

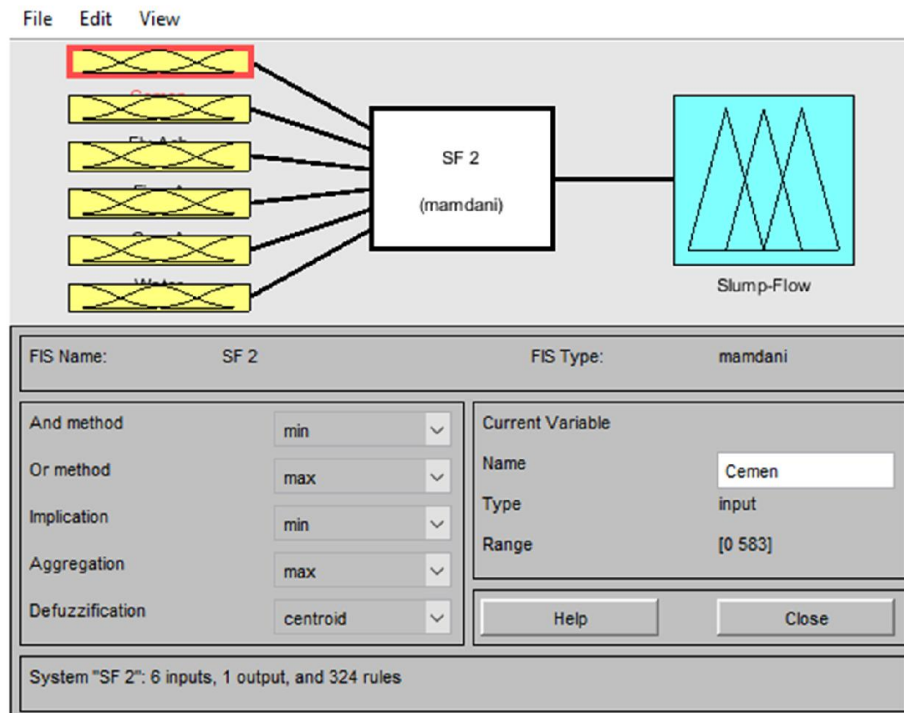
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian *Slump-Flow*

4.1.1 Pemodelan Berbasis Logika *Fuzzy Mamdani* pada *Slump-flow*

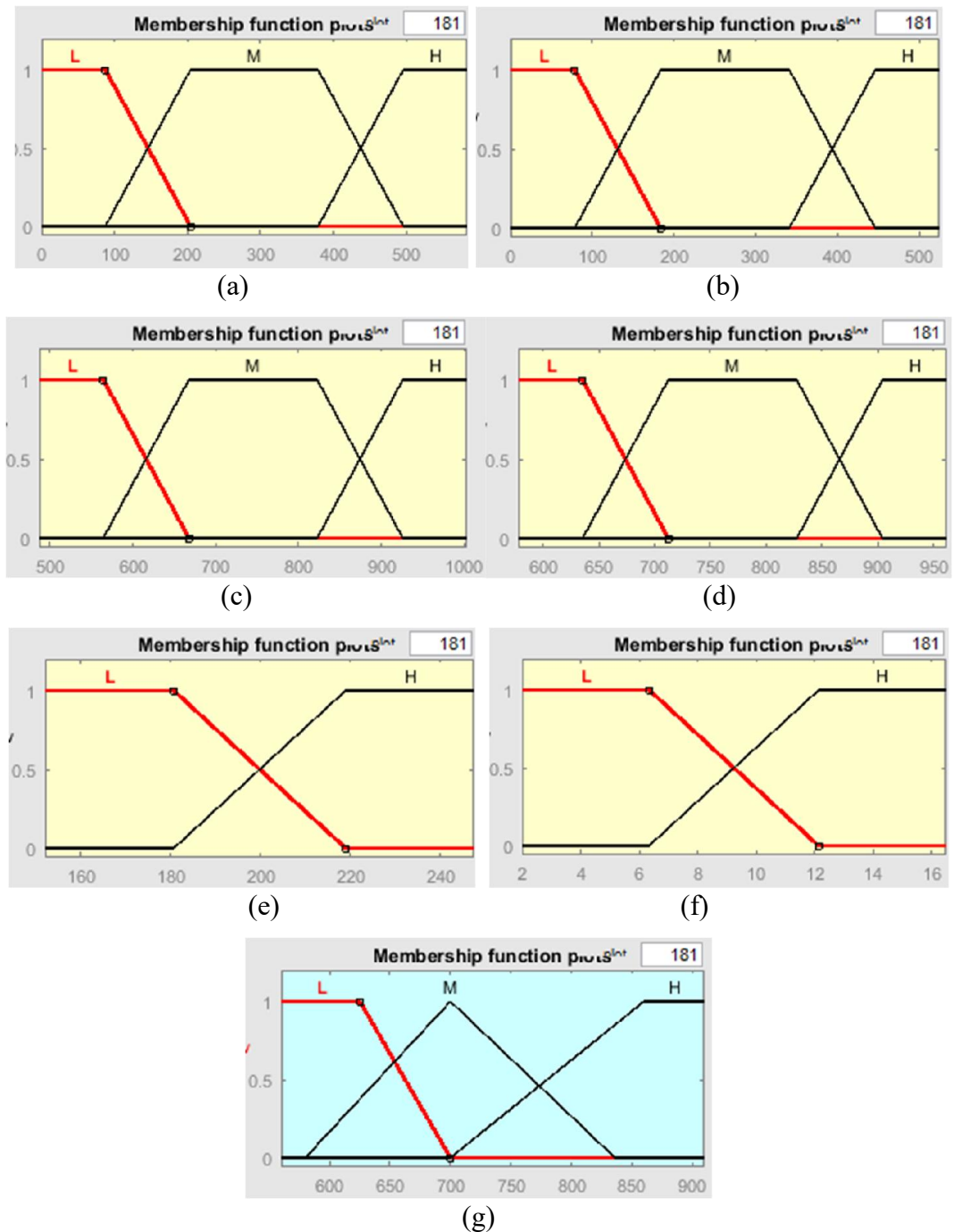
Pemodelan berbasis logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi nilai pengujian *slump flow* dilakukan dengan dibuatnya 6 *input* dan 1 *output* seperti pada Gambar 4.1. Gambar tersebut menunjukkan *input* yang dibuat yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*; sedangkan *output* dibuat yaitu *slump-flow*.



Gambar 4.1 Pembuatan *input* dan *output* pada *slump-flow*

Membership function merupakan batasan (dalam bahasa *fuzzy* disebut dengan semesta) dan keanggotaan himpunan yang dibangun dalam tiap *input* dan *output*. *Membership function* dari tiap *input* dan *output* dibuat seperti pada Gambar 4.2, pada gambar tersebut terlihat semesta yang digunakan yaitu pada sumbu x, fungsi keanggotaan yang digunakan seperti L, M, dan H yang bisa dibuat sesuai kebutuhan. Pembuatan *membership function* hanya mengacu pada

semesta dari nilai data terendah dan tertinggi pada tiap-tiap *input* maupun *output* atau bisa dikreasikan tergantung kebutuhan, *membership function* untuk *input* dibuat dengan nilai data terendah dan tertinggi sementara untuk *output* dibuat dengan penyesuaian agar didapatkan nilai prediksi yang maksimal.



Gambar 4.2 Keanggotaan himpunan (a) semen (b) *fly ash* (c) pasir (d) kerikil (e) air (f) *superplasticizer* (g) *slump-flow*

Fungsi keanggotaan dari semua *input* dibuat dengan *type trapmf* sedangkan untuk *output* dibuat dengan gabungan *type trapmf* dan *trimf* seperti pada Tabel 4.1. Tabel 4.1 menjelaskan tentang nilai yang digunakan dalam semesta, fungsi keanggotaan yang dibangun (himpunan), tipe fungsi keanggotaan yang dipakai serta nilai yang digunakan untuk pembuatan fungsi keanggotaan. Semen memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, *fly ash* memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, pasir memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, kerikil memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, air memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, SP memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, sementara *slump flow* memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan 2 tipe *trapmf* serta 1 tipe *trimf*. Aturan (dalam bahasa *fuzzy* disebut dengan *rules*) dibuat sebanyak 324 *rules* yang ditampilkan pada Lampiran 2, aturan dibuat berdasarkan *membership function* yang telah dibuat, pembuatan dilakukan dengan sistem *trial and error* untuk mencari aturan yang paling tepat digunakan.

Tabel 4.1 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *slump-flow*

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Semen	[0-583]	L	<i>trapmf</i>	[-204 -87,45 87,5 204,1]
		M	<i>trapmf</i>	[87,5 204 378,9 495,5]
		H	<i>trapmf</i>	[378,9 495,5 670,5 787]
<i>Fly ash</i>	[0-525]	L	<i>trapmf</i>	[-183,8 -78,75 78,75 183,8]
		M	<i>trapmf</i>	[78,75 183,8 341,3 446,3]
		H	<i>trapmf</i>	[341,3 446,3 603,8 708,8]
Pasir	[487-1003]	L	<i>trapmf</i>	[306,4 409,6 564,4 667,6]
		M	<i>trapmf</i>	[564,4 667,6 822,4 925,6]
		H	<i>trapmf</i>	[822,4 925,6 1080 1184]
Kerikil	[578-962]	L	<i>trapmf</i>	[443,6 520,4 635,6 712,4]
		M	<i>trapmf</i>	[635,6 712,4 827,6 904,4]
		H	<i>trapmf</i>	[827,6 904,4 1020 1096]
Air	[152-247,5]	L	<i>trapmf</i>	[85,15 123,3 180,7 218,9]
		H	<i>trapmf</i>	[180,7 218,9 276,1 314,4]
SP	[1,98-16,5]	L	<i>trapmf</i>	[-8,184 -2,376 6,332 12,13]
		H	<i>trapmf</i>	[6,334 12,14 20,86 26,66]
<i>Slump-flow</i>	[560-910]	L	<i>trapmf</i>	[403 543 625 700]
		M	<i>trimf</i>	[580 700 836]
		H	<i>trapmf</i>	[700 860 927 1070]

4.1.2 Hasil Prediksi Pengujian *Slump-flow*

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai pengujian *slump-flow* berjumlah 60 data sekunder dari berbagai jurnal, dari data tersebut didapatkan nilai prediksi yang dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data yang diperoleh merupakan data seragam yang memiliki nilai berkisar antara 600-900 mm. Hasil prediksi ditunjukkan oleh nilai-nilai yang mendekati data pengujian yang ditunjukkan pada nilai *error* pada tiap data. Nilai hasil uji *slump-flow* dari analisis logika *fuzzy* didapatkan nilai 705,5 mm yang mendekati hasil uji *slump-flow* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 705 mm dengan selisih 0,5 mm, sedangkan hasil prediksi uji *slump-flow* yang cukup jauh didapatkan nilai 705,3 mm dengan hasil uji *slump-flow* pada pengujian laboratorium sebesar 800 mm sehingga memiliki selisih 94,7 mm.

