

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Self-Compacting Concrete (SCC) merupakan inovasi baru pada penggunaan beton dalam bangunan. SCC merupakan beton segar yang memiliki sifat cair yang tinggi dan mampu memadat sendiri dengan sedikit atau bahkan tanpa *vibrator*. Sifat cair yang tinggi membuat SCC mampu mengalir dan mengisi ruang ruang yang sulit dijangkau serta mampu melewati halangan seperti tulangan terpasang namun tetap memiliki ketahanan terhadap segregasi akibat pembatasan ukuran agregat yang digunakan, penggunaan superplasticizer serta faktor w/p yang rendah. Konsep SCC pertama kali dikemukakan oleh Okamura pada tahun 1986 dan prototipenya pertama kali dikembangkan oleh Ozawa di Universitas Tokyo pada tahun 1988 (Shi dkk., 2015). Penggunaan SCC sudah banyak dikembangkan diberbagai negara agar dapat diaplikasikan di negara masing-masing.

Logika *fuzzy* merupakan penalaran yang diperkenalkan oleh Prof. Luthfi A. Zadeh, seorang peneliti dibidang ilmu komputer dari Universitas California di Bakery pada tahun 1965 (Ross, 2010). Logika *fuzzy* merupakan logika kekaburan yang memiliki tingkat kebenaran, berbeda dengan logika tegas yang memiliki kemutlakan antara benar dan salah (Campbell dkk., 2016). Logika *fuzzy* termasuk logika yang dikembangkan dalam bidang ilmu computer, dalam bidang tersebut penalaran terhadap benar akan diwakilkan dengan 1 dan penalaran terhadap salah akan diwakilkan dengan 0. Logika *fuzzy* merupakan pengembangan dari logika tegas dimana dalam logika tegas penalaran terhadap benar akan mutlak bernilai 1 dan penalaran terhadap salah akan mutlak bernilai 0, sedangkan dalam logika *fuzzy* yang memiliki tingkat kebenaran akan memperhitungkan tingkat nilai antara keduanya. *Fuzzy* mengatur ketidakjelasan dalam kekaburan, dimana nilai nilai diantara 0 sampai 1 merupakan tingkat keanggotaan atau kelas set. Pemikiran manusia yang tidak hanya sebatas pada benar dan salah menjadi acuan dari adanya logika *fuzzy* dimana ada nilai keanggotaan antara 0 dan 1, ada abu abu diantara hitam dan putih, dan seterusnya.

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang *Self-Compacting Concrete*

Chopra dkk. (2015) melakukan penelitian tentang *self-compacting concrete* menggunakan bahan tambah abu sekam padi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi yang diambil dari Mullanpur distrik Ludhiana, India terhadap kuat tekan, kuat tarik dan permeabilitas beton. Persentase *Rise Husk Ash* (RHA) yang digunakan yaitu sebanyak 0%, 10%, 15%, dan 20% dari semen yang dipakai. Bahan yang digunakan untuk campuran beton adalah air, semen, abu sekam padi, kerikil, pasir, dan *superplasticizer*. Proporsi campuran bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Pengujian dilakukan dengan membuat 24 benda uji, dengan 9 kubus berukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm untuk pengujian kuat tekan beton dan 9 silinder berukuran d150 mm × 300 mm untuk pengujian kuat tarik beton yang akan dibagi pada 7, 28, dan 56 hari; serta 6 silinder berukuran d100 mm × 200 mm yang dipotong menjadi ukuran d50 mm × 100 mm untuk pengujian permeabilitas klorida atau *Rapid Chloride Permeability Test (RCPT)* pada 28 hari serta poritas pada 7 dan 28 hari. Pengujian pada beton segar dilakukan dengan menguji *Slump flow*, *V-funnel*, *L-box*, dan *U-box*, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Proporsi campuran bahan *self-compacting concrete* (Chopra dkk., 2015)

Benda Uji	Pasir (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	RHA (%)	RHA (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	w/b	Air (kg/m ³)	SP (kg/m ³)
0RHA	910	550	0	0	590	0,41	226	5,5
10RHA	910	495	10	55	590	0,41	226	5,5
15RHA	910	468	15	83	590	0,41	226	5,5
20RHA	910	440	20	110	590	0,41	226	5,5

Tabel 2.2 Hasil pengujian beton segar (Chopra dkk., 2015)

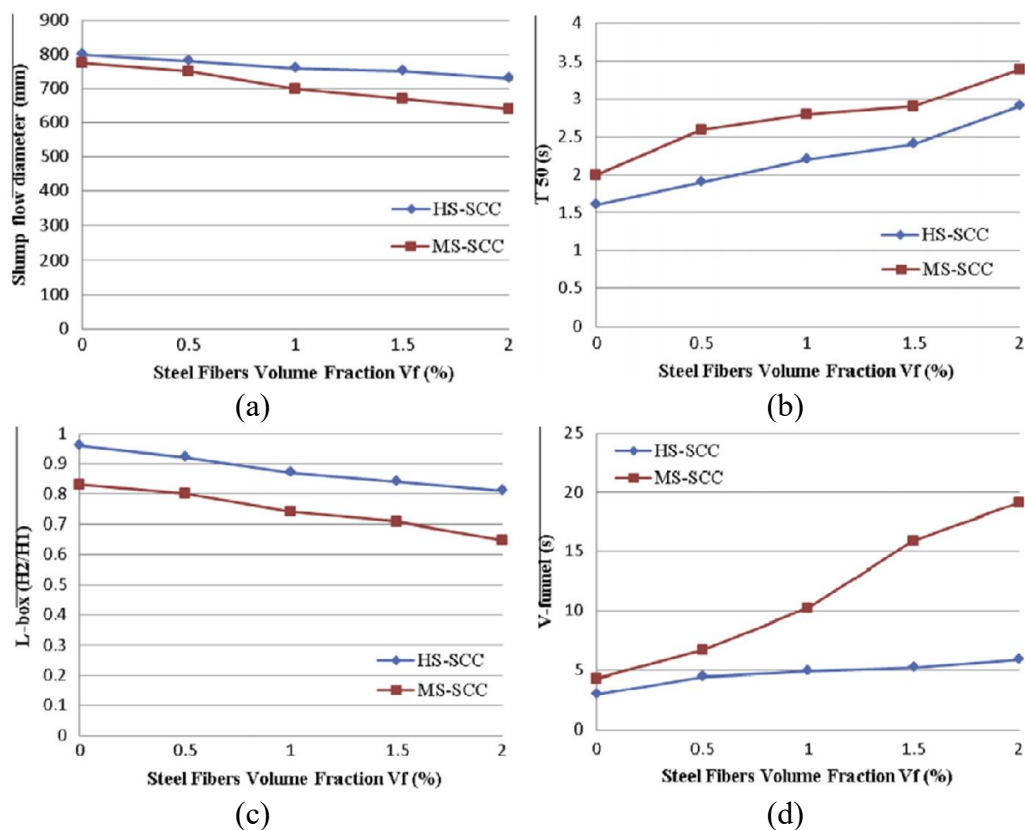
Jenis pengujian	Jarak (EFNARC, 2002)	RHA			
		0%	10%	15%	20%
V-Funnel (s)	6 – 12	6	8	11	13
U-Box (H2-H1)	0 – 30	5	18	25	30
Slump flow (mm)	650 – 800	730	700	670	600
L-Box (H2/H1)	0,8 – 1	1	0,9	0,8	Blocking

