

INTEGRASI FUZZY MAMDANI BIOMEKANIKA DAN NIOSH: MANUAL MATERIAL HANDLING PENYARINGAN BUBUR KEDELAI

**Johan Alfian Pradana¹, Rizki Puspita Dewanti², Catur Harsito³, Saiful Rowi⁴,
Venus Khatta Salsabila⁵**

^{1,5} Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri

² Agribisnis Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret

³ Teknik Mesin Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret

⁴ Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Institut Adhi Tama Surabaya

Email: zoehuntz34@gmail.com¹, rpuspitadewanti@staff.uns.ac.id², catur_harsito@staff.uns.ac.id³,
saifulrowil50@gmail.com⁴, venuskhatta6@gmail.com⁵

ABSTRACT

Manual material handling activities one of them is soy porridge filtration. Important research was conducted to provide interventions reviewed from aspects of NBM, biomechanics, NIOSH and Fuzzy biomechanics to NBM as the purpose of this study. This research method takes a saturated sample of 24 respondents, observation and documentation regarding working posture, dissemination and withdrawal of NBM closed questionnaires, assessing biomechanics from the aspect of Fcompression with Fshear, and evaluating activities with NIOSH and integration of Fuzzy Mamdani initiated fuzzification, inference, and defuzzification. The study showed that Fcompression $1117.05\text{ N} < 3400\text{ N}$; Fshear of $613.4\text{ N} > 500\text{ N}$ were declared to be at risk. The dominant LI value may be at risk of 66.7% for 16 people. Traditional NBM complaints are very painful range 75%-100% at the waist (96%), hips (75%), buttocks (83%), right hands (79%), left thighs and right thighs (75%), left knee (92%), and right knee (100%). Traditional proof of biomechanics following Fuzzy biomechanics against NBM, by 93.3%. This activity still has risks, both from traditional biomechanics, NIOSH, NBM, and Fuzzy biomechanics to NBM. Therefore, appropriate intervention is needed from the aspect of facilities and work environment in the future.

Keywords: soy porridge, biomechanics, Fuzzy Mamdani, NBM, NIOSH

ABSTRAK

Aktivitas manual material handling salah satunya yaitu penyaringan bubur kedelai. Penelitian penting dilakukan untuk memberikan intervensi yang ditinjau dari aspek NBM, biomekanika, NIOSH dan Fuzzy biomekanika terhadap NBM sebagai tujuan dari penelitian ini. Metode penelitian ini dengan mengambil sampel jenuh 24 responden, observasi dan dokumentasi mengenai postur kerja, penyebaran dan penarikan angket tertutup NBM, menilai biomekanika dari aspek Fcompression dengan Fshear, evaluasi aktivitas dengan NIOSH dan integrasi Fuzzy mamdani diawali fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa Fcompression $1117,05\text{ N} < 3400\text{ N}$; Fshear sebesar $613,4\text{ N} > 500\text{ N}$ dinyatakan memiliki Resiko. Nilai LI dominan mungkin beresiko sebesar 66,7% untuk 16 orang. Tradisional NBM keluhan sangat sakit rentang 75%- 100% pada pinggang (96%), pinggul (75%), bokong (83%), tangan kanan (79%), paha kiri dan paha kanan (75%), lutut kiri (92%), dan lutut kanan (100%). Pembuktian tradisional biomekanika sesuai dengan Fuzzy biomekanika terhadap NBM, sebesar 93,3%. Aktivitas ini masih memiliki resiko, baik dari tradisional biomekanika, NIOSH, NBM dan Fuzzy biomekanika terhadap NBM. Oleh sebab itu, diperlukan intervensi yang sesuai dari aspek fasilitas dan lingkungan kerja dimasa mendatang.

Keywords: bubur kedelai, biomekanika, Fuzzy mamdani, NBM, NIOSH

Pendahuluan

Industri tahu menjadi usaha rumahan yang menjamur di wilayah Kediri, khususnya desa blabak, kabupaten Kediri. Aktivitas produksi tahu dimulai pukul 13.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB. Tahapan produksi tahu mencakup pencucian kedelai, penyelepan sampai menjadi bubur kedelai, di didihkan sambil di saring, kemudian dipres sampai volume air berkurang dan siap di potong untuk di distribusikan. Kondisi vital dalam produksi tahu yaitu proses saring bubur kedelai. Proses penyaringan ditandai dengan muncul gelembung pada bak tampung. Tujuan dari penyaringan untuk mengurangi sifat kental. Jika bubur tahu mengental akan menyebabkan produk tahu tidak layak jual. Penyaringan bubur secara perlahan dengan temperatur tungku bak

mencapai 150°C. Aktivitas penyaringan bubuk kedelai ini memiliki sifat statis. Oleh sebab itu, akan menyebabkan kelelahan pada area tubuh. Kelelahan akan terjadi pada punggung, pinggang, lengan atas, lengan bawah dan genggaman tangan. Meskipun ini belum terbukti signifikan. Aktivitas penyaringan bubuk kedelai termasuk kategori manual material handling. Kategori ini akan diukur keamanan kerja menggunakan kajian ergonomi. Kajian ergonomi menggunakan angket *Nordic Body Maps*, biomekanika kerja, dan panduan NIOSH.