Tabel 4.2 Hasil prediksi nilai uji *slump-flow*

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>Slump-flow</i> (mm)	<i>Fuzzy</i> (mm)	<i>Error</i> (%)
1	465	85	910	590	227,7	10,73	673,3	720,8	7,05
2	440	110	910	590	228,3	11,01	690	705,4	2,23
3	385	165	910	590	234,4	9,91	673,3	661,4	1,77
4	355	195	910	590	241,6	9,91	633,3	618,3	2,37
5	200	157	961	743	176	7,6	720	696,3	3,29
6	250	154	945	731	173	8,5	710	689,8	2,85
7	300	148	928	718	172	8,2	700	691,7	1,19
8	539	0	743	924	178	5,93	720	705,3	2,04
9	437	80	743	924	176	4,65	700	706,2	0,89
10	333	162	743	924	173	3,71	705	705,5	0,07
11	225	247	743	924	170	3,21	715	705,3	1,36
12	115	336	743	924	167	2,93	730	652,4	10,63
13	0	439	743	924	158	1,98	715	703,5	1,61
14	530	0	768	668	238,5	4,6	660	706	6,97
15	477	53	768	668	238,5	4,6	675	706	4,59
16	424	106	768	668	238,5	4,6	685	695,2	1,49
17	371	159	768	668	238,5	4,6	690	673,5	2,39
18	318	212	768	668	238,5	4,6	685	673,5	1,68
19	265	265	768	668	238,5	4,6	678	673,5	0,66
20	400	0	1003	578	152	2,5	750	833,7	11,16
21	380	20	1003	578	152	2,5	760	837,6	10,21
22	360	40	1003	578	152	2,5	800	837,8	4,72
23	340	60	1003	578	152	2,5	830	837,8	0,94
24	500	0	1003	578	190	3,12	840	832,1	0,94
25	475	25	1003	578	190	3,12	870	803,4	7,66

Tabel 4.2 Hasil prediksi nilai uji *slump-flow* (Lanjutan)

No	Semen (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>Slump-flow</i> (mm)	Fuzzy (mm)	Error (%)
26	465	85	910	590	225,5	10,73	675	720,8	6,79
27	440	110	910	590	225,5	11	690	705,5	2,25
28	385	165	910	590	236,5	9,9	675	661,5	2
29	355	195	910	590	242	9,9	635	618,3	2,63
30	250	275	842	772	178,5	2,1	793	705,5	11,03
31	333	215	835	766	180,8	2,2	786	705,3	10,27
32	417	153	828	759	182,4	2,9	773	735,2	4,89
33	500	101	820	753	192,3	3,6	766	705,7	7,87
34	583	50	813	745	196,2	4,4	742	706	4,85
35	350	150	900	600	175	11	660	704,1	6,68
36	300	200	900	600	175	10,75	675	654	3,11
37	250	250	900	600	175	10,5	680	658,2	3,21
38	350	147	838	934	172	2,68	650	700,6	7,78
39	350	147	852	921	175	2,68	665	694,3	4,41
40	350	147	840	921	192,5	2,68	750	699,7	6,71
41	350	161	840	921	192,5	2,75	695	699,8	0,69
42	350	168	835	917	192,5	2,79	740	701,8	5,16
43	165	385	656	834	187	11	790	715,4	9,44
44	225	525	487	620	247,5	15	800	705,3	11,84
45	275	275	691	880	187	13,75	770	705,7	8,35
46	325	325	611	777	221	13	800	706,1	11,74
47	385	165	732	931	170,5	13,75	680	704,1	3,54
48	495	55	756	962	159,5	16,5	560	613,5	9,55
49	500	0	967	694	175	8	630	688,3	9,25
50	375	125	938	673	175	7,5	660	737,7	11,77
51	300	200	923	663	175	7,5	680	698,4	2,71
52	225	275	908	652	175	7,5	700	698,7	0,19
53	480	0	890	810	192	13,3	650	683	5,08
54	432	48	890	810	192	9,9	665	716,5	7,74
55	384	96	890	810	192	9,68	685	714,2	4,26
56	336	144	890	810	192	9,4	680	718,5	5,66
57	450	0	890	810	202	9,25	687	720,2	4,83
58	405	45	890	810	202	8,2	689	723,2	4,96
59	360	90	890	810	202	6,4	690	723,2	4,81
60	315	135	890	810	202	4,8	695	717,9	3,29

Hasil perhitungan *error* dikelompokkan seperti pada Tabel 4.3. Tabel 4.3 menunjukkan banyaknya nilai *error* yang dikelompokkan pada kenaikan setiap 1,7% dimulai dari 0%. Data yang ada menunjukkan ada 12 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 0-1,7 %, 14 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 1,7-3,4 %, 11 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan

rentang 3,4-5,1 %, 5 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 5,1-6,8 %, 7 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 6,8-8,5 %, 3 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 8,5-10,2 % dan terdapat 8 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 10,2-11,9 %.

Tabel 4.3 Kelompok data *error* pada *slump-flow*

Rentang (%)	Banyak Data
0-1,7	12
1,7-3,4	14
3,4-5,1	11
5,1-6,8	5
6,8-8,5	7
8,5-10,2	3
10,2-11,9	8

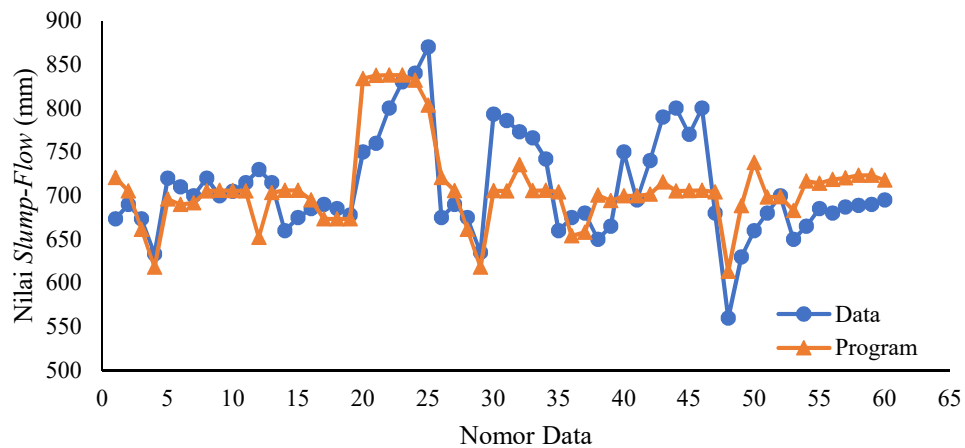
Hasil dari perhitungan *error* dirangkum dalam Tabel 4.4, dari perhitungan *error* didapat nilai *error* rata-rata yaitu 5 % dengan nilai *error* terendah yaitu 0,07 % dan nilai *error* tertinggi yaitu 11,84 %. Standar deviasi yang didapat dari *error* yaitu 3,42 % yang menunjukkan bahwa rata-rata jarak nilai *error* setiap data terhadap rata-rata yaitu 3,42 dalam satuan persen (%).

Tabel 4.4 Hasil rangkuman *error slump-flow*

Keterangan	<i>Error</i> (%)
Standar Deviasi	3,42
Minimal	0,07
Maksimal	11,84
Rata-rata	5

Perbandingan antara data pengujian dengan nilai prediksi yang dihubungkan antara nilai *slump-flow* dengan nomor data ditampilkan pada Gambar 4.3 dimana Grafik Program merupakan nilai prediksi uji *slump-flow* dari logika *fuzzy mamdani* sementara Grafik Data merupakan data sekunder hasil pengujian laboratorium. Terlihat perbedaan nilai pada beberapa titik dalam Gambar 4.3. Data 20 sampai 25 pada “Program” memiliki nilai yang seragam antara 803-837 mm sedangkan pada “Data” memiliki nilai yang cenderung naik dari 750-870 mm, data 30 sampai 34 pada “Program” juga memiliki nilai yang datar antara 704-735 mm sedangkan pada “Data” memiliki nilai yang menurun dari 793-742 mm, begitu pula data 40 sampai 46 pada “Program” memiliki nilai yang

seragam dan datar antara 699-715 mm sedangkan pada “Data” memiliki nilai yang naik turun antara 699-800 mm. Grafik data dan program memiliki perbedaan pada beberapa nilai namun keduanya masih memiliki alur yang sama tanpa bersebrangan sehingga hasil prediksi masih bisa mendekati nilai data pengujian.

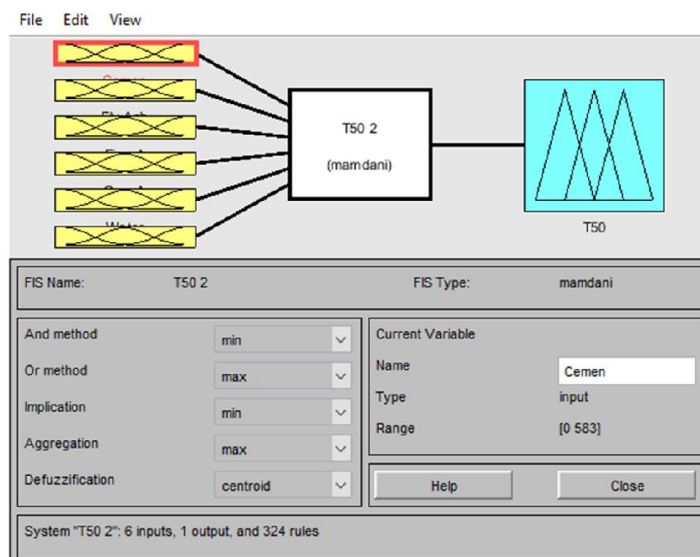


Gambar 4.3 Hubungan antara nilai *slump-flow* dan nomor data

4.2 Pengujian *T50*

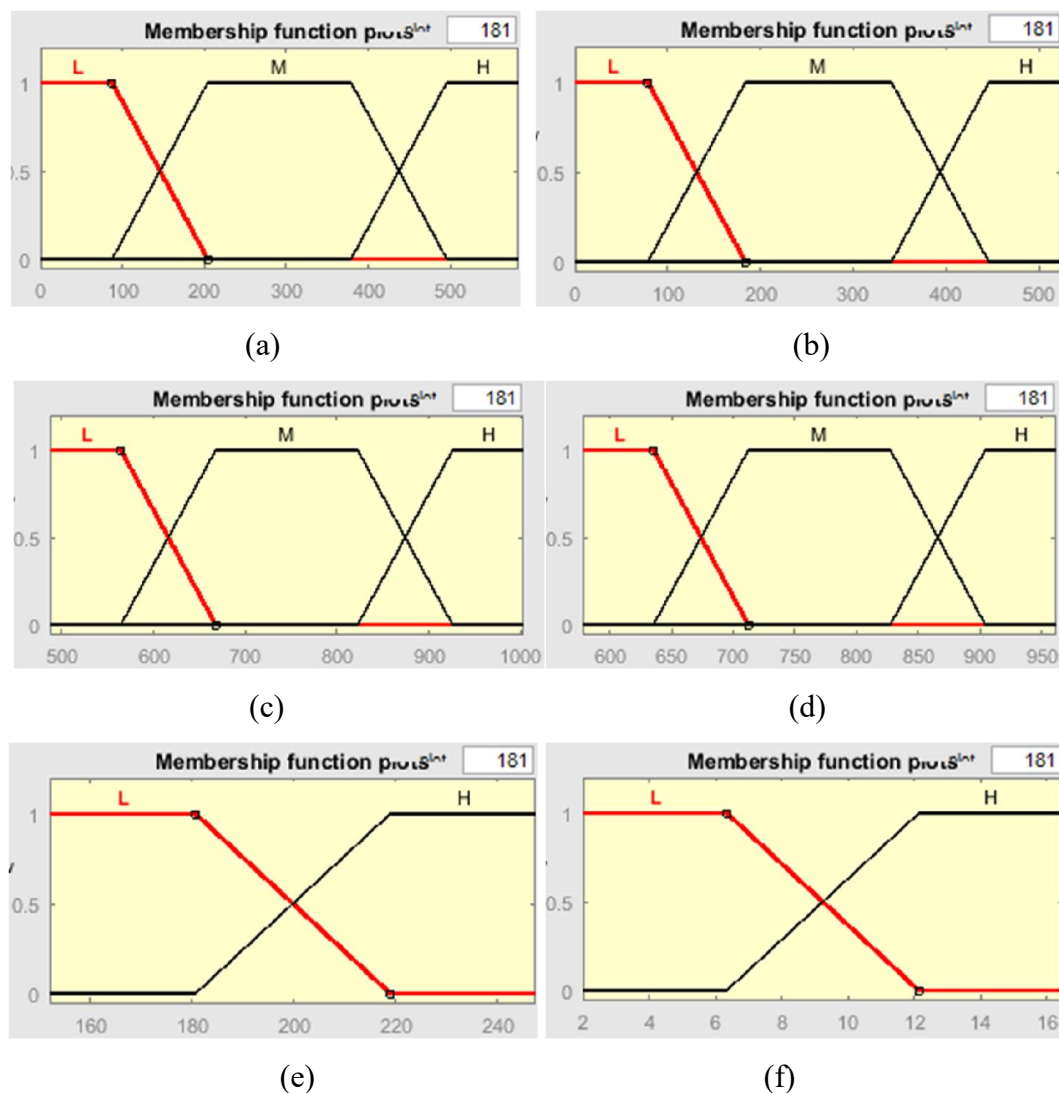
4.2.1 Pemodelan Berbasis Logika *Fuzzy Mamdani* pada *T50*

Pemodelan berbasis logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi nilai pengujian *T50* dibuat dengan 6 *input* dan 1 *output* seperti pada Gambar 4.6. Gambar 4.4 menunjukkan *input* yang dibuat yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*; sedangkan *output* dibuat yaitu *T50*.

