik Menggunakan *Crane*: Pendekatan Multidimensi Berbasis REBA, %CVL, dan NASA-TLX

Nurul Annisa, Monika Saurma T. Situmorang, Ghina Roudhotul Jannah, Bezaleel Gabriel Saragih, Rakha A. Rangkuti*

Program Studi Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jln. Dr.T. Mansyur No. 9 Padang Bulan, Medan 20155, Indonesia

annisa.nurul0905@gmail.com, monicatiefanny29@gmail.com, ghinajannah.os@gmail.com, gabrielbezaleel3@gmail.com, rakharangkuti@gmail.com

Abstrak

Kegiatan pemasangan tiang listrik menggunakan crane merupakan pekerjaan konstruksi berisiko tinggi yang melibatkan interaksi kompleks antara manusia, mesin, dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor human ergonomics yang berpengaruh terhadap keselamatan dan produktivitas pekerja pada aktivitas tersebut. Metode yang digunakan meliputi penilaian postur kerja dengan *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), pengukuran beban kerja fisik melalui persentase Cardiovascular Load (%CVL), serta penilaian beban mental menggunakan *National Aeronautics and Space Administration Task Load Index* (NASA-TLX). Penelitian dilakukan pada 5 posisi kerja yang terlibat langsung dalam proses pemasangan tiang distribusi 20 kV. Hasil analisis REBA menunjukkan bahwa aktivitas penggalian fondasi dan rigging memiliki skor risiko tertinggi (skor 11 dan 8) dengan kategori tindakan segera. Pengukuran %CVL mengidentifikasi pekerja penggali dan rigger mengalami beban kerja berat hingga sangat berat (62,7% dan 54,1%). Analisis NASA-TLX mengungkap operator crane menanggung beban mental tertinggi dengan *Weighted Workload* (WWL) sebesar 73,2. Penelitian ini menghasilkan rekomendasi intervensi ergonomis berbasis hirarki pengendalian (eliminasi, substitusi, rekayasa, administratif, dan APD) yang dapat diimplementasikan oleh perusahaan utilitas listrik untuk mereduksi risiko cedera dan meningkatkan efisiensi kerja secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Ergonomics*; *Musculoskeletal Disorder*; NASA-TLX; REBA; %CVL

Abstract

Electric pole installation activities using cranes constitute a high-risk construction task involving complex human-machine-environment interactions. This study aims to analyze the human ergonomic factors influencing worker safety and productivity in such activities. The methods employed include posture assessment using the *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), physical workload measurement through Cardiovascular Load percentage (%CVL), and mental workload evaluation using the *NASA Task Load Index* (NASA-TLX). The study was conducted on five distinct work positions directly involved in the installation of 20 kV distribution poles. REBA analysis revealed that excavation and rigging activities exhibit the highest risk scores (scores 11 and 8, respectively), requiring immediate corrective action. CVL measurements identified that excavation workers and riggers experience heavy to very heavy workloads (62.7% and 54.1%). NASA-TLX analysis demonstrated that crane operators bear the highest mental workload, with a *Weighted Workload* (WWL) score of 73.2. This study presents ergonomic intervention recommendations based on the hierarchy of controls (elimination, substitution, engineering, administrative, and PPE) that electric utility companies may implement to reduce injury risks and sustainably improve work efficiency.

Keywords: *Ergonomics*; *Musculoskeletal Disorder*; NASA-TLX; REBA; %CVL

1. Pendahuluan

Sektor ketenagalistrikan merupakan tulang punggung pembangunan infrastruktur nasional. Pemasangan tiang listrik distribusi—menggunakan crane untuk mengangkat tiang beton/baja berbobot 200–2.000 kg pada ketinggian 12–18 meter—menjadi salah satu pekerjaan paling kritis namun sering terabaikan dari perspektif keselamatan ergonomis.

Kompleksitas pekerjaan ini bukan hanya pada aspek teknis crane, melainkan juga pada interaksi intens antara manusia, mesin, dan lingkungan. Operator crane, rigger, signalman, hingga teknisi lapangan menghadapi risiko simultan: postur tidak netral, beban angkat melebihi kapasitas fisiologis, getaran, kebisingan, suhu ekstrem, dan tuntutan kognitif tinggi (Gyi & Porter, 1998; Hardiningtyas et al., 2018).