Penelitian pendahulu ditinjau dari angket *Nordic Body Maps* telah dominan digunakan sebagai parameter dalam penilaian tingkat keluhan tubuh [1]. Menurut [2] menyatakan bahwa *Nordic Body Maps* dapat menilai Resiko – Resiko yang timbul dalam aktivitas. Skor tertinggi berada pada anggota tubuh panggul sebesar 77%. Kemudian aspek biomekanika memiliki fungsi untuk memberikan evaluasi kerja. Evaluasi kerja ini menggunakan pembandingan *Fcompression* dan *Fshear*. Nilai *Fcompression* tidak dkenankan > 3400 N dan *Fshear* tidak dkenankan > 500 N. Jika salah satu pembandingan belum memenuhi, dinyatakan aktivitas manual handling masih ada resiko [3]. Sedangkan dari aspek NIOSH, dinyatakan bawah resiko bekerja dinilai dengan skala 1 sampai dengan 3 dari penilaian bobot obyek kerja terhadap RWL [4]. Secara dominan integrasi Nordic Body Map dengan Biomekanika Kerja memerlukan kajian linguistic reasoning. Temuan linguistic reasoning dalam [5], menyatakan bahwa dengan *Fuzzy* bidang ergonomi dapat dinilai tingkat intervensi dengan *Fuzzy delphi*. Sedangkan temuan [6] menyatakan bahwa faktor Resiko, psiko-sosial, dapat diprediksi dengan *Fuzzy logic* menggunakan acuan metode Rapid Entire Body Assessment. Pembuktian lain, dari temuan riviui yang dilakukan oleh [7], [8], [9]. Celah yang diambil untuk pembaruan temuan yaitu integrasi *Nordic Body Maps*, tradisional biomekanika, NIOSH dan *Fuzzy* biomekanika terhadap *Nordic Body Maps*. Penelitian ini belum pernah dilakukan jika meninjau dari temuan pendahulu, karena liguistic reasoning menggunakan *Fuzzy-mamdani*.

Berdasarkan uraian masalah dan kajian temuan pendahulu, tujuan penelitian untuk mengetahui (1) nilai resiko dari *Fcompression* dan *Fshear*, (2) nilai *Lifting Index*, (3) bagian tubuh yang memiliki resiko $\geq 75\%$ dan (4) nilai *Fuzzy* biomekanika terhadap *Nordic Body Maps*. Lingkup penelitian pada aktivitas manual handling penyaringan bubuk kedelai, *Fuzzy* yang digunakan jenis *Fuzzy* mamdani, himpunan keanggotaan didapatkan dari perhitungan tradisional *Fcompression* dan *Fshear*. Manfaat penelitian guna meningkatkan parameter intervensi dengan mengacu nilai biomekanika, *Nordic Body Maps*, NIOSH dan *Fuzzy* mamdani.

Metode Penelitian

Desain penelitian menggunakan kuantitatif. Kuantitatif yang dimaksud adalah implementasi bidang ergonomi, yaitu biomekanika kerja. Tujuan yang dicapai untuk mengetahui bagian tubuh yang menderita musculoskeletal disorders, keamanan dan evaluasi dalam proses penyaringan bubuk kedelai.

Penelitian ini dilakukan pada industri rumahan produk tahu di Desa Blabak, Kabupaten Kediri. Obyek penelitian meninjau musculoskeletal disorders pada proses penyaringan bubuk kedelai dalam proses pembuatan tahu putih. Kriteria obyek sebagai bahan penelitian yaitu (1) pengrajin tahu, (2) proses penyaringan bubuk kedelai, (3) keluhan musculoskeletal disorders ditinjau dengan *Nordic Body Maps*, (4) evaluasi keamanan bekerja ditinjau dari biomekanika kerja, dan (5) kondisi pengangkatan saringan kedelai ditinjau dari NIOSH.

Penelitian ini menggunakan teknik sampel jenuh. Sampel yang ditarik sejumlah 24 pekerja menggunakan kriteria inklusi yaitu (1) responden dinyatakan sehat, (2) jenis kelamin laki – laki dan perempuan, dan (3) pengalaman dalam penyaringan bubuk kedelai.

Intrumen penelitian sebagai pendukung terlaksananya kegiatan penelitian. Intrumen penelitian yaitu (1) angket *Nordic Body Maps*, (2) *Microsoft Excel* sebagai pengolah data *Nordic Body Maps*, biomekanika dan NIOSH, (3) *Matlab R2017b* pengolahan data *Nordic Body Maps* menggunakan *Fuzzy- mamdani*, (4) Dokumentasi dengan smartphone terhadap postur kerja saat menyaring bubuk kedelai dan (5) *Corel- DRAW X8* untuk membuat sudut pada postur kerja.