Khaloo dkk. (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan serat baja terhadap *self-compacting concrete*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perbedaan *self-compacting concrete* tanpa serat baja dengan *self-*

compacting concrete menggunakan serat baja 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari campuran mortar pada SCC. *Mix design* yang dipakai tercantum pada Tabel 2.3, dari 10 *mix design* terdapat dua diantaranya tidak menggunakan serat yang digunakan sebagai pembanding. MS-SCC-Fx dan HS-SCC-Fx merupakan dua ketentuan yang digunakan sebagai penamaan benda uji, MS-SCC-Fx digunakan untuk benda uji dengan kuat tekan rencana 40 MPa, x merupakan simbol untuk persentase serat fiber yang digunakan, HS-SCC-Fx digunakan untuk benda uji dengan kuat tekan rencana 60 MPa, x merupakan simbol untuk persentase serat fiber yang digunakan. Pegujian pada beton segar dilakukan dengan melakukan pengujian *Slump flow*, *T50*, *L-box*, dan *V-funnel* dengan hasil pengujian tertera pada Gambar 2.1.

Tabel 2.3 Proporsi campuran SCC (Khaloo dkk., 2014)

Benda Uji	Silica fume (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	w/b ratio	Air (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Filler (kg/m ³)	VMA (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	Volume Mortar (l/m ³)
MS-SCC	0	400	0,48	192	651	977	200	3,2	8	761
HS-SCC	50	500	0,38	209	574	861	200	4	7,5	795



Gambar 2.1 Hasil pengujian beton segar dengan pengujian (a) *Slumpflow* (b) *T50* (c) *L-Box* (d) *V-funnel* (Khaloo dkk., 2014)

Siddique (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *cool buttom ash* sebagai pengganti agregat halus pada *self-compacting concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *cool buttom ash* sebagai pengganti agregat halus terhadap permeabilitas, daya serap, ketahanan abrasi dan kuat tekan pada *self-compacting concrete*. Persentase *cool buttom ash* yang dipakai adalah 10%, 20% dan 30% dengan campuran *mix design* tercantum pada Tabel 2.4. Pengujian yang dilakukan pada beton segar meliputi pengujian *J-Ring*, *L-Box*, *Slump flow*, dan *U-Box* dengan hasil tercantum pada Tabel 2.5. pembuatan benda uji dilakukan dengan membuat kubus ukuran 150 mm × 150 mm × 150 mm untuk uji kuat tekan, 65 mm × 65 mm × 60 mm untuk uji ketahanan abrasi dan silinder dengan ukuran d50 mm × 100 mm untuk pengujian permeabilitas klorida atau *Rapid Chloride Permeability Test (RCPT)*.

Tabel 2.4 Proporsi campuran *self-compacting concrete* (Siddique, 2013)

Benda Uji	Fly ash (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	BA (kg/m ³)	SP (%)	Air (kg/m ³)	w/c	w/p	Conc. temp.	Room temp.
SCC1	90	589	460	913	-	2,00	228,6	0,52	0,41	29	32
SCC2	90	589	460	821	91	1,85	260,9	0,57	0,47	27	29,5
SCC3	90	589	460	730	183	1,90	281,4	0,61	0,51	28	34
SCC4	90	589	460	639	274	1,88	300,5	0,65	0,55	28	34

Tabel 2.5 Hasil pengujian beton segar (Siddique, 2013)

Benda Uji	<i>J-Ring</i>		<i>L-Box</i>				<i>Slump flow</i>		<i>U-Box</i>
	D (mm)	h2-h1 (mm)	T _{400mm} (s)	T _{600mm} (s)	T _L (s)	H2/H1	D (mm)	T _{50cm} (s)	H1-H2 (mm)
SCC1	587	2,3	3,50	8,30	11,90	0,89	673	4,50	20,00
SCC2	627	4,6	2,70	4,70	8,10	0,80	673	3,50	25,00
SCC3	537	4,7	2,20	3,90	6,40	0,95	591	5,90	30,00
SCC4	527	11,6	1,30	3,30	5,20	0,82	627	2,40	30,00

Krishnapal dkk. (2013) melakukan penelitian tentang penambahan *fly ash* pada *self-compacting concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* sebagai pengganti semen terhadap kekuatan *self-compacting concrete* dengan persentase 10%, 20%, dan 30% dari jumlah semen. Campuran beton yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan pada campuran beton segar dilakukan pengujian *Slump flow*, *T50*, *V-funnel*, serta *L-box* dengan hasil pengujian tertera pada Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Campuran penyusun *self-compacting concrete* (Krishnapal dkk., 2013)