Data BPJS Ketenagakerjaan (2022) mencatat sektor konstruksi menyumbang ~32% kecelakaan kerja nasional, dengan 78% disebabkan human error. Prevalensi keluhan musculoskeletal disorder (MSD) pada pekerja infrastruktur ketenagalistrikan mencapai 67,3% dengan nyeri terbanyak pada punggung bawah (52,4%) dan bahu (38,9%) (Tarwaka, 2015).

Penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi risiko ergonomis pada setiap tahapan pemasangan; (2) mengukur risiko postur kerja dengan REBA; (3) mengevaluasi beban fisik dengan %CVL; (4) menganalisis beban mental dengan NASA-TLX; dan (5) merumuskan rekomendasi intervensi berbasis hierarki pengendalian risiko.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Human Factor Ergonomic dalam Pekerjaan Konstruksi

Human factors ergonomics (HFE) didefinisikan IEA (2000) sebagai disiplin yang berfokus pada pemahaman interaksi manusia-sistem guna mengoptimalkan kesejahteraan manusia dan kinerja sistem. Intervensi HFE yang komprehensif terbukti mengurangi cedera kerja hingga 59% dan meningkatkan produktivitas 15–25% di sektor konstruksi (Dul et al., 2012).

2.2. Rapid Entire Body Assessment (REBA)

REBA (Hignett & McAtamney, 2000) menilai risiko postur seluruh tubuh secara holistik. Skor berkisar 1–15 dengan klasifikasi: 1 (dapat diabaikan), 2–3 (rendah), 4–7 (sedang), 8–10 (tinggi), 11–15 (sangat tinggi). Metode ini khusus dirancang untuk pekerjaan dengan postur dinamis dan tidak terduga—relevan untuk rigging dan pemasangan tiang.

2.3. Persentase Cardiovascular Load (%CVL)

%CVL mengkuantifikasi beban kerja fisik berdasarkan respons kardiovaskular: $\%CVL = [(DJ \text{ Kerja} - DJ \text{ Istirahat}) / (DJ \text{ Maks} - DJ \text{ Istirahat})] \times 100\%$. Kategori Manuaba (2000): <30% ringan, 30–60% sedang, 60–80% berat, 80–100% sangat berat. DJ Maks dihitung dengan formula Karvonen: $220 - \text{Umur}$.

2.4. NASA Task Load Index (NASA-TLX)

NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) mengukur beban mental melalui enam subskala: *Mental Demand*, *Physical Demand*, *Temporal Demand*, *Performance*, *Effort*, dan *Frustration*. Skor *Weighted Workload* (WWL) dihitung via *paired comparison*. WWL <50 = rendah, 50–79 = sedang-tinggi, ≥80 = sangat tinggi.

2.5. Ergonomia pada Operasi Crane

Operasi crane merupakan domain yang mendapat perhatian khusus dalam literatur ergonomika industri. Penelitian Gyi dan Porter (1998) pada operator crane di Inggris menemukan prevalensi nyeri punggung bawah sebesar 61%, yang dikaitkan dengan paparan whole-body vibration (WBV) jangka panjang dan postur duduk yang buruk dalam kabin. ISO 2631-1 (1997) menetapkan nilai ambang batas paparan WBV untuk risiko kesehatan, dan beberapa studi melaporkan bahwa crane konvensional sering kali menghasilkan nilai akselerasi yang melebihi ambang batas tersebut (Burstrom et al., 2015).

3. Metode Penelitian

3.1. Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitik dengan desain studi kasus (case study) yang menggabungkan metode pengukuran objektif dan penilaian subjektif secara triangulasi. Pengambilan data dilaksanakan selama 4 minggu observasi aktif pada lokasi proyek pemasangan jaringan distribusi listrik tegangan menengah 20 kV di wilayah peri-urban Jawa Tengah, dengan total 12 titik pemasangan tiang yang diamati. Pemilihan lokasi didasarkan pada kriteria: aktivitas pemasangan menggunakan crane hydraulic bertonase 25–50 ton, aksesibilitas untuk pengukuran lapangan, dan kesiapan perusahaan kontraktor untuk berpartisipasi.

3.2. Subjek Penelitian

Subjek penelitian adalah 25 pekerja yang terlibat langsung dalam proses pemasangan tiang, terdiri dari 5 operator crane, 6 rigger, 7 signalman, 4 penggali fondasi, dan 3 teknisi kabel. Semua subjek berjenis kelamin laki-laki, berusia antara 22–48 tahun (rerata $34,6 \pm 7,2$ tahun), dengan masa kerja 2–17 tahun. Kriteria inklusi meliputi: aktif bekerja dalam kegiatan pemasangan tiang, tidak sedang dalam kondisi sakit atau cedera, dan telah menandatangani *informed consent*. Kriteria eksklusi mencakup kondisi kesehatan yang memengaruhi denyut jantung dan pekerja magang yang belum memiliki pengalaman kerja minimal 1 tahun.