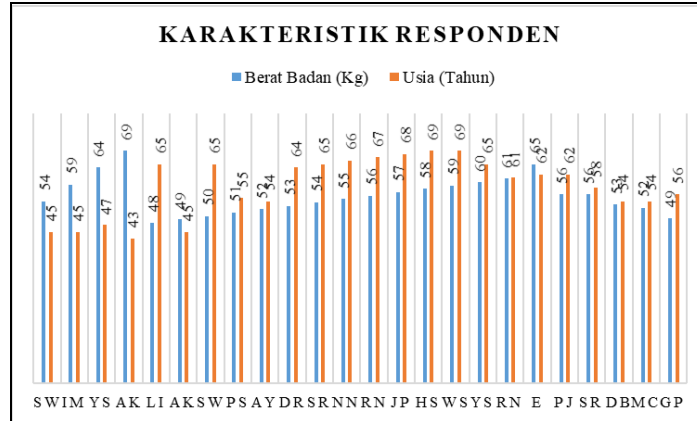
Teknik analisis data menggunakan tahapan berikut:

- a. Observasi dan dokumentasi mendalam mengenai postur kerja, khusus penyaringan bubuk kedelai dilokasi penelitian.
- b. Penyebaran dan penarikan angket tertutup *Nordic Body Maps* kepada responden berjumlah 24 pengrajin tahu [3], [4], [10].
- c. Klasifikasi nilai nordic body map [1], [2].
- d. Peninjauan biomekanika dengan variabel *Fcompression* dengan *Fshear* [11]–[14].
- e. Evaluasi aktivitas penyaringan bubuk kedelai menggunakan NIOSH [4], [15], [16].

f. Integrasi *Fuzzy* biomekanika kerja dengan *Nordic Body Maps* dengan tahapan fuzzifikasi, inferensi dan defuzzifikasi [17]–[22].

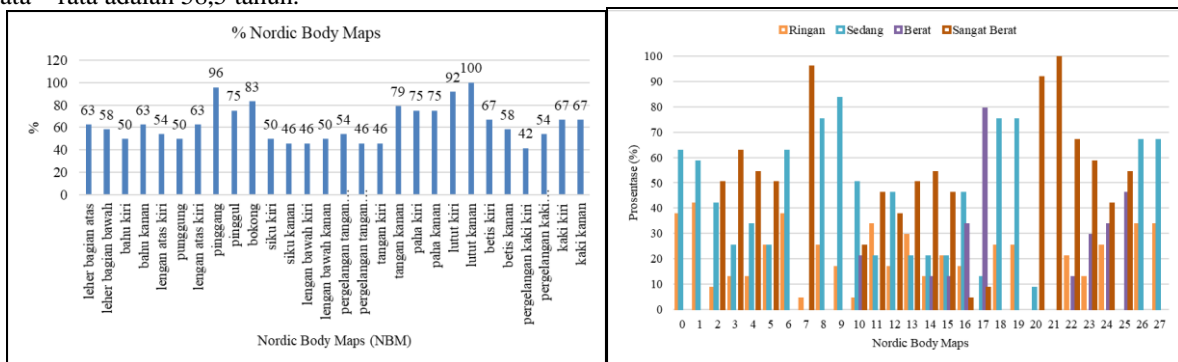
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan rekapitulasi data yang telah diolah, didapatkan hasil penelitian dengan pembahasan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 1. Karakteristik responden

Berdasarkan gambar (1), menunjukkan bahwa berat badan maksimum responden sebesar 69 kg dengan usia paling tinggi adalah 69 tahun. Sedangkan berat badan minimum sebesar 48 kg dengan usia paling rendah adalah 43 tahun. Jumlah responden keseluruhan adalah 24 orang dengan berat badan rata – rata sebesar 55,6 kg dan usia rata – rata adalah 58,5 tahun.



Gambar 2. Prosentase dan Skala *Nordic Body Maps*

Berdasarkan gambar (1), dinyatakan bahwa prosentase keluhan postur tubuh menggunakan acuan nilai $\geq 75\%$. Keluhan kondisi tubuh mencakup pinggang dengan keluhan 96%, pinggul dengan keluhan 75%, bokong dengan keluhan 83%, tangan kanan dengan keluhan 79%, paha kiri dan paha kanan dengan keluhan 75%, lutut kiri dengan keluhan 92%, dan lutut kanan dengan keluhan 100% dengan tanda warna merah yang berada di posisi prosentase $\geq 75\%$.

