

Contents list available at [journal.uib.ac.id](http://journal.uib.ac.id)**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

## The Development of a Fuzzy Logic-Based Sustainable Ergonomics Assessment Method for Identification of Occupational Health Risks in Construction

### Pengembangan Metode Penilaian Ergonomi Berkelanjutan Berbasis Logika *Fuzzy* untuk Identifikasi Risiko Kesehatan Kerja Konstruksi

Lisherly Reginancy Debatara<sup>1</sup>, Oktavia Uly Artha Silalahi<sup>2</sup>, Fenny Novita M Sianturi<sup>3</sup>, Indra Jhon Fischer<sup>4</sup>, Multilawati Nasution<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Manajemen Rekayasa Konstruksi Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan

<sup>5</sup>Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya

Email korespondensi: [ldebatara@polmed.ac.id](mailto:ldebatara@polmed.ac.id)

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p><b>Kata kunci :</b></p> <p>Kesehatan dan keselamatan kerja, Ergonomy, logika <i>Fuzzy</i>.</p>	<p>Mengacu pada Peraturan ESDM Nomor 26 Tahun 2018, setiap perusahaan memiliki kewajiban untuk menyusun Rencana Program Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) sebagai upaya pengendalian dan mitigasi terhadap potensi kecelakaan serta penyakit akibat aktivitas kerja. Sektor konstruksi sendiri tergolong sebagai industri dengan tingkat risiko K3 yang sangat tinggi dibandingkan sektor lainnya. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah model aplikasi metode penilaian risiko ergonomi berkelanjutan sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam pengelolaan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) secara berkelanjutan di proyek konstruksi. Berdasarkan penelitian seluruh aktivitas kerja pada tahap pembesian, pengecoran, dan pemasangan/pembongkaran bekisting memiliki tingkat risiko ergonomi yang tinggi, terutama terhadap punggung, bahu, leher, dan pergelangan tangan. Aplikasi yang dibangun untuk menilai risiko ergonomi dengan menggunakan <i>fuzzy logic</i> dinamakan Ergosuite. ErgoSuite dirancang sebagai rangkaian alat bantu untuk para profesional di bidang ergonomi, kesehatan, dan keselamatan kerja (K3). Tujuan utama aplikasi ini adalah untuk menyediakan platform interaktif untuk melakukan, menyimpan, dan menganalisis penilaian ergonomis, termasuk NIOSH <i>Lifting Equation</i>, REBA, RULA, dan CMDQ. Sistem penilaian risiko ergonomi berbasis <i>fuzzy logic</i> menunjukkan kinerja baik dari aspek teknis, fungsionalitas, dan penerapan lapangan. Secara teknis, sistem mampu melakukan proses fuzzifikasi, defuzzifikasi, rule base, dan integrasi data dengan output yang stabil serta sesuai standar CMDQ, REBA, RULA, dan NIOSH. observasi REBA, RULA, dan NIOSH ke dalam sistem yang kemudian memprosesnya melalui fuzzifikasi, inferensi, dan defuzzifikasi.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Keywords:</b></p> <p>Occupational health and safety,</p>	<p>Referring to ESDM Regulation Number 26 of 2018, every company is obliged to prepare an Occupational Health and Safety (K3) Program Plan as an effort to control and mitigate potential accidents and illnesses due to work activities. The construction sector itself is classified as an industry with a very high level of K3 risk compared to</p>

Contents list available at [journal.uib.ac.id](http://journal.uib.ac.id)

## Journal of Civil Engineering and Planning

Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

*Ergonomics,  
Fuzzy logic.*

*other sectors. Therefore, a model for applying a sustainable ergonomic risk assessment method is needed as a decision-making tool in the sustainable management of Occupational Health and Safety (K3) in construction projects. Based on research, all work activities at the reinforcement, casting, and installation/dismantling stages of formwork have a high level of ergonomic risk, especially to the back, shoulders, neck, and wrists. The application built to assess ergonomic risks using fuzzy logic is called Ergosuite. ErgoSuite is designed as a suite of tools for professionals in the fields of ergonomics, occupational health, and safety (K3). The main purpose of this application is to provide an interactive platform for conducting, storing, and analyzing ergonomic assessments, including the NIOSH Lifting Equation, REBA, RULA, and CMDQ. The fuzzy logic-based ergonomic risk assessment system demonstrates good performance in terms of technical aspects, functionality, and field application. Technically, the system is capable of performing fuzzification, defuzzification, rule base, and data integration processes with stable output and in accordance with CMDQ, REBA, RULA, and NIOSH standards. REBA, RULA, and NIOSH observations are then processed into the system through fuzzification, inference, and defuzzification.*

### 1. Pendahuluan

Sesuai dengan Peraturan ESDM Nomor 26 Tahun 2018, setiap perusahaan diwajibkan menyusun Rencana Program Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) guna mengendalikan serta mengurangi risiko kecelakaan dan penyakit yang disebabkan oleh aktivitas kerja. Industri konstruksi merupakan salah satu sektor yang memiliki tingkat risiko kesehatan dan keselamatan kerja (K3) yang sangat tinggi. Para pekerja konstruksi sering terpapar kondisi kerja yang berat, posisi tubuh yang tidak ergonomis, beban kerja fisik yang tinggi, serta paparan terhadap berbagai faktor lingkungan seperti kebisingan, getaran, suhu ekstrem, dan zat kimia. Kondisi tersebut dalam jangka panjang dapat menyebabkan gangguan kesehatan kerja yang serius, termasuk gangguan muskuloskeletal, kelelahan kronis, hingga penyakit akibat kerja lainnya. Masalah kesehatan keselamatan kerja pada umumnya ditangani oleh sebuah Departemen Health, Safety and Environment di masing-masing Perusahaan yang memiliki tingkat risiko tinggi (Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 50, 2012). Secara global, penyakit akibat ergonomi adalah penyebab utama penyakit akibat kerja. Di industri konstruksi, penyakit ergonomi dapat mencapai sekitar 77% dari seluruh kasus penyakit akibat kerja yang dilaporkan di beberapa tempat [1]. WHO dan ILO mengembangkan estimasi global terkait beban penyakit akibat risiko ergonomi dengan hasil risiko ergonomi sangat tinggi ( $\approx 76\%$ ), diperkirakan  $\pm 30\%$  dari penyakit terkait pekerjaan adalah gangguan muskuloskeletal (gangguan atau kelainan yang memengaruhi otot, tulang, tendon, ligamen, saraf, atau struktur penunjang lainnya dalam sistem gerak tubuh) yang disebabkan oleh faktor ergonomi. Sementara itu, tingkat ekspos pekerja terhadap risiko ergonomi bisa mencapai sekitar 70–80% dan hal tersebut bertanggung jawab atas sekitar 13–14% dari seluruh beban penyakit akibat kerja global [2]. Sebuah studi melibatkan 409 pekerja di empat perusahaan konstruksi Indonesia menunjukkan: 36.2% pekerja melaporkan gejala WMSDs (Work-Related Musculoskeletal Disorders) dalam 7 hari terakhir, 31.5% melaporkan gejala dalam 12 bulan terakhir, yang umumnya terjadi pada area leher, bahu, punggung, dan pinggang [3].

Meskipun sudah ada upaya untuk menerapkan prinsip ergonomi di lingkungan kerja konstruksi, pendekatan yang digunakan cenderung bersifat reaktif dan kurang sistematis. Di sisi lain, metode

penilaian ergonomi yang ada umumnya belum mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan ketidakpastian yang melekat dalam kondisi nyata di lapangan. Metode penilaian ergonomi dapat meningkatkan dan memelihara derajat kesehatan tenaga kerja dengan cara mencegah timbulnya gangguan kesehatan kerja yang disebabkan oleh kondisi kerja / kondisi fisik dan mental psikologis tenaga kerja yang bersangkutan. Di sinilah muncul keingintahuan peneliti untuk mengembangkan suatu metode penilaian ergonomi yang lebih adaptif, dinamis, dan berkelanjutan guna mengidentifikasi dan mengelola risiko kesehatan kerja secara lebih proaktif dengan mengkombinasikan kecerdasan buatan dari software / perangkat lunak dan logika *fuzzy* untuk menentukan penilaian kesehatan kerja di bidang konstruksi. Logika *Fuzzy* merupakan pendekatan yang sesuai untuk menangani permasalahan yang bersifat nonlinier, memiliki variasi waktu, serta melibatkan sistem yang adaptif. Konsep ini memungkinkan pemanfaatan nilai-nilai linguistik pada variabel serta hubungan yang tidak pasti dalam pemodelan perilaku sistem. Logika *fuzzy* sering dimanfaatkan dalam smart system, khususnya untuk menyaring proses dalam mendeteksi adanya cacat selama penerapannya. Penelitian ini hanya sampai pembuatan sebuah rancangan aplikasi untuk menilai risiko ergonomi berbasis logika *fuzzy* dengan bantuan software visual basic 6. Identifikasi risiko ergonomi yang digunakan adalah risiko pada proyek konstruksi dengan lingkup pekerjaan pemasangan bekisting, pekerjaan pembesian dan pengecoran. Manfaat Penelitian ini adalah Memberikan alat bantu evaluasi ergonomi yang cepat, akurat, dan terintegrasi, sehingga mempermudah tim K3 dan manajemen proyek dalam mengidentifikasi serta mengendalikan risiko cedera kerja. Meningkatkan efisiensi waktu penilaian karena proses analisis risiko dapat dilakukan dalam hitungan detik tanpa perhitungan manual yang kompleks. Mendorong kesadaran ergonomi di lingkungan kerja konstruksi, sehingga dapat menurunkan potensi gangguan muskuloskeletal (MSDs) dan meningkatkan kesejahteraan pekerja. Menjadi kontribusi ilmiah dalam penerapan teknologi *fuzzy logic* pada bidang ergonomi dan keselamatan kerja.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Kesehatan Kerja

Kesehatan kerja bertujuan untuk mencapai tingkat kesehatan optimal, mencakup aspek fisik, mental, dan sosial, bagi para pekerja serta masyarakat di sekitar lingkungan perusahaan. Tujuan ini dicapai melalui upaya pencegahan, peningkatan kesehatan, dan pengobatan terhadap penyakit atau gangguan kesehatan yang disebabkan oleh pekerjaan atau kondisi lingkungan kerja. Ergonomi, yang berarti "ilmu kerja", berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergon* (kerja) dan *nomos* (aturan atau hukum). Ergonomi, atau yang juga dikenal sebagai faktor manusia, merupakan cabang ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan berbagai komponen dalam suatu sistem. Ilmu ini juga berperan sebagai profesi yang menerapkan teori, prinsip, data, dan metode dalam merancang produk atau sistem secara menyeluruh, dengan tujuan utama mengutamakan kesejahteraan manusia dan meningkatkan efisiensi [4]

Ergonomi dan faktor manusia merupakan bidang multidisipliner yang melibatkan psikologi, teknik, desain, statistik, riset operasi, dan antropometri. Bidang ini berfokus pada perancangan lingkungan kerja, alat, dan sistem agar sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia, guna meningkatkan kenyamanan, keselamatan, dan produktivitas. Ergonomi terbagi menjadi tiga cabang utama: fisik, kognitif, dan organisasi. Penerapan ergonomi yang tidak tepat dalam industri manufaktur dapat menimbulkan risiko kesehatan dan menurunkan efisiensi kerja. Meskipun teknologi modern telah mengurangi beban fisik, tantangan ergonomi tetap ada, terutama terkait postur kerja dan tugas dokumentasi manual.[5] [6]

Menurut Organisasi Perburuhan Internasional (ILO), sekitar 2,3 juta orang meninggal setiap tahun akibat kecelakaan dan penyakit terkait pekerjaan, atau setara dengan 6.300 kematian per hari. Selain

itu, lebih dari 34 juta cedera non-fatal terjadi setiap tahun, menyebabkan hilangnya rata-rata empat hari kerja per kasus. Kerugian ekonomi global akibat kondisi ini diperkirakan mencapai 4% dari PDB dunia, belum termasuk dampak emosional bagi pekerja dan keluarganya. Ergonomi berperan penting dalam menyesuaikan lingkungan kerja dengan kapasitas pekerja, melalui kolaborasi antara ahli ergonomi dan tenaga kesehatan untuk menciptakan intervensi yang berkelanjutan. Transformasi digital melalui teknologi informasi telah meningkatkan efisiensi dan kualitas hidup, namun juga memunculkan risiko kesehatan, seperti stres kerja yang berdampak pada disabilitas. Implementasi teknologi yang terburu-buru sering kali mengabaikan aspek ergonomi, pelatihan, dan kondisi kerja. Pelatihan yang memadai menjadi kunci dalam mengoptimalkan sistem baru, termasuk faktor psikososial. Kurangnya inklusivitas bagi individu dengan disabilitas fisik dan intelektual dalam organisasi kerja modern masih menjadi tantangan. Oleh karena itu, perubahan di tempat kerja harus mempertimbangkan perspektif manusia dan menggunakan pendekatan ergonomi partisipatif untuk mengidentifikasi risiko serta merancang solusi jangka panjang yang efektif. Pedoman ergonomi juga menekankan pentingnya desain lingkungan kerja yang sesuai dengan beban kerja [5][7]

Menurut [8] analisis ergonomi menunjukkan empat tema utama yang perlu dibahas dan ditinjau sangat dalam yaitu *smart interface*, kerangka kerja dan metode, pengetahuan ergonomi keselamatan, dan desain tempat kerja, dengan fokus pada peningkatan interaksi manusia-mesin dan minat yang meningkat pada solusi 4.0 atau 5.0. Kebutuhan akan definisi yang lebih jelas dan metodologi standar dalam bidang kesehatan dan keselamatan akan memfasilitasi integrasi yang lebih baik antara prinsip keselamatan dan ergonomis dalam praktik industri, sejalan dengan paradigma baru rekayasa ketahanan dan Industri 4.0/5.0. penilaian dengan mempertimbangkan logika *fuzzy* dikarenakan logika *fuzzy* telah berhasil dikombinasikan dengan teknik kecerdasan buatan lainnya seperti jaringan saraf tiruan, pembelajaran mendalam (*deep learning*), robotika, dan algoritma genetik, menciptakan alat yang kuat untuk aplikasi pemecahan masalah yang kompleks.[9]

Penilaian ergonomi memiliki berbagai metode yang digunakan untuk mendukung tujuan evaluasi ergonomis dalam suatu sistem kerja. Beberapa di antaranya meliputi metode-metode seperti CMDQ, RULA, REBA, NIOSH.

### **2.2 Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ)**

*Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire* (CMDQ) digunakan untuk menilai ketidaknyamanan. Skor ketidaknyamanan muskuloskeletal dihitung sesuai dengan pedoman penilaian CMDQ untuk menentukan tingkat ketidaknyamanan dan kuantifikasi tingkat ketidaknyamanan. Penilaian ketidaknyamanan muskuloskeletal disajikan sebagai berikut. Pertama, tingkat ketidaknyamanan yang dicatat selama survei oleh operator dihitung sebagai: "Tidak pernah (0), 1 atau 2 kali/minggu (1,5), 3 atau 4 kali/minggu (3,5), setiap hari (5), atau beberapa kali setiap hari (10)". Untuk mencapai tingkat ketidaknyamanan muskuloskeletal tertimbang, hasilnya kemudian akan dikalikan dengan tingkat keparahan ("sedikit tidak nyaman = 1, cukup tidak nyaman = 2, sangat tidak nyaman = 3") dan peringkat gangguan ("Tidak sama sekali = 1, sedikit terganggu = 2, sangat terganggu = 3"). Kasus yang paling parah dijelaskan dengan cara demikian.

### **2.3 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)**

*Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) adalah metode yang digunakan untuk menilai postur tubuh, khususnya pada bagian tubuh bagian atas (leher, punggung, lengan, dan pergelangan tangan), guna memperkirakan tingkat risiko yang berkaitan dengan aktivitas kerja. Metode ini memanfaatkan diagram postur tubuh dan tiga tabel skor untuk melakukan evaluasi faktor risiko. Faktor risiko yang dianalisis sebagai beban eksternal meliputi : Frekuensi Gerakan, aktivitas otot yang bersifat statis, kekuatan atau

tenaga yang digunakan, penentuan postur kerja yang dipengaruhi oleh penggunaan alat, dan durasi kerja tanpa jeda istirahat (Ratushnyi & Stakhanska, 2024).

#### 2.4 Rapid Entire Body Assessment (REBA)

*Rapid Entire Body Assessment* (REBA) merupakan salah satu metode dalam bidang ergonomi yang dirancang untuk melakukan penilaian secara cepat terhadap postur kerja, mencakup posisi leher, punggung, lengan, pergelangan tangan, serta tungkai pekerja atau operator.

#### 2.5 NIOSH

NIOSH adalah metode ergonomi yang digunakan untuk menilai risiko dalam aktivitas pengangkatan manual (*manual lifting*) yang dapat berdampak pada kesehatan pekerja, khususnya risiko gangguan pada tulang belakang bagian bawah (*low back injuries*).

Perbandingan metode tersebut dijelaskan pada tabel berikut ini :

**Tabel 1. Perbandingan metode penilaian ergonomi dengan potensi logika fuzzy**

Metode	Prinsip	Parameter Utama	Kelebihan	Kekurangan
<b>CMDQ</b> ( <i>Composite Musculoskeletal Disorder Questionnaire</i> )	Kuesioner subjektif yang mengukur tingkat nyeri dan gangguan muskuloskeletal berdasarkan persepsi pekerja	Tingkat nyeri pada berbagai bagian tubuh- Durasi gejala- Aktivitas yang memicu nyeri	Mudah dan cepat dilakukan- Menggali data subjektif langsung dari pekerja- Dapat menilai keluhan yang tidak terdeteksi observasi	Data sangat subjektif dan tergantung kejujuran responden- Tidak mengukur risiko postur atau beban fisik secara objektif
<b>RULA</b> ( <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> )	Observasi postur tubuh terutama anggota tubuh bagian atas (leher, lengan, pergelangan), dengan skor risiko	Posisi leher, punggung, lengan atas & bawah, pergelangan- Gaya dan beban yang diterapkan- Frekuensi dan durasi kerja	Cepat dan praktis- Fokus pada anggota tubuh atas yang sering bermasalah- Cocok untuk pekerjaan ringan hingga sedang	Tidak menilai postur tubuh bagian bawah- Kurang akurat untuk pekerjaan berat dan postur penuh
<b>REBA</b> ( <i>Rapid Entire Body Assessment</i> )	Observasi postur seluruh tubuh dan beban kerja dengan sistem penilaian risiko cedera	Posisi leher, punggung, lengan, pergelangan- Posisi kaki dan beban kerja- Gaya, frekuensi, dan durasi	Menilai seluruh tubuh secara menyeluruh- Cocok untuk tugas dengan postur dinamis dan variatif	Lebih kompleks dan butuh pelatihan- Penilaian kadang subjektif tergantung pengamat
<b>NIOSH Lifting Equation</b>	Metode kuantitatif untuk menghitung batas beban angkat aman menggunakan rumus khusus	Berat beban yang diangkat- Posisi tangan (jarak vertikal & horizontal)- Frekuensi angkat- Durasi kerja- Faktor postur	Memberikan batas beban angkat yang aman secara ilmiah- Banyak digunakan untuk mengurangi risiko cedera lumbar	Hanya fokus pada aktivitas angkat beban- Tidak menilai postur lain atau variabel selain angkat
<b>Penerapan Fuzzy Logic</b>	Menggunakan logika <i>fuzzy</i> untuk	Data postur (RULA/REBA)-	Dapat mengakomodasi	Implementasi kompleks dan

mengolah data risiko dengan ketidakpastian, dengan menggabungkan nilai RULA, REBA, CMDQ, dan NIOSH	Data subjektif (CMDQ)- Durasi, beban, frekuensi- Variabel lingkungan kerja	data yang tidak pasti dan variatif- Memberikan hasil risiko yang lebih fleksibel dan realistis. Menggabungkan beberapa metode sekaligus	butuh pemahaman matematis- Membutuhkan data input yang lengkap dan terstruktur
--	--	---	--