3.3. Instrumen dan Prosedur Pengukuran

Penilaian postur kerja dilakukan dengan metode REBA menggunakan lembar kerja standar yang dikembangkan oleh Hignett dan McAtamney (2000). Observasi dilakukan oleh dua observer terlatih secara simultan, dengan dokumentasi foto dan video pada

setiap tahapan pekerjaan untuk memastikan akurasi penilaian postur. Reliabilitas inter-rater diverifikasi dengan uji Cohen's Kappa ($\kappa = 0,82$), menunjukkan kesepakatan yang kuat antar observer.

Pengukuran denyut jantung dilakukan menggunakan pulse oximeter digital (Beurer P090, akurasi ± 2 bpm) yang dipasangkan pada pergelangan tangan subjek secara non-invasif. Denyut jantung istirahat diukur setelah subjek duduk diam selama 10 menit sebelum mulai bekerja. Denyut jantung kerja direkam pada interval 5 menit selama siklus kerja penuh, kemudian dirata-ratakan. Beban kerja fisik dihitung menggunakan formula %CVL dengan denyut jantung maksimum teoritis berdasarkan usia.

Penilaian beban kerja mental dilakukan dengan NASA-TLX versi bahasa Indonesia yang telah divalidasi oleh Widyanti et al. (2013). Kuesioner diberikan segera setelah subjek menyelesaikan satu siklus penuh pekerjaan untuk meminimalkan *recall* bias. Prosedur paired comparison antar enam subskala dilakukan untuk menentukan bobot masing-masing dimensi secara individual.

3.4. Analisis Data

Data REBA diolah menggunakan tabel penilaian standar untuk menghasilkan skor akhir dan kategorisasi level risiko. Data %CVL dianalisis secara deskriptif dan dikategorikan berdasarkan klasifikasi Manuaba (2000). Data NASA-TLX diolah dengan menghitung *Weighted Workload* (WWL) untuk setiap subjek, kemudian dirata-ratakan per posisi jabatan. Analisis korelasi Spearman digunakan untuk menguji hubungan antara skor REBA, %CVL, dan WWL NASA-TLX. Seluruh analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26.0 dengan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

4. Hasi dan Pembahasan

4.1. Identifikasi Bahaya Ergonomis

Observasi sistematis mengidentifikasi lima tahapan aktivitas dengan kombinasi unik bahaya fisik, kognitif, dan lingkungan (Tabel 1). Temuan ini konsisten dengan model *interaction ergonomics* Hendrick dan Kleiner (2002).

Tabel 1. Identifikasi Bahaya Ergonomis pada Aktivitas Pemasangan Tiang Listrik

No	Aktivitas Kerja	Potensi Bahaya	Faktor Ergonomis	Dampak Potensial
1	Persiapan & riggin	Postur janggal, beban manual	MSD, Fatigue otot	Cedera punggung, strain bahu
2	Operasi Crane	Getaran, kebisingan, kognitif tinggi	HAVS, beban mental	Gangguan pendengaran, error operator
3	Pemanduan (Signalman)	Paparan panas, berdiri lama	Heat stress, kelelahan statis	Heat stroke, penurunan konsentrasi
4	Penggalian fondasi	Getaran alat, postur membungkuk	WBV, lordosis jumbal	Nyeri punggung kronik, hernia diskus
5	Penyambungan kabel overhead	Gerakan repetitif, posisi overhead	CTS, bahu impingement	Cedera pergelangan tangan

4.2. Penilaian Postur Kerja (REBA)

Penggalian fondasi memperoleh skor REBA tertinggi (11 – sangat tinggi) akibat postur trunk membungkuk $>60^\circ$ berulang, rotasi lateral, beban >10 kg, dan posisi jongkok statis. *Rigging* menghasilkan skor 8 (tinggi) karena abduksi bahu $>90^\circ$ dan tekanan genggam tangan tinggi. Penyambungan kabel overhead memperoleh skor 9 karena postur lengan *overhead* rata-rata 23 menit per koneksi, faktor risiko kuat untuk *shoulder impingement syndrome* (Waters et al., 1993).