Tabel 1. Evaluasi Kerja dengan Biomekanika

No	Initial	g (m/s)	F _{tubuh} (N)	Momen Eksternal				Momen Internal			Faktor F _{compression} (Newton)			Faktor F _{shear} (Newton)		
				F _x	d ₁	F _y	d ₂	M _{luka}	d ₁	F _{shear}	Sin θ _{F_{tubuh}}	Sin θ _{F_{shear}}	F _{compression}	Cos θ _{F_{tubuh}}	Cos θ _{F_{shear}}	F _{shear}
1	SW	10	540	-24	0,33	-10	0,13	-9,2	0,018	-512	105	105	-113,77	105	105	-155,42
2	IM	10	590	-17	0,33	-10	0,13	-6,9	0,018	-384	110	110	352,92	110	110	-699,31
3	YS	10	640	-17	0,33	-10	0,13	-6,9	0,018	-384	103	103	846,77	103	103	-581,20
4	AK	10	690	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	103	103	840,14	103	103	-620,31
5	LI	10	477	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	100	100	54,11	100	100	497,27
6	AK	10	487	-17	0,29	-10	0,14	-6,3	0,019	-333	108	108	884,31	108	108	223,30
7	SW	10	497	-17	0,29	-10	0,14	-6,3	0,019	-333	102	102	928,73	102	102	60,82
8	PS	10	507	-24	0,29	-10	0,14	-8,4	0,019	-440	88	88	461,05	88	88	594,29
9	AY	10	517	-17	0,33	-10	0,13	-6,9	0,018	-384	102	102	999,36	102	102	62,85
10	DR	10	527	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	106	106	-113,93	106	106	434,32
11	SR	10	537	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	98	98	-17,80	98	98	-519,97
12	NN	10	547	-24	0,29	-10	0,14	-8,4	0,019	-440	87	87	-80,76	87	87	361,03
13	RN	10	557	-24	0,29	-10	0,14	-8,4	0,019	-440	106	106	-41,85	106	106	454,91
14	JP	10	567	-17	0,29	-10	0,14	-6,3	0,019	-333	93	93	-292,39	93	93	209,40
15	HS	10	577	-17	0,33	-10	0,13	-6,9	0,018	-384	105	105	-277,69	105	105	-164,25
16	WS	10	587	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	101	101	656,95	101	101	613,40
17	YS	10	597	-24	0,29	-10	0,13	-8,3	0,018	-459	83	83	1117,05	83	83	169,60
18	RN	10	607	-21	0,29	-10	0,14	-7,5	0,019	-394	106	106	-124,00	106	106	489,24
19	E	10	650	-17	0,33	-10	0,13	-6,9	0,018	-384	80	80	-341,65	80	80	-80,58
20	PJ	10	560	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	110	110	316,47	110	110	-669,34
21	SR	10	560	-17	0,29	-10	0,13	-6,2	0,018	-346	87	87	-185,61	87	87	368,63
22	DB	10	530	-24	0,29	-10	0,14	-8,4	0,019	-440	82	82	631,70	82	82	581,20
23	MC	10	520	-21	0,29	-10	0,14	-7,5	0,019	-394	96	96	1000,10	96	96	-111,15

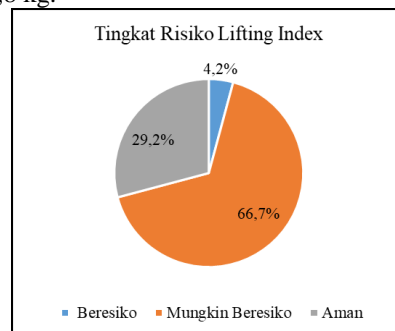
No	Inisial	g (m/s)	F _{arah} (N)	Momen Eksternal				Momen Internal				Faktor F _{compression} (Newton)			Faktor F _{shear} (Newton)		
				F _x	d ₁	F _y	d ₂	M _{aku}	d ₃	F _{biop}	Sin # F _{bubur}	Sin # F _{shear}	F _{compression}	Cos # F _{bubur}	Cos # F _{shear}	F _{shear}	
24	GP	10	490	-21	0,29	-10	0,14	-7,5	0,019	-394	92	92	-59,44	92	92	-364,59	
Total		240,0	13353,3	462,0	7,2	240,0	3,2	170,5	0,4	9255,4	2353,0	2353,0	7440,8	2353,0	2353,0	1154,1	
Rata-Rata		10,0	556,4	-19,3	0,3	-10,0	0,1	-7,1	0,0	-385,6	98,0	98,0	310,0	98,0	98,0	48,1	

Berdasarkan tabel (1), menunjukkan bahwa evaluasi biomekanika merujuk pada nilai *Fcompression* dan *Fshear*. Menurut pendapat [23], menyatakan nilai *Fcompression* > 3400 N dan *Fshear* > 500 N aktivitas penyaringan bubuk kedelai tidak aman. Nilai *Fcompression* tertinggi sebesar 1117,05 N < 3400 N dan terendah sebesar -341 N < 3400 N. Nilai *Fshear* tertinggi sebesar 613,4 N > 500 N dan terendah sebesar -699,31 N. Kedua kriteria yang belum memenuhi adalah *Fshear* berarti, aktivitas penyaringan bubuk kedelai masih memiliki Resiko.