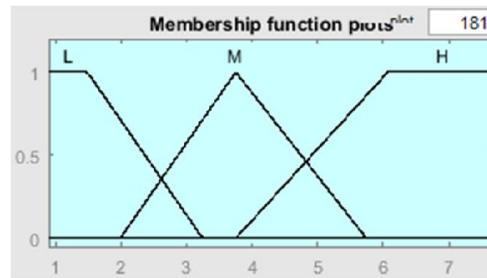


Gambar 4.4 Pembuatan *input* dan *output* pada *T50*

Membership function dari tiap *input* dan *output* dibuat seperti pada Gambar 4.5, pada gambar tersebut terlihat semesta yang digunakan yaitu pada sumbu x, fungsi keanggotaan yang digunakan seperti L, M, dan H untuk semen, *fly ash*, pasir, kerikil, *T50* serta L dan H untuk air dan *superplasticizer* yang bisa dibuat sesuai kebutuhan. Pembuatan *membership function* hanya mengacu pada semesta dari nilai data terendah dan tertinggi pada tiap-tiap *input* maupun *output* atau bisa dikreasikan tergantung kebutuhan. *Membership function* untuk *input* dibuat dengan nilai data terendah dan tertinggi sementara untuk *output* dibuat dengan penyesuaian agar didapatkan nilai prediksi yang maksimal.



Gambar 4.5 Keanggotaan himpunan (a) semen (b) *fly ash* (c) pasir (d) kerikil (e) air (f) *superplasticizer*



(g)

Gambar 4.5 Keanggotaan himpunan (g) *T50* (Lanjutan)

Fungsi keanggotaan dari semua *input* dibuat dengan *type trapmf* sedangkan untuk *output* dibuat dengan gabungan *type trapmf* dan *trimf* seperti pada Tabel 4.5. Tabel 4.5 menjelaskan tentang nilai yang digunakan dalam semesta, fungsi keanggotaan yang dibangun (himpunan), tipe fungsi keanggotaan yang dipakai serta nilai yang digunakan untuk pembuatan fungsi keanggotaan. Semen memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, *fly ash* memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, pasir memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, kerikil memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, air memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, SP memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, sementara *slump flow* memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan 2 tipe *trapmf* serta 1 tipe *trimf*. Aturan (dalam bahasa *fuzzy* disebut dengan *rules*) dibuat sebanyak 324 *rules* yang ditampilkan pada Lampiran 4, aturan dibuat berdasarkan *membership function* yang telah dibuat, pembuatan dilakukan dengan sistem *trial and error* untuk mencari aturan yang paling tepat digunakan.

Tabel 4.5 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *T50*

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Semen	[0-583]	L	<i>trapmf</i>	[-204 -87,45 87,5 204,1]
		M	<i>trapmf</i>	[87,5 204 378,9 495,5]
		H	<i>trapmf</i>	[378,9 495,5 670,5 787]
<i>Fly ash</i>	[0-525]	L	<i>trapmf</i>	[-183,8 -78,75 78,75 183,8]
		M	<i>trapmf</i>	[78,75 183,8 341,3 446,3]
		H	<i>trapmf</i>	[341,3 446,3 603,8 708,8]
Pasir	[487-1003]	L	<i>trapmf</i>	[306,4 409,6 564,4 667,6]
		M	<i>trapmf</i>	[564,4 667,6 822,4 925,6]
		H	<i>trapmf</i>	[822,4 925,6 1080 1184]
Kerikil	[578-962]	L	<i>trapmf</i>	[443,6 520,4 635,6 712,4]
		M	<i>trapmf</i>	[635,6 712,4 827,6 904,4]
		H	<i>trapmf</i>	[827,6 904,4 1020 1096]

Tabel 4.5 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *T50* (Lanjutan)

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Air	[152-247,5]	L	<i>trapmf</i>	[85,15 123,3 180,7 218,9]
		H	<i>trapmf</i>	[180,7 218,9 276,1 314,4]
SP	[1,98-16,5]	L	<i>trapmf</i>	[-8,184 -2,376 6,332 12,13]
		H	<i>trapmf</i>	[6,334 12,14 20,86 26,66]
<i>T50</i>	[0,9-7,7]	L	<i>trapmf</i>	[-5,954 -2,394 1,486 3,246]
		M	<i>trimf</i>	[1,99 3,75 5,741]
		H	<i>trapmf</i>	[3,75 6,07 9 9,7]

4.2.2 Hasil Prediksi Pengujian *T50*

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai *T50* berjumlah 36 data yang diambil dari jurnal penelitian SCC, dari data yang didapatkan diolah agar dihasilkan nilai prediksi seperti pada Tabel 4.6 yang menunjukkan data, hasil prediksi, selisih dan *error* yang ditunjukkan dalam satuan persen. Data hasil pengujian *T50* merupakan data yang bervariasi berkisar antara 1-7 s. Hasil prediksi memiliki nilai-nilai yang banyak mendekati data sekunder namun masih ada beberapa data yang juga jauh. Hasil prediksi pengujian *T50* dari analisis logika *fuzzy mamdani* didapatkan nilai 1,7 s yang sama dengan hasil uji *T50* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 1,7 s dengan selisih 0 s, sedangkan hasil prediksi uji *T50* dari analisis logika *fuzzy mamdani* yang jauh didapatkan nilai 3,1 s dengan hasil uji *T50* pada pengujian laboratorium didapatkan nilai 2 s sehingga memiliki selisih 1,1 s.

Tabel 4.6 Hasil prediksi nilai uji *T50*

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>T50</i> (s)	Fuzzy (s)	Selisih* (s)	<i>Error</i> (%)
1	465	85	910	590	227,7	10,73	4,5	4,1	0,4	8,89
2	440	110	910	590	228,3	11,01	3	3,68	0,68	22,67
3	415	135	910	590	233,3	9,91	4,4	4	0,4	9,09
4	385	165	910	590	234,4	9,91	3	3,7	0,7	23,33
5	355	195	910	590	241,6	9,91	4	3,84	0,16	4
6	530	0	768	668	238,5	4,6	5	4,8	0,2	4
7	477	53	768	668	238,5	4,6	4	4,77	0,77	19,25
8	424	106	768	668	238,5	4,6	3,6	4	0,4	11,11
9	371	159	768	668	238,5	4,6	3,1	3,2	0,1	3,23
10	318	212	768	668	238,5	4,6	3,4	3,2	0,2	5,88
11	265	265	768	668	238,5	4,6	3,7	3,2	0,5	13,51
12	400	0	1003	578	152	2,5	2	3,1	1,1	55

*selisih merupakan nilai mutlak dari data dikurangi prediksi

Tabel 4.6 Hasil prediksi nilai uji *T50* (Lanjutan)

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>T50</i> (s)	Fuzzy (s)	Selisih* (s)	<i>Error</i> (%)
13	380	20	1003	578	152	2,5	2	1,8	0,2	10
14	360	40	1003	578	152	2,5	1,7	1,7	0	0
15	340	60	1003	578	152	2,5	1,5	1,7	0,2	13,33
16	465	85	910	590	225,5	10,73	4,5	4,1	0,4	8,89
17	440	110	910	590	225,5	11	3	3,69	0,69	23
18	415	135	910	590	231	9,9	4,5	4	0,5	11,11
19	385	165	910	590	236,5	9,9	3	3,7	0,7	23,33
20	355	195	910	590	242	9,9	4	3,84	0,16	4
21	250	275	842	772	178,5	2,1	1	1,7	0,7	70
22	333	215	835	766	180,8	2,2	1	1,7	0,7	70
23	500	101	820	753	192,3	3,6	1,5	1,78	0,28	18,67
24	583	50	813	745	196,2	4,4	2	1,8	0,2	10
25	350	150	900	600	175	11	6,1	5,4	0,7	11,48
26	300	200	900	600	175	10,75	6,6	6,14	0,46	6,97
27	250	250	900	600	175	10,5	7	6,12	0,88	12,57
28	500	0	967	694	175	8	6,13	6,1	0,03	0,49
29	480	0	890	810	192	13,3	5	5	0	0
30	432	48	890	810	192	9,9	4	4,38	0,38	9,5
31	384	96	890	810	192	9,68	3,6	3,34	0,26	7,22
32	336	144	890	810	192	9,4	3	2,9	0,1	3,33
33	450	0	890	810	202	9,25	4,1	4,2	0,1	2,44
34	405	45	890	810	202	8,2	3,5	3,65	0,15	4,29
35	360	90	890	810	202	6,4	3	3	0	0
36	315	135	890	810	202	4,8	3	3	0	0

*selisih merupakan nilai mutlak dari data dikurangi prediksi

Hasil perhitungan *error* dikelompokkan seperti pada Tabel 4.7. Tabel 4.7 menunjukkan banyaknya nilai *error* yang dikelompokkan pada kenaikan setiap 11,7% dimulai dari 0% dengan jumlah 6 kelompok dengan 36 data. Data yang ada menunjukkan ada 24 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 0-11,7 %, 9 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 11,7-23,4 %, tidak ada data yang masuk pada rentang 23,4-35,1 % dan 35,1-46,8 %, 1 data yang masuk dalam *error* rentang 46,8-58,5 % dan terdapat 2 data yang memiliki *error* lebih dari 58,5-70,2 %.

Tabel 4.7 Kelompok *error* pada *T50*

Rentang (%)	Banyak Data
0-11,7	24
11,7-23,4	9
23,4-35,1	0

Tabel 4.7 Kelompok *error* pada *T50* (Lanjutan)

Rentang (%)	Banyak Data
35,1-46,8	0
46,8-58,5	1
58,5-70,2	2

Selisih antara data pengujian dengan nilai prediksi dikelompokkan pada Tabel 4.8. Tabel tersebut menunjukkan banyaknya data yang dikelompokkan berdasarkan selisih dengan rentang 0,19 s dimulai dari 0 s. Hasil pengelompokan tersebut menunjukkan bahwa terdapat 11 data yang masuk pada rentang 0-0,19 s, 8 data yang masuk pada rentang 0,19-0,38 s, 7 data yang masuk pada rentang 0,38-0,57 s, 7 data yang masuk pada rentang 0,57-0,76 s, 2 data yang masuk pada rentang 0,76-0,95 s, dan 1 data yang masuk pada rentang 0,95-1,14. Masuknya data hanya pada rentang selisih 0-1,14 s menunjukkan analisis logika *fuzzy* didapatkan hasil yang mendekati data pengujian pada laboratorium.

Tabel 4.8 Kelompok selisih pada *T50*

Rentang (s)	Banyak Data
0-0,19	11
0,19-0,38	8
0,38-0,57	7
0,57-0,76	7
0,76-0,95	2
0,95-1,14	1

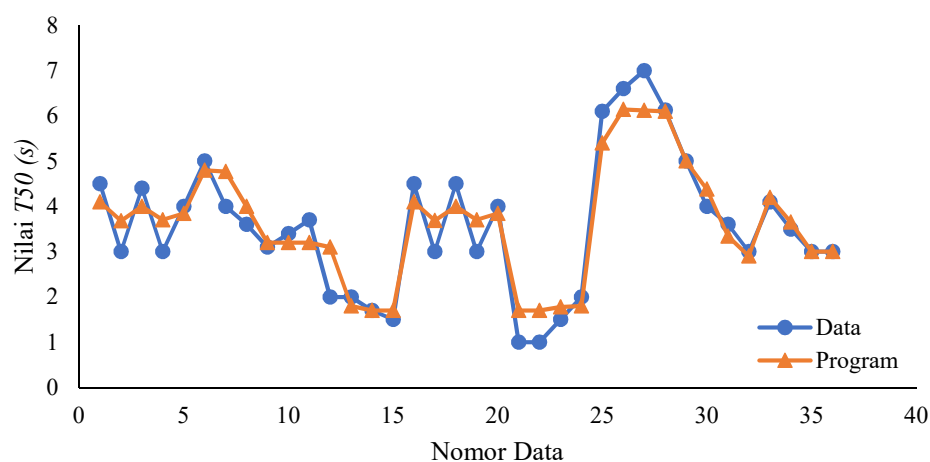
Hasil dari perhitungan selisih dan *error* dirangkum pada Tabel 4.9. Hasil yang didapat dari Tabel 4.9 menunjukkan selisih terkecil yaitu 0 s sedangkan *error* terkecil yaitu 0 %, selisih terbesar yaitu 1,1 s sedangkan *error* terbesar yaitu 70 %, rata-rata yang dihasilkan dari selisih antara data dengan prediksi yaitu 0,37 s sementara rata-rata yang dihasilkan dari *error* yaitu 13,9 %. Selisih terbesar yang didapatkan tidak menunjukkan bahwa selisih terbesar itu merupakan *error* terbesar karena selisih 1,1 s memiliki *error* 55 % sementara *error* terbesar yaitu 70 % yang memiliki selisih 0,7 s. Selisih terbesar menunjukkan perbedaan nilai terbesar dari prediksi terhadap data sekunder sementara *error* terbesar didapatkan karena memiliki nilai data yang lebih kecil dari nilai prediksi. *Error* merupakan

selisih yang dibagi dengan nilai data, apabila pembagiannya yaitu nilai data semakin kecil maka hasil yang didapat akan semakin besar begitulah sebaliknya. Hal tersebut terjadi pada data 21 dan 22 yang hanya bernilai 1 sedangkan hasil prediksi menunjukkan nilai 1,7 sehingga selisihnya 0,7 yang bila dibagi dengan 1 lalu dipersenkan maka hasilnya menjadi 70 %, padahal selisih 0,7 masih lebih kecil dari pada selisih terbesar yaitu 1,1 namun memiliki *error* yang paling besar sementara data dengan selisih 1,1 memiliki *error* kurang dari 70 % yaitu 55 %.

Tabel 4.9 Hasil rangkuman selisih dan *error* $T50$

Keterangan	Selisih (s)	<i>Error</i> (%)
Standar Deviasi	0,29	17,22
Minimal	0	0
Maksimal	1,1	70
Rata-rata	0,37	13,9

Perbandingan antara data pengujian dengan nilai prediksi disajikan dalam grafik hubungan antara nilai $T50$ dan nomor data pada Gambar 4.6. Hasil perbandingan menunjukkan adanya simpangan terbesar pada data 12 dengan nilai simpangan 1,1 s, begitu pula data 21 sampai 24 pada “Program” memiliki nilai yang rata sementara pada “Data” memiliki alur yang cenderung naik namun kembali bisa berhimpitan ketika menuju data 25. Data 26 dan 27 mempunyai nilai “Program” yang lebih kecil dari nilai “Data” ditunjukkan dalam grafik program yang berada dibawah grafik data namun alur dari nilai prediksi masih sama dengan data pengujian serta pada data-data terakhir menunjukkan nilai yang berhimpitan sehingga bisa merepresentasikan nilai dari data pengujian.

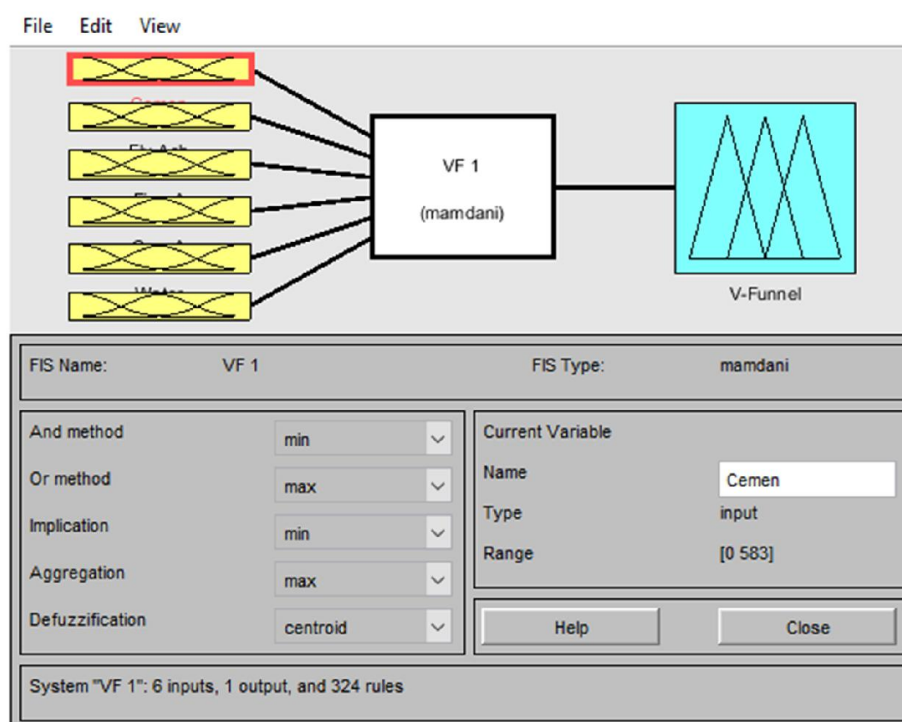


Gambar 4.6 Hubungan antara nilai $T50$ dan nomor data

4.3 Pengujian *V-Funnel*

4.3.1 Pemodelan Berbasis Logika *Fuzzy Mamdani* pada *V-funnel*

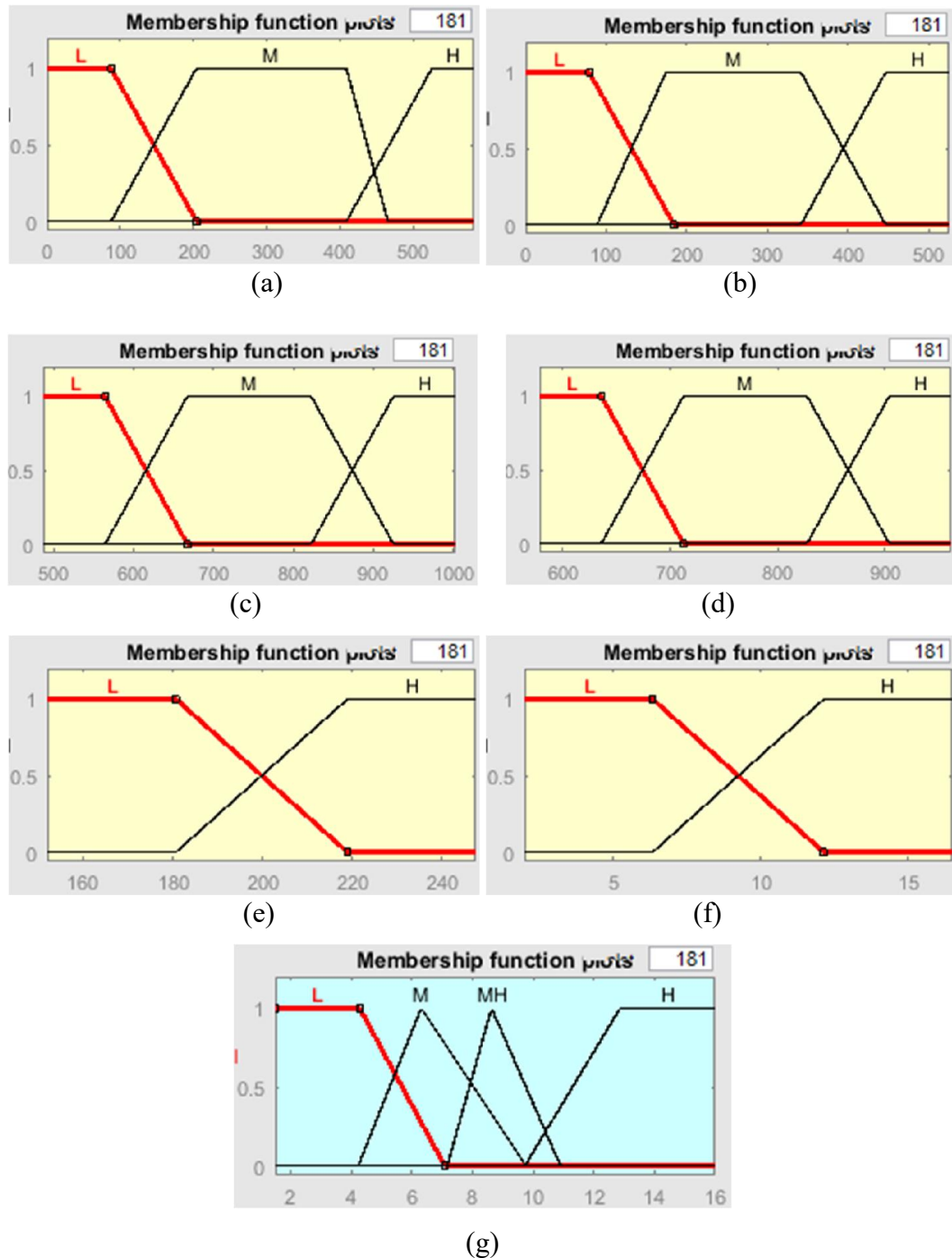
Pemodelan berbasis logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi nilai pengujian *v-funnel* dilakukan dengan dibuatnya 6 *input* yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*, serta dibuatnya 1 *output* yaitu *v-funnel* seperti pada Gambar 4.11. Pembuatan *input* dan *output* dibuat sesuai kebutuhan. Bagian kiri pada gambar yang berwarna kuning merupakan *input* pada logika *fuzzy mamdani* sementara bagian kanan pada gambar yang berwarna biru merupakan *output* yang dibuat pada logika *fuzzy mamdani*.



Gambar 4.7 Pembuatan *input* dan *output* pada *v-funnel*

Membership function untuk *input* dan *output* pada *v-funnel* dibuat seperti pada Gambar 4.12, pada gambar tersebut terlihat fungsi keanggotaan seperti L, M, MH, dan H. Pembuatan *membership function* pada *input* digunakan fungsi keanggotaan *trapmf* dengan berlandaskan nilai terendah dan tertinggi pada data sedangkan pembuatan *membership function* pada *output* digunakan fungsi keanggotaan *trapmf* dan *trimf* dengan berlandaskan nilai terendah dan tertinggi pada data serta dikreasikan sesuai kebutuhan. *Trapmf* merupakan fungsi

keanggotaan yang berbentuk trapesium dengan 4 titik yang dapat diatur untuk membentuk himpunan, sedangkan *trimf* merupakan fungsi keanggotaan yang berbentuk segitiga dengan 3 titik yang dapat diatur.



Gambar 4.8 Keanggotaan himpunan (a) semen (b) *fly ash* (c) pasir (d) kerikil (e) air (f) *superplasticizer* (g) *v-funnel*

Fungsi keanggotaan dari semua *input* dibuat dengan *type trapmf* sedangkan untuk *output* dibuat dengan gabungan *type trapmf* dan *trimf* seperti pada Tabel 4.10. Tabel 4.10 menjelaskan tentang nilai yang digunakan dalam semesta, fungsi keanggotaan yang dibangun (himpunan), tipe fungsi keanggotaan yang dipakai serta nilai yang digunakan untuk pembuatan fungsi keanggotaan. Semen, *fly ash*, pasir, dan kerikil memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, air dan *superplasticizer* memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, sementara *v-funnel* memiliki 4 fungsi keanggotaan dengan 2 tipe *trapmf* serta 2 tipe *trimf*. Adanya fungsi keanggotaan MH pada *v-funnel* untuk mengarahkan hasil satu data yang memiliki satu aturan saja. Aturan (dalam bahasa *fuzzy* disebut dengan *rules*) dibuat sebanyak 324 *rules* yang ditampilkan pada Lampiran 6, aturan dibuat berdasarkan *membership function* yang telah dibuat, pembuatan dilakukan dengan sistem *trial and error* untuk mencari aturan yang paling tepat digunakan.

Tabel 4.10 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *v-funnel*

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Semen	[0-583]	L	<i>trapmf</i>	[-204 -87,45 87,5 204,1]
		M	<i>trapmf</i>	[87,5 204 408,9 465,5]
		H	<i>trapmf</i>	[408,9 525,5 670,5 787]
<i>Fly ash</i>	[0-525]	L	<i>trapmf</i>	[-183,8 -78,75 78,75 183,8]
		M	<i>trapmf</i>	[88,8 173,8 341,3 446,3]
		H	<i>trapmf</i>	[341,3 446,3 603,8 708,8]
Pasir	[487-1003]	L	<i>trapmf</i>	[306,4 409,6 564,4 667,6]
		M	<i>trapmf</i>	[564,4 667,6 822,4 925,6]
		H	<i>trapmf</i>	[822,4 925,6 1080 1184]
Kerikil	[578-962]	L	<i>trapmf</i>	[443,6 520,4 635,6 712,4]
		M	<i>trapmf</i>	[635,6 712,4 827,6 904,4]
		H	<i>trapmf</i>	[827,6 904,4 1020 1096]
Air	[152-247,5]	L	<i>trapmf</i>	[85,15 123,3 180,7 218,9]
		H	<i>trapmf</i>	[180,7 218,9 276,1 314,4]
SP	[1,98-16,5]	L	<i>trapmf</i>	[-8,184 -2,376 6,332 12,13]
		H	<i>trapmf</i>	[6,334 12,14 20,86 26,66]
<i>V-funnel</i>	[1,5-16]	L	<i>trapmf</i>	[-4,32 1,48 4,282 7,083]
		M	<i>trimf</i>	[4,24 6,31 9,767]
		MH	<i>trimf</i>	[7,17 8,63 10,9]
		H	<i>trapmf</i>	[9,727 12,87 20,3 21,57]

4.3.2 Hasil Prediksi Pengujian *V-funnel*

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai uji *v-funnel* sebanyak 54 data sekunder dari jurnal penelitian *self-compacting concrete (SCC)*, data tersebut diolah dengan sistem logika *fuzzy Mamdani* dan dihasilkan nilai prediksi yang ditampilkan pada Tabel 4.11. Tabel tersebut juga memuat data sekunder hasil pengujian *v-funnel*, hasil prediksi dari analisis logika *fuzzy mamdani*, selisih antara data sekunder dengan hasil prediksi, *error* yang dihasilkan serta data yang digunakan sebagai *input* seperti semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*. Hasil prediksi pengujian *v-funnel* dari analisis logika *fuzzy mamdani* didapatkan nilai 9,1 s yang mendekati hasil pengujian *v-funnel* berdasarkan pengujian laboratorium yaitu 9,15 s dengan selisih 0,05 s sedangkan hasil prediksi pengujian *v-funnel* dari analisis logika *fuzzy mamdani* yang berbeda jauh didapatkan nilai 7 s dengan hasil pengujian *v-funnel* berdasarkan laboratorium yaitu 10 s sehingga memiliki selisih 3 s.

Tabel 4.11 Hasil prediksi nilai uji *v-funnel*

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>V-funnel</i> (s)	Fuzzy (s)	Selisih* (s)	<i>Error</i> (%)
1	465	85	910	590	227,7	10,73	7,5	7,1	0,4	5,33
2	440	110	910	590	228,3	11,01	4,5	5	0,5	11,11
3	415	135	910	590	233,3	9,91	5,2	5,5	0,3	5,77
4	385	165	910	590	234,4	9,91	6,1	6,3	0,2	3,28
5	355	195	910	590	241,6	9,91	10	7	3	30
6	200	157	961	743	176	7,6	14	12,1	1,9	13,57
7	250	154	945	731	173	8,5	12	11,2	0,8	6,67
8	300	148	928	718	172	8,2	11	11,5	0,5	4,55
9	539	0	743	924	178	5,93	8,1	8,9	0,8	9,88
10	437	80	743	924	176	4,65	8,1	7,3	0,8	9,88
11	333	162	743	924	173	3,71	6,1	6,7	0,6	9,84
12	225	247	743	924	170	3,21	6,3	6,8	0,5	7,94
13	115	336	743	924	167	2,93	7,2	6,8	0,4	5,56
14	0	439	743	924	158	1,98	9,1	8,6	0,5	5,49
15	530	0	768	668	238,5	4,6	12	11,6	0,4	3,33
16	477	53	768	668	238,5	4,6	10,6	11,6	1	9,43
17	424	106	768	668	238,5	4,6	9,8	9,4	0,4	4,08
18	371	159	768	668	238,5	4,6	8,5	7,7	0,8	9,41
19	318	212	768	668	238,5	4,6	7,9	7,7	0,2	2,53
20	265	265	768	668	238,5	4,6	7,6	7,7	0,1	1,32
21	400	0	1003	578	152	2,5	9	6,8	2,2	24,44

*selisih merupakan nilai mutlak dari data dikurangi prediksi

Tabel 4.11 Hasil prediksi nilai uji *v-funnel* (Lanjutan)

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>V-funnel</i> (s)	Fuzzy (s)	Selisih* (s)	<i>Error</i> (%)
22	380	20	1003	578	152	2,5	8	6,8	1,2	15
23	360	40	1003	578	152	2,5	7	6,8	0,2	2,86
24	340	60	1003	578	152	2,5	6	6,6	0,6	10
25	500	0	1003	578	190	3,12	4	4,4	0,4	10
26	475	25	1003	578	190	3,12	3,5	4,6	1,1	31,43
27	465	85	910	590	225,5	10,73	7,5	7,1	0,4	5,33
28	440	110	910	590	225,5	11	4,5	5,2	0,7	15,56
29	415	135	910	590	231	9,9	7	5,5	1,5	21,43
30	385	165	910	590	236,5	9,9	5	6,3	1,3	26
31	355	195	910	590	242	9,9	10	7,1	2,9	29
32	333	215	835	766	180,8	2,2	4	5,2	1,2	30
33	417	153	828	759	182,4	2,9	4	4,7	0,7	17,5
34	350	150	900	600	175	11	10	9,5	0,5	5
35	300	200	900	600	175	10,75	9	9,1	0,1	1,11
36	250	250	900	600	175	10,5	9,15	9,1	0,05	0,55
37	82,5	467,5	624	794	225,5	11	6	5,4	0,6	10
38	165	385	656	834	187	11	5	5,9	0,9	18
39	225	525	487	620	247,5	15	6	6,7	0,7	11,67
40	275	275	691	880	187	13,75	11	10,3	0,7	6,36
41	325	325	611	777	221	13	7	6,8	0,2	2,86
42	385	165	732	931	170,5	13,75	12	12,4	0,4	3,33
43	350	150	707	901	180	8,75	10	9,9	0,1	1
44	495	55	756	962	159,5	16,5	15	13,5	1,5	10
45	500	0	967	694	175	8	6,08	6,3	0,22	3,62
46	225	275	908	652	175	7,5	7	8	1	14,29
47	480	0	890	810	192	13,3	12	11,3	0,7	5,83
48	432	48	890	810	192	9,9	9	8,6	0,4	4,44
49	384	96	890	810	192	9,68	8,4	8,8	0,4	4,76
50	336	144	890	810	192	9,4	8,1	9	0,9	11,11
51	450	0	890	810	202	9,25	9	8,7	0,3	3,33
52	405	45	890	810	202	8,2	8,6	8,4	0,2	2,33
53	360	90	890	810	202	6,4	8	8,4	0,4	5
54	315	135	890	810	202	4,8	8	8,5	0,5	6,25

*selisih merupakan nilai mutlak dari data dikurangi prediksi

Nilai *error v-funnel* dikelompokkan seperti pada Tabel 4.12 agar diketahui banyaknya data pada setiap kelompok *error*. Nilai *error* dikelompokkan pada setiap rentang 4,42 % dimulai dari 0,5 %. Hasil pengelompokan menunjukkan terdapat 17 data yang masuk dalam tentang 0,5-4,92 %, 12 data yang masuk pada rentang 4,9-9,34 %, 13 data yang masuk pada rentang 9,34-13,76 %, 5 data yang masuk pada rentang 13,76-18,18 %, 1 data yang masuk pada rentang 18,18-22,6

%, 2 data yang masuk pada rentang 22,6-27,02 %, serta terdapat 4 data yang masuk pada rentang 27,02-31,44 %. *Error* terbesar ada pada rentang 27,02-31,44 % dengan banyak 4 data. Banyaknya data yang memiliki *error* kurang dari sama dengan 13,76 % lebih banyak yaitu sebanyak 42 dibandingkan data yang memiliki *error* lebih dari 13,76 % yaitu berjumlah 12 data.

Tabel 4.12 Kelompok *error* pada *v-funnel*

Rentang (%)	Banyak Data
0.5-4.92	17
4.9-9.34	12
9.34-13.76	13
13.6-18.18	5
18.18-22.6	1
22.6-27.02	2
27.02-31.44	4

Selisih antara data pengujian dengan nilai prediksi dikelompokkan pada Tabel 4.13. Tabel tersebut menunjukkan banyaknya data yang dikelompokkan berdasarkan selisih dengan rentang 0,43 s dimulai dari 0 s. Hasil pengelompokan tersebut menunjukkan bahwa terdapat 22 data yang masuk pada rentang 0-0,43 s, 18 data yang masuk pada rentang 0,43-0,86 s, 7 data yang masuk pada rentang 0,86-1,29 s, 3 data yang masuk pada rentang 1,29-1,72 s, 1 data yang masuk pada rentang 1,72-2,15 s, 1 data yang masuk pada rentang 2,15-2,58 s, dan terdapat 4 data yang masuk pada rentang 2,58-3,01. Selisih terbesar yang didapatkan yaitu 3 s, selisih tersebut masih relatif kecil untuk pengujian dengan nilai terbesar dari data sekunder yaitu 15 s. Hal tersebut menunjukkan bahwa analisis logika *fuzzy* didapatkan hasil yang mendekati data pengujian pada laboratorium.

Tabel 4.13 Kelompok selisih pada *v-funnel*

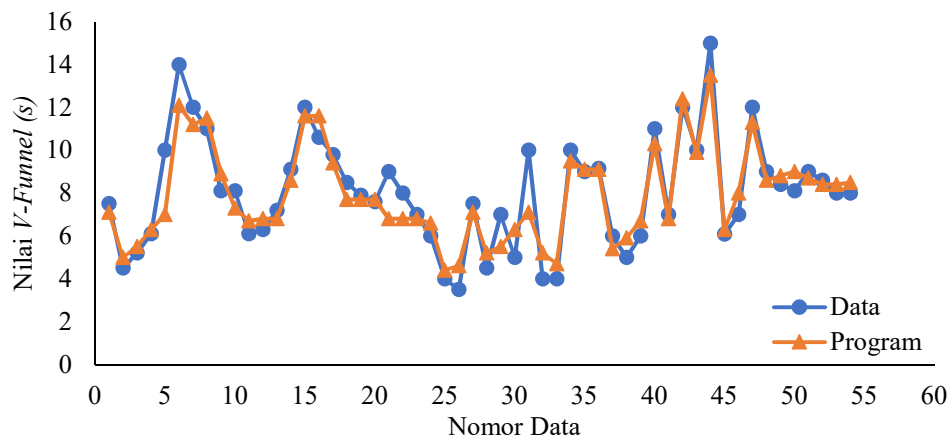
Rentang (s)	Banyak Data
0-0,43	22
0,43-0,86	18
0,86-1,29	7
1,29-1,72	3
1,72-2,15	1
2,15-2,58	1
2,58-3,01	2

Nilai selisih dan *error* yang dihasilkan dari data pengujian dan hasil prediksi dirangkum pada Tabel 4.14. Nilai selisih minimum yang didapat yaitu 0,05 s dengan *error* 0,55 % sehingga selisih terkecil memiliki *error* terkecil. Nilai selisih terbesar yang didapat yaitu 3 s dengan *error* 30 % sementara nilai *error* terbesar yaitu 31,43 % yang memiliki nilai selisih 1,1 s jauh lebih kecil dari nilai selisih terbesar. Nilai *error* terbesar tidak menunjukkan bahwa nilai prediksi memiliki selisih yang besar, karena *error* didapat dengan membagi nilai selisih dengan data sekunder, sehingga jika data sekunder semakin besar maka *error*nya akan semakin kecil begitu pula sebaliknya. Pada hasil prediksi pengujian *v-funnel* keadaan yang mempengaruhi *error* tersebut meningkatkan nilai rata-rata *error* menjadi 9,78 % meskipun masih tetap dibawah 10 % dan rata-rata selisih data pengujian dengan hasil prediksi yaitu 0,73 s. Hasil rangkuman tersebut didapatkan nilai yang relatif kecil jika dilihat secara keseluruhan.

Tabel 4.14 Hasil rangkuman selisih dan *error* pada *v-funnel*

Keterangan	Selisih (s)	<i>Error</i> (%)
Standar Deviasi	0,62	8,15
Minimal	0,05	0,55
Maksimal	3	31,43
Rata-rata	0,73	9,78

Perbandingan antara data penelitian dengan program *fuzzy* ditampilkan pada Gambar 4.9 yang dihubungkan antara nilai *v-funnel* dengan nomor data. Gambar tersebut menampilkan titik yang didapat dari hubungan antara nomer data dengan nilai *v-funnel* yang kemudian dihubungkan setiap titiknya menjadi alur dari data pertama sampai data terakhir. Gambar tersebut menunjukkan terdapat beberapa nilai program prediksi yang cukup jauh dari data pengujian seperti pada nomer data 21-23 yang hasil programnya seragam yaitu 6,8 s sedangkan data pengujian menunjukkan nilai yang menurun dari 9-6,8 s. Data selain pada nomer data 21-23 memiliki nilai prediksi yang mendekati data pengujian. Data tersebut seperti nomer data 33-54 memiliki perbedaan nilai yang sangat kecil dan hampir mendekati sempurna untuk nomor-nomor data tersebut. Meskipun terdapat beberapa nilai prediksi yang relatif jauh, namun secara keseluruhan jika dilihat dari aliran grafik nilai prediksi dari analisis logika *fuzzy mamdani* mampu mendekati data pengujian berdasarkan laboratorium.

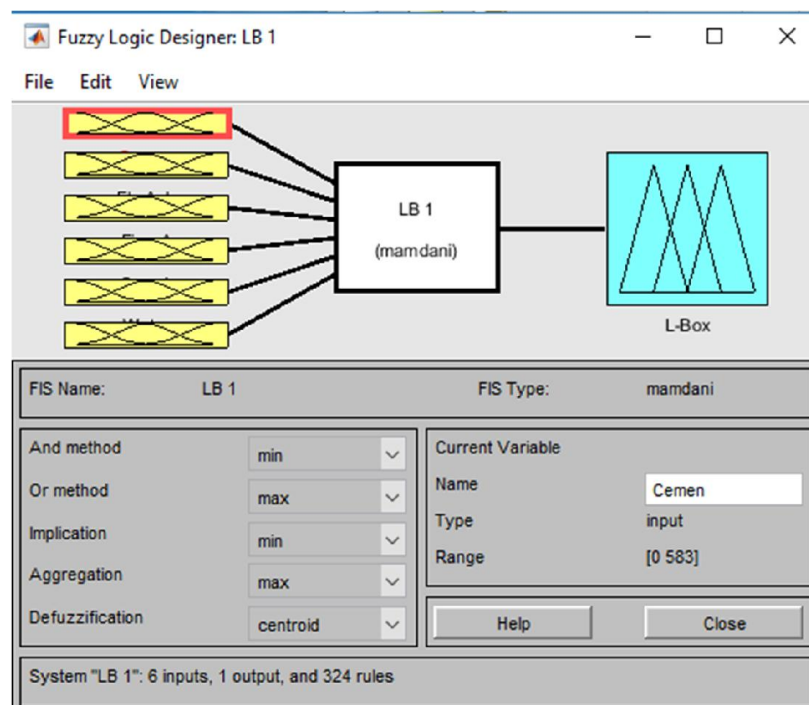


Gambar 4.9 Hubungan antara nilai *v-funnel* dan nomor data

4.4 Pengujian *L-Box*

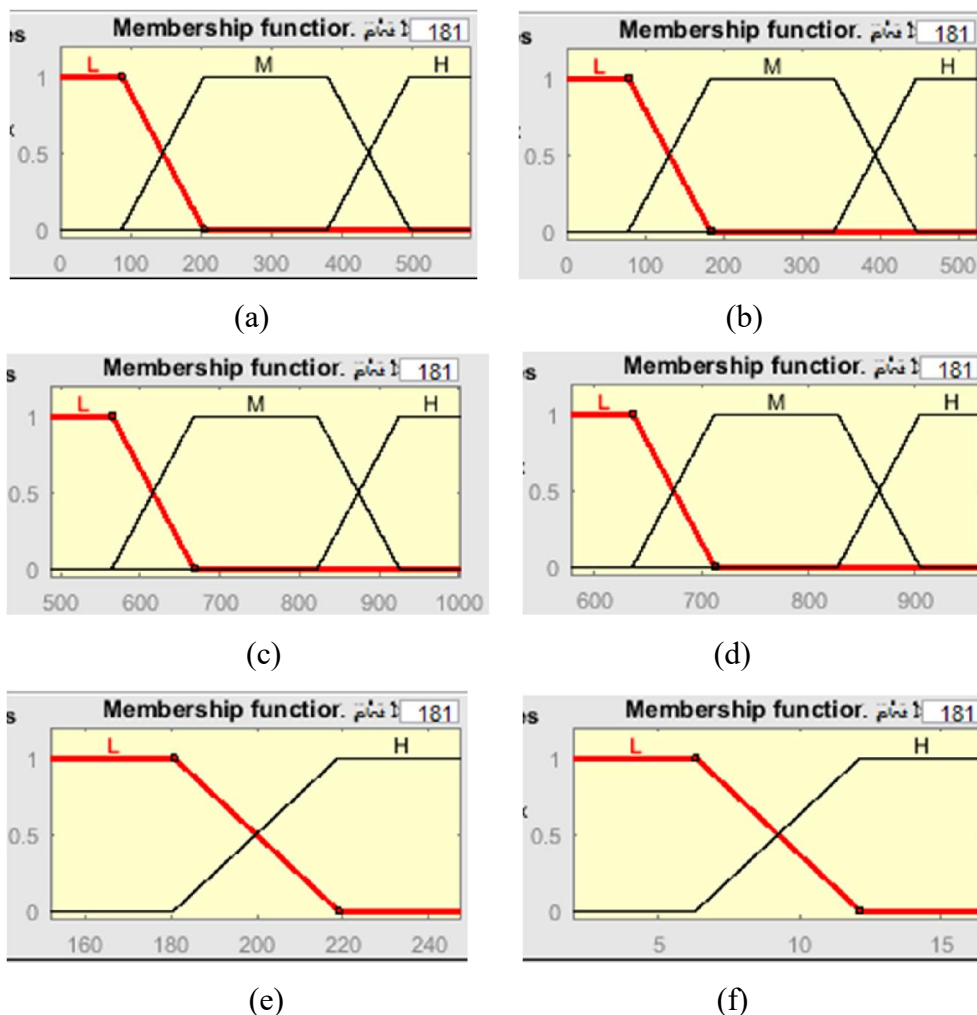
4.4.1 Pemodelan Berbasis Logika *Fuzzy Mamdani* pada *L-box*

Pemodelan berbasis logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi nilai pengujian *slump flow* dilakukan dengan dibuatnya 6 *input* dan 1 *output* seperti pada Gambar 4.10. Gambar tersebut menunjukkan *input* yang dibuat yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*; sedangkan *output* dibuat yaitu *slump-flow*.

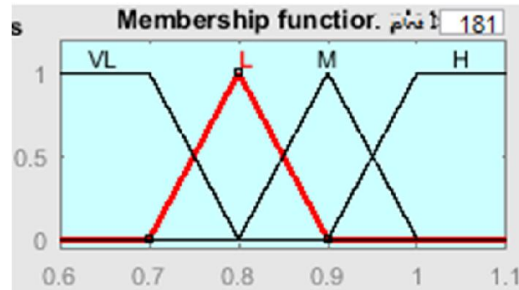


Gambar 4.10 Pembuatan *input* dan *output* pada *l-box*

Membership function dari tiap *input* dan *output* dibuat seperti pada Gambar 4.11, pada gambar tersebut terlihat semesta yang digunakan yaitu pada sumbu x, fungsi keanggotaan yang digunakan seperti L, M, dan H untuk semen, *fly ash*, pasir, kerikil; L dan H untuk air dan *superplasticizer*, serta VL, L, M, dan H untuk *l-box* yang bisa dibuat sesuai kebutuhan. Pembuatan *membership function* hanya mengacu pada semesta dari nilai data terendah dan tertinggi pada tiap-tiap *input* maupun *output* atau bisa dikreasikan tergantung kebutuhan. *Membership function* untuk *input* dibuat dengan nilai data terendah dan tertinggi sementara untuk *output* dibuat dengan penyesuaian agar didapatkan nilai prediksi yang maksimal.



Gambar 4.11 Keanggotaan himpunan (a) semen (b) *flyash* (c) pasir (d) kerikil (e) air (f) *superplasticizer*



(g)

Gambar 4.11 Keanggotaan himpunan (g) *l-box* (Lanjutan)

Fungsi keanggotaan dari semua *input* dibuat dengan *type trapmf* sedangkan untuk *output* dibuat dengan gabungan *type trapmf* dan *trimf* seperti pada Tabel 4.15. Tabel 4.15 menjelaskan tentang nilai yang digunakan dalam semesta, fungsi keanggotaan yang dibangun (himpunan), tipe fungsi keanggotaan yang dipakai serta nilai yang digunakan untuk pembuatan fungsi keanggotaan. Semen, *fly ash*, pasir, dan kerikil memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, air dan *superplasticizer* memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, sementara *l-box* memiliki 4 fungsi keanggotaan dengan 2 tipe *trapmf* serta 2 tipe *trimf*. Adanya fungsi keanggotaan VL merupakan salah satu cara untuk menarik hasil prediksi agar menuju ke arah kiri dengan nilai yang semakin kecil agar didapatkan hasil prediksi yang lebih maksimal. *Rules* yang digunakan untuk *l-box* dibuat sebanyak 324 *rules* yang ditampilkan pada Lampiran 8, aturan dibuat berdasarkan *membership function* yang telah dibuat, pembuatan dilakukan dengan sistem *trial and error* untuk mencari aturan yang paling tepat digunakan.

Tabel 4.15 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *l-box*

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Semen	[0-583]	L	<i>trapmf</i>	[-204 -87,45 87,5 204,1]
		M	<i>trapmf</i>	[87,5 204 378,9 495,5]
		H	<i>trapmf</i>	[378,9 495,5 670,5 787]
<i>Fly ash</i>	[0-525]	L	<i>trapmf</i>	[-183,8 -78,75 78,75 183,8]
		M	<i>trapmf</i>	[78,75 183,8 341,3 446,3]
		H	<i>trapmf</i>	[341,3 446,3 603,8 708,8]
Pasir	[487-1003]	L	<i>trapmf</i>	[306,4 409,6 564,4 667,6]
		M	<i>trapmf</i>	[564,4 667,6 822,4 925,6]
		H	<i>trapmf</i>	[822,4 925,6 1080 1184]

Tabel 4.15 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *l-box* (Lanjutan)

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Kerikil	[578-962]	L	<i>trapmf</i>	[443,6 520,4 635,6 712,4]
		M	<i>trapmf</i>	[635,6 712,4 827,6 904,4]
		H	<i>trapmf</i>	[827,6 904,4 1020 1096]
Air	[152-247,5]	L	<i>trapmf</i>	[85,15 123,3 180,7 218,9]
		H	<i>trapmf</i>	[180,7 218,9 276,1 314,4]
SP	[1,98-16,5]	L	<i>trapmf</i>	[-8,184 -2,376 6,332 12,13]
		H	<i>trapmf</i>	[6,334 12,14 20,86 26,66]
		VL	<i>trapmf</i>	[0,165 0,225 0,7 0,8]
<i>L-box</i>	[0,6-1,1]	L	<i>trimf</i>	[0,7 0,8 0,9]
		M	<i>trimf</i>	[0,8 0,9 1]
		H	<i>trapmf</i>	[0,9 1 1,124 1,329]

4.4.2 Hasil Prediksi Pengujian *L-box*

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai pengujian *slump-flow* berjumlah 60 data sekunder dari berbagai jurnal, dari data tersebut didapatkan nilai prediksi yang dapat dilihat pada Tabel 4.16. Data yang diperoleh merupakan data seragam yang memiliki nilai berkisar antara 0,8-1. Hasil prediksi ditunjukkan oleh nilai-nilai yang mendekati data pengujian yang ditunjukkan pada nilai *error* pada tiap data. Nilai hasil uji *l-box* dari analisi logika *fuzzy* didapatkan nilai 0,92 yang sama dengan hasil uji *l-box* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 0,92 dengan selisih 0, sedangkan hasil prediksi uji *l-box* yang cukup jauh didapatkan nilai 0,85 dengan hasil uji *l-box* pada pengujian laboratorium sebesar 0,8 sehingga memiliki selisih 0,05.

Tabel 4.16 Hasil prediksi nilai uji *l-box*

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>L-box</i> (mm)	<i>Fuzzy</i> (mm)	<i>Error</i> (%)
1	465	85	910	590	227,7	10,73	0,89	0,9	1,12
2	415	135	910	590	233,3	9,91	0,85	0,9	5,88
3	355	195	910	590	241,6	9,91	0,92	0,92	0
4	530	0	768	668	238,5	4,6	0,92	0,95	3,26
5	477	53	768	668	238,5	4,6	0,933	0,95	1,82
6	424	106	768	668	238,5	4,6	0,946	0,92	2,75
7	371	159	768	668	238,5	4,6	0,953	0,93	2,41
8	318	212	768	668	238,5	4,6	0,95	0,93	2,11
9	265	265	768	668	238,5	4,6	0,946	0,93	1,69
10	465	85	910	590	225,5	10,73	0,9	0,9	0

Tabel 4.16 Hasil prediksi nilai uji *l*-box (Lanjutan)

No	Semen (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>L</i> -box (mm)	<i>Fuzzy</i> (mm)	<i>Error</i> (%)
11	440	110	910	590	225,5	11	0,9	0,88	2,22
12	355	195	910	590	242	9,9	0,92	0,92	0
13	250	275	842	772	178,5	2,1	1	0,97	3
14	333	215	835	766	180,8	2,2	0,99	0,99	0
15	417	153	828	759	182,4	2,9	0,96	0,98	2,08
16	500	101	820	753	192,3	3,6	0,95	0,94	1,05
17	583	50	813	745	196,2	4,4	0,95	0,95	0
18	350	150	900	600	175	11	0,9	0,94	4,44
19	300	200	900	600	175	10,75	0,93	0,93	0
20	250	250	900	600	175	10,5	0,95	0,93	2,11
21	500	0	967	694	175	8	0,84	0,87	3,57
22	375	125	938	673	175	7,5	0,85	0,88	3,53
23	300	200	923	663	175	7,5	0,88	0,87	1,14
24	225	275	908	652	175	7,5	0,91	0,9	1,1
25	480	0	890	810	192	13,3	0,88	0,87	1,14
26	432	48	890	810	192	9,9	0,85	0,89	4,71
27	384	96	890	810	192	9,68	0,82	0,87	6,1
28	450	0	890	810	202	9,25	0,8	0,85	6,25

Hasil perhitungan *error* dikelompokkan seperti pada Tabel 4.3. Tabel 4.3 menunjukkan banyaknya nilai *error* yang dikelompokkan pada kenaikan setiap 1% dimulai dari 0%. Data yang ada menunjukkan ada 6 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 0-1 %, 7 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 1-2 %, 7 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 2-3%, 3 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 3-4 %, 2 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 4-5 %, 1 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 5-6 % dan terdapat 2 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 6-7 %. Nilai *error* yang dikelompokkan memiliki kelompok *error* terbesar yaitu 6-7%.

Tabel 4.17 Kelompok *error* pada *l*-box

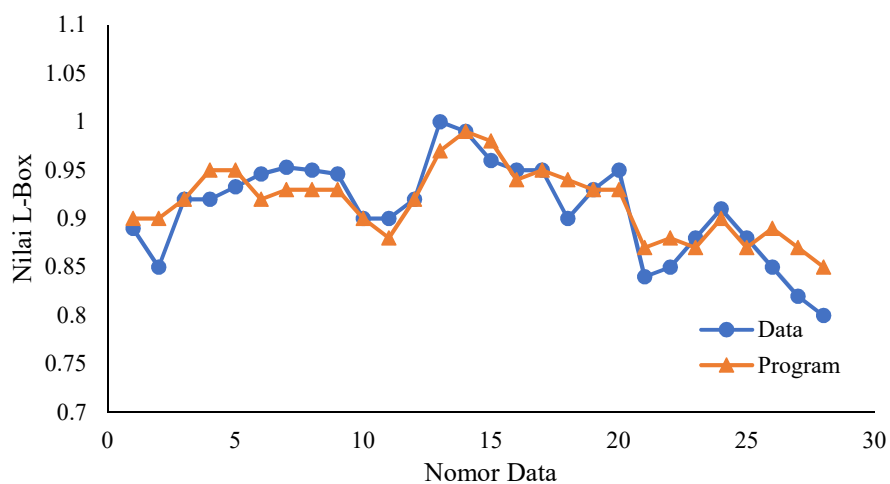
Rentang (%)	Banyak Data
0-1	6
1-2	7
2-3	7
3-4	3
4-5	2
5-6	1
6-7	2

Hasil dari perhitungan *error* dirangkum dalam Tabel 4.18, dari perhitungan *error* didapat nilai *error* rata-rata yaitu 2,27 % dengan nilai *error* terendah yaitu 0 % dan nilai *error* tertinggi yaitu 6,25 %. Standar deviasi yang didapat dari *error* yaitu 1,87 % yang menunjukkan bahwa rata-rata jarak nilai *error* setiap data terhadap rata-rata yaitu 1,87 dalam satuan persen (%).

Tabel 4.18 Hasil rangkuman *error l-box*

Keterangan	<i>Error</i> (%)
Standar Deviasi	1,87
Minimal	0
Maksimal	6,25
Rata-rata	2,27

Perbandingan data pengujian dengan prediksi *fuzzy* pada *l-box* ditampilkan pada Gambar 4.12. Gambar tersebut menunjukkan hubungan antara nilai *l-box* dengan nomor data baik data pengujian maupun prediksi *fuzzy*. Perbandingan antara data pengujian dengan prediksi *fuzzy* menunjukkan perbedaan nilai yang jelas terlihat. Perbedaan nilai sudah mulai terlihat pada nomor data 2 lalu muncul lagi mulai nomor data 4 yang berlanjut sampai nomor data 9. Perbedaan nilai juga terlihat jelas pada nomor data terakhir yaitu pada nomor data 26 sampai nomor data 28. Meskipun perbedaan nilai pada grafik perbandingan data pengujian dengan prediksi *fuzzy* terlihat jelas, namun perbedaan nilai atau selisih terbesar pada prediksi pengujian *l-box* hanya 0,05 sehingga masih relatif kecil untuk persebaran data tersebut.

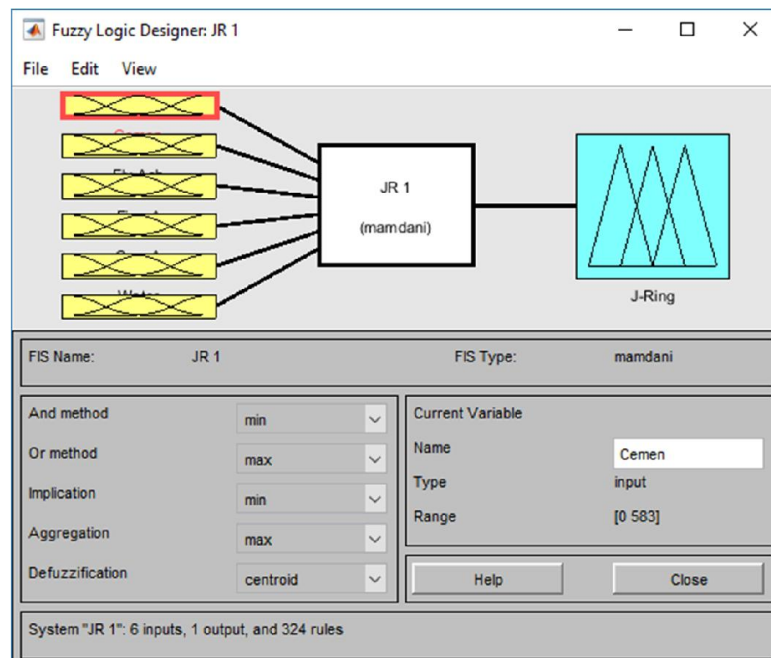


Gambar 4.12 Hubungan antara nilai *l-box* dan nomor data

4.5 Pengujian *J-Ring*

4.5.1 Pemodelan Berbasis Logika *Fuzzy Mamdani* pada *J-ring*

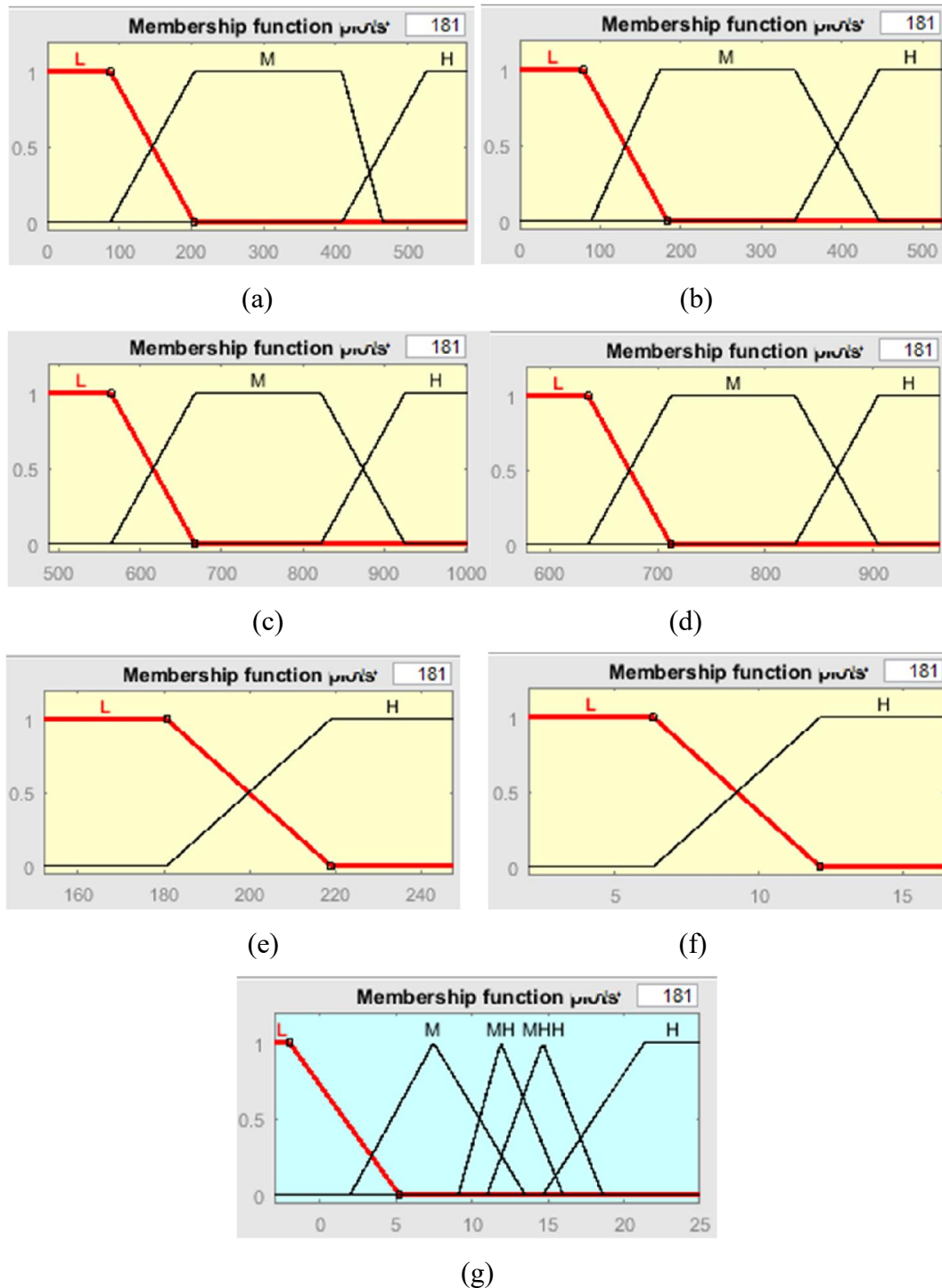
Pemodelan berbasis logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi nilai pengujian *j-ring* dilakukan dengan dibuatnya 6 *input* yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*, serta dibuatnya 1 *output* yaitu *v-funnel* seperti pada Gambar 4.13. Pembuatan *input* dan *output* dibuat sesuai kebutuhan. Bagian kiri pada gambar yang berwarna kuning merupakan *input* pada logika *fuzzy mamdani* sementara bagian kanan pada gambar yang berwarna biru merupakan *output* yang dibuat pada logika *fuzzy mamdani*.



Gambar 4.13 Pembuatan *input* dan *output* pada *j-ring*

Membership function untuk *input* dan *output* pada *v-funnel* dibuat seperti pada Gambar 4.14, pada gambar tersebut terlihat semesta yang digunakan yaitu pada sumbu x, fungsi keanggotaan yang digunakan seperti L, M, dan H untuk semen, *fly ash*, pasir, kerikil; L dan H untuk air dan *superplasticizer*, serta L, M, MH, MHH, dan H untuk *j-rig* yang bisa dibuat sesuai kebutuhan. Pembuatan *membership function* pada *input* digunakan fungsi keanggotaan *trapmf* dengan berlandaskan nilai terendah dan tertinggi pada data, sedangkan pembuatan *membership function* pada *output* digunakan fungsi keanggotaan *trapmf* dan *trimf* dengan berlandaskan nilai terendah dan tertinggi pada data serta dikreasikan

sesuai kebutuhan. *Trapmf* merupakan fungsi keanggotaan yang berbentuk trapesium dengan 4 titik yang dapat diatur untuk membentuk himpunan, sedangkan *trimf* merupakan fungsi keanggotaan yang berbentuk segitiga dengan 3 titik yang dapat diatur untuk membentuk himpunan.



Gambar 4.14 Keanggotaan himpunan (a) semen (b) *flyash* (c) pasir (d) kerikil (e) air (f) *superplasticizer* (g) *j-ring*

Fungsi keanggotaan dari semua *input* dibuat dengan *type trapmf* sedangkan untuk *output* dibuat dengan gabungan *type trapmf* dan *trimf* seperti pada Tabel 4.19. Tabel 4.19 menjelaskan tentang nilai yang digunakan dalam semesta, fungsi keanggotaan yang dibangun (himpunan), tipe fungsi keanggotaan yang dipakai serta nilai yang digunakan untuk pembuatan fungsi keanggotaan. Semen, *fly ash*, pasir, dan kerikil memiliki 3 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf*, air dan *superplasticizer* memiliki 2 fungsi keanggotaan dengan tipe *trapmf* sementara *j-ring* memiliki 5 fungsi keanggotaan dengan 2 tipe *trapmf* serta 3 tipe *trim*. Adanya fungsi keanggotaan MH dan MHH pada *j-ring* dikarenakan pada beberapa aturan berpengaruh pada lebih dari satu data yang memiliki hasil yang jauh berbeda, sehingga beda nilai antar fungsi keanggotaan akan cukup besar dan sulit untuk melakukan pengontrolan. Aturan (dalam bahasa *fuzzy* disebut dengan *rules*) dibuat sebanyak 324 *rules* yang ditampilkan pada Lampiran 10, aturan dibuat berdasarkan *membership function* yang telah dibuat, pembuatan dilakukan dengan sistem *trial and error* agar didapatkan aturan yang paling tepat untuk digunakan.

Tabel 4.19 Keanggotaan himpunan *input* dan *output* pada *j-ring*

Nama	Semesta	Himpunan	Type	Keanggotaan
Semen	[0-583]	L	<i>trapmf</i>	[-204 -87,45 87,5 204,1]
		M	<i>trapmf</i>	[87,5 204 408,9 465,5]
		H	<i>trapmf</i>	[408,9 525,5 670,5 787]
<i>Fly ash</i>	[0-525]	L	<i>trapmf</i>	[-183,8 -78,75 78,75 183,8]
		M	<i>trapmf</i>	[88,8 173,8 341,3 446,3]
		H	<i>trapmf</i>	[341,3 446,3 603,8 708,8]
Pasir	[487-1003]	L	<i>trapmf</i>	[306,4 409,6 564,4 667,6]
		M	<i>trapmf</i>	[564,4 667,6 822,4 925,6]
		H	<i>trapmf</i>	[822,4 925,6 1080 1184]
Kerikil	[578-962]	L	<i>trapmf</i>	[443,6 520,4 635,6 712,4]
		M	<i>trapmf</i>	[635,6 712,4 827,6 904,4]
		H	<i>trapmf</i>	[827,6 904,4 1020 1096]
Air	[152-247,5]	L	<i>trapmf</i>	[85,15 123,3 180,7 218,9]
		H	<i>trapmf</i>	[180,7 218,9 276,1 314,4]
SP	[1,98-16,5]	L	<i>trapmf</i>	[-8,184 -2,376 6,332 12,13]
		H	<i>trapmf</i>	[6,334 12,14 20,86 26,66]
<i>J-ring</i>	[-3-25]	L	<i>trapmf</i>	[-17,3 -6 -2 5,22]
		M	<i>trimf</i>	[2 7,481 13,5]
		MH	<i>trimf</i>	[9,11 11,9 16]
		MHH	<i>trimf</i>	[11 14,67 18,6]
		H	<i>trapmf</i>	[14,67 21,35 35,71 38,15]

4.5.2 Hasil Prediksi Pengujian *J-ring*

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai *j-ring* berjumlah 19 data yang diambil dari jurnal penelitian *self-compacting concrete (SCC)*, dari data yang didapat diolah agar dihasilkan nilai prediksi seperti pada Tabel 4.20 yang menunjukkan data, hasil prediksi, selisih, dan *error* yang ditunjukkan dalam satuan persen. Data hasil pengujian *j-ring* merupakan data yang bervariasi berkisar antara 0-23 mm. Hasil prediksi didapatkan nilai-nilai yang banyak mendekati data sekunder namun masih ada beberapa data yang juga jauh. Hasil prediksi pengujian *j-ring* dari analisis logika *fuzzy mamdani* didapatkan nilai 0 mm yang sama dengan hasil uji *j-ring* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 0 mm dengan selisih 0 mm, sedangkan hasil prediksi uji *j-ring* dari analisis logika *fuzzy mamdani* yang jauh didapatkan nilai 20 mm dengan hasil uji *j-ring* pada pengujian laboratorium didapatkan nilai 15 mm sehingga memiliki selisih 5 mm.

Tabel 4.20 Hasil prediksi nilai uji *j-ring*

No	Semen (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	<i>J-ring</i> (mm)	Fuzzy (mm)	Selisih* (mm)	<i>Error</i> (%)
1	465	85	910	590	227,7	10,73	2,3	3	0,7	30,43
2	440	110	910	590	228,3	11,01	6,7	5,5	1,2	17,91
3	415	135	910	590	233,3	9,91	3,7	4	0,3	8,11
4	385	165	910	590	234,4	9,91	3	3	0	0
5	355	195	910	590	241,6	9,91	7	2,3	4,7	67,14
6	539	0	743	924	178	5,93	11	12	1	9,09
7	437	80	743	924	176	4,65	16	14,2	1,8	11,25
8	333	162	743	924	173	3,71	15	20	5	33,33
9	225	247	743	924	170	3,21	20	21	1	5
10	115	336	743	924	167	2,93	23	21	2	8,7
11	0	439	743	924	158	1,98	22	21	1	4,55
12	82,5	467,5	624	794	225,5	11	0	0	0	0
13	165	385	656	834	187	11	3	5	2	66,67
14	225	525	487	620	247,5	15	0	0	0	0
15	275	275	691	880	187	13,75	5	5	0	0
16	325	325	611	777	221	13	0	0	0	0
17	385	165	732	931	170,5	13,75	10	10,6	0,6	6
18	350	150	707	901	180	8,75	9	14	5	55,56
19	495	55	756	962	159,5	16,5	15	14,8	0,2	1,33

*selisih merupakan nilai mutlak dari data dikurangi prediksi

Nilai *error j-ring* dikelompokkan seperti pada Tabel 4.12 agar diketahui banyaknya data pada setiap kelompok *error*. Nilai *error* dikelompokkan pada

setiap rentang 13,43 % dimulai dari 0 %. Hasil pengelompokan ditunjukkan dengan terdapat 13 data yang masuk dalam tentang 0-13,43 %, 1 data yang masuk pada rentang 13,43-26,86 %, 2 data yang masuk pada rentang 26,86-40,29 %, tidak ada data yang masuk pada rentang 40,29-53,72 %, serta terdapat 3 data yang masuk pada rentang 53,72-67,15 %. *Error* terbesar ada pada rentang 53,72-67,15 % dengan banyak 4 data. Banyaknya data yang memiliki *error* kurang dari sama dengan 13,43 % lebih banyak yaitu sebanyak 13 dibandingkan data yang memiliki *error* lebih dari 13,43 % yaitu berjumlah 6 data.

Tabel 4.21 Kelompok *error* pada *j-ring*

Rentang (%)	Banyak Data
0-13,43	13
13,43-26,86	1
26,86-40,29	2
40,29-53,72	0
53,72-67,15	3

Selisih antara data pengujian dengan nilai prediksi *j-ring* dikelompokkan pada Tabel 4.22. Tabel tersebut menunjukkan banyaknya data yang dikelompokkan berdasarkan selisih dengan rentang 1 mm dimulai dari 0 mm. Hasil pengelompokan tersebut menunjukkan bahwa terdapat 12 data yang masuk pada rentang 0-1 mm, 4 data yang masuk pada rentang 1-2 mm, tidak ada data yang masuk pada rentang 2-3 mm dan 3-4 mm, dan terdapat 3 data yang masuk pada rentang 4-5 mm. Selisih terbesar yang didapatkan yaitu 5 mm, selisih tersebut masih relatif kecil untuk pengujian dengan nilai terbesar dari data sekunder yaitu 23 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa analisis logika *fuzzy* didapatkan hasil yang mendekati data pengujian pada laboratorium karena selisih yang dihasilkan relatif kecil.

Tabel 4.22 Kelompok selisih pada *j-ring*

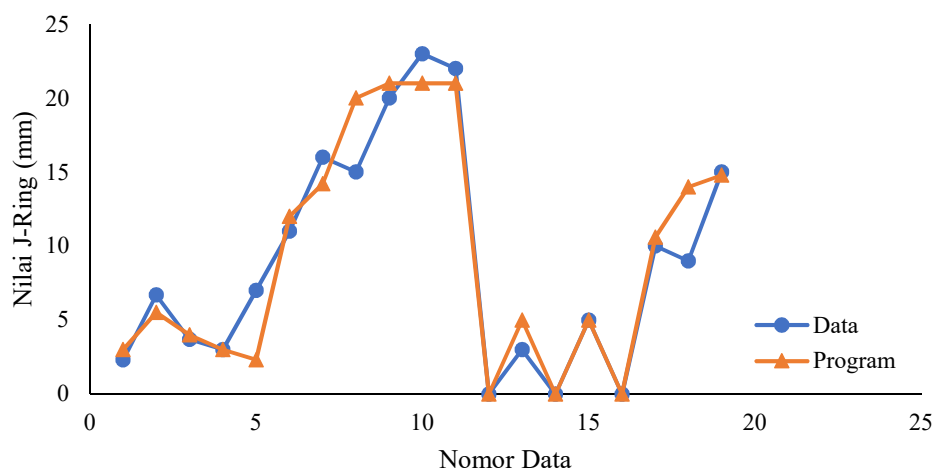
Rentang (mm)	Bayak Data
0-1	12
1-2	4
2-3	0
3-4	0
4-5	3

Nilai selisih dan *error* yang dihasilkan dari data pengujian dan hasil prediksi dirangkum pada Tabel 4.23. Nilai selisih minimum yang didapat yaitu 0 mm dengan *error* 0 % sehingga selisih terkecil memiliki *error* terkecil. Nilai selisih terbesar yang didapat yaitu 5 mm dengan *error* 33,33 % sementara nilai *error* terbesar yaitu 67,14 % yang memiliki nilai selisih 2 mm, lebih kecil dari nilai selisih terbesar. Nilai *error* terbesar tidak menunjukkan bahwa nilai prediksi memiliki selisih yang besar, karena *error* didapat dengan membagi nilai selisih dengan data sekunder, sehingga jika data sekunder semakin besar maka *error*nya akan semakin kecil begitu pula sebaliknya. Pada hasil prediksi pengujian *j-ring* keadaan yang mempengaruhi *error* tersebut meningkatkan nilai rata-rata *error* menjadi 17,1 % dan rata-rata selisih data pengujian dengan hasil prediksi yaitu 1,39 mm. Hasil rangkuman tersebut menunjukkan nilai yang relatif kecil jika dilihat secara keseluruhan.

Tabel 4.23 Hasil rangkuman selisih dan *error* pada *j-ring*

Keterangan	Selisih (mm)	<i>Error</i> (%)
Standar Deviasi	1.7	22.7
Minimal	0	0
Maksimal	5	67.14
Rata-rata	1.39	17.1

Perbandingan antara data penelitian dengan program *fuzzy* ditampilkan pada Gambar 4.15 yang dihubungkan antara nilai *j-ring* dengan nomor data. Gambar tersebut menampilkan titik yang didapat dari hubungan antara nomor data dengan nilai *j-ring* yang kemudian dihubungkan setiap titiknya menjadi alur dari data pertama sampai data terakhir. Gambar tersebut menunjukkan terdapat beberapa nilai program prediksi yang cukup jauh dari data pengujian seperti pada nomor data 5 yang hasil programnya lebih rendah sedangkan data pengujian didapatkan nilai yang naik ke 7 mm. Data yang memiliki perbedaan juga ada pada nomor data 8-10 yang memiliki selisih terbesar yaitu 5 mm. Meskipun terdapat beberapa nilai prediksi yang relatif jauh, namun secara keseluruhan jika dilihat dari aliran grafik, nilai prediksi *j-ring* dari analisis logika *fuzzy mamdani* mampu mendekati data pengujian berdasarkan laboratorium, sehingga dapat mewakili data-data pengujian berdasarkan pengujian laboratorium.



Gambar 4.15 Hubungan antara nilai *j-ring* dan nomor data

4.6 Parameter Ketepatan Prediksi

Parameter ketepatan prediksi pada prediksi nilai pengujian beton segar yang meliputi pengujian *slump-flow*, *T50*, *v-funnel*, *l-box*, dan *j-ring* ditampilkan pada Tabel 4.24. Tabel tersebut menunjukkan parameter yang digunakan yaitu *root mean squared error (RMSE)* dan *mean absolute error (MAE)*. Hasil perhitungan menunjukkan pada pengujian *slump-flow* memiliki nilai yang lebih besar dari penelitian yang pernah dilakukan Gupta (2015) yaitu untuk *RMSE* sebesar 5,77 dan untuk *MAE* sebesar 1 dikarenakan nilai yang digunakan pada pengujian *slump-flow* sangat besar dengan selisih mencapai puluhan mm. Sedangkan untuk pengujian *T50*, *v-funnel*, *l-box*, dan *j-ring* memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan penelitian yang dilakukan Gupta (2015) sehingga keempat prediksi nilai pengujian beton sebar tersebut lebih baik dari pada penelitian sebelumnya.

Tabel 4.24 Hasil perhitungan *RMSE* dan *MAE*

Pengujian	<i>RMSE</i>	<i>MAE</i>
<i>Slump-flow</i>	44,2	35,9
<i>T50</i>	0,47	0,37
<i>V-funnel</i>	0,96	0,73
<i>L-box</i>	0,025	0,02
<i>J-ring</i>	2,34	1,39