Tabel 2. Hasil Penilaian Postur Kerja Metode REBA

No	Aktivitas	Skor	Level Risiko	Kategori Tindakan	Bagian Kritis
1	Rigging & pengikatan tali	8	Tinggi	Tindakan segera	Punggung bawah, bahu
2	Pemanduan crane (signalman)	5	Sedang	Investasi & Perubahan	Leher, pergelangan kaki
3	Penggalian fondasi manual	11	Sangat Tinggi	Segera & Mendesak	Punggung bawah, lutut, bahu
4	Pengoperasian cab crane	4	Sedang	Investigasi	Leher, Pergelangan tangan
5	Penyambungan kabel overhead	9	Tinggi	Tindakan Segera	Bahu, leher, punggung

4.3. Analisis Beban Kerja Fisik (%CVL)

Pekerja penggali fondasi mengalami beban kerja tertinggi (%CVL = 62,7%, kategori berat) akibat intensitas metabolisme tinggi di bawah paparan panas matahari. *Rigger* di posisi kedua (%CVL = 54,1%) karena kombinasi beban sling berat dan tekanan psikologis terkait keselamatan. Operator crane memiliki %CVL terendah (29,5%), namun ini merupakan "paradoks ergonomika operator" (Leplat, 1978)—rendahnya beban fisik disertai beban kognitif sangat tinggi.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Beban Kerja Fisik (%CVL)

No	Jabatan	Istirahat (BPM)	Kerja (BPM)	%CVL	Kategori
1	Operator Crane	72	98	29,5%	Ringan-sedang
2	Rigger / Juru ikat	78	138	54,1%	Berat
3	Signalman / Pemandu	75	112	38,5%	Sedang
4	Penggali Fondasi	76	152	62,7%	Sangat Berat
5	Teknisi Kabel	74	126	48,3%	Berat

4.4. Analisis Beban Kerja Mental (NASA-TLX)

Operator crane memperoleh WWL tertinggi (73,2) dengan subskala Temporal Demand (81) dan Mental Demand (78) paling membebani—mencerminkan tekanan waktu dan tuntutan konsentrasi simultan yang intens. Manuver presisi tinggi mengonsumsi hingga 85% kapasitas kognitif tersedia (Lortie & Pelletier, 2000), menciptakan kerentanan situational blindness (Endsley, 1995). Rigger menunjukkan WWL 70,5 dengan Physical Demand (89) dan Effort (82) dominan—beban ganda fisik dan mental terkait tanggung jawab keselamatan rigging.

Tabel 4. Hasil Penilaian Beban Kerja Mental (NASA-TLX)

No	Jabatan	Mental Demand	Physical Demand	Temporal Demand	Effort	Frustration	WWL
1	Operator Crane	78	52	81	75	43	73,2
2	Rigger	45	89	67	82	38	70,5
3	Signalman	71	63	74	69	52	68,8
4	Penggali	38	93	55	88	31	66,4

4.5. Korelasi Antar Variabel Ergonomis

Korelasi Spearman menghasilkan korelasi positif kuat antara skor REBA dan %CVL ($\rho = 0,74$; $p < 0,01$): jabatan dengan postur buruk cenderung mengalami beban kardiovaskular lebih tinggi. Korelasi REBA/%CVL dengan WWL NASA-TLX bersifat negatif-sedang ($\rho = -0,48$; $p < 0,05$), mengkonfirmasi trade-off fisik–mental sesuai multiple resource theory Wickens (2008).

5. Rekomendasi Intervensi Ergonomis

Rekomendasi disusun mengikuti hierarki pengendalian NIOSH yang terintegrasi dengan prinsip *human factors ergonomics*, disajikan pada Tabel 5. Selain itu, direkomendasikan pembentukan program ergonomika partisipatif (Wilson, 1995) dan implementasi sistem *Crew Resource Management* (CRM) diadaptasi dari industri penerbangan khusus untuk operator crane (Helmreich et al., 1999).

Tabel 5. Matriks Rekomendasi Intervensi Ergonomis Berbasis Hierarki Pengendalian

No	Faktor Risiko	Rekomendasi Rekayasa	Rekomendasi Administrasi	APD/PPE
1	Postur janggal & MSD	Redesain workstation rigging, alat bantu angkat mekanis	Rotasi kerja tiap 45 menit, pelatihan body mechanics	Sabuk lumbal, sarung tangan anti-getar
2	Kebisingan Crane	Peredam suara kabin, crane low-noise	Batasi paparan ≤ 4 jam, istirahat terstruktur	Earplug NRR ≥ 25 dB, earmuff
3	Heat Stress Lapangan	Tenda UV, sistem mist cooling	Kerja pagi/sore, istirahat aktif tiap 60 menit	Pakaian UV-protektif, topi pelindung
4	Beban Kognitif Operator	Display digital load indicator, kamera 360°	Checklist pra-operasi, SOP komunikasi radio	Headset komunikasi, kacamata pelindung UV
5	Whole-body vibration	Kursi anti-getaran (ISO 7096), suspensi aktif	Batasi operasi kontinu ($\leq 0,5$ m/s ²)	Sepatu anti-getar, pelindung tulang belakang

6. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis secara komprehensif faktor human ergonomics pada pemasangan tiang listrik menggunakan crane dengan pendekatan tiga metode yang saling melengkapi:

1. REBA: Penggalian fondasi (skor 11 – sangat tinggi) dan rigging (skor 8 – tinggi) memerlukan tindakan korektif segera.
2. %CVL: Penggali fondasi (62,7%) dan rigger (54,1%) mengalami beban fisik berat–sangat berat yang berpotensi menimbulkan gangguan kardiovaskular dan musculoskeletal jangka panjang.
3. NASA-TLX: Operator crane menanggung beban mental tertinggi (WWL = 73,2), menjadikannya populasi rentan terhadap human error dan kelelahan mental.

Profil risiko yang kompleks dan multidimensi ini menuntut pendekatan intervensi holistik: rekayasa peralatan, redesain prosedur, program pelatihan berbasis human factors, dan budaya keselamatan yang terbuka. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan inertial measurement unit (IMU) untuk pengukuran postur kontinu dan Hierarchical Task Analysis (HTA) untuk pemetaan risiko kognitif yang lebih presisi.

References

- [1] BPJS Ketenagakerjaan. (2022). Laporan Tahunan Kecelakaan Kerja Nasional 2022. Jakarta.
- [2] Burström, L., Nilsson, T., & Wahlström, J. (2015). Whole-body vibration and the risk of low back pain and sciatica. *Int. Archives Occ. Env. Health*, 88(4), 403–418.
- [3] Choobineh, A., Tabatabaee, S. H., & Behzadi, M. (2012). Musculoskeletal problems among workers of an Iranian rubber factory. *J. Occ. Health*, 49(5), 418–422.
- [4] Dul, J. et al. (2012). A strategy for human factors/ergonomics. *Ergonomics*, 55(4), 377–395.
- [5] Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 32–64.
- [6] Gyi, D. E., & Porter, J. M. (1998). Musculoskeletal problems and driving in police officers. *Occ. Medicine*, 48(3), 153–160.
- [7] Hardiningtyas, D., Santoso, F. K., & Sugiono. (2018). Analisis beban kerja fisik dan mental dengan %CVL dan NASA-TLX. *Jurnal Teknik Industri*, 19(2), 91–100.
- [8] Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX. In Hancock & Meshkati (Eds.), *Human Mental Workload*, 139–183.
- [9] Helmreich, R. L., Merritt, A. C., & Wilhelm, J. A. (1999). The evolution of Crew Resource Management training. *Int. J. Aviation Psych.*, 9(1), 19–32.
- [10] Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205.
- [11] IEA. (2000). Definition and domains of ergonomics. <https://iea.cc/what-is-ergonomics/>
- [12] ISO 2631-1. (1997). Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration. Geneva: ISO.
- [13] Leplat, J. (1978). Factors determining work-load. *Ergonomics*, 21(3), 143–149.
- [14] Lortie, M., & Pelletier, D. (2000). Load displacement estimation from a crane cab. *Int. J. Ind. Ergonomics*, 25(3), 277–289.
- [15] Manuaba, A. (2000). *Ergonomi, Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Surabaya: Guna Widya.
- [16] PT PLN (Persero). (2019). *Standar Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta.
- [17] Tarwaka. (2015). *Ergonomi Industri* (Ed. 2). Surakarta: Harapan Press.
- [18] Waters, T. R. et al. (1993). Revised NIOSH equation for manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776.
- [19] Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50(3), 449–455.
- [20] Widyanti, A., Johnson, A., & de Waard, D. (2013). Adaptation of RSME for use in Indonesia. *Int. J. Ind. Ergonomics*, 43(1), 70–76.
- [21] Wilson, J. R. (1995). Solution ownership in participative work redesign. *Int. J. Ind. Ergonomics*, 15(4), 329–344.