Tabel 2. Penilaian Aktivitas Dengan NIOSH

No	Inisial	H	V	A	D	T	Beban Aktual	Faktor RWL							RWL awal	LI	Keterangan
								LC (Indo)	HM	VM	DM	AM	FM	CM			
1	SW	32	90	0	25	4	24	20	0,78	14,96	1,00	1	0,18	0,9	37,85	1,58	Mungkin Beresiko
2	IM	29	90	0	27	4	17	20	0,86	14,96	0,99	1	0,18	0,9	41,21	2,42	Mungkin Beresiko
3	YS	15	90	0	27	4	17	20	1,67	14,96	0,99	1	0,18	0,9	79,68	4,69	Beresiko
4	AK	34	80	0	27	4	17	20	0,74	4,985	0,99	1	0,18	0,9	11,72	0,69	Aman
5	LI	34	80	0	25	4	17	20	0,74	4,985	1,00	1	0,18	0,9	11,88	0,70	Aman
6	AK	28	80	0	25	4	17	20	0,89	4,985	1,00	1	0,18	0,9	14,42	0,85	Aman
7	SW	27	80	0	27	4	17	20	0,93	4,985	0,99	1	0,18	0,9	14,76	0,87	Aman
8	PS	33	90	0	25	4	24	20	0,76	14,96	1,00	1	0,18	0,9	36,71	1,53	Mungkin Beresiko
9	AY	30	90	0	26	4	17	20	0,83	14,96	0,99	1	0,18	0,9	40,10	2,36	Mungkin Beresiko
10	DR	27	90	0	26	4	17	20	0,93	14,96	0,99	1	0,18	0,9	44,55	2,62	Mungkin Beresiko
11	SR	31	90	0	27	4	17	20	0,81	14,96	0,99	1	0,18	0,9	38,55	2,27	Mungkin Beresiko
12	NN	31	90	0	26	4	24	20	0,81	14,96	0,99	1	0,18	0,9	38,81	1,62	Mungkin Beresiko
13	RN	31	90	0	27	4	24	20	0,81	14,96	0,99	1	0,18	0,9	38,55	1,61	Mungkin Beresiko
14	JP	31	90	0	25	4	17	20	0,81	14,96	1,00	1	0,18	0,9	39,08	2,30	Mungkin Beresiko
15	HS	31	80	0	25	4	17	20	0,81	4,985	1,00	1	0,18	0,9	13,03	0,77	Aman
16	WS	30	80	0	26	4	17	20	0,83	4,985	0,99	1	0,18	0,9	13,37	0,79	Aman
17	YS	31	90	0	26	4	24	20	0,81	14,96	0,99	1	0,18	0,9	38,81	1,62	Mungkin Beresiko
18	RN	34	90	0	27	4	21	20	0,74	14,96	0,99	1	0,18	0,9	35,15	1,67	Mungkin Beresiko
19	E	27	90	0	26	4	17	20	0,93	14,96	0,99	1	0,18	0,9	44,55	2,62	Mungkin Beresiko
20	PJ	33	80	0	26	4	17	20	0,76	4,985	0,99	1	0,18	0,9	12,15	0,71	Aman
21	SR	28	90	0	26	4	17	20	0,89	14,96	0,99	1	0,18	0,9	42,96	2,53	Mungkin Beresiko
22	DB	32	90	0	25	4	24	20	0,78	14,96	1,00	1	0,18	0,9	37,85	1,58	Mungkin Beresiko
23	MC	27	90	0	25	4	21	20	0,93	14,96	1,00	1	0,18	0,9	44,87	2,14	Mungkin Beresiko
24	GP	29	90	0	26	4	21	20	0,86	14,96	0,99	1	0,18	0,9	41,48	1,98	Mungkin Beresiko
Total		715,0	2090,0	0,0	623,0	96,0	462,0	480,0	20,7	289,1	23,8	24,0	4,3	21,6	812,1	42,5	
Rata-Rata		29,8	87,1	0,0	26,0	4,0	19,3	20,0	0,9	12,0	1,0	1,0	0,2	0,9	33,8	1,8	

Berdasarkan tabel (2), menunjukkan bahwa nilai H adalah kondisi dalam mengangkat tuas saringan dengan tinggi rata – rata 29,8 cm; nilai V adalah tinggi bak penyaringan bubuk kedelai yaitu 87,1 cm; nilai A adalah posisi dalam menyaring hanya konstan berarti dinilai 0⁰; nilai D dengan rata – rata 26 cm dengan rata- rata nilai T adalah 4 dengan rata – rata beban aktual sebesar 19,3 kg. Nilai LC (konstanta beban) menggunakan acuan indonesia yaitu 20 kg. Hasil nilai RWL (rekomenasi batas beban) dalam aktivitas manual penyaringan bubuk kedelai dengan rata – rata sebesar 33,8 kg.