Benda Uji	Fly ash (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	w/b ratio
S0	0	480	810	890	13,30	192	0,40
S10	48	432	810	890	9,90	192	0,40
S20	96	384	810	890	9,68	192	0,40
S30	144	336	810	890	9,40	192	0,40
S'0	0	450	810	890	9,25	202	0,45
S'10	45	405	810	890	8,20	202	0,45
S'20	90	360	810	890	6,40	202	0,45
S'30	135	315	810	890	4,80	202	0,45

Tabel 2.7 Hasil pengujian beton segar (Krishnapal dkk., 2013)

Benda Uji	T50 cm (s)	Slump flow (mm)	L-Box (H2/H1)	V-funnel (s)
S0	5,0	650	0,88	12
S10	4,0	665	0,85	9,0
S20	3,6	685	0,82	8,4
S30	3,0	680	0,80	8,1
S'0	4,1	687	0,80	9,0
S'10	3,5	689	0,79	8,6
S'20	3,0	690	0,78	8,0
S'30	3,0	695	0,78	8,0

Ardalan dkk. (2017) melakukan penelitian tentang kuat tekan *self-compacting concrete* dengan penambahan bubuk *pumice* dan *silica fume*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *slag*, *fly ash*, *pumice*, dan *silica fume*. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan bahan tambah *slag*, *fly ash*, *pumice*, dan *silica fume* pada campuran *self-compacting concrete* dengan proporsi yang tertera pada Tabel 2.8. Bahan yang digunakan kemudian dicampur dan pada *fresh concrete* dilakukan pengujian *slump flow*, *J-ring*, *U-box* dan *V-funnel* dengan hasil seperti pada Tabel 2.9. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan nilai rerata *slump-flow* yang didapatkan adalah 650 mm.

Tabel 2.8 Campuran pada *self-compacting concrete* (Ardala dkk., 2017)

Nama	Kerikil	Air	Semen	Pasir	Slag	Fly ash	Pumice	Silica fume
M1	580	191	500	1070	-	0	-	-
M2	590	191	450	1063	-	50	-	-
M3	584	191	400	1052	-	100	-	-
M4	578	191	350	1040	-	150	-	-
M5	571	191	300	1029	-	200	-	-
M6	565	191	250	1017	-	250	-	-

Tabel 2.8 Campuran pada *self-compacting concrete* (Ardala dkk., 2017) (Lanjutan)

Nama	Kerikil	Air	Semen	Pasir	Slag	Fly ash	Pumice	Silica fume
M7	595	191	450	1072	50	-	-	-
M8	594	191	400	1069	100	-	-	-
M9	592	191	350	1066	150	-	-	-
M10	590	191	300	1063	200	-	-	-
M11	580	191	250	1069	250	-	-	-
M12	595	191	450	1072	-	-	50	-
M13	594	191	400	1069	-	-	100	-
M14	592	191	350	1066	-	-	150	-
M15	590	191	300	1063	-	-	200	-
M16	589	191	250	1060	-	-	250	-
M17	590	191	350	1063	-	-	125	25
M18	587	191	250	1057	-	-	225	25
M19	584	191	200	1051	-	-	200	50

Tabel 2.9 Hasil pengujian beton segar (Ardala dkk., 2017)

Nama	Slump flow (mm)	U-box (mm)	J-ring mm	V-funnel (s)
M1	650	5	10	5
M2	650	10	10	5
M3	650	10	10	5
M4	650	15	20	7
M5	650	20	30	7
M6	650	20	30	8
M7	650	15	15	8
M8	650	10	15	8
M9	650	10	20	9
M10	650	5	20	7
M11	650	5	30	7
M12	650	10	10	5
M13	650	10	20	5
M14	650	15	20	7
M15	650	20	30	8
M16	640	25	30	9
M17	650	20	10	5
M18	650	10	10	6
M19	650	10	10	6

Frazao dkk. (2015) melakukan penelitian tentang penambahan serat baja pada *self-compacting concrete*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serat baja pada *self-compacting concrete* terhadap daya tahan beton. Bahan yang digunakan dalam campuran beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.10. Pengujian pada beton segar dilakukan dengan menguji *slump*

flow dan *L-box* dengan hasil seperti Tabel 2.11. Hasil pengujian menunjukkan nilai *slump-flow* terbesar yaitu SCC tanpa serat baja dengan nilai 673 mm sementara SCC dengan serat baja memiliki nilai *slup-flow* sebesar 667 mm.

Tabel 2.10 Proporsi campuran untuk 1 m³ *self-compacting concrete* (Frazo dkk., 2015)

Nama	LF (kg)	C (kg)	FS (kg)	CA (kg)	CS (kg)	W (L)	W/C	C _f (kg)	SP (L)
SCC	353	413	198	648	722	127,8	0,31	0	7,83
SFRSCC	353	413	195	640	713	127,8	0,31	60	7,83

Tabel 2.11 Hasil pengujian beton segar (Frazo dkk., 2015)

Nama	Slump flow		L-box		
	T ₅₀₀ (s)	Spread (mm)	H ₂ /H ₁	T ₄₀₀ (s)	T ₂₀₀ (s)
SCC	10,2	673	0,88	5,3	2,5
SFRSCC	15,6	667	0,81	10,1	5,3

Kavitha dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *metakaolin* pada *self-compacting concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *metakaolin* pada *self-compacting concrete* terhadap beton segar, keras, dan *microstruktur* beton dengan persentase 5%, 10%, dan 15%. Bahan campuran yang dipakai seperti pada Tabel 2.12 dan pengujian yang dilakukan pada beton segar meliputi *slump flow*, *T50*, *V-funnel*, dan *L-box* dengan hasil seperti pada Tabel 2.13. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi MK maka semakin rendah nilai *slump-flow*.

