

Analisis Postur Pekerja *Welding* Bengkel Pipa Menggunakan Metode RULA dan REBA dengan Pendekatan *Fuzzy Logic*

Bahiragita Adristi Ayutatila¹, Mega Cattleya Prameswari Anissa Islami^{2*}

^{1,2*} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Pembangunan “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

¹bahiragita366@gmail.com, ^{2*}mega.cattleya.ti@upnjatim.ac.id

^{*)} mega.cattleya.ti@upnjatim.ac.id

Abstrak-PT. XYZ sebuah perusahaan nasional yang bergerak di bidang industri maritim, termasuk pembangunan kapal, dan perbaikan. Dalam kegiatan produksi, khususnya pada bagian *welding* di bengkel pipa, pekerja sering mengeluhkan rasa nyeri pada bagian tubuh tertentu akibat postur kerja yang tidak ergonomis. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) dan menurunkan produktivitas kerja. Evaluasi postur dilakukan menggunakan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) yang fokus pada analisis postur bagian atas tubuh, serta *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) yang menilai postur seluruh tubuh. Meskipun kedua metode ini jarang digunakan secara bersamaan karena cakupannya berbeda, pendekatan kombinasi dengan logika fuzzy digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dalam penilaian tingkat risiko dan memperoleh hasil yang lebih komprehensif. Hasil pengukuran menunjukkan skor RULA sebesar 7 (risiko sangat tinggi) dan skor REBA sebesar 8 (risiko tinggi). Kedua skor ini dijadikan variabel *input* pada model fuzzy untuk menentukan tingkat risiko MSDs, yang menghasilkan output sebesar 6,92 (kategori tinggi). Hasil ini dapat menjadi dasar evaluasi guna memperbaiki postur kerja serta menyediakan fasilitas kerja yang lebih ergonomis untuk mengurangi risiko MSDs di lingkungan kerja.

Kata Kunci: Ergonomi; Fuzzy Logic; Risiko Muskuloskeletal; Postur Kerja

Abstract-PT. XYZ is a national company engaged in the maritime industry, including shipbuilding and repairs. In its production activities, there are welding activities in the pipe workshop. In these activities, there are workers who experience complaints in certain parts of the body because they continue to work in less ergonomic positions. This problem is usually caused by poor work posture, lifting heavy loads, or lack of work facilities that support comfort. These complaints, if not handled properly, can increase the risk of musculoskeletal disorders that have the potential to reduce worker productivity. In solving the problems that occur, worker posture measurements are carried out using the RULA and REBA methods with the Fuzzy Logic approach to determine the level of MSDS risk. The results of the RULA method work posture measurement were 7 and the REBA method was 8. The use of these two work posture measurement methods is used as input variables in the fuzzy logic approach. The results of the output value for the MSDs risk level are 6.92 where this value is included in the high category. From the results of the processing above, it can be an evaluation of improvements for non-ergonomic work postures and work facilities.

Keywords: Ergonomics; Fuzzy Logic; Musculoskeletal Risks; Work Posture

1. PENDAHULUAN

Industri maritim salah satu sektor yang mendukung pertumbuhan ekonomi global, terutama bagi negara-negara kepulauan seperti Indonesia. Sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, Indonesia memiliki potensi besar di bidang maritim, termasuk konstruksi kapal. PT. XYZ sebuah perusahaan nasional yang bergerak di bidang industri maritim, termasuk pembangunan kapal, dan perbaikan. Perusahaan ini berfokus pada pembuatan produk tunggal yang memiliki nilai proyek yang tinggi. Kegiatan produksi di PT. XYZ melibatkan proses yang terstruktur untuk memastikan efisiensi dan kualitas dalam pembangunan kapal. Tahap awal dimulai dengan perencanaan produksi, perencanaan ini mencakup kebutuhan material, tenaga kerja, dan fasilitas yang disesuaikan dengan skala dan spesifikasi kapal yang akan dibangun. Setelah perencanaan, proses berlanjut ke tahap pre-produksi yang mencakup fabrikasi dan perakitan sub-komponen (*sub-assembly*). Tahapan ini sangat penting karena memastikan setiap bagian kapal dirancang sesuai standar desain dan spesifikasi teknis. Komponen-komponen ini kemudian dirakit menjadi blok kapal yang lebih besar dalam tahap *assembly*. Metode modular yang digunakan memungkinkan blok-blok kapal dibangun secara paralel di bengkel *assembly* sebelum dirangkai di *dock*

melalui proses *erection network*. Hal ini mempercepat waktu pembangunan dan meningkatkan efisiensi operasional. Tahap akhir melibatkan pemasangan perlengkapan kapal (*outfitting*) seperti sistem pipa, mesin, dan perlengkapan elektronik. Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk memastikan fungsi dan stabilitas kapal sebelum serah terima.

Kegiatan produksi kapal pada PT. XYZ terdapat beberapa bengkel salah satunya bengkel pipa. Pada bengkel pipa terdapat beberapa pekerja *welding*. Pekerja mengeluhkan rasa sakit pada bagian tubuh tertentu yaitu lengan, *wrist*, bahu, dan leher akibat bekerja secara terus menerus bekerja dengan posisi yang kurang ergonomis. Hal ini biasanya disebabkan oleh postur kerja yang tidak optimal, pengangkatan beban berat, atau kurangnya fasilitas kerja yang mendukung kenyamanan. Keluhan-keluhan ini, jika tidak ditangani dengan baik, dapat meningkatkan risiko gangguan muskuloskeletal yang berpotensi menurunkan produktivitas pekerja dan menyebabkan suatu kondisi yang jadi tidak ergonomi. Ergonomi merupakan penerapan prinsip ilmiah, metode, dan data dari berbagai bidang ilmu untuk merancang sistem yang melibatkan peran utama manusia [1]. Penerapan ergonomi menjadi sangat penting karena setiap aktivitas atau pekerjaan yang dilakukan tanpa memperhatikan prinsip ergonomi dapat menimbulkan ketidaknyamanan, biaya yang besar, kecelakaan kerja, serta penurunan kinerja yang berdampak pada turunnya produktivitas. Pekerjaan yang mengharuskan pekerja berada dalam posisi tubuh yang tidak alami dapat mempercepat timbulnya kelelahan dan secara tidak langsung meningkatkan beban kerja. Posisi tubuh yang tidak sesuai dapat menyebabkan gerakan otot yang tidak diperlukan dan pemborosan energi, yang pada akhirnya meningkatkan risiko kelelahan dan cedera otot. [2]. Gangguan Muskuloskeletal (MSDs) merupakan kondisi yang melibatkan kerusakan atau gangguan pada sistem otot dan kerangka tubuh manusia, yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara beban aktivitas dan kemampuan otot serta kerangka. Hal ini dapat secara signifikan mengurangi produktivitas kerja, baik secara langsung maupun tidak langsung [3].

Untuk itu, diperlukan analisis lebih lanjut terhadap postur kerja dan kondisi lingkungan kerja menggunakan metode penilaian ergonomis, seperti *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* dan *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* dengan pendekatan *fuzzy logic* untuk mengidentifikasi risiko Msds. RULA merupakan metode yang efisien untuk mengevaluasi tingkat risiko pada aktivitas yang melibatkan pergerakan dominan anggota tubuh bagian atas, seperti tangan, lengan, bahu, leher, dan punggung [4]. REBA merupakan suatu metode yang dipergunakan untuk penilaian sikap kerja ataupun postur tubuh operator pada leher, punggung, lengan, pergelangan tangan serta kaki [5]. Fuzzy Logic adalah metode penyelesaian masalah yang digunakan untuk memetakan suatu masalah berbentuk masukan atau input ke dalam ruang keluaran atau output sebagai hasil [6]. Logika fuzzy adalah teori himpunan yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ketidakpastian antar kriteria yang muncul dari penilaian manusia secara keseluruhan. Melalui pendekatan logika fuzzy, diharapkan evaluasi kinerja menjadi lebih objektif dan realistik [7].

Beberapa penelitian telah mengkaji penggunaan metode RULA dan REBA secara bersamaan untuk menganalisis postur kerja. Pada sebuah penelitian dinyatakan bahwa kombinasi kedua metode ini efektif digunakan untuk mengevaluasi kualitas postur pengemudi becak [8]. Penelitian lainnya menyatakan bahwa skor REBA sebesar 7 dan skor RULA sebesar 6, yang keduanya mengindikasikan perlunya perbaikan segera untuk mengurangi risiko gangguan muskuloskeletal [9]. Penelitian lainnya mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs) pada pekerja di divisi *packaging* dengan menggunakan RULA dan REBA dengan nilai score RULA sebesar 7 dan REBA sebesar 6 [10]. Pada penelitian sebelumnya melakukan evaluasi faktor-faktor yang memengaruhi risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs) pada pekerja di pabrik baja menggunakan pendekatan logika fuzzy. Studi ini menunjukkan bahwa prevalensi MSDs sangat tinggi, yaitu 94,8% [11]. Penelitian lainnya pada pekerja perakitan otomotif terhadap pengukuran postur kerja dengan metode REBA, dan model fuzzy menunjukkan korelasi yang kuat antara data nyata dan hasil prediksi [12]. Berikutnya pada peneliti lainnya menggunakan logika fuzzy untuk memodelkan risiko gangguan muskuloskeletal (MSDs) pada 193 penenun karpet di Jammu dan Kashmir, India. Penelitian ini mengintegrasikan faktor fisik (kelelahan, postur kerja) dan psikososial (stres kerja, kurang motivasi) menggunakan metode REBA, SOFI, dan HSEJSQ. Hasil menunjukkan 78% penenun mengalami MSDs, dengan punggung bawah paling terpengaruh (52%) [13].

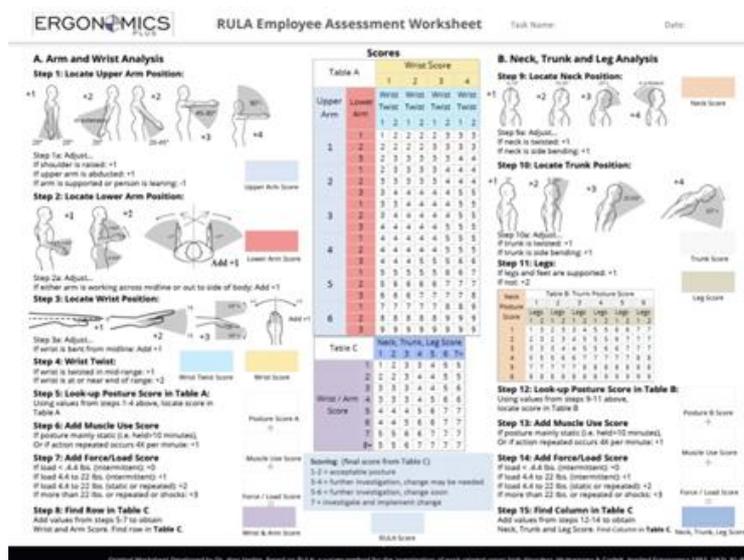
Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui postur pekerja selama melakukan aktivitas kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi risiko ergonomis yang dapat memengaruhi kesehatan pekerja, khususnya risiko gangguan muskuloskeletal. Dengan menggunakan metode seperti *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* dan *Rapid Entire Body Assessment (REBA)* dengan pendekatan *Fuzzy Logic* penelitian ini berupaya untuk mengevaluasi dan menilai tingkat risiko pada postur tubuh pekerja sehingga dapat diberikan rekomendasi perbaikan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 14 Oktober – 16 Oktober 2024 berlokasi di bengkel *welding* pipa PT. XYZ. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang diperoleh secara langsung melalui observasi dan wawancara dengan pekerja *welding*. Data yang diperoleh dari skor RULA dan REBA kemudian diolah menggunakan pendekatan fuzzy logic untuk menghasilkan tingkat risiko secara keseluruhan.

2.1 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) berfungsi untuk menganalisis dan menghitung postur tubuh bagian atas manusia. Metode ini menghasilkan tingkat keputusan yang mengindikasikan seberapa mendesak tindakan perbaikan diperlukan. Secara garis besar, prosedur RULA melibatkan pengaitan sudut-sudut pada postur tubuh subjek dengan beban yang tercatat dalam tabel penilaian [8].



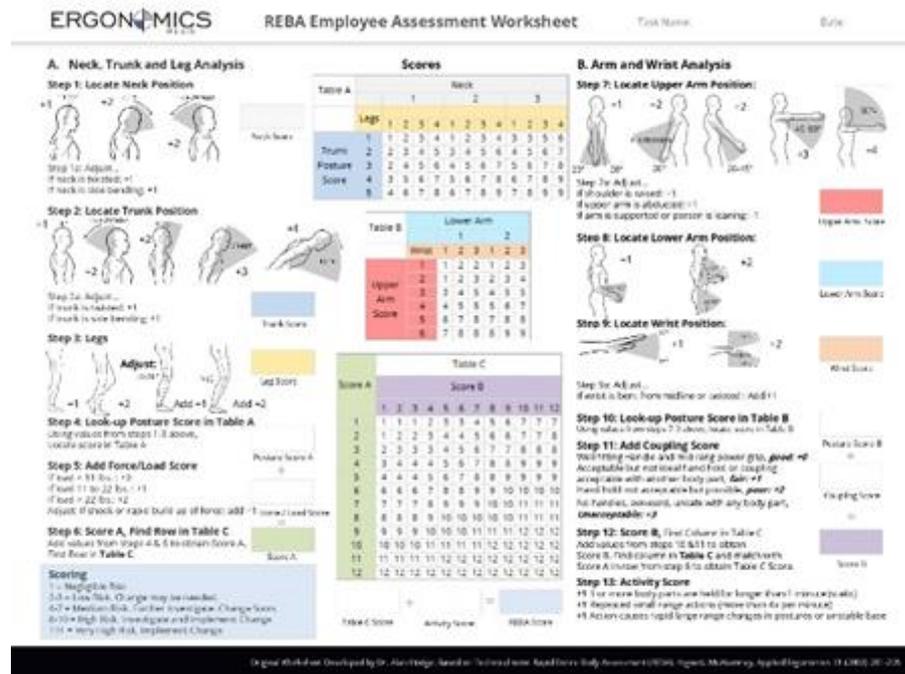
Gambar 1. Worksheet RULA

1. Penilaian Tabel A
Penilaian dilakukan dengan mengukur derajat postur pada beberapa bagian tubuh, yaitu lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan, dan rotasi pergelangan tangan, yang termasuk dalam tabel A. Selanjutnya, hasil pengukuran postur tubuh tersebut dimasukkan ke dalam tabel penilaian postur untuk tabel A.
2. Penilaian Tabel B
Serupa dengan tabel A, penilaian pada tabel B diawali dengan pengukuran skor postur tubuh pada leher, batang tubuh, dan kaki. Hasil skor dari masing-masing bagian tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabel penilaian tabel B untuk menentukan nilai akhirnya.
3. Penilaian Tabel C
Penilaian ini menghasilkan skor akhir yang diperoleh setelah melakukan evaluasi postur tubuh pada tabel A dan tabel B. Skor akhir tersebut kemudian dianalisis berdasarkan kategori postur kerja untuk menentukan tingkat risiko [14].

2.2 Rapid Entire Body Assessment (REBA)

REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) adalah metode yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung postur seluruh bagian tubuh manusia. Metode ini menghasilkan tingkat keputusan yang menunjukkan seberapa mendesak tindakan perbaikan diperlukan. Secara umum, prosedur REBA melibatkan pengaitan sudut-sudut postur tubuh subjek dengan beban yang dicatat dalam tabel penilaian [8]. Metode ini meliputi faktor penghubung, beban eksternal yang ditumpu oleh tubuh, dan aktivitas terkait pekerjaan [15]. Metode penilaian REBA dilakukan dengan membagi tubuh menjadi dua kelompok segmen, yaitu Grup A dan Grup B. Grup A mencakup punggung, leher,

dan kaki, sedangkan Grup B meliputi lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan. [16]. REBA memberikan skor risiko dalam rentang 1 hingga 15 untuk postur yang dianalisis. [17].



Gambar 2. Worksheet REBA

2.3 Fuzzy Logic

Teori sistem fuzzy menyediakan alat yang ampuh untuk simulasi sistem dan ketidakpastian hitungan [18]. Logika fuzzy adalah alat matematika untuk memprediksi hal yang tidak diketahui dan masalah multifaktorial. Perbedaan utama antara sistem pakar fuzzy dengan sistem pakar konvensional adalah adanya pemrosesan numerik, bukan mesin penalaran simbolik. Himpunan fuzzy adalah sekelompok objek yang memiliki kontinum tingkat keanggotaan. Himpunan ini dicirikan oleh fungsi keanggotaan (karakteristik) yang beroperasi pada rentang bilangan real 0 hingga 1 [12]. Skor akhir RULA dan REBA digunakan sebagai variabel *input* untuk pemodelan *fuzzy*. Variabel *input* dan *output* diubah menjadi variabel linguistik. Untuk mengukur tingkat risiko menggunakan aplikasi Matlab, terdapat beberapa tahapan, yaitu fuzzyfikasi, basis aturan (rule base), dan defuzzyfikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Postur Tubuh Metode RULA dan REBA

Tabel 1. Data Responden

Nama	Usia	Jenis Kelamin	Tinggi badan	Pengalaman Kerja
AG	33	Laki-Laki	168 cm	7 tahun
SP	25	Laki-Laki	170 cm	2 tahun

Penelitian ini mengambil 2 orang pekerja *welding* untuk dilakukan wawancara dan penyebaran kuesioner. Kuesioner ini bertujuan untuk mengidentifikasi bagian tubuh yang paling sering mengalami rasa sakit atau nyeri pada pekerja. Dengan demikian, dapat diketahui posisi kerja yang paling berbahaya bagi pekerja. Kuesioner ini menggunakan skala Likert yang terdiri dari empat kategori:

1. Tidak Sakit



2. Agak Sakit
3. Sakit
4. Sangat Sakit

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Total Skor Individu Pekerja

NO	LOKASI	PEKERJA	
		AG	SP
0	Leher Atas	4	3
1	Leher Bawah	4	3
2	Bahu Kiri	4	2
3	Bahu Kanan	4	3
4	Lengan Atas Kiri	3	2
5	Punggung	4	2
6	Lengan Atas Kanan	4	2
7	Pinggang	2	1
8	Bokong (Buttock)	1	1
9	Pantat (Bottom)	1	1
10	Siku Kiri	3	2
11	Siku Kanan	4	3
12	Lengan Bawah Kiri	3	2
13	Lengan Bawah Kanan	4	2
14	Pergelangan tangan kiri	4	2
15	Pergelangan tangan kanan	4	3
16	Tangan Kiri	4	2
17	Tangan Kanan	4	3
18	Paha Kiri	1	1
19	Paha Kanan	1	1
20	Lutut Kiri	1	1
21	Lutut kanan	1	1
22	Betis Kiri	1	1
23	Betis Kanan	1	1
24	Pergelangan Kaki Kiri	1	1
25	Pergelangan kaki Kanan	1	1
26	Kaki Kiri	1	1
27	Kaki Kanan	1	1
JUMLAH		71	49

Berdasarkan hasil dari data yang telah didapat diketahui bahwa pada pekerja yang mempunyai *score* NBM terbesar yaitu AG sebesar 71 yang dimana memiliki tingkat risiko tinggi dan diperlukan tindakan segera. Sedangkan pada pekerja SP tidak perlu karena *score* 49 yang artinya belum diperlukannya perbaikan [22]. Setelah mengetahui keluhan oleh pekerja AG dengan tingkat rasa sakit terbesar yaitu pada leher, bahu, *wrist*, dan lengan, maka tahap selanjutnya yaitu perhitungan *score* RULA dan REBA untuk mengetahui postur tubuh dari pekerja AG saat melakukan proses kerja. Metode RULA digunakan untuk postur pekerja saat melakukan pengelasan dikarenakan metode RULA lebih baik digunakan ketika pekerjaan tersebut mengharuskan pekerja diam pada suatu

tempat tertentu. Metode REBA digunakan untuk postur pekerja saat memeriksa hasil pengelasan dikarenakan Metode REBA lebih baik digunakan ketika menganalisa pekerjaan yang membutuhkan pergerakan dari seluruh bagian tubuh [23].



Gambar 3. Postur Kerja Pekerja *Welding*

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, pekerja *welding* terlihat dalam posisi duduk dengan postur membungkuk saat melakukan proses pengelasan. Posisi lengan atas membentuk sudut 68 derajat, lengan bawah 69 derajat, serta pergelangan tangan pada sudut 13 derajat. Postur ini menunjukkan adanya ketegangan pada tubuh bagian atas, yang menjadi dasar dalam perhitungan skor RULA untuk menilai tingkat risiko ergonomi yang dihadapi pekerja." Dengan kalimat ini, gambar memiliki rujukan yang menjelaskan maksud dan tujuannya, yakni untuk menggambarkan postur kerja aktual yang menjadi dasar perhitungan skor RULA.

Tabel 3. Perhitungan Score RULA

No.	Faktor	Pergerakan	Adjust	Skor
1.	Locate upper arm position	68 derajat	+2	3
2.	Locate lower arm position	69 derajat		1
3.	Locate wrist position	13 derajat		2
4.	Wrist twist	Telapak tangan tidak bersalaman/berdiri		2
5.	Posture score in table A			5
6.	Add muscle use score	Ada gerakan berulang setidaknya 4 kali dalam 1 menit		1
7.	Add force/load score	2-4 Kg		1
8.		Find row in table C		7
9.	Locate neck position	43 derajat		3
10.	Locate trunk position	21 derajat		3
11.	Legs	Kaki (paha) tidak ditopang kursi		2
12.	Posture score in table B			5
13.	Add muscle use score	Trunk, neck, leg, statis		1
14.	Add force/load score	Trunk, neck, leg, tanpa beban		0
15.		Find column in table C		6
16.		Scoring (RULA)		7

Berdasarkan hasil perhitungan skor RULA, pekerja welding memiliki skor akhir sebesar 7, yang menunjukkan tingkat risiko Sangat Tinggi. Skor ini diperoleh dari analisis postur tubuh bagian atas, seperti posisi lengan atas dengan sudut 68 derajat yang menghasilkan skor 3, lengan bawah dengan sudut 69 derajat menghasilkan skor 1, serta pergelangan tangan pada sudut 13 derajat yang memberikan skor 2. Faktor tambahan seperti gerakan berulang yang dilakukan minimal 4 kali dalam satu menit menambahkan 1 poin, dan beban kerja sebesar 2-4 kg menambahkan 1 poin lagi. Kombinasi dari berbagai faktor ini menghasilkan skor 7 pada tabel C, yang merupakan skor akhir.

3.2 Pengukuran Postur Tubuh Metode REBA



Gambar 3. Postur Kerja Pekerja *Welding*

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, pekerja welding terlihat melakukan aktivitas dengan postur tubuh membungkuk, kepala menunduk, serta posisi lengan terangkat. Posisi ini dianalisis menggunakan metode REBA untuk mengidentifikasi potensi risiko ergonomi. Berdasarkan analisis postur tersebut, diperoleh skor akhir sebesar 8 yang menunjukkan tingkat risiko tinggi, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 2. Kalimat ini mengaitkan gambar dengan maksud dan tujuan perhitungan skor REBA, sehingga lebih jelas dalam menjelaskan hubungan antara visual dan analisis yang dilakukan.

Tabel 4. Perhitungan Score REBA

No.	Faktor	Pergerakan	Adjust	Skor
1.	Locate neck position	54 derajat		2
2.	Locate trunk position	25 derajat		3
3.	Legs	Keduanya menapak		1
4.	Posture score in table A			4
5.	Add force/load score	< 5 Kg		0
6.	Find row in table C, Score A			4
7.	Locate upper arm position	54 derajat		3
8.	Locate lower arm position	23 derajat		2
9.	Locate wrist position	14 derajat, tetapi miring dari garis tengah	+1	1
10.	Posture score in table B			5
11.	Add coupling score	Pegangan baik		1
12.	Find column in table C, Score B			6
13.	Activity score	Statis (+1) dan pengulangan (+1)		2
14.	Scoring (REBA)			8

Berdasarkan hasil perhitungan skor REBA, pekerja welding memiliki skor akhir sebesar 8, yang menunjukkan tingkat risiko Tinggi. Skor ini diperoleh melalui analisis berbagai faktor postur kerja, seperti posisi leher dengan sudut 54 derajat yang menghasilkan skor 2, posisi trunk dengan sudut 25 derajat menghasilkan skor 3, serta posisi kaki yang menapak dengan skor 1. Kombinasi dari faktor-faktor ini memberikan skor awal 4 pada tabel A. Selanjutnya, postur bagian atas tubuh, seperti posisi lengan atas dengan sudut 54 derajat yang memberikan skor 3, lengan bawah dengan sudut 23 derajat memberikan skor 2, dan posisi pergelangan tangan yang miring dari garis tengah dengan skor 1 (dengan penyesuaian tambahan +1), memberikan skor akhir 5 pada tabel B. Faktor tambahan, seperti aktivitas statis dan gerakan berulang, menambahkan 2 poin pada skor akhir. Maka total keseluruhan score REBA adalah 8.

3.3 Penerapan Fuzzy Logic dalam Analisis Risiko MSDs

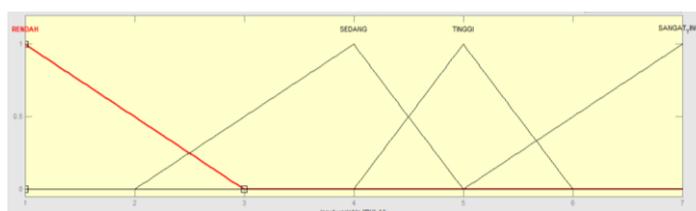
Fuzzy Logic digunakan untuk menganalisis risiko ergonomi berdasarkan pengukuran postur tubuh menggunakan RULA dan REBA. Proses ini mengonversi data tersebut menjadi *output* tingkat risiko MSDs. Pendekatan ini memastikan bahwa data yang kompleks dapat diolah menjadi keputusan yang terukur dan berbasis data. Untuk menghindari pengulangan, tahapan tersebut diintegrasikan dengan kurva keanggotaan dan hasil akhir tingkat risiko msds. Dengan menggunakan *Fuzzy Logic*, data dari RULA dan REBA dikombinasikan dengan keluhan dari NBM untuk menghasilkan tingkat risiko MSDs. Responden dalam penerapan fuzzy dalam studi kasus ini adalah individu yang mengalami dan mengevaluasi kondisi yang dianalisis. Kriteria responden ditentukan berdasarkan pengalaman langsung terhadap keluhan yang dianalisis, di mana penggunaan metode fuzzy hanya dapat diterapkan jika terdapat keluhan pada bagian atas, sedangkan metode ini tidak dapat digunakan jika hanya terjadi keluhan pada bagian bawah. Hal ini menunjukkan bahwa *fuzzy logic* memerlukan data yang spesifik agar dapat bekerja secara efektif. Aturan dalam penerapan *fuzzy* ditentukan berdasarkan pengalaman atau masukan dari para ahli di bidangnya, di mana setiap tingkat keluhan dikategorikan ke dalam fungsi keanggotaan yang berbeda untuk menghasilkan keputusan atau rekomendasi yang lebih objektif. Implementasi *fuzzy* dalam studi kasus ini melibatkan pengambilan data dari responden, pemrosesan dengan metode *fuzzy*, dan hasil akhirnya berupa keputusan atau rekomendasi yang sesuai dengan kondisi yang telah dianalisis.

3.3.1 Pembentukan fungsi keanggotaan variabel RULA

Tabel 5. Variabel Sebagai Nilai Input pada software MATLAB

Variabel Fuzzy	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicara	Domain	Parameter
RULA	Rendah	[1-7]	[1-3]	[1 3]
	Sedang		[2-5]	[2 4 5]
	Tinggi		[4-6]	[4 5 6]
	Sangat Tinggi		[5-7]	[5 7]

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara titik-titik *input* data dengan nilai keanggotaannya dalam rentang interval 0 hingga 1. Salah satu metode untuk menentukan nilai keanggotaan adalah melalui pendekatan fungsi [11]. Skor RULA dikonversi menjadi variabel linguistik berdasarkan tingkat risiko ergonomi yang ditunjukkan oleh hasil evaluasi postur kerja. Nilai variabel RULA dibagi atas 4 himpunan fuzzy seperti tabel 5.



Gambar 4. *Membership Function* Variabel RULA

Kurva keanggotaan *Fuzzy* diintegrasikan dalam analisis postur kerja sebagai bagian dari tahapan Fuzzification. Model ini menggunakan pendekatan linier dan triangular. Dengan pendekatan ini, analisis risiko msds menjadi lebih komprehensif, terutama dalam memetakan nilai Fuzzy ke dalam kategori risiko rendah, sedang, tinggi, atau

sangat tinggi. Pada kategori rendah dan tinggi digunakan rumus fungsi linear. Sedangkan untuk kategori sedang dan tinggi digunakan fungsi segitiga. Berikut adalah pembentukan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy RULA:

$$\mu_{Rendah} = \begin{cases} 1; & \text{jika } x \leq 1 \\ \frac{3-x}{3-1}; & \text{jika } 1 \leq x \leq 3 \\ 0; & \text{jika } x \geq 3 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang} = \begin{cases} 0; & \text{jika } x \leq 2 \text{ atau } x \geq 5 \\ \frac{7-x}{4-2}; & \text{jika } 2 \leq x \leq 4 \\ \frac{5-x}{5-4}; & \text{jika } 4 \leq x \leq 5 \\ 1; & \text{jika } x = 4 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi} = \begin{cases} 0; & \text{jika } x \leq 4 \text{ atau } x \geq 6 \\ \frac{7-x}{5-4}; & \text{jika } 4 \leq x \leq 5 \\ \frac{6-x}{6-5}; & \text{jika } 5 \leq x \leq 6 \\ 1; & \text{jika } x = 5 \end{cases}$$

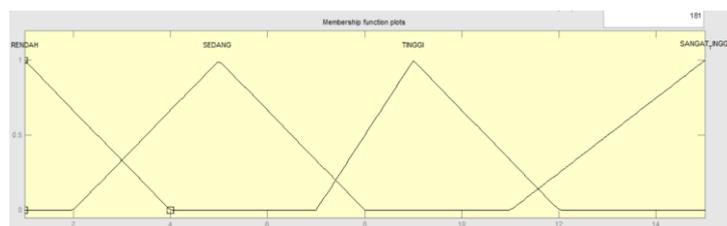
$$\mu_{Sangat\ Tinggi} = \begin{cases} 0; & \text{jika } x \leq 5 \\ \frac{7-x}{7-5}; & \text{jika } 5 \leq x \leq 7 \\ 1; & \text{jika } x \geq 7 \end{cases}$$

3.3.2 Pembentukan fungsi keanggotaan variabel REBA

Tabel 6. Variabel Sebagai Nilai Input pada software MATLAB

Variabel Fuzzy	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicara	Domain	Parameter
REBA	Rendah		[1-3]	[1 3]
	Sedang		[2-8]	[2 5 8]
	Tinggi	[1-15]	[7-12]	[7 9 12]
	Sangat Tinggi		[11-15]	[11 15]

Berdasarkan tabel 6 diatas digunakan sebagai nilai *input* pada software Matlab. Skor REBA dikonversi menjadi variabel linguistik berdasarkan tingkat risiko ergonomi yang ditunjukkan oleh hasil evaluasi postur kerja. Nilai variabel REBA dibagi atas 4 himpunan fuzzy seperti tabel 6.



Gambar 5. Membership Function Variabel REBA

Pada kategori rendah dan tinggi digunakan rumus fungsi linear. Sedangkan untuk kategori sedang dan tinggi digunakan fungsi segitiga. Berikut adalah pembentukan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy REBA

$$\mu_{Rendah} = \begin{cases} 1; & \text{jika } x \leq 1 \\ \frac{4-x}{4-1}; & \text{jika } 1 \leq x \leq 4 \\ 0; & \text{jika } x \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu_{Sedang} = \begin{cases} 0; & \text{jika } x \leq 2 \text{ atau } x \geq 8 \\ \frac{8-x}{5-2}; & \text{jika } 2 \leq x \leq 5 \\ \frac{8-x}{8-5}; & \text{jika } 5 \leq x \leq 8 \\ 1; & \text{jika } x = 5 \end{cases}$$

$$\mu_{Tinggi} = \begin{cases} 0; & \text{jika } x \leq 7 \text{ atau } x \geq 12 \\ \frac{8-x}{9-7}; & \text{jika } 7 \leq x \leq 9 \\ \frac{12-x}{12-9}; & \text{jika } 9 \leq x \leq 12 \\ 1; & \text{jika } x = 9 \end{cases}$$

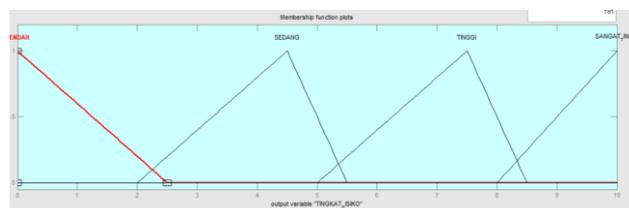
$$\mu_{Sangat\ Tinggi} = \begin{cases} 0; & \text{jika } x \leq 11 \\ \frac{8-x}{15-11}; & \text{jika } 11 \leq x \leq 15 \\ 1; & \text{jika } x \geq 15 \end{cases}$$

3.3.3 Variabel Output Tingkat Risiko Msds

Tabel 7. Variabel Sebagai Nilai *output* pada software MATLAB

Variabel Fuzzy	Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicara	Domain	Parameter
Tingkat Risiko Msds	Rendah	[0-10]	[0-2,5]	[0 2,5]
	Sedang		[2-5,5]	[2 4,5 5,5]
	Tinggi		[5,5-8,5]	[5 7,5 8,5]
	Sangat Tinggi		[8,5-10]	[8 10 10]

Berdasarkan tabel 7 diatas merupakan nilai *output* pada software Matlab. Tabel 7 menunjukkan bahwa model fuzzy untuk tingkat risiko msds dibuat dengan pendekatan berbasis fungsi keanggotaan segitiga dan linear, yang umum digunakan dalam sistem fuzzy. Model ini dapat digunakan dalam MATLAB untuk analisis risiko dan pengambilan keputusan berbasis logika fuzzy.



Gambar 6. Variabel *Output*

Variabel *output* dalam penelitian ini adalah tingkat risiko MSDs, yang dikategorikan ke dalam empat himpunan fuzzy, yaitu Rendah, Sedang, Tinggi, dan Sangat Tinggi. Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bagaimana model fuzzy menentukan keanggotaan suatu nilai risiko dalam kategori yang telah ditentukan. Jika suatu nilai berada dalam area tumpang tindih antara dua kategori, sistem fuzzy akan menggunakan metode defuzzifikasi untuk menghasilkan nilai akhir yang lebih akurat.

3.3.4 Fuzzyfikasi (*Fuzzyfication*)

Tahap fuzzifikasi terjadi saat nilai numerik diubah menjadi bentuk linguistik yang dapat diproses oleh sistem [21]. Fuzzyfikasi adalah proses mengubah input sistem yang memiliki nilai pasti menjadi variabel linguistik dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang tersimpan dalam basis pengetahuan fuzzy [22]. Proses ini menggunakan fungsi keanggotaan untuk menentukan sejauh mana suatu nilai termasuk dalam satu atau lebih himpunan fuzzy. Nilai input untuk variabel RULA dan REBA berdasarkan score yang telah dianalisis pada tabel 1 dan tabel 2 yaitu RULA sebesar 7 dan REBA sebesar 8.

1. RULA, terdiri dari 4 himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Jika diketahui RULA sebesar 7, maka:

$$\mu_{Rendah}(7) = 0$$

$$\mu_{Sedang}(7) = 0$$

$$\mu_{Tinggi}(7) = 0$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(7) = 1 ; \text{karena } x \geq 7$$
2. REBA, terdiri dari 4 himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Jika diketahui RULA sebesar 8, maka:

$$\mu_{Rendah}(8) = 0$$

$$\mu_{Sedang}(8) = 0$$

$$\mu_{Tinggi}(8) = \frac{8-7}{9-7} = 0,5$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(8) = 0$$

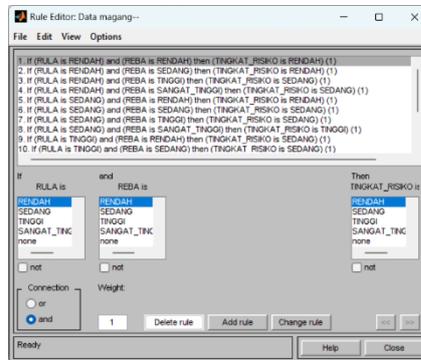
3.3.5 Inferensi

1. Pembuatan *Rule Base*

Sistem berbasis aturan (*Rule Based System*) adalah sistem yang digunakan untuk menyimpan *dan* mengolah pengetahuan, yang kemudian diubah menjadi informasi yang dapat membantu dalam menyelesaikan berbagai masalah. [23]. Pada metode Mamdani, fungsi implikasi menggunakan nilai minimum (min) dari derajat keanggotaan input dalam proses pengujian data. Sebelum proses implikasi dilakukan, aturan (rule) harus ditentukan terlebih dahulu. Aturan ini diperoleh dari kombinasi pernyataan yang dirumuskan dalam bentuk *if-then*, sehingga mudah dipahami. Kombinasi aturan ini dapat dilihat dalam proses berikut:

Tabel 9. Pembentukan *Rule*

NO	RULA	REBA	Tingkat Risiko Msds
R1	Rendah	Rendah	Rendah
R2	Rendah	Sedang	Rendah
R3	Rendah	Tinggi	Sedang
R4	Rendah	Sangat Tinggi	Sedang
R5	Sedang	Rendah	Rendah
R6	Sedang	Sedang	Sedang
R7	Sedang	Tinggi	Sedang
R8	Sedang	Sangat Tinggi	Tinggi
R9	Tinggi	Rendah	Sedang
R10	Tinggi	Sedang	Sedang
R11	Tinggi	Tinggi	Tinggi
R12	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi
R13	Sangat Tinggi	Rendah	Sedang
R14	Sangat Tinggi	Sedang	Tinggi
R15	Sangat Tinggi	Tinggi	Tinggi
R16	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi



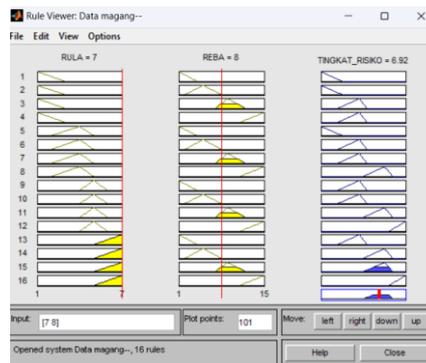
Gambar 7. Pembuatan Rule pada Software Matlab

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Menentukan fungsi implikasi agar memperoleh nilai akhir fuzzy dari setiap proses aturan. Fungsi implikasi menggunakan nilai minimum (min). Rule yang mempunyai nilai derajat keanggotaan adalah sebagai berikut:

[R15] Jika RULA sangat tinggi, REBA tinggi, maka Tingkat Risiko Tinggi
 $\min(1;0,5) = 0,5$

3.3.6 Defuzzifikasi



Gambar 8. Hasil Perhitungan Output dengan Matlab

Defuzzifikasi dilakukan untuk menghasilkan himpunan tegas (*crisp*), rangkaian dari *fuzzy conclusion set*, yang digunakan untuk menggambarkan level kritis dari risiko sehingga dapat ditentukan tindakan perbaikan yang diperlukan [27]. Setelah mendapatkan *if then rules* masukkan score RULA dan REBA ke variabel *input* yaitu sebesar 7 dan 8. Dapat dilihat dalam hasil pengujian menggunakan *software* Matlab nilai tingkat risiko Msds sebesar 6,92 yang dikategorikan tinggi. Hasil ini menunjukkan keselarasan dengan data nyata yang diperoleh dari NBM mengenai gejala MSDs berdasarkan *score* NBM pekerja AG sebesar 71 yang dimana memiliki kategori tinggi dan diperlukan tindakan segera [19]

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pengukuran postur kerja pada pekerja *welding* menggunakan metode RULA dan REBA menunjukkan tingkat risiko ergonomi yang signifikan, dengan nilai masing-masing sebesar 7 dan 8. Nilai ini menunjukkan bahwa metode RULA menempatkan risiko ergonomi pada kategori sangat tinggi, sedangkan REBA menunjukkan kategori tinggi. Penggunaan kedua metode pengukuran postur kerja ini digunakan sebagai variabel *input* dalam pendekatan *fuzzy logic*. Hasil dari nilai *output* untuk tingkat risiko MSDs sebesar 6,92, dimana nilai tersebut termasuk dalam kategori tinggi. Hasil yang

didapatkan menunjukkan efektivitas logika *fuzzy* dalam mengevaluasi kombinasi gabungan dari kedua metode pengukuran postur kerja terhadap tingkat risiko MSDs. Selain itu, model *fuzzy* yang dikembangkan menunjukkan keselarasan dengan data nyata yang diperoleh dari *Nordic Body Map* (NBM) mengenai gejala MSDs. Disebutkan bahwa nilai *output* untuk tingkat risiko MSDs yang dihasilkan oleh metode logika *fuzzy* selaras dengan skor NBM, yang mencapai 71. Skor ini menunjukkan bahwa ada banyak keluhan MSDs di kalangan pekerja AG. Penemuan ini memberikan dukungan empiris yang kuat untuk keefektifan model *fuzzy* dalam merefleksikan dan menganalisis gejala MSD yang dialami oleh pekerja AG, dan menunjukkan bahwa metode ini dapat diandalkan untuk menilai risiko ergonomis di lingkungan kerja. Berdasarkan hasil dan pembahasan, beberapa perbaikan yang disarankan untuk meningkatkan posisi tubuh yang ergonomis selama proses pengelasan. Studi menunjukkan bahwa postur kerja yang tidak sehat menyebabkan keluhan yang signifikan pada pekerja AG di area leher, bahu, siku, dan lengan. Oleh karena itu, sangat disarankan agar pekerja tidak membungkuk terlalu lama dan memastikan bahwa objek yang dilas berada pada ketinggian yang sejajar dengan posisi mereka. Dengan cara ini, pekerja tidak perlu membungkuk atau memutar tubuh mereka terlalu banyak. Selain itu, meja las harus disesuaikan agar pekerja tidak perlu memutar tubuh mereka, yang meningkatkan risiko cedera. Untuk mengurangi beban fisik saat bergerak, dan juga harus memilih alat las yang ringan. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah menambah variabel *input fuzzy*. Dengan menambahkan lebih banyak variabel, seperti faktor lingkungan kerja atau beban kerja, diharapkan hasil *output* akan lebih akurat dan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat risiko MSDs.

REFERENSI

- [1] K. E. K. Elbert, H. B. Kroemer, and A. D. K. Hoffman, *Ergonomics How To Design For Ease And Efficiency*. Matthew Deans, 2018. [Online]. Available: <https://www.interaction-design.org/literature/article/how-to-design-for-ease-of-use%0Ahttps://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128132968000165>
- [2] M. F. Yudiardi, M. Imron, and F. Purwangka, "Penilaian Postur Kerja dan Risiko Musculoskeletal Disorders (MSDs) pada Nelayan Bagan Apung dengan Menggunakan Metode Reba," *J. IPTEKS PSP*, vol. 8, no. April, pp. 14–23, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unhas.ac.id/index.php/iptekspsp/article/view/8161>
- [3] A. J. Laksana and T. Srisantyorini, "Analisis Risiko Musculoskeletal Disorders (MSDs) pada Operator Pengelasan (Welding) Bagian Manufaktur di PT X Tahun 2019," *J. Kaji. dan Pengemb. Kesehat. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 64–73, 2020.
- [4] J. E. S. Casym and D. N. Oktiaara, "Analisis Postur Tubuh Pekerja Home Industry Pastel Menggunakan Analisis Rapid Upper Limb Assesment (RULA) -," *Semin. Nas. Teknol. Komput. Sains 2020*, pp. 631–635, 2020.
- [5] T. M. Akbar, A. Erik Nugraha, and W. Eko Cahyanto, "Analisis Postur Tubuh Pekerja di Pabrik Roti Riza Bakery Menggunakan Metode Rapid Entire Body Assessment (REBA)," *J. Integr. Syst.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–41, 2023, doi: 10.28932/jis.v6i1.6004.
- [6] D. Kurniadi, F. Nuraeni, and D. Jaelani, "Implementasi Logika Fuzzy Mamdani Pada Sistem Prediksi Calon Penerima Program Keluarga Harapan," *J. Algoritm.*, vol. 19, no. 1, pp. 151–162, 2022, doi: 10.33364/algoritma/v.19-1.1016.
- [7] D. Vinsensia, "Analisis Kinerja Pelayanan Kesehatan Dengan Pendekatan Logika Fuzzy Sugeno," *J. Media Inform.*, vol. 2, no. 2, pp. 62–73, 2021, doi: 10.55338/jumin.v2i2.695.
- [8] F. Kurnia and M. Sobirin, "Analisis Tingkat Kualitas Postur Pengemudi Becak Menggunakan Metode RULA dan REBA," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [9] A. L. Fiih, M. Jufriyanto, H. Hidayat, and K. Muhammad, "Analisis Postur Pekerja Menggunakan Metode REBA dan RULA Pada Proses Pengelasan di PT. Ravana Jaya," *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 4, no. 4, pp. 123–128, Nov. 2024, doi: 10.52436/1.jpti.443.
- [10] A. R. Sya'bana and D. Herwanto, "Analisis Postur Tubuh Menggunakan Metode RULA, REBA Pada Pekerja di Divisi Packaging," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 5909–5915, 2023, doi: 10.32672/jse.v8i2.5992.
- [11] M. Malakoutikhah, A. Zare, A. Karimi, and S. Hassanipour, "Fuzzy Logic Modeling of Factors Affecting



- Musculoskeletal Disorders in a Steel Factory in Iran: A Cross-Sectional Study,” *J. Manipulative Physiol. Ther.*, vol. 44, no. 3, pp. 221–228, 2021, doi: 10.1016/j.jmpt.2020.07.011.
- [12] M. Falahati, F. Dehghani, M. Malakoutikhah, A. Karimi, A. Zare, and S. Y. rad, “Using fuzzy logic approach to predict work-related musculoskeletal disorders among automotive assembly workers,” *Med. J. Islam. Repub. Iran*, vol. 33, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.47176/mjiri.33.136.
- [13] H. Gada, S. Parvez, and B. Ahmad, “Fuzzy Logic Modelling of Risk Variables Influencing Musculoskeletal Disorders in Carpet Industry: A Cross-Sectional Study,” *J. Chiropr. Med.*, 2024, doi: 10.1016/j.jcm.2024.05.001.
- [14] M. I. Hamdy, M. Nur, A. Mas’ari, and F. E. Suheri, “Analisa Postur Kerja Manual Material Handling (MMH) pada Karyawan Bagian Pembuatan Block Menggunakan Metode Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (Studi Kasus: PT Asia Forestama Raya),” *J. Tek. Ind. J. Has. Penelit. dan Karya Ilm. dalam Bid. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 1, p. 62, 2020, doi: 10.24014/jti.v5i1.7432.
- [15] G. M. Fatahyasin and F. Yuamita, “Analisis Postur Pekerja Pada Bagian Ekstraksi Dengan Metode Rapid Entire Body Assessment (Reba) Untuk Mengurangi Resiko Cidera Di PT. XYZ,” *J. Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 8–15, 2023, [Online]. Available: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- [16] Dhifa Farah Miftah and Akmal Suryadi, “Analisis Postur Kerja untuk Mengurangi Risiko MSDs dengan Metode REBA di PT Maju Mapan Bahagia Sidoarjo,” *J. Penelit. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 3, no. 1, pp. 127–140, 2023, doi: 10.55606/juprit.v3i1.3204.
- [17] R. Fil’aini, J. R. Gultom, Z. Mufidah, T. N. Sari, and Harmiansyah, “Analisis Ergonomi untuk Mengurangi Keluhan MSDs pada Kegiatan Penyadapan Karet,” *Tekmapro*, vol. 19, no. 2, pp. 126–135, 2024, doi: 10.33005/tekmapro.v19i2.427.
- [18] T. J. Ross, *Fuzzy Logic With Engineering Applications*, no. 1. 2019. [Online]. Available: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- [19] S. Uslianti, T. Wahyudi, R. Rahmahwati, and A. Tamala, “Rancang bangun meja dan kursi kerja untuk perbaikan postur kerja pada pekerja pengolah ikan berdasarkan pengukuran NBM dan RULA,” *Oper. Excell. J. Appl. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 3, p. 298, 2020, doi: 10.22441/oe.2020.v12.i3.003.
- [20] V. Tiogana and N. Hartono, “Analisis Postur Kerja dengan Menggunakan REBA dan RULA di PT X,” *J. Integr. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–25, Jun. 2020, doi: 10.28932/jis.v3i1.2463.
- [21] A. Burhanuddin, “Analisis Komparatif Inferensi Fuzzy Tsukamoto, Mamdani dan Sugeno Terhadap Produktivitas Padi di Indonesia,” *LEDGER J. Inform. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 48–57, 2023.
- [22] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy dengan Matlab*, vol. 1, no. 13508029. 2009.
- [23] S. Hartanto, “Implementasi Fuzzy Rule Based System untuk Klasifikasi Buah Mangga,” *Techsi*, vol. 9, no. 2, pp. 103–122, 2017, [Online]. Available: <https://doi.org/10.29103/techsi.v9i2.217>
- [24] Nazaruddin and W. Septiani, “Mitigasi Risiko Proses Produksi Pada Lini Wood Working Menggunakan Pendekatan Logika Fuzzy,” *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 19, no. 1, pp. 100–108, 2021.