Gambar 3. Tingkat *Lifting Index*

Nilai *Lifting Index* (LI) memiliki 3 kategori. Kategori pertama adalah beresiko dengan 1 responden dengan prosentase sebesar 4,2%; kategori mungkin beresiko dengan 16 orang dengan prosentase sebesar 66,7%; dan kateori aman dengan 7 orang dengan prosentase sebesar 29,2%.

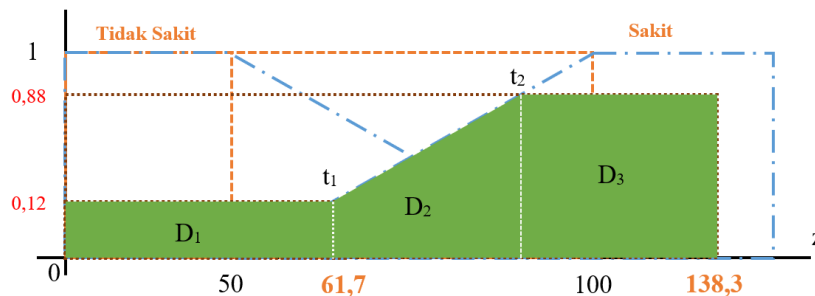
Pembuatan logaritma *Fuzzy* mamdani menggunakan 2 variabel input yaitu *Fcompression* (X₁) dan *Fshear* (X₂). Sedangkan 1 variabel output yaitu *Musculoskeletal Disorders* (Y). Merujuk pada spesifikasi dan rules yang telah dibuat dalam metode penelitian, akan dihitung nilai fuzzifikasi berdasarkan nilai derajat keanggotaan yaitu untuk *Fcompression* (X₁) sebesar 1117,05 dan *Fshear* (X₂) sebesar 613,4.

Tabel 3. Fuzzifikasi

Rumus Fuzzifikasi		
$F_{compression} \mu(\text{sangat aman}) = \begin{cases} 0 & ; x \geq 2000 \\ \frac{2000-x}{2000-1000} & ; 1000 \leq x \leq 2000 \\ 1 & ; x \leq 1000 \end{cases}$	$F_{shear} \mu(\text{aman}) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1000 / x \geq 3600 \\ \frac{x-1000}{3600-1000} & ; 1000 \leq x \leq 3000 \\ \frac{3500-x}{3500-3000} & ; 3000 \leq x \leq 3600 \end{cases}$	$F_{compression} \mu(\text{tidak aman}) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 1000 \\ \frac{x-2000}{3600-2000} & ; 1000 \leq x \leq 3600 \\ 1 & ; x \geq 3600 \end{cases}$
$F_{shear} \mu(\text{aman}) = \begin{cases} 0 & ; x \geq 400 \\ \frac{400-x}{400-200} & ; 200 \leq x \leq 700 \\ 1 & ; x \leq 200 \end{cases}$	$F_{shear} \mu(\text{mungkin beresiko}) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 200 / x \geq 700 \\ \frac{x-200}{400-200} & ; 200 \leq x \leq 400 \\ \frac{700-x}{700-400} & ; 400 \leq x \leq 700 \end{cases}$	$F_{shear} \mu(\text{beresiko}) = \begin{cases} 0 & ; x \leq 400 \\ \frac{x-400}{700-400} & ; 400 \leq x \leq 700 \\ 1 & ; x \geq 700 \end{cases}$
$NBM \mu(\text{Tidak Sakit}) = \begin{cases} 0 & ; z \geq 100 \\ \frac{50-z}{50-100} & ; 50 \leq z \leq 100 \\ 1 & ; z \leq 50 \end{cases}$	$NBM \mu(\text{Sakit}) = \begin{cases} 0 & ; z \leq 50 \\ \frac{z-400}{500-400} & ; 50 \leq z \leq 100 \\ 1 & ; z \geq 100 \end{cases}$	

Tabel 4. Inferensi

Rules	$a_{predikat_n}$	Nilai Terpilih (Min)	Nilai Terpilih (Max)
R ₁	$\mu_{sangat\ aman}(x) \cap \mu_{aman}(x)$	(0,88; -1,07) → -1,07	
R ₂	$\mu_{sangat\ aman}(x) \cap \mu_{mungkin\ beresiko}(x)$	(0,88; 2,07) → 0,88	0,88 → Tidak Sakit
R ₃	$\mu_{sangat\ aman}(x) \cap \mu_{beresiko}(x)$	(0,88; 0,71) → 0,71	
R ₄	$\mu_{aman}(x) \cap \mu_{aman}(x)$	(0,12; -1,07) → -1,07	
R ₅	$\mu_{aman}(x) \cap \mu_{mungkin\ beresiko}(x)$	(0,12; 2,07) → 0,12	0,12 → Sakit
R ₆	$\mu_{aman}(x) \cap \mu_{beresiko}(x)$	(0,12; 0,71) → -0,12	



Gambar 4. Kurva nilai inferensi

Berdasarkan gambar (4), fungsi himpunan baru (z) dan inferensi nilai t_1 dan t_2 yaitu:

$$\mu(z) = \begin{cases} 0,12 & ; z \leq 61,7 \\ \frac{z-50}{100-50} & ; 61,7 \leq z \leq 138,3 \\ 0,88 & ; z \geq 100 \end{cases}$$

$$t_{1(0,12)} = \frac{t_1 - 50}{100 - 50} = 61,7$$

$$t_{2(0,88)} = \frac{100 - 50}{100 - 50} = 138,3$$

Tahap defuzzifikasi nilai Z momen (M) dan luas (A) sebagai berikut:

$$M_1 = \int_0^{61,7} 0,12 z dz = 22,8$$

$$A_1 = \int_0^{61,7} 0,12 dz = 7,4$$

$$M_2 = \int_{61,7}^{100} \frac{z-50}{100-50} z dz = 2002,7$$

$$A_2 = \int_{61,7}^{100} \frac{z-50}{100-50} dz = 23,6$$

$$M_3 = \int_{100}^{138,3} 0,88 z dz = 4015,8$$

$$A_3 = \int_{100}^{138,3} 0,88 dz = 33,7$$

Defuzzifikasi nilai Z dengan metode centroid sebagai berikut:

$$z^* = \frac{\int \mu(z) z dz}{\int \mu(z) dz} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{6041,3}{64,7} = 93,3$$

Berdasarkan nilai biomekanika bahwa $F_{compression}$ sebesar 1117,05 N dan F_{shear} sebesar 613,4 N terhadap *Nordic Body Maps* memberikan nilai Fuzzy mamdani sebesar 93,3 satuan. Nilai tersebut masuk kategori *Nordic*

Body Maps dinyatakan aktivitas penyaringan bubuk kedelai masih beresiko tinggi. Resiko ini menyebabkan beberapa anggota tubuh sakit $\geq 75\%$, sesuai dengan gambar (2) yaitu prosentase dan Skala *Nordic Body Maps*.

Simpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil penelitian, dinyatakan bahwa nilai *Fcompression* sebesar 1117,05 N < 3400 N dan nilai *Fshear* sebesar 613,4 N > 500 N. Kedua kriteria belum memenuhi sehingga masih memiliki Resiko. Nilai *Lifting Index* (LI) beresiko terhadap 1 responden (4,2%); mungkin beresiko terhadap 16 responden (66,7%) menjadi dominan; dan aman terhadap 7 responden (29,2%). Nilai tradisional *Nordic Body Maps* yang menyatakan bahwa interval 75% - 100% terjadi keluhan sangat sakit. Keluhan pada pinggang (96%), pinggul (75%), bokong (83%), tangan kanan (79%), paha kiri dan paha kanan (75%), lutut kiri (92%), dan lutut kanan (100%). Pembuktian tradisional biomekanika sesuai dengan *Fuzzy* biomekanika terhadap *Nordic Body Maps*, dinyatakan aktivitas penyaringan bubuk kedelai memiliki resiko sebesar 93,3%. Aktivitas penyaringan bubuk kedelai, masih memiliki resiko, baik dari tradisional biomekanika, NIOSH, *Nordic Body Maps* dan *Fuzzy* biomekanika terhadap *Nordic Body Maps*. Oleh sebab itu, dipenelitian mendatang diperlukan intervensi yang sesuai dari aspek fasilitas dan lingkungan kerja.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan kepada Universitas Kadiri, khususnya program studi Teknik Industri yang telah memberikan fasilitas dalam penelitian ini. Tim dari Universitas Sebelas Maret, dan Institut Adhi Tama Surabaya yang telah memberikan kontribusi terhadap penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] E. B. T. Atmojo, "Analisis Nordic Body Map Terhadap Proses Pekerjaan Penjemuran Kopi Oleh Petani Kopi," *Jurnal Valtech*, vol. 3, no. 1, pp. 30–33, 2020.
- [2] N. F. Dewi, "Identifikasi Resiko Ergonomi dengan Metode Nordic Body Map Terhadap Perawat Poli RS X," *Jurnal Sosial Humaniora Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 125–134, 2020, doi: 10.7454/jsht.v2i2.90.
- [3] A. H. Simarmata, K. Sita, T. Herwanto, and A. Thoriq, "Analisis Antropometri dan Biomekanik Penggunaan Mesin Pemetik Daun Teh Tipe GT 120 Ochiai," *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, vol. 7, no. 3, p. 149, 2020, doi: 10.21082/jtidp.v7n3.2020.p149-162.
- [4] J. Chin, Herlina, H. Iridiastadi, L. Shu-Chiang, and S. Fadil Persada, "Workload Analysis by Using Nordic Body Map, Borg RPE and NIOSH Manual Lifting Equation Analyses: A Case Study in Sheet Metal Industry," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1424, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1424/1/012047.
- [5] M. Ahmadi, S. A. Zakerian, H. Salmanzadeh, and A. Mortezapour, "Identification of the Ergonomic Interventions Goals from the Viewpoint of Ergonomics Experts of Iran using *Fuzzy Delphi* Method," *International Journal of Occupational Hygiene*, vol. 8, no. 3, pp. 151–157, 2016.
- [6] 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," *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, vol. 33, no. 1, pp. 1–7, 2019, doi: 10.47176/mjiri.33.136.
- [7] M. Farzandipour, E. Nabovati, S. Saeedi, and E. Fakharian, "*Fuzzy* decision support systems to diagnose musculoskeletal disorders: A systematic literature review," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 163, pp. 101–109, 2018, doi: 10.1016/j.cmpb.2018.06.002.
- [8] A. Lauraitis, R. Maskeliunas, and R. Damaševičius, "ANN and *Fuzzy logic* based model to evaluate huntington disease symptoms," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/4581272.
- [9] B. Rathore, A. K. Pundir, R. Iqbal, and R. Gupta, "Development of *Fuzzy* based ergonomic-value stream mapping (E-VSM) tool: a case study in Indian glass artware industry," *Production Planning & Control*, vol. 0, no. 0, pp. 1–21, 2022, doi: 10.1080/09537287.2022.2035447.
- [10] S. Rahayuningsih, A. Widyanti, L. D. Indrasari, and H. R. Soetisna, "Prevalence of musculoskeletal symptoms/disorders in tofu industries in Kediri," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1977, no. June 2018, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1063/1.5042883.
- [11] P. Corbeil *et al.*, "Biomechanical analysis of manual material handling movement in healthy weight and obese workers," *Applied Ergonomics*, vol. 74, no. August, pp. 124–133, 2019, doi: 10.1016/j.apergo.2018.08.018.

- [12] A. Arendra and S. Akhmad, "Development of esMOCA Biomechanic, Motion Capture Instrumentation for Biomechanics Analysis," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 953, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/953/1/012130.
- [13] E. Mas'idah, W. Fatmawati, and L. Ajibta, "Analisa Manual Material Handling (MMH) dengan Menggunakan Metode Biomekanika Untuk Mengidentifikasi Resiko Cidera Tulang Belakang (Musculoskeletal Disorder)," *Universitas Sultan Agung*, vol. 45, no. 119. pp. 37–56, 2009. doi: 10.1016/j.gde.2004.09.003.
- [14] E. Mas'idah, W. Fatmawati, and L. Ajibta, "Analisa Manual Material Handling (MMH) dengan Menggunakan Metode Biomekanika Untuk Mengidentifikasi Resiko Cidera Tulang Belakang (Musculoskeletal Disorder)," *Universitas Sultan Agung*, vol. 45, no. 119, pp. 37–56, 2009, doi: 10.1016/j.gde.2004.09.003.
- [15] NIOSH, "Applications Manual For The Revised NIOSH Lifting Equation," *www.cdc.gov/niosh*, 1994.
- [16] D. P. Mayangsari, S. Sunardi, and T. Tranggono, "Analisis Resiko Ergonomi Pada Pekerjaan Mengangkat Di Bagian Gudang Bahan Baku Pt.Aap Dengan Metode Niosh Lifting Equation," *Juminten*, vol. 1, no. 3, pp. 91–103, 2020, doi: 10.33005/juminten.v1i3.109.
- [17] L. A. R. Winanda, A. Arifin, F. Arrofiqi, T. W. Adi, and N. Anwar, "A design concept of Fuzzy decision support system for construction workers safety monitoring," *MATEC Web of Conferences*, vol. 258, p. 02019, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201925802019.
- [18] A. S. Markowski, M. S. Mannan, and A. Bigoszewska, "Fuzzy logic for process safety analysis," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 22, no. 6, pp. 695–702, 2009, doi: 10.1016/j.jlp.2008.11.011.
- [19] A. Azadeh, I. M. Fam, M. Khoshnoud, and M. Nikafrouz, "Design and implementation of a Fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery," *Information Sciences*, vol. 178, no. 22, pp. 4280–4300, 2008, doi: 10.1016/j.ins.2008.06.026.
- [20] S. Hajji *et al.*, "Using a mamdani Fuzzy inference system model (Mfism) for ranking groundwater quality in an agri-environmental context: Case of the hammamet-nabeul shallow aquifer (Tunisia)," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 18, 2021, doi: 10.3390/w13182507.
- [21] M. F. Ani, S. R. Kamat, and M. Fukumi, "Development of Decision Support System via Ergonomics Approach for Driving Fatigue Detection," vol. 1, no. 1, pp. 60–72, 2020.
- [22] P. Pancardo, J. A. Hernández-Nolasco, and F. Acosta-Escalante, "A Fuzzy Logic-Based Personalized Method to Classify Perceived Exertion in Workplaces Using a Wearable Heart Rate Sensor," *Mobile Information Systems*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/4216172.
- [23] H. Iridiastadi and Yassierli, *Ergonomi Suatu Pengantar*, 1st ed. Bandung: Remaja Rosdakarya, 2015.