PENGEMBANGAN PENILAIAN ERGONOMI BERBASIS *FUZZY* LOGIC UNTUK MENGIDENTIFIKASI RISIKO KESEHATAN PEKERJA KONSTRUKSI

Lisherly Reginancy Debataraja[1)]

[1]Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

E-mail: ldebataraja@polmed.ac.id

Abstract

Pursuant to ESDM Regulation No. 26 of 2018, all business entities are mandated to formulate an Occupational Health and Safety (OHS) Program Plan to mitigate and control potential workplace accidents and occupational illnesses. Given that the construction sector entails an exceptionally high level of OHS risk relative to other industries, a sustainable ergonomic risk assessment model is vital to support continuous OHS decision-making in construction projects. The findings reveal that all operational stages—including reinforcement, concreting, as well as formwork installation and striking—exhibit high ergonomic risks, predominantly impacting the back, shoulders, neck, and wrists. The proposed Fuzzy logic-based ergonomic assessment framework demonstrates robust performance across technical, functional, and field-application domains. Technically, the system efficiently executes fuzzification, inference, and defuzzification processes while seamlessly integrating observational data from CMDQ, REBA, RULA, and NIOSH methods to produce stable outputs compliant with regulatory standards.

Keywords: *Occupational health and safety, Ergonomics, Fuzzy logic*

PENDAHULUAN

Sesuai Peraturan Energi Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2018 dan PP Nomor 50 Tahun 2012, setiap perusahaan berisiko tinggi wajib menyusun program K3 melalui Departemen *Health, Safety, and Environment* (HSE). Industri konstruksi merupakan sektor dengan risiko K3 yang sangat tinggi akibat beban fisik berat dan posisi kerja tidak ergonomis. Secara global, faktor ergonomi menjadi penyebab utama penyakit akibat kerja, menyumbang sekitar 77% kasus di industri konstruksi, serta bertanggung jawab atas 30% gangguan muskuloskeletal (WMSDs). Di Indonesia, studi menunjukkan bahwa 36,2% pekerja konstruksi mengalami gejala WMSDs pada area leher, bahu, punggung, dan pinggang akibat tingginya paparan risiko ergonomi di lapangan.

Meski upaya penerapan ergonomi telah dilakukan, pendekatan yang ada masih bersifat reaktif, kurang sistematis, serta belum memperhatikan aspek ketidakpastian dan keberlanjutan pada kondisi lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan metode penilaian ergonomi yang adaptif, dinamis, dan proaktif

dengan mengombinasikan logika *Fuzzy* untuk menangani permasalahan nonlinier dan ketidakpastian variabel linguistik. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan rancangan aplikasi penilaian risiko ergonomi berbasis logika *Fuzzy* menggunakan *software* Visual Basic 6, dengan batasan ruang lingkup pada pekerjaan pemasangan bekisting, pembesian, dan pengecoran di proyek konstruksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini memuat data yang bersumber dari pengamatan langsung dan kuesioner terhadap 50 responden di 5 proyek konstruksi gedung di Kota Medan. Parameter yang dievaluasi meliputi postur kerja, frekuensi dan durasi aktivitas, besaran beban angkutan, serta ketersediaan alat bantu kerja. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, survei pendahuluan, perumusan masalah, hingga pengumpulan data lapangan mengenai kejadian cedera dan tingkat ketidaknyamanan pekerja. Data faktor ergonomi tersebut kemudian diukur menggunakan metode CMDQ, RULA, REBA, dan *NIOSH Lifting Equation* sebagai dasar perancangan aplikasi penilaian risiko. Selanjutnya, data yang telah diukur dianalisis menggunakan logika *Fuzzy*, di mana nilai faktor dikonversi menjadi variabel linguistik dan dimasukkan ke dalam sistem aturan *if-then*. Proses inferensi dilakukan dengan rumus minimum (min) dan metode *centroid* yang disederhanakan untuk menghasilkan nilai akhir. Pada tahap analisis dan evaluasi, hasil logika *Fuzzy* tersebut digunakan untuk merancang model aplikasi penilaian ergonomi berkelanjutan. Penelitian ini diakhiri dengan penarikan kesimpulan yang menghasilkan *output* berupa model aplikasi penilaian dan daftar risiko ergonomi demi meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di sektor konstruksi.

Defuzzifikasi memodifikasi *Fuzzy* output menjadi output yang bernilai tunggal (*crisp rule*) berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. Metoda deffuzifikasi diantaranya adalah sebagai berikut :

Jika vektor bobot di deffuzifikasi maka akan diperoleh definisi vektor bobot berikut:

$$W = d(A_1)d^1(A_1), \dots, (A_n))^T \quad (1)$$

Perumusan normalisasinya adalah :

$$d(A_n) = \frac{d(A_n)}{\sum_{i=1}^{n} d'(A_n)} \quad (2)$$

Representasi fungsi keanggotaan sub kriteria seperti REBA, RULA, NIOSH dalam logika *Fuzzy* diasumsikan sebagai variabellinguistik dengan ketentuan fungsi keanggotaan sebagai berikut

Tabel 1.
Fungsi keanggotaan sub kriteria seperti REBA, RULA, NIOSH

	REBA *(Middlesworth, 2020)*	RULA *(Hedge, 2025)*	NIOSH *(Dita Putri Mayangsari et al., 2020)*
Rendah	1 ; $Z \leq 2$ $(4 – Z) / 2$; $\leq Z \leq 4$ 0 ; $Z \geq 4$	1 ; $Z \leq 1$ $(4 – Z) / 3$; $1 \leq Z \leq 4$ 0 ; $Z \geq 4$	1 ; $Z \leq 0$ $(0{,}5 – Z) / 0{,}5$; $0 \leq Z \leq 0{,}5$ 0 ; $Z \geq 0{,}5$
Sedang	0 ; $Z \leq 2$ atau $Z \geq 8$ $(Z – 2) / 2$; $\leq Z \leq 4$ $(8 – Z) / 4$; $4 \leq Z \leq 8$	0 ; $Z \leq 1$ atau $Z \geq 7$ $(Z – 1) / 3$; $1 \leq Z \leq 4$ $(7 – Z) / 4$; $4 \leq Z \leq 7$	0 ; $Z \leq 0$ atau $Z \geq 1$ $(Z – 0) / 0{,}5$; $0 \leq Z \leq 0{,}5$ $(1 – Z) / 0{,}5$; $0{,}5 \leq Z \leq 1$
Tinggi	0 ; $Z \leq 4$ $(Z – 4) / 4$; $4 \leq Z \leq 8$ 1 ; $Z \geq 8$	0 ; $Z \leq 4$ $(Z – 4) / 3$; $4 \leq Z \leq 7$ 1 ; $Z \geq 7$	0 ; $Z \leq 0{,}5$ $(Z – 0{,}5) / 0{,}5$; $0{,}5 \leq Z \leq 1$ 1 ; $Z \geq 1$

Dalam penelitian ini terdapat 4 kriteria input yaitu metode REBA, RULA, NIOSH, dan CMDQ dimana berdasarkan unit penalaran terdapat 81 unit himpunan *Fuzzy* dengan aturan – aturan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 2.
Rule if – then

No	IF (CMDQ, REBA, RULA, NIOSH)	THEN Risiko Total
1	Semua Aman	Aman
2	Sebagian besar Sedang, tidak ada yang Tinggi/Sangat Tinggi	Sedang
3	Dua atau lebih metode Tinggi, lainnya Sedang	Tinggi
4	Salah satu Sangat Tinggi, lainnya sedang	Tinggi
5	Dua metode Sangat Tinggi, lainnya minimal Tinggi	Sangat Tinggi
6	NIOSH Aman tapi REBA atau RULA Tinggi/Sangat Tinggi	Sedang–Tinggi
7	CMDQ dan REBA Sedang, tapi RULA Tinggi	Tinggi
8	CMDQ, REBA, RULA, NIOSH semua Tinggi/Sangat Tinggi	Sangat Tinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses identifikasi risiko bertujuan untuk memetakan potensi ketidakpastian peristiwa yang berpeluang memberikan dampak baik maupun buruk bagi pencapaian target yang telah ditetapkan (Debataraja, 2023; Debataraja et al., 2024). Dalam penelitian ini, analisis fokus pada risiko ergonomi di lingkup proyek konstruksi, khususnya pada tahap pekerjaan pembesian, pengecoran, serta perakitan dan pembongkaran bekisting.

Tabel 3
Faktor Risiko Ergonomi

Pekerjaan	Item	Faktor Risiko Ergonomi
Pembesian	Mengangkat dan membawa besi	• Risiko cedera tulang belakang bawah (LBP) akibat pengangkatan material berbobot berat, berukuran panjang, dengan distribusi beban yang tidak seimbang.

	Fabrikasi (Pemotongan & pembengkokan besi)	• Pengoperasian perangkat elektrik (seperti mesin bor) yang menuntut dorongan dan tekanan fisik ekstra dari pekerja. • Pembebanan fisik akibat posisi membungkuk dalam durasi lama, pengerahan tenaga berlebih pada tangan/bahu, serta gerakan berulang berfrekuensi tinggi.
	Pengikatan tulangan (binding wire)	• Dampak getaran sistemik yang berpotensi memicu nyeri punggung, pusing, sakit kepala, mual, timbulnya varises, hingga gangguan penglihatan. • Posisi berlutut atau berjongkok dalam waktu lama yang memberikan tekanan mekanis tinggi pada sendi lutut, pergelangan tangan, dan bahu. • Aktivitas manual memindahkan beban >11 kg ke area di atas bahu atau di bawah lutut yang dilakukan lebih dari 25 kali sehari.
	Paparan getaran alat	• Penggunaan alat bergetar yang berisiko memicu kelelahan otot tangan dan gangguan pada sistem saraf perifer. • Risiko pembebanan fisik berlebih yang berfokus pada area persendian punggung, bahu, dan pergelangan tangan.
Pengecoran	Penuangan Beton	• Tuntutan kerja yang memerlukan gerakan leher secara konstan (menunduk, menoleh, dan menengadah ke atas). • Risiko ketegangan otot berlebih pada area punggung, bahu, serta pergelangan tangan. • Lingkungan kerja outdoor yang terpapar langsung oleh paparan suhu panas ekstrem dan terik matahari.
	Vibrator	• Tuntutan fleksibilitas area leher yang menunduk, menoleh, dan menengadah secara terus-menerus. • Posisi tubuh tidak alami yang dipicu oleh aktivitas berdiri, duduk, atau berjongkok dalam durasi yang terlalu lama.
	Trowelling	• Posisi kerja yang memaksa postur tubuh condong atau miring ke arah depan maupun samping. • Gangguan kesehatan sistemik seperti pusing, mual, sakit kepala, nyeri punggung, varises, hingga penglihatan kabur akibat paparan getaran total.
	Finishing	• Gerakan leher aktif ke berbagai arah (menunduk, menoleh, dan melihat ke atas) saat menyelesaikan pekerjaan
	Curing	• Risiko kerja tinggi akibat beroperasi di area minim cahaya atau kondisi gelap, seperti pekerjaan pada shift malam.
Pemasangan dan pembongkaran bekisting	Pemasangan	• Pengangkatan panel bekisting yang kaku, besar, dan berat, sehingga berisiko memicu cedera punggung, bahu, dan tangan. • Pemasangan material pada posisi tinggi/di atas kepala yang menyebabkan ketegangan ekstra pada bahu, leher, dan lengan.
	Pembongkaran	• Pengerahan tenaga mendadak saat menarik atau membongkar material bekisting yang berpotensi memicu trauma/cedera punggung bawah. • Potensi risiko terjatuh dari ketinggian selama proses perakitan atau pemasangan bekisting pada dinding dan kolom.

Proses pengumpulan data menggunakan kuesioner *Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire* (CMDQ) berpatokan pada pembobotan nilai sebagai berikut:

Tabel 4
Parameter CMDQ *(Sumber : Kashani, 2025)*

Item penilaian	Parameter	Skor Nilai
Frekuensi / *Frequency* (F)	Tidak pernah	0
	1 – 2 kali seminggu	1,5
	3 – 4 kali seminggu	3,5
	1 kali setiap hari	5

	Beberapa kali setiap hari	10
Ketidaknyamanan / *Discomfort (*D)	Sedikit tidak nyaman Agak tidak nyaman Sangat tidak nyaman	1 2 3
Kemampuan bekerja / *Interfere* (I)	Tidak sama sekali Sedikit terganggu Sangat /sungguh mengganggu	1 2 3

Berdasarkan data tersebut bagian tubuh yang memiliki risiko tinggi adalah sebagai berikut :

Tabel 5.
Kategori tingkat risiko tinggi CMDQ

Jenis Pekerjaan	Bagian Tubuh	Persentase Keluhan	Keterangan
Pembesian	Punggung Bawah	90%	Keluhan utama akibat postur membungkuk lama
	Lutut Kanan	70%	Jongkok lama saat ikat tulangan bawah
	Pergelangan Tangan Kanan	65%	Mengikat kawat berulang
Pengecoran	Punggung Bawah	87%	Dominan: membungkuk & angkat beban
	Bahu Kanan	65%	Aktivitas menuang & mengangkat ember
	Leher	62%	Postur menunduk lama saat pengecoran
Pemasangan Bekisting	Punggung Bawah	88%	Postur kerja membungkuk dominan
	Bahu Kanan	70%	Mengangkat panel bekisting berat
	Lutut Kanan	65%	Menekuk berulang
Pembongkaran Bekisting	Punggung Bawah	88%	Membungkuk & angkat beban
	Bahu Kanan	72%	Mengangkat panel ke bawah
	Leher	65%	Menunduk & melihat ke bawah

Selanjutnya adalah *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), RULA merupakan metode yang digunakan untuk dapat menginvestigasi gangguan pada bagian atas dari perut ke leher. Pengembangan metode RULA terdiri atas tiga tahapan yaitu mengidentifikasi postur kerja, pemberian skor dan pemberian level skala untuk penilaian lebih detail. Langkah analisis data dapat dilakukan dengan menganalisis lengan dan pergelangan tangan, analisis leher, badan dan kaki, lalu penilaian akhir. Untuk salah satu analisa RULA dapat dicontohkan pada gambar sebagai berikut



Gambar 1. Pekerjaan Pengecoran

Selanjutnya data postur kerja setiap responden didapatkan sebgai berikut

Tabel 6
Data postur kerja setiap responden RULA

No	Pekerjaan	Skor	Level Risiko	Tindakan Perbaikan
1	Pekerjaan Pembesian/ penulangan	6	Sedang	Perlu tindakan lanjut dan perubahan posisi segera ganti
2	Postur kerja pengecoran	7	Tinggi	Perlu penyelidikan lanjut dan perubahan posisi saat itu juga
3	Postur kerja pemasangan bekisting	6	Sedang	Perlu tindakan lanjut dan perubahan posisi segera ganti
4	Postur Kerja pembukaan bekisting	7	Tinggi	Perlu penyelidikan lanjut dan perubahan posisi saat itu juga

Selanjutnya menggunakan *Rapid Entire Body Assessment* (REBA), dari aktifitas pembesian, pengecoran dan pekerjaan bekisting yang dianalisis , penilaian postur kerja pada aktifitas pekerja konstruksi di proyek Kota Medan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7
Skor akhir masing masing pekerjan REBA

No	Pekerjaan	Skor REBA	Level Risiko	Tindakan Perbaikan
1	Pekerjaan Pembesian/ penulangan	11	Sangat Tinggi	Perlu tindakan sekarang juga
2	Postur kerja pengecoran	12	Sangat Tinggi	Perlu tindakan sekarang juga
3	Postur kerja pemasangan bekisting	9	Tinggi	Perlu tindakan secepatnya
4	Postur Kerja pembukaan bekisting	10	Tinggi	Perlu tindakan secepatnya

NIOSH Lifting Equation merupakan metode yang digunakan untuk menilai risiko cedera punggung pada aktivitas pengangkatan dengan kedua tangan, sekaligus memberikan rekomendasi solusi terhadap potensi bahaya yang teridentifikasi. Rekapitulasi hasil pengukuran pada pekerja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 8
Hasil analisis pada NIOSH

Pekerjaan	*Recomended Weight Limit (RWL)*	*Lifting Index*	*Kategori risiko berat*
Pembesian/ penulangan	38,44	0,65	Aman
Pengecoran	29,59	3,72	Tinggi
Pemasangan bekisting	21	3,14	Tinggi
Pembukaan bekisting	15,26	3,60	Tinggi

Berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh, rekapitulasi nilai dari masing-masing metode penilaian ergonomi disajikan pada tabel/penjelasan berikut:

Tabel 9
Penilaian risiko pekerjaan dengan metode CMDQ, REBA, RULA, NIOSH

Pekerjaan	CMDQ		REBA		RULA		NIOSH	
	Skor	Kategori	Skor	Kategori	Skor	Kategori	Skor	Kategori
Pembesian/ penulangan	45%	Sedang	11	Sangat Tinggi	6	Sedang	0,65	Aman
Pengecoran	43%	Sedang	12	Sangat Tinggi	7	Tinggi	3,72	Tinggi
Pemasangan bekisting	44%	Sedang	9	Tinggi	6	Sedang	3,14	Tinggi
Pembukaan bekisting	45%	Sedang	10	Tinggi	7	Tinggi	3,60	Tinggi

Berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh, rekapitulasi nilai dari masing-masing metode penilaian ergonomi dengan logika *Fuzzy* disajikan pada tabel/penjelasan berikut:

Tabel 10
Interpretasi Akhir Risiko

Pekerjaan	Nilai *Fuzzy*	Kategori *Fuzzy*
Pembesian/penulangan	0.455	Sedang
Pengecoran	0.801	Sangat Tinggi
Pemasangan bekisting	0.543	Tinggi
Pembukaan bekisting	0.589	Tinggi

Berdasarkan data penilaian ergonomi pada empat jenis pekerjaan konstruksi, seluruh aktivitas—mulai dari penulangan/pembesian, pengecoran, hingga pemasangan dan pembongkaran bekisting—menunjukkan tingkat keluhan muskoloskeletal pada kategori Sedang berdasarkan metode CMDQ dengan rentang skor 44% hingga 45%. Namun, analisis postur tubuh secara keseluruhan melalui metode REBA menunjukkan tingkat risiko yang sangat mengkhawatirkan, yaitu kategori Sangat Tinggi pada pekerjaan pembesian (skor 11) dan pengecoran (skor 12), serta kategori Tinggi pada pemasangan bekisting (skor 9) dan pembukaan bekisting (skor 10). Sementara itu, penilaian anggota tubuh bagian atas (RULA) mencatat risiko kategori Tinggi untuk pengecoran dan pembukaan bekisting (skor 7) serta kategori Sedang untuk pembesian dan pemasangan bekisting (skor 6). Dari aspek penanganan beban manual (NIOSH), pekerjaan pembesian menjadi satu-satunya aktivitas yang tergolong Aman (skor 0,65), sedangkan tiga aktivitas lainnya tergolong berisiko Tinggidengan skor melebihi batas aman ($LI > 3$), yaitu pengecoran (3,72), pembukaan bekisting (3,60), dan pemasangan bekisting (3,14), sehingga menjadikan pekerjaan pengecoran dan pembukaan bekisting sebagai prioritas utama yang memerlukan perbaikan postur kerja dan intervensi ergonomi segera.

SIMPULAN

Berdasarkan penilaian ergonomik (CMDQ, REBA, RULA, NIOSH) dan hasil integrasi logika *Fuzzy*, pengecoran menjadi aktivitas yang paling kritikal dan berisiko tinggi dengan Nilai *Fuzzy* sebanyak 0,801 (Kategori Sangat Tinggi), yang selaras dengan skor tertinggi pada kaedah REBA (12), RULA (7), dan NIOSH (3,72). Seterusnya, pembukaan bekisting (Nilai *Fuzzy* 0,589) dan pemasangan bekisting (Nilai *Fuzzy* 0,543) berada pada Kategori Tinggi kerana kedua-duanya secara konsisten menunjukkan risiko tinggi terhadap postur kerja serta pengendalian beban manual yang melebihi batas ($LI > 3$). Aktivitas pembesian/penulangan mencatat tahap risiko terendah dengan Nilai *Fuzzy* 0,455 (Kategori Sedang), di mana walaupun skor REBA tergolong sangat tinggi (11), faktor pengangkatan beban manual (NIOSH) masih berada dalam skor aman (0,65) yang membantu mengurangkan nilai risiko keseluruhannya. Oleh karena itu, integrasi kaedah *Fuzzy* ini secara jelas menunjukkan bahawa tindakan ergonomik dan intervensi tempat kerja yang diprioritaskan adalah pada pekerjaan pengecoran dan pekerjaan bekisting.

DAFTAR PUSTAKA

Alan Hedge. (2016). *Ergonomic Workplace Design for Health, Wellness, and Productivity* (1st ed.). CRC Press.

Debataraja, L. R. (2023). Analysis of Human Factors that Influence Contractors' Risk Management Attitudes in Sumatra Island in Construction Projects. *Journal of Civil Engineering and Planning*, *4*(2), 162–172. https://doi.org/10.37253/jcep.v4i2.8575

Debataraja, L. R., Purba, M., Amrizal, A., & Budianto, G. (2024). Differences in Supply Chain Material Risk Weight Using the Severity Index Method and Monte Carlo Simulation. *Journal of Civil Engineering and Planning*, *5*(2), 163–171. https://doi.org/10.37253/jcep.v5i2.9951

Gani AZ; Zamberi MM; Teni MH. (2018). A review of ergonomics towards productivity. *International Journal Supply Chain*, *7*(4).

Hulshof, C. T. J., Pega, F., Neupane, S., van der Molen, H. F., Colosio, C., Daams, J. G., Descatha, A., Kc, P., Kuijer, P. P. F. M., Mandic-Rajcevic, S., Masci, F., Morgan, R. L., Nygård, C.-H., Oakman, J., Proper, K. I., Solovieva, S., & Frings-Dresen, M. H. W. (2021). The prevalence of occupational exposure to ergonomic risk factors: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment International*, *146*, 106157. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106157

Kadir, Abdul, Sunindijo, Riza Yosia, Widanarko, Baiduri, Erwandi, Dadan, Nasri, Sjahrul M, Satrya, Bangga Agung, Sunarno, Stevan Deby Anbiya Muhamad,

Atmajaya, Hardy, Yuniar, Popy, Yuantoko, Tubagus Dwika, Qomariyah, Lailatul, & Maharani, Cynthia Febrina. (2025). Impact of Physical and Psychological Strain on Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Cross-Sectional Study in the Construction Industry. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, *62*, 00469580251315348. https://doi.org/10.1177/00469580251315348

Kashani, H. A. (2025). *Workplace Ergonomics Tools*. Cornell University Ergonomics Web.

Kusmasari, W. (2017). *Musculoskeletal Symptom Survey Among Construction Workers in Indonesian: A Case Study in Construction Project* (SENASSET, Ed.).

Kusumadewi, A., Listyani, V., Sipil, D. T., Teknik, F., Diponegoro, U., Risiko, A., & Jakarta-bandung, K. C. (2017). *ANALISA MANAJEMEN RISIKO TAHAP KONSTRUKSI PADA PROYEK KERETA CEPAT JAKARTA-BANDUNG*. *6*, 157–164.

Kusumadewi, S., Guswaludin, I., Sistem, K., Keputusan, P., & Support, D. (2005). *FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING*. *3*(1), 25–38.

Mugisha, E. (2025). *Innovations in Ergonomic Design: Enhancing Workplace Safety*. *4*, 44–51. https://doi.org/10.59298/ROJESR/2025/4.2.4451

Ratushnyi, R., & Stakhanska, O. (2024). Ergonomic interventions and endodontic treatment outcomes: An analysis of dentist working posture and error rates. *The Saudi Dental Journal*, *36*(3), 466–470. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.12.006

Saaty, T. L. (1993). *Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process* (pp. 15–35).

Teixeira, L. R., Pega, F., de Abreu, W., de Almeida, M. S., de Andrade, C. A. F., Azevedo, T. M., Dzhambov, A. M., Hu, W., Macedo, M. R. V, Martínez-Silveira, M. S., Sun, X., Zhang, M., Zhang, S., & Correa da Silva, D. T. (2021). The prevalence of occupational exposure to noise: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment International*, *154*, 106380. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106380

Van Laarhoven, P. and Pedrycz, W. (1983). "A *Fuzzy* Extension of Saaty's Priority Theory." *Fuzzy Sets and Systems*, *11*(1), 199–227. https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7

Vigoroso, L., Caffaro, F., Tronci, M., & Fargnoli, M. (2025). Ergonomics and design for safety: A scoping review and bibliometric analysis in the industrial engineering literature. *Safety Science*, *185*, 106799. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.106799