## 2.6 Metode Fuzzy

*Fuzzy* memiliki arti “kabur” atau “samar-samar”, konsep logika *fuzzy* diperkenalkan pertama kali oleh Prof. Lotfi A. Zadeh yang memetakan ruang input kedalam suatu ruang output [10], [11] himpunan *fuzzy* dinyatakan dalam fungsi keanggotaan berbentuk kurva yang menunjukkan pemetaan titik input data kedalam output (nilai keanggotaan) yang memiliki nilai interval 0 hingga 1. Logika *fuzzy* menggunakan ungkapan linguistik/bahasa sebagai ungkapan nilai variabel. Metode *fuzzy* bekerja dengan menggunakan derajat keanggotaan dari sebuah nilai yang telah ditetapkan untuk menghasilkan sebuah nilai berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan. Keuntungan menggunakan *fuzzy* dapat dilihat sebagai berikut [12], [13] Konsep logika *fuzzy* sangat sederhana, perhitungan matematis yang digunakan dapat mudah dimengerti. Metoda *fuzzy* mampu memberikan suatu model fungsi nonlinear yang sangat kompleks dengan sederhana dan luwes. Logika *fuzzy* dapat menangani kesalingtergantungan elemen dalam suatu sistem dan membangun serta mengaplikasikan pemikiran atau pengalaman para pakar secara langsung tanpa memaksakan pemikiran yang linear.

Himpunan *Fuzzy* didasarkan untuk mendapatkan bilangan real pada interval  $\{0,1\}$ [13]. Nilai ini dapat menunjukkan bahwa suatu risiko tidak hanya bernilai 0 dan 1 namun terdapat nilai diantaranya. Jika nilai 0 menunjukkan tidak berisiko dan nilai 1 menunjukkan sangat berisiko maka terdapat nilai nilai diantara tidak berisiko dan sangat berisiko.

## 3. Metode Penelitian

Subjek pada penelitian ini adalah postur tubuh (terutama punggung, leher, dan lengan), frekuensi gerakan, durasi aktivitas, kekuatan dan beban angkat, penggunaan alat bantu. Tahapan penelitian ini dijelaskan sebagai berikut :

- Tahap pendahuluan penelitian , tahap ini dibagi menjadi beberapa sub tahap yaitu studi literatur tentang penilaian ergonomi. Di sini juga dilakukan survey awal berdasarkan wawancara dan pengamatan tim pengusul untuk memperoleh informasi mengenai kondisi terkini dari sistem kesehatan di proyek gedung yang ada di Kota Medan. Selanjutnya ditetapkan rumusan masalah dan tujuan penelitian dari hasil wawancara dan pengamatan tersebut
- Tahap pengumpulan data , metode pengumpulan data yang dilakukan terdiri dari pengamatan langsung ke beberapa proyek konstruksi gedung untuk mengambil data cedera, posisi tubuh, postur kerja, beban angkat kedua tangan dan untuk mendapatkan daftar risiko ergonomi kesehatan kerja untuk perancangan aplikasi penilaian ergonomi berbasis *fuzzy logic*. Pengisian survey terkait masalah ketidaknyamanan pekerja ( Postur tubuh (terutama punggung, leher, dan lengan), Frekuensi gerakan, Durasi aktivitas, Kekuatan dan beban angkat, Penggunaan alat bantu.
- Tahap pengolahan data, Faktor ergonomi tersebut diukur menggunakan CMDQ (*Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires*), RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*), REBA (*Rapid Entire Body Assesment*), NIOSH *Lifting Equation*. Setelah setiap faktor memiliki nilai masing-masing, nilai-nilai tersebut dianalisis dengan logika *fuzzy* dan dikonversi ke dalam bentuk variabel linguistik. Selanjutnya, hasil konversi ini digunakan dalam aturan *if-then*. Kemudian, dengan menerapkan

rumus minimum (min), diperoleh nilai yang akan diproses menggunakan metode centroid yang disederhanakan. Hasil dari proses ini akan menjadi bahan untuk pembuatan rancangan aplikasi penilaian ergonomi.

- d. Tahap analisis dan evaluasi, Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap kondisi yang dihasilkan dan faktor apa saja yang mendapat perhatian khusus. Selanjutnya merancang aplikasi metode penilaian ergonomi berkelanjutan berdasarkan hasil dari logika *fuzzy*
- e. Penarikan kesimpulan, setelah analisis selesai akan didapatkan hasil penelitian berupa model aplikasi penilaian ergonomi dan daftar risiko ergonomi

### 3.1 Data dan Profil Responden

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diambil dari kuisisioner dan pengamatan secara langsung. Kuisisioner yang dilakukan adalah kuisisioner CMDQ (*Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaires*), RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*), REBA (*Rapid Entire Body Assesment*), NIOSH lifting Equation. Pada kuisisioner CMDQ para responden diminta untuk mengisi bagian tubuh yang sering merasakan ketidaknyamanan dan frekuensi. Setelah didapatkan data dari responden dilakukan pengolahan data dengan masing masing metode CMDQ, NIOSH, RULA, REBA dengan menggunakan software Ergosuite yang dikembangkan terlebih dahulu dengan menggunakan teknologi web modern seperti React dan TypeScript. Data yang diperoleh dari 50 responden yang terbagi menjadi 5 proyek sebagai berikut :

**Tabel 2. Data Responden**

Responden	Lama Bekerja	Proyek				
		A	B	C	D	E
Kepala Tukang	< 3 tahun					
	3 - 5 tahun	2		1		
Tukang Besi	< 5 tahun					
	3 - 5 tahun	1	1	1	1	
Tukang Kayu	< 5 tahun			1		
	3 - 5 tahun	1				1
Pekerja lainnya	< 3 tahun					
	3 - 5 tahun	2		1	1	
	< 5 tahun					
Total		8	2	9	4	6

### 3.2 Metode pembuatan aplikasi

Metode pembuatan aplikasi ErgoSuite dilakukan dengan pendekatan pengembangan perangkat lunak berbasis modular dan berorientasi komponen, menggunakan React dan TypeScript sebagai kerangka utama. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan aplikasi mudah dikembangkan, dipelihara, serta dapat dikembangkan secara berkelanjutan sesuai kebutuhan pengguna di lapangan konstruksi. Tahapan pengembangan aplikasi meliputi: Analisis Kebutuhan Sistem, Tahap ini mencakup identifikasi kebutuhan pengguna, yaitu pekerja dan pengawas proyek konstruksi yang memerlukan alat bantu dalam menilai risiko ergonomi. Hasil analisis kebutuhan dijadikan dasar dalam penentuan fitur utama seperti kalkulator REBA, RULA, NIOSH, serta fitur pendukung seperti penyimpanan data lokal dan ekspor hasil analisis.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Risiko ergonomi pada pekerjaan proyek konstruksi untuk mengembangkan metode penilaian ergonomi berkelanjutan

identifikasi risiko merupakan tindakan yang bertujuan untuk mendeteksi ketidakpastian suatu peristiwa yang jika terjadi dapat berdampak positif atau negatif terhadap tujuan yang telah ditetapkan [14], [15]. Faktor risiko ergonomi yang dimaksud adalah faktor yang dapat mempengaruhi aktivitas tenaga kerja dikarenakan karena tidak sesuai antara fasilitas kerja seperti cara kerja, alat kerja, posisi kerja, dan beban angkat terhadap tenaga kerja. Subjek pada penelitian ini adalah postur tubuh (terutama punggung, leher, dan lengan), frekuensi gerakan, durasi aktivitas, kekuatan dan beban angkat, penggunaan alat bantu. Identifikasi risiko ergonomi yang digunakan adalah risiko pada proyek konstruksi dengan lingkup pekerjaan pembesian, pengecoran, pemasangan dan pembongkaran bekisting,

Tabel 3. Faktor Risiko Ergonomi

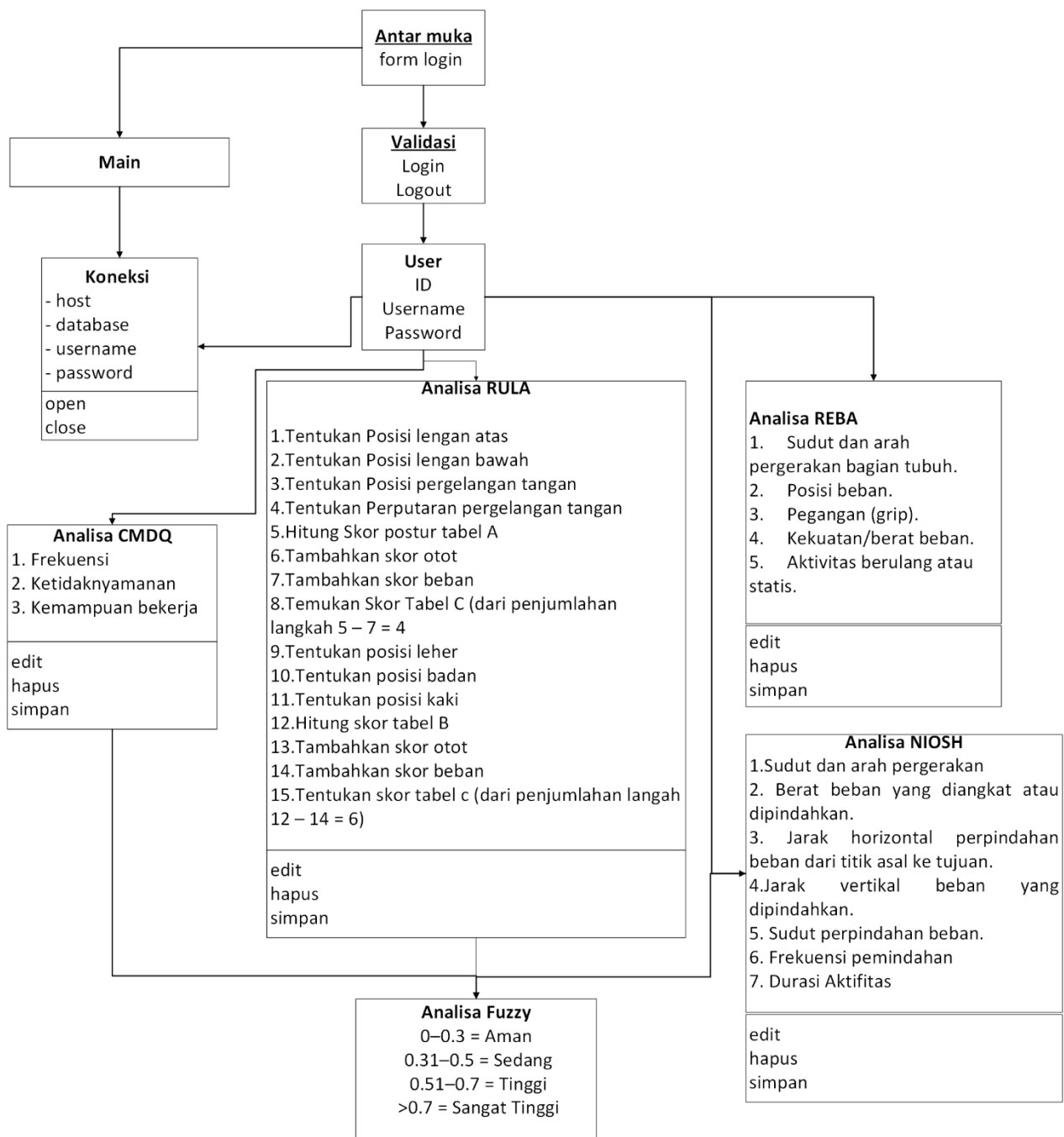
Pekerjaan	Item	Faktor Risiko Ergonomi
Pembesian	Mengangkat dan membawa besi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risiko cedera punggung bawah (low back pain) karena beban berat, bentuk memanjang, dan distribusi beban tidak merata.</li> </ul>
	Fabrikasi (Pemotongan & pembengkokan besi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pekerjaan ini menggunakan <i>Power Tools</i> / alat listrik yang mengakibatkan pekerja memberikan tekanan atau dorongan lebih ke alat tersebut (contoh: bor)</li> <li>Postur membungkuk lama, penggunaan tenaga berlebih pada tangan dan bahu, serta repetisi tinggi.</li> </ul>
	Pengikatan tulangan (binding wire)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pekerjaan ini mengakibatkan nyeri punggung, pusing, sakit kepala, mual-mual, varises, pandangan kabur (<i>Whole Body Vibration</i>)</li> <li>Posisi jongkok/berlutut lama, tekanan pada lutut, pergelangan tangan, dan bahu.</li> <li>Pekerjaan ini mengangkat beban &gt;11 kg diatas bahu, dibawah lutut lebih dari 25 kali/hari</li> </ul>
	Paparan getaran alat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risiko kelelahan tangan dan gangguan saraf perifer (hand-arm vibration).</li> </ul>
Pengecoran	Penuangan Beton	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risiko beban berlebih pada punggung, bahu, dan pergelangan tangan.</li> <li>Pekerjaan ini melibatkan menoleh, menunduk, dan menghadap ke atas</li> <li>Risiko beban berlebih pada punggung, bahu, dan pergelangan tangan.</li> <li>Pekerjaan ini terpapar langsung dengan suhu panas yang ekstrim (contoh: terik matahari)</li> </ul>
	<i>Vibrator</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pekerjaan ini melibatkan menoleh, menunduk, dan menghadap ke atas</li> <li>Pekerjaan ini mengakibatkan pekerja memiliki postur kerja yang canggung akibat terlalu lama berdiri, duduk, atau jongkok</li> </ul>
	<i>Trowelling</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pekerjaan ini mengakibatkan posisi pekerja condong ke depan atau ke samping</li> <li>Pekerjaan ini mengakibatkan nyeri punggung, pusing, sakit kepala, mual- mual, varises, pandangan kabur (<i>Whole Body Vibration</i>)</li> </ul>
	<i>Finishing</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pekerjaan ini melibatkan menoleh, menunduk, dan menghadap ke atas</li> </ul>
	<i>Curing</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pekerjaan ini melibatkan pekerja yang harus bekerja dengan kondisi pencahayaan yang buruk seperti bekerja di malam hari atau tempat yang gelap</li> </ul>

- |  |  |
|--|--|
| Pemasangan dan Pemasangan pembongkaran bekisting | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengangkat &amp; membawa panel bekisting (berat, besar, kaku) menyebabkan risiko cedera punggung, bahu, dan tangan.</li> <li>• Pemasangan pada posisi tinggi (di atas kepala) menyebabkan tekanan berlebih pada bahu, leher, dan lengan.</li> </ul> |
| Pembongkaran                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melepas bekisting (harus menarik, membongkar dengan tenaga) menyebabkan gerakan mendadak, risiko cedera punggung bawah.</li> <li>• Risiko jatuh saat bekerja di ketinggian pada pemasangan bekisting dinding/kolom</li> </ul>                       |

Sumber : Hasil observasi, 2025

#### 4.2 Rancangan aplikasi yang dibangun untuk menilai risiko ergonomi.

Untuk model rancangan aplikasi yang dibangun adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Model rancangan aplikasi  
Sumber : Hasil penelitian, 2025

Rancangan aplikasi ini dinamakan Ergosuite, ErgoSuite adalah aplikasi web komprehensif yang dirancang sebagai rangkaian alat bantu untuk para profesional di bidang ergonomi, kesehatan, dan keselamatan kerja (K3). Tujuan utama aplikasi ini adalah untuk menyediakan platform interaktif untuk melakukan, menyimpan, dan menganalisis penilaian ergonomis, termasuk NIOSH Lifting Equation, REBA, RULA, dan CMDQ. Dengan menggunakan teknologi web modern seperti React dan TypeScript, aplikasi ini menawarkan pengalaman pengguna yang responsif, aman, dan dapat diakses dari berbagai perangkat. Teknologi Utama: Framework: React, Bahasa: TypeScript, Styling: Tailwind CSS, Manajemen State: React Hooks (useState, useContext, useMemo, custom hooks), Penyimpanan Data: Local Storage (berbasis per pengguna), Routing: Hash-based routing sisi klien.

#### 4.2.1 Arsitektur Aplikasi

Arsitektur ErgoSuite dirancang secara modular untuk memastikan kemudahan pemeliharaan dan skalabilitas. Struktur Proyek pada aplikasi ini adalah :

- /pages: Berisi komponen untuk setiap halaman utama (Dasbor, Kalkulator NIOSH, REBA, dll.).
- /components: Berisi komponen-komponen UI yang dapat digunakan kembali di berbagai halaman (misalnya, Modal, ScoreSelector, Layout).
- /services: Berisi logika bisnis murni yang terpisah dari UI, seperti fungsi kalkulasi (rebaCalculator.ts) dan ekspor data (exportService.ts).
- /contexts: Mengelola state global menggunakan React Context API, seperti otentikasi (AuthContext) dan bahasa (LanguageContext).
- /hooks: Berisi React Hooks kustom, seperti useUserLocalStorage untuk interaksi dengan Local Storage.
- /i18n: Menyimpan file terjemahan untuk dukungan multi-bahasa.
- types.ts: Mendefinisikan semua tipe data dan interface TypeScript yang digunakan di seluruh aplikasi.

#### 4.2.2 Alur Data Utama:

Aplikasi ini mengikuti alur data searah (unidirectional). State dikelola di tingkat komponen atau di dalam Context. Perubahan state akan memicu render ulang komponen yang relevan untuk menampilkan data terbaru. Berikut adalah rincian alur proses dan algoritma untuk setiap fungsionalitas inti:

- Login: Pengguna memasukkan username dan password di LoginPage. Data ini dikirim ke authService (layanan mock) untuk validasi.
- Manajemen Sesi: Jika berhasil, AuthContext diperbarui dengan data pengguna, dan informasi pengguna disimpan di Session Storage untuk menjaga sesi login selama tab browser aktif.
- Render Aplikasi Utama: Aplikasi akan secara otomatis merender MainApp yang berisi dasbor dan semua alat.
- Penyimpanan Data per Pengguna: Hook kustom useUserLocalStorage secara otomatis menambahkan ID pengguna ke kunci Local Storage (cth., nioshAssessments\_user\_123). Ini memastikan data setiap pengguna terisolasi dan aman dari pengguna lain yang mungkin menggunakan browser yang sama.
- Provider Bahasa: LanguageProvider membungkus seluruh aplikasi, menyediakan akses ke fungsi terjemahan t() dan bahasa saat ini (id atau en) melalui LanguageContext.

- Pemilihan Bahasa: Pengguna dapat mengubah bahasa melalui dropdown di sidebar. Pilihan ini disimpan di Local Storage agar tetap konsisten di sesi berikutnya.
- Algoritma Terjemahan: Saat fungsi `t('key.name')` dipanggil, fungsi `getNestedTranslation` akan: Memilih file terjemahan yang sesuai (`id.ts` atau `en.ts`), memisahkan kunci berdasarkan titik (`.`) untuk menavigasi objek terjemahan, Mengembalikan string yang sesuai. Jika kunci tidak ditemukan, ia akan mengembalikan kunci itu sendiri sebagai fallback.

Setiap kalkulator memiliki logika bisnis yang terenkapsulasi dalam file `services` nya sendiri.

### Algoritma NIOSH (`nioshCalculator.ts`)

1. Input: Menerima variabel dari pengguna untuk titik Asal dan Tujuan (Berat Beban, Lokasi H & V, Sudut Asimetri, Pegangan) serta variabel bersama (Frekuensi, Durasi).
2. Kalkulasi Pengali:
  - HM, VM, DM: Dihitung menggunakan pencarian tabel (`HORIZONTAL_MULTIPLIER_TABLE`, dll.) dengan interpolasi linier untuk nilai di antara titik data. Ini memberikan akurasi yang lebih tinggi daripada rumus umum.
  - AM: Dihitung menggunakan rumus matematika  $1 - (0.0032 * A)$ .
  - FM & CM: Dihitung berdasarkan pencarian tabel kondisional (tergantung pada V dan Durasi).
3. Kalkulasi Hasil:
  - $RWL = \text{Load Constant (51)} * HM * VM * DM * AM * FM * CM$
  - $LI = \text{Berat Beban} / RWL$
4. Penilaian Akhir: Algoritma menghitung RWL dan LI untuk Asal dan Tujuan, kemudian menentukan risiko keseluruhan berdasarkan skenario terburuk (nilai LI yang lebih tinggi).

### Algoritma REBA (`rebaCalculator.ts`)

1. Input: Menerima skor dasar dan penyesuaian (checkbox) untuk setiap bagian tubuh.
2. Proses Grup A (Badan, Leher, Kaki):
  - Skor akhir untuk Badan, Leher, dan Kaki dihitung dengan menambahkan skor penyesuaian (cth., +1 jika badan terpelintir).
  - Skor Postur A dicari dari `TABLE_A` menggunakan skor akhir tersebut.
  - Skor A dihitung dengan menambahkan Skor Beban/Gaya ke Skor Postur A.
3. Proses Grup B (Lengan & Pergelangan):
  - Skor akhir untuk Lengan Atas dan Pergelangan Tangan dihitung dengan menambahkan penyesuaian.
  - Skor Postur B dicari dari `TABLE_B`.
  - Skor B dihitung dengan menambahkan Skor Pegangan ke Skor Postur B.
4. Kalkulasi Final:
  - Skor C dicari dari `TABLE_C` menggunakan Skor A dan Skor B.
  - $\text{Skor REBA Final} = \text{Skor C} + \text{Skor Aktivitas}$ .
  - Tingkat risiko dan tindakan ditentukan berdasarkan rentang skor akhir.

### Algoritma RULA (`rulaCalculator.ts`)

Alurnya mirip dengan REBA, di mana skor postur dasar dan penyesuaiannya digabungkan untuk mencari nilai dari tabel-tabel referensi (Tabel A, B, dan C) untuk menghasilkan skor akhir.

### Algoritma CMDQ

1. Input: Pengguna memberikan skor untuk Frekuensi, Keparahan, dan Gangguan (masing-masing 0-3) untuk 20 bagian tubuh.

2. Kalkulasi Skor: Untuk setiap bagian tubuh, skor dihitung dengan rumus:  $\text{Skor} = \text{Frekuensi} * \text{Keparahan} * \text{Gangguan}$ .
3. Hasil: Aplikasi akan menyaring semua bagian tubuh yang memiliki skor > 0 dan mengurutkannya dari yang tertinggi ke terendah untuk menyoroti area ketidaknyamanan yang paling signifikan.

Untuk percobaan aplikasi dapat dilakukan pada link berikut <https://ergonomic-assessment-suite.netlify.app/> dengan tampilan awal dashboard rancangan aplikasi adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Dashboard aplikasi  
Sumber : Hasil penelitian, 2025

### 4.3 Hasil analisis risiko fuzzy

Berdasarkan hasil yang didapat dirangkum nilai masing masing metode adalah sebagai berikut

Tabel 4. 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

Sumber : Hasil penelitian, 2025

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa seluruh aktivitas kerja pada tahap pembesian/penulangan, pengecoran, pemasangan bekisting, dan pembukaan bekisting memiliki tingkat risiko ergonomi yang bervariasi, mulai dari kategori sedang hingga sangat tinggi. Pada pekerjaan pembesian atau penulangan, metode CMDQ menunjukkan skor 45% dengan kategori sedang, yang menandakan adanya keluhan otot dengan tingkat keparahan sedang. Hasil REBA menunjukkan skor 11 dengan kategori sangat tinggi, yang berarti postur kerja pada aktivitas ini berpotensi menimbulkan risiko gangguan muskuloskeletal serius sehingga memerlukan tindakan

perbaikan segera. Sementara itu, metode RULA memberikan skor 6 dengan kategori sedang, yang menunjukkan perlunya evaluasi postur dalam waktu dekat, sedangkan hasil NIOSH dengan skor 0,65 menunjukkan bahwa beban angkat masih berada dalam kategori aman. Dengan demikian, pekerjaan pembesian cenderung memiliki risiko tinggi dari segi postur, meskipun beban kerja fisik masih relatif aman.

Pada pekerjaan pengecoran, diperoleh hasil CMDQ sebesar 43% (kategori sedang), REBA sebesar 12 (kategori sangat tinggi), RULA sebesar 7 (kategori tinggi), dan NIOSH sebesar 3,72 (kategori tinggi). Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas pengecoran memiliki tingkat risiko ergonomi paling tinggi di antara keempat jenis pekerjaan yang dianalisis. Risiko tinggi ini terutama disebabkan oleh posisi kerja yang tidak ergonomis, beban berat yang diangkat, serta aktivitas yang dilakukan secara berulang. Pekerjaan pemasangan bekisting menunjukkan hasil CMDQ 44% (sedang), REBA 9 (tinggi), RULA 6 (sedang), dan NIOSH 3,14 (tinggi). Hal ini menunjukkan bahwa risiko ergonomi pada pekerjaan tersebut tergolong tinggi akibat kombinasi antara postur yang tidak ideal dan beban angkat yang cukup berat, sehingga diperlukan penggunaan alat bantu atau penyesuaian postur kerja untuk mengurangi potensi cedera.

Sementara itu, pekerjaan pembukaan bekisting memiliki skor CMDQ 45% (sedang), REBA 10 (tinggi), RULA 7 (tinggi), dan NIOSH 3,60 (tinggi). Nilai tersebut menunjukkan bahwa aktivitas ini juga memiliki tingkat risiko tinggi, terutama karena melibatkan pengangkatan dan penurunan komponen bekisting yang berat serta dilakukan berulang kali. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa seluruh aktivitas pada tahap pekerjaan konstruksi yang diamati memiliki tingkat risiko ergonomi yang signifikan, baik dari segi postur tubuh maupun beban kerja fisik. Pekerjaan pengecoran menjadi aktivitas dengan tingkat risiko paling tinggi, diikuti oleh pembukaan dan pemasangan bekisting. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian risiko seperti perbaikan desain kerja, penggunaan alat bantu ergonomis, pengaturan waktu kerja dan istirahat, serta pelatihan postur kerja yang benar untuk meminimalkan risiko terjadinya gangguan muskuloskeletal pada pekerja konstruksi.

Untuk kategori *fuzzy* dari risiko masing masing pekerjaan didapatkan sebagai berikut :

Tabel 5. Interpretasi Akhir risiko

Pekerjaan	Nilai <i>Fuzzy</i>	Kategori <i>Fuzzy</i>
Pembesian/penulangan	0.45	Sedang
Pengecoran	0.81	Sangat Tinggi
Pemasangan bekisting	0.53	Tinggi
Pembukaan bekisting	0.59	Tinggi

*Sumber : Hasil penelitian, 2025*

Berdasarkan hasil perhitungan nilai *fuzzy* yang ditunjukkan pada tabel di atas, dapat dijelaskan bahwa sistem penilaian risiko ergonomi berbasis logika *fuzzy* memberikan hasil yang konsisten dengan analisis sebelumnya menggunakan metode konvensional (CMDQ, REBA, RULA, dan NIOSH). Nilai *fuzzy* diperoleh melalui proses inferensi dari beberapa parameter penilaian ergonomi yang telah dikonversi menjadi himpunan linguistik (rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi).

Pada pekerjaan pembesian/penulangan, diperoleh nilai *fuzzy* sebesar 0,45 dengan kategori sedang. Hal ini menunjukkan bahwa risiko ergonomi pada aktivitas tersebut masih berada dalam batas menengah, di mana keluhan otot dan postur kerja perlu diperhatikan, namun belum berada pada tingkat yang kritis. Sementara itu, pekerjaan pengecoran memiliki nilai *fuzzy* tertinggi yaitu 0,81 dengan kategori sangat tinggi, menandakan bahwa pekerjaan ini memiliki risiko ergonomi yang paling signifikan di antara

keempat aktivitas yang diteliti. Nilai ini mengindikasikan bahwa kondisi kerja pada tahap pengecoran melibatkan postur tidak ergonomis, beban berat, dan aktivitas berulang yang dapat menimbulkan gangguan muskuloskeletal jika tidak segera dilakukan tindakan pengendalian.

Pekerjaan pemasangan bekisting memperoleh nilai *fuzzy* 0,53 dengan kategori tinggi, menunjukkan bahwa aktivitas ini memiliki tingkat risiko yang cukup serius akibat kombinasi antara postur membungkuk, mengangkat beban berat, dan gerakan berulang. Adapun pembukaan bekisting menghasilkan nilai *fuzzy* 0,59 dengan kategori tinggi, yang berarti aktivitas ini juga berisiko tinggi terutama pada bagian tubuh seperti punggung, bahu, dan pergelangan tangan akibat posisi kerja yang kurang ergonomis.

Secara keseluruhan, hasil analisis *fuzzy* memperkuat temuan bahwa aktivitas pengecoran merupakan pekerjaan dengan risiko ergonomi tertinggi, diikuti oleh pemasangan dan pembukaan bekisting, sedangkan pembesian/penulangan berada pada tingkat sedang. Pendekatan *fuzzy logic* memungkinkan integrasi berbagai parameter penilaian ergonomi ke dalam satu sistem evaluasi yang lebih fleksibel dan realistis, karena dapat mengakomodasi ketidakpastian atau variasi dalam data lapangan. Dengan demikian, penerapan metode *fuzzy logic* pada penilaian risiko ergonomi terbukti efektif untuk memberikan hasil penilaian yang lebih menyeluruh dan dapat dijadikan dasar pengambilan keputusan dalam perencanaan kerja konstruksi yang lebih aman dan ergonomis.

## 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pembahasan yang telah dipaparkan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Seluruh aktivitas kerja pada tahap pembesian, pengecoran, dan pemasangan/pembongkaran bekisting memiliki tingkat risiko ergonomi yang tinggi, terutama terhadap punggung, bahu, leher, dan pergelangan tangan.
- b. Berdasarkan nilai *fuzzy*, pekerjaan pengecoran memiliki nilai bobot risiko sangat tinggi yaitu 0,81, menandakan bahwa pekerjaan ini memiliki risiko ergonomi yang paling signifikan di antara keempat aktivitas yang diteliti. Nilai *fuzzy* pada pekerjaan pemasangan bekisting dan pembongkaran bekisting memiliki kategori tinggi masing masingnya 0,53 dan 0,59. untuk pekerjaan penulangan atau pembesian termasuk kategori sedang dengan bobot *fuzzy* 0,45
- c. Aplikasi yang dibangun untuk menilai risiko ergonomi dengan menggunakan *fuzzy logic* dinamakan Ergosuite. Tujuan utama aplikasi ini adalah untuk menyediakan platform interaktif untuk melakukan, menyimpan, dan menganalisis penilaian ergonomis, termasuk NIOSH Lifting Equation, REBA, RULA, dan CMDQ. Tahapan penerapan model aplikasi penilaian risiko ergonomi berbasis *fuzzy logic* terdiri dari tiga tahap utama. Tahap persiapan, tahap implementasi dan tahap integrasi

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan finansial yang diberikan oleh DIPA Politeknik Negeri Medan tahun 2025 sesuai dengan kontrak penelitian Nomor: B/287/PL5/PT.01.05/2025.

## Daftar Rujukan

- [1] W. Kusmasari, *Musculoskeletal Symptom Survey Among Construction Workers in Indonesian: A Case Study in Construction Project*. 2017.
- [2] C. T. J. Hulshof *et al.*, "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,” *Environ Int*, vol. 146, p. 106157, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106157>.
- [3] Abdul Kadir *et al.*, “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*, vol. 62, p. 00469580251315348, Jan. 2025, doi: 10.1177/00469580251315348.
- [4] E. Mugisha, “Innovations in Ergonomic Design: Enhancing Workplace Safety,” vol. 4, pp. 44–51, Jun. 2025, doi: 10.59298/ROJESR/2025/4.2.4451.
- [5] Alan Hedge, *Ergonomic Workplace Design for Health, Wellness, and Productivity*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- [6] Gani AZ; Zamberi MM; Teni MH., “A review of ergonomics towards productivity,” *International Journal Supply Chain*, vol. 7, no. 4, Aug. 2018.
- [7] L. R. Teixeira *et al.*, “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,” *Environ Int*, vol. 154, p. 106380, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106380>.
- [8] L. Vigoroso, F. Caffaro, M. Tronci, and M. Fagnoli, “Ergonomics and design for safety: A scoping review and bibliometric analysis in the industrial engineering literature,” *Saf Sci*, vol. 185, p. 106799, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.106799>.
- [9] R. Ratushnyi and O. Stakhanska, “Ergonomic interventions and endodontic treatment outcomes: An analysis of dentist working posture and error rates,” *Saudi Dent J*, vol. 36, no. 3, pp. 466–470, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.12.006>.
- [10] W. Van Laarhoven, P. and Pedrycz, “A Fuzzy Extension of Saaty’s Priority Theory,” *Fuzzy Sets Syst*, vol. 11, no. 1, pp. 199–227, 1983, doi: 10.1016/S0165-0114(83)80082-7.
- [11] T. L. Saaty, “Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process,” 1993, pp. 15–35.
- [12] A. Kusumadewi *et al.*, “ANALISA MANAJEMEN RISIKO TAHAP KONSTRUKSI PADA PROYEK KERETA CEPAT JAKARTA-BANDUNG,” vol. 6, pp. 157–164, 2017.
- [13] S. Kusumadewi, I. Guswaludin, K. Sistem, P. Keputusan, and D. Support, “FUZZYMULTI-CRITERIA DECISION MAKING,” vol. 3, no. 1, pp. 25–38, 2005.
- [14] L. R. Debatara, “Analysis of Human Factors that Influence Contractors’ Risk Management Attitudes in Sumatra Island in Construction Projects,” *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 4, no. 2, pp. 162–172, Dec. 2023, doi: 10.37253/jcep.v4i2.8575.
- [15] L. R. Debatara, M. Purba, A. Amrizal, and G. Budianto, “Differences in Supply Chain Material Risk Weight Using the Severity Index Method and Monte Carlo Simulation,” *Journal of Civil Engineering and Planning*, vol. 5, no. 2, pp. 163–171, Dec. 2024, doi: 10.37253/jcep.v5i2.9951.