Tabel 2.12 Proporsi campuran *self-compacting concrete* (Kavitha dkk., 2015)

Nama	MK	MK (%)	Semen	Kerikil	Pasir	SP	Air	w/p
M1	-	0	500	650	900	3	190	0,38
M2	25	5	475	650	900	3	190	0,38
M3	50	10	450	650	900	4	190	0,38
M4	75	15	425	650	900	5	190	0,38

Tabel 2.13 Hasil pengujian beton segar (Kavitha dkk., 2015)

Nama	<i>Slump flow</i> (mm)	<i>V-funnel</i> (s)	<i>T₅₀</i> (s)	<i>L-box</i>
M1	690	4,8	2,3	0,87
M2	685	5,2	2,4	0,83
M3	680	5,4	2,9	0,8
M4	675	5,9	3,3	0,86

2.1.2 Penelitian Terdahulu tentang Logika Fuzzy

Khademi dkk. (2017) melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan umur 28 hari menggunakan *multiple linier regrestion (MLR)*, *artificial neural network (ANN)* dan *fuzzy logic (logika fuzzy)*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui tingkat ketepatan dalam memprediksi nilai kuat tekan beton umur 28 hari menggunakan *multiple linier regrestion (MLR)*, *artificial neural network (ANN)* dan *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)*. Data yang digunakan merupakan data hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dengan total 173 data. Pada metode *multiple linier regrestion (MLR)* data dibagi menjadi dua bagian himpunan, untuk *training* digunakan 147 data dan untuk *test* digunakan 26 data. Pada metode *artificial neural network (ANN)* data dibagi menjadi tiga bagian himpunan, untuk *training* digunakan 121 data, untuk *validation* digunakan 26 data dan untuk *test* digunakan 26 data. Pada metode *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)* data dibagi menjadi tiga bagian himpunan, untuk *training* digunakan 121 data, untuk *validation* digunakan 26 data dan untuk *test* digunakan 26 data. Hasil dari prediksi tersebut menunjukkan *artificial neural network (ANN)* memiliki tingkat ketepatan lebih tinggi dari pada *multiple linier regrestion (MLR)* atau *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)*, seperti terlihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Hasil perbandingan metode MLR, ANN, dan ANFIS (Khademi dkk., 2017)

Metode	Koefisien Determinan 1 (R^2)	Koefisien Determinan 2 (R^2)
MLR	0,7456	0,7311
ANFIS	0,8212	0,8053
ANN	0,9226	0,9010

Behfarnia dan Khademi (2017) melakukan penelitian tentang perbandingan estimasi kuat tekan beton menggunakan *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)* dengan *artificial neural network (ANN)*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan prediksi kuat tekan beton antara menggunakan *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)* dengan *artificial neural network (ANN)*. Data yang digunakan merupakan data hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dengan total 160 data, data yang

digunakan sebagai *training* berjumlah 112 data, data yang digunakan sebagai *validation* berjumlah 24 data dan data yang digunakan sebagai *test* berjumlah 24 data. Hasil dari prediksi menggunakan *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)* dan *artificial neural network (ANN)* menunjukkan bahwa *artificial neural network (ANN)* memiliki hasil yang lebih akurat seperti terlihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Hasil perbandingan antara ANFIS dan ANN (Behfarnia dan Khademi, 2017)

Metode	R ²
ANFIS	0,8931
ANN	0,9321

Gupta (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan *triangular membership function* untuk memprediksi kuat tekan beton dengan bahan tambah *nanosilica*. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui penggunaan *triangular membership function* pada logika *fuzzy* dalam memprediksi kuat tekan beton dengan bahan tambah *nanosilica*. *Membership function* yang digunakan dalam penelitian ini hanya menggunakan tipe segitiga. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari 10 jurnal dengan jumlah 32 data. Hasil penelitian tersebut ditampilkan pada Tabel 2.16 dengan menggunakan 3 parameter yaitu *correlation coefficient (CC)*, *mean absolute error (MAE)*, dan *Root mean square error (RMSE)*.

Tabel 2.16 Hasil parameter model logika *fuzzy* (Gupta, 2015)

No	Parameter statistik	Nilai
1	<i>Correlation coefficient (CC)</i>	0,968581
2	<i>Mean absolute error (MAE)</i>	1,00875
3	<i>Root mean square error (RMSE)</i>	5,769963

Yuan dkk. (2014) melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan beton dengan metode algoritma dan ANFIS. Tujuan penelitian tersebut untuk mengetahui ketepatan prediksi antara *artificial neural network (ANN)*, *genetic algorithms-artificial neural network (GA-ANN)*, dan *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)*. Data yang digunakan merupakan data dari *University*

of California, Irvine. Total sebanyak 180 data kuat tekan beton umur 28 hari dengan 150 data digunakan sebagai *training* dan 30 data digunakan sebagai *test* pada ANN, GA-ANN, dan ANFIS. Hasil dari ketepatan prediksi dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.17 Hasil perbandingan antara ANN, GA-ANN, dan ANFIS (Yuan dkk., 2014)

Metode	R ²	RMSE
ANN	0,680	3,21
GA-ANN	0,813	2,22
ANFIS	0,950	1,46

Jalalifar dkk. (2014) melakukan penelitian tentang prediksi *rock mass rating (RMR)* menggunakan logika *fuzzy* dan model regresi RMR *multi-variable*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui ketepatan prediksi RMR antara logika *fuzzy* dengan metode regresi linier. Hasil penelitian menggunakan metode logika *fuzzy* dan metode regresi linier dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.18 Hasil perbandingan metode prediksi (Jalalifar dkk., 2014)

Model	MAPE	RMSE	R ²	VAF
<i>Fuzzy inference system</i>	2,89	1,90	0,981	97,35
<i>Multiple regression</i>	3,25	2,29	0,966	96,22

2.1.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Perbedaan penelitian terdahulu dengan sekarang terdapat beberapa perbedaan. Pengujian yang dilakukan pada penelitian sekarang dilakukan dengan menentukan nilai prediksi tanpa melakukan pengujian laboratorium. Prediksi yang dilakukan yaitu prediksi pengujian beton segar pada *self-compacting concrete*. Perbedaan penelitian terdahulu dengan sekarang ditampilkan pada Tabel 2.18.

Tabel 2.19 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang

No	Penelitian	Jenis penelitian	Perbedaan penelitian	
			Terdahulu	Sekarang
1	<i>Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash</i> (Chopra dkk., 2015)	Pengujian Lab	Pengujian beton sebar dilakukan dengan pengujian laboratorium	Pengujian beton segar dilakukan dengan metode prediksi logika <i>fuzzy</i>

Tabel 2.19 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang (Lanjutan)

No	Penelitian	Janis penelitian	Perbedaan penelitian	
			Terdahulu	Sekarang
2	<i>Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers</i> (Khaloo dkk., 2014)	Pengujian Lab	Dilakukan penambahan serat baja pada <i>self-compacting concrete</i>	Penelitian dilakukan dengan penambahan <i>fly ash</i> pada <i>self-compacting concrete</i>
3	<i>Strength characteristics of self-compacting concrete containing flyash</i> (Krishnapal dkk., 2013)	Pengujian Lab	Dilakukan pengujian beton segar <i>self-compacting concrete</i> dengan bahan tambah <i>fly ash</i>	Dilakukan prediksi nilai pengujian beton segar dengan bahan tambah <i>fly ash</i>
4	<i>Workability retention and compressive strength of self-compacting concrete incorporating pumice powder and silica fume</i> (Ardalan dkk., 2017)	Pengujian Lab	Dilakukan dengan menggunakan bahan tambah <i>silica fume</i> pada <i>self-compacting concrete</i>	Dilakukan pengujian beton segar pada <i>self-compacting concrete</i> dengan bahan tambah <i>fly ash</i>
5	<i>Multiple linear regression, artificial neural network, and fuzzy logic prediction of 28 days compressive strength of concrete</i> (Khademi dkk., 2017)	Pembuatan Program	Dilakukan dengan metode <i>MLR</i> , <i>ANN</i> , dan <i>ANFIS (fuzzy)</i> untuk memprediksi kuat tekan beton normal umur 28 hari	Dilakukan hanya dengan metode logika <i>fuzzy</i>
6	<i>A comprehensive study on the concrete compressive strength estimation using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system</i> (Behfarnia dan Khademi, 2017)	Pembuatan Program	Dilakukan prediksi kuat tekan beton pada beton normal	Dilakukan prediksi pengujian beton segar pada <i>self-compacting concrete</i>
7	<i>Use of triangular membership function for prediction of compressive strength of concrete containing nanosilica</i> (Gupta, 2015)	Pembuatan Program	Dilakukan dengan menggunakan <i>membership function</i> segitiga	Dilakukan dengan menggunakan <i>membership function</i> trapesium
8	<i>Prediction of rock mass rating using fuzzy logic and multi-variable RMR regression model</i> (Jalalifar dkk., 2014)	Pembuatan Program	Prediksi nilai <i>rock mass rating (RMR)</i>	Prediksi nilai pengujian beton segar

Penggunaan logika *fuzzy* untuk memprediksi suatu bidang ilmu sudah sering dilakukan, namun penggunaan untuk memprediksi pengujian beton segar pada *self-compacting concrete (SCC)* belum pernah dilakukan, sehingga penelitian ini berbeda dan tidak memiliki kesamaan dengan penelitian sebelumnya.

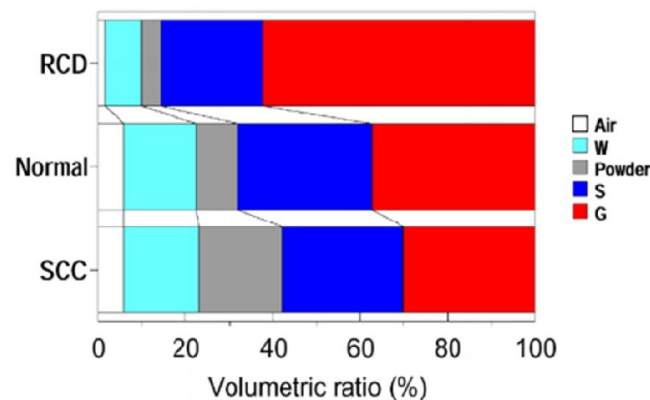
2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Self-Compacting Concrete*

Self-Compacting Concrete (SCC) merupakan beton yang memiliki tingkat kecairan yang tinggi sehingga mampu mengalir mengisi ruang serta memadat sendiri dengan sedikit atau bahkan tanpa *vibrator*. Konsep SCC pertama kali dikemukakan oleh Okamura pada tahun 1986 dan prototipenya pertama kali dikembangkan oleh Ozawa di Universitas Tokyo pada tahun 1988 (Shi dkk., 2015). *Self-Compacting Concrete (SCC)* memiliki kemampuan mengalir melewati tulangan terpasang dengan tetap mempertahankan ketahanan terhadap segregasi karena pembatasan kandungan, penggunaan *superplasticizer*, faktor w/p yang rendah serta ukuran agregat yang digunakan. Kemampuan *self-compacting concrete (SCC)* yang mudah mengalir serta tidak memerlukan pemadatan mampu meningkatkan *workability* sehingga membuat beton ini mudah untuk dikerjakan, hal itu dapat menghemat tenaga dan waktu, pada kondisi ruang yang terbatas dimana pekerja sulit menjangkaunya beton ini mampu mengisi ruang-ruang tersebut tanpa perlu lagi dipadatkan.

Self-Compacting Concrete (SCC) memiliki bahan penyusun sama seperti beton konvensional yaitu semen dengan atau tanpa bahan tambah pengganti semen yang bersifat *pozzolan*, air, pasir, kerikil, serta bahan tambah yaitu *superplasticizer*. Proporsi dari campuran bahan yang digunakan berbeda dengan beton konvensional, pada *self-compacting concrete (SCC)* proporsi yang digunakan dapat dilihat dan dibandingkan dengan beton normal dan *roller compacted concrete for dams (RCD)* pada Gambar 2.3 (Okamura dan Ouchi, 2003). Hasil perbandingan dari ketiganya menunjukkan *self-compacting concrete (SCC)* memiliki persentase agregat kasar (G) yang lebih sedikit dibandingkan beton normal dan RCD, pasir (S) yang digunakan juga lebih sedikit dibandingkan

beton normal dan penggunaan *powder* diperbanyak pada *self-compacting concrete (SCC)*. Agregat kasar yang digunakan dibatasi agar beton mampu mengalir dengan baik tanpa terjadi segregasi. *Powder* merupakan campuran semen dengan atau tanpa bahan tambah pengganti semen seperti *fly ash*, *cool buttom ash*, *rice husk ash*, dan lain sebagainya. Bahan tambah pengganti semen yang biasa digunakan merupakan bahan yang mengandung *pozzolan*, bahan yang sering digunakan seperti *fly ash (FA)*, *silica fume (SF)*, *ground granulated blast furnace slag (GGBS)*, *limestone*, serta bahan tambah lain seperti *metakaolin*, *natural pozzolana*, *ground glass*, *air cooled slag* dan bahan filler lain yang biasa digunakan dalam *self-compacting concrete (SCC)* (EFNARC, 2002 dan 2005).



Gambar 2.2 Perbandingan proporsi campuran RCD, beton normal, dan SCC (Okamura dan Ouchi, 2003)

Beton segar pada *self-compacting concrete (SCC)* memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut ini.

a. *Flowability*

Flowability merupakan kemampuan beton dalam mengalir dan mengisi ruang menggunakan beratnya sendiri. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui *flowability* salah satunya adalah *slump-flow* yang merupakan pemeriksaan utama bahwa konsistensi beton segar memenuhi spesifikasi. Syarat nilai hasil pengujian *slump-flow* pada *self-compacting concrete (SCC)* yaitu antara 550-850 mm (EFNARC, 2005).

b. *Viscosity*

Viscosity merupakan tingkat kekentalan yang dimiliki *self-compacting concrete (SCC)* yang diuji dengan mencari tahu tingkat kecepatan aliran.

Viscosity dapat dinilai dengan waktu $T_{50\text{cm}}$ selama pengujian *slum-flow* atau dinilai dengan waktu alir *v-funnel*. Nilai waktu yang diperoleh memang tidak mengukur tingkat *viscosity self-compacting concrete (SCC)* tetapi berkaitan dengan penggambaran laju aliran. Beton dengan *viscosity* rendah akan memiliki aliran awal yang sangat cepat dan kemudian berhenti. Beton dengan *viscosity* tinggi dapat terus merambat kedepan dalam waktu yang lama (EFNARC, 2005).

c. *Passing ability*

Passing ability merupakan kemampuan *self-compacting concrete (SCC)* mengalir melewati halangan seperti tulangan terpasang atau masuk kedalam celah sempit tanpa terjadi segregasi, kehilangan keseragaman atau terjadi pemblokiran. Penentuan *passing ability* perlu mempertimbangkan geometri dan kerapatan tulangan, *flowability/filling ability* dan ukuran maksimum agregat. Pengujian untuk mengetahui *passing ability* salah satunya dengan pengujian *l-box* untuk mengetahui nilai *blocking ratio* pada campuran *self-compacting concrete (SCC)*. Nilai *blocking ratio* yang diperbolehkan antara 0,8-1,0 (EFNARC, 2005).

d. *Segregation resistance*

Segregation resistance merupakan kemampuan *self-compacting concrete (SCC)* untuk mempertahankan keadaan komposisi yang homogen sebelum campuran pada beton tersebut mengeras. *Segregation resistance* sangat penting untuk mencegah terpisahnya agregat dalam campuran beton yang dapat mengakibatkan kerusakan pada permukaan beton akibat tidak meratanya komposisi campuran beton, terpisahnya agregat juga dapat menyebabkan penurunan kualitas pada beton. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui *segregation resistance* salah satunya adalah pengujian *sieve segregation resistant* dengan tingkat segegasi yang diperbolehkan maksimal 20% (EFNARC, 2005).

2.2.2 Pengujian Beton Segar

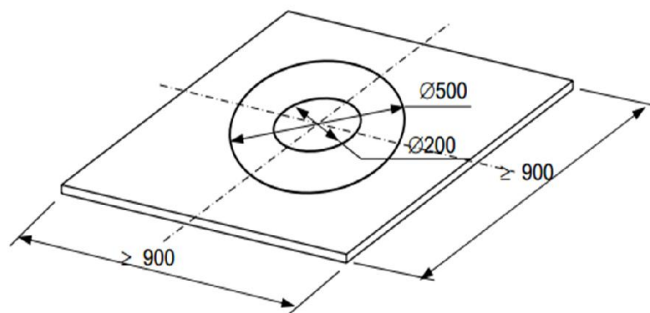
Campuran beton bisa dikatakan SCC apabila mempunyai karakteristik diatas, untuk mengetahui karakteristik diatas maka beton segar harus melewati

beberapa pengujian. Pengujian yang sering dilakukan pada beton segar meliputi berikut ini.

a. *Slump-flow* dan $T_{50\text{cm}}$

Pengujian *slump-flow* dan $T_{50\text{cm}}$ merupakan pengujian untuk mengetahui *flowability* dan laju aliran pada SCC tanpa ada penghalang. Alat yang dibutuhkan sebagai berikut:

- 1) kerucut abrams dengan diameter lubang bagian bawah 200 mm, diameter lubang bagian atas 100 mm, dan tinggi 300 mm (EFNARC, 2005),
- 2) *baseplate*, terbuat dari plat datar dengan luasan 900 mm × 900 mm. Plat harus datar dengan permukaan halus dan tidak menyerap air dengan ketebalan minimal 2 mm. Titik tengah plat dibuat garis silang memanjang sampai ke tepi, lalu dibuat lingkaran dengan diameter 200 mm dan 500 mm dengan pusat lingkaran berhimpitan dengan pusat plat seperti pada Gambar 2.4 (EFNARC, 2005),
- 3) penggaris lurus dengan panjang dari 0 mm sampai 100 mm dengan interval 1 mm (EFNARC, 2005), dan
- 4) *Stop watch* dengan ketelitian 0,1 s (EFNARC, 2005).



Gambar 2.3 Bentuk dan ukuran *baseplate* dengan satuan mm (EFNARC, 2005)

Cara pengujian *slump-flow* yaitu dengan menaruh kerucut abrams diatas *baseplate*, posisikan kerucut dengan diameter 200 mm berada dibawah dan tepat ada di titik tengah plat. Tuangkan beton segar pada kerucut abrams sampai penuh dan ratakan. Pengisian beton tidak boleh lebih dari 30 detik, lalu bersihkan sisa beton yang jatuh pada plat dasar, pastikan plat dalam keadaan bersih kemudian angkat kerucut keatas dengan sekali gerakan. Ketika

memulai pengangkatan kerucut, mulai hitung waktu dengan *stop watch* dan hentikan waktu ketika beton mencapai diameter 500 mm, catat waktu yang didapatkan untuk nilai $T_{50\text{cm}}$. Nilai *slump-flow* didapatkan dengan mengukur diameter aliran beton saat beton sudah berhenti mengalir seperti pada Gambar 2.5. Hasil pengujian *slump-flow* dapat dikategorikan berdasarkan Tabel 2.18 (EFNARC, 2005).



Gambar 2.4 Pengukuran diameter beton pada uji *slump-flow* (EFNARC, 2005)

Tabel 2.20 Klasifikasi nilai *slump-flow* (EFNARC, 2005)

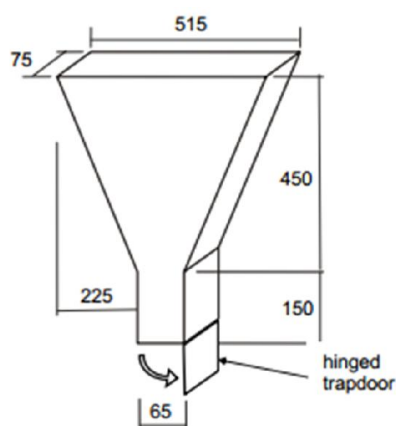
Kelas	<i>Slump-flow</i> (mm)
SF 1	$\leq 520-650$
SF 2	660-750
SF 3	$760-850 \leq$

b. *V-Funnel*

Pengujian *v-funnel* merupakan pengujian untuk menilai tingkat *viscosity* dan *filling ability* pada SCC. Alat yang dibutuhkan untuk pengujian ini adalah *v-funnel* dibuat dengan bentuk dan dimensi seperti Gambar 2.6 dengan toleransi dimensi ± 1 mm, dilengkapi dengan rilis cepat, terbuat dari bahan metal yang halus dan tidak mudah berkarat. Wadah yang memiliki kapasitas lebih besar dari kapasitas *funnel* untuk menampung beton yang jatuh. *Stop watch* dengan ketelitian 0,1 s untuk menghitung waktu laju aliran *v-funnel*. *Waterpass* untuk mensejajarkan *funnel* agar tegak lurus jatuh vertikal (EFNARC, 2005).

Tata cara pengujian dengan menaruh *v-funnel* pada penyangga dengan ketinggian disesuaikan agar beton bisa jatuh bebas ke wadah tanpa ada

halangan, pastikan funnel dalam keadaan bersih. Tutup pintu bagian bawah funnel kemudian tuang beton sampai terisi penuh dan ratakan, tunggu 10 ± 2 s dari pengisian lalu buka pintu bagian bawah dan hitung waktu laju aliran dari pembukaan pintu sampai kemungkinan bisa melihat corong dibawah secara vertikal. Nilai pengujian *v-funnel* dikategorikan seperti Tabel 2.19 (EFNARC, 2005).



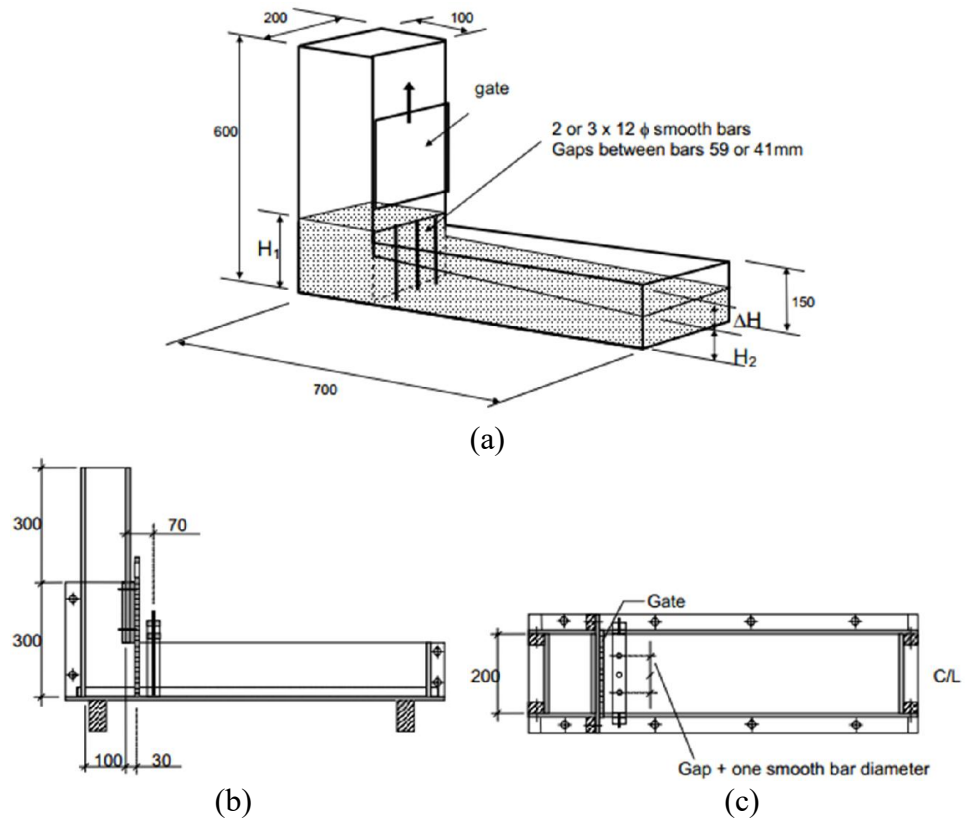
Gambar 2.5 Bentuk dan dimensi *v-funnel* dalam mm (EFNARC, 2005)

Tabel 2.21 Klasifikasi nilai *v-funnel* (EFNARC, 2005)

Kelas	<i>V-funnel</i> (s)
VF 1	≤ 8
VF 2	9-25

c. *L-Box*

Pengujian *L-box* merupakan pengujian untuk menilai *passing ability* pada SCC untuk mengalir melewati celah diantara tulangan dan penghalang lainnya tanpa segregasi atau pemblokiran. Pengujian memiliki dua varian yaitu menggunakan dua tulangan atau menggunakan tiga tulangan, tiga tulangan digunakan untuk simulasi tulangan yang rapat. Alat yang digunakan adalah *L-box* dengan bentuk dan dimensi seperti Gambar 2.7 dengan toleransi 1 mm, terbuat dari bahan metal yang halus dan tidak mudah berkarat, tulangan yang digunakan merupakan tulangan polos dengan diameter 12 mm, untuk dua tulangan terpasang jaraknya 59 mm dan untuk tiga tulangan terpasang jaraknya 41 mm. Penggaris yang memiliki panjang 300 mm dengan interval ± 1 mm (EFNARC, 2005).



Gambar 2.6 Bentuk dan dimensi *L-box* (a) tampak depan (b) tampak samping (c) tampak atas (EFNARC, 2005)

Pengujian dilakukan dengan mempersiapkan *L-box* pada bidang rata dan tutup pintu diantara bagian vertikal dan horinsontal, tuangkan beton dari wadah kedalam *L-box* dan biarka selama 60 ± 10 s. Catat setiap segregasi dan naikkan pintu agar beton mengalir ke bagian 23ocial23tal, setelah perpindahan berhenti ukur ketinggian beton pada ujung *L-box* dan ketinggian beton tepat dibelakang pintu. Nilai ratio yang diperbolehkan dapat dilihat pada Tabel 2.20 (EFNARC, 2005).

$$PAL = H2/H1 \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

PAL : *passing ability l-box*,

H2L : nilai ketinggian beton pada ujung kotak (mm), dan

H1L : nilai ketinggian beton tepat dibelakang pintu (mm).

Tabel 2.22 Klasifikasi nilai *L-box* (EFNARC, 2005)

Kelas	<i>Passing ability</i>
PA 1	$\geq 0,8$ dengan 2 tulangan
PA 2	$\geq 0,8$ dengan 3 tulangan

d. *J-Ring*

Pengujian *J-ring* merupakan pangujian untuk mengetahui *passing ability* pada SCC melewati tulangan diameter 10 mm dengan jarak tiap tulangan 48 ± 2 mm. Alat yang dibutuhkan yaitu *J-ring* terbuat dari cincin baja terbuka berdiameter 300 mm berbentuk segi empat $30 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ seperti Gambar 2.8 , dilubangi secara vertikal untuk dipasang tulangan diameter 10 mm dengan panjang 100 mm. Kerucut abrams dengan diameter atas 100 mm, diameter bawah 200 mm dan tinggi 300 mm. *Baseplate* terbuat dari bahan yang tidak menyerap air dengan luas persegi minimal $700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ dengan gambar lingkaran berdiameter 500 mm pada pusat plat. Penggaris dengan panjang lebih dari 500 mm dengan ketelitian 1 mm untuk mengukur hasil pengujian (EFNARC, 2002).



Gambar 2.7 Bentuk alat pengujian *J-ring* (EFNARC, 2002)

Cara pengujian dilakukan dengan menyusun *J-ring* diatas plat dasar tepat ditengah plat, pastikan plat dalam keadaan bersih tanpa halangan. Taruh kerucut abrams didalam *J-ring* tepat di pusat dengan posisi diameter 200 mm berada dibawah. Tuangkan beton pada kerucut dan ratakan serta bersihkan sisa sisa beton yang berjatuhan. Angkat kerucut secara vertikal keatas dengan sekali angkatan. Ukur perbedaan ketinggian antara beton diluar tulangan dengan didalam tulangan seperti Gambar 2.9. Hasil pengujian yang disyaratkan yaitu 0-10 mm (EFNARC, 2005).

$$PAJ = H1 - H2 \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan :

PAJ : *Passing ability j-ring* (mm),

H1J : Hasil pengukuran diluar tulangan (mm), dan

H2J : Hasil pengukuran didalam tulangan (mm).



Gambar 2.8 Pengukuran pengujian *J-ring*

2.2.3 Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* yang diperkenalkan Professor Lutfi A. Zadeh, seorang peneliti dari California University pada tahun 1965 di Berkeley menjadi solusi dari permasalahan ketidakjelasan esensial dalam banyak konstruksi ilmu sosial (Campbell dkk., 2016). Logika *fuzzy* merupakan cara tepat untuk memetakan suatu ruang masukan (*input*) kedalam suatu ruang keluaran (*output*) dengan menggunakan *IF-THEN rules*. Logika *fuzzy* memiliki kelebihan sebagai berikut:

- a. konsep logika *fuzzy* sangat sederhana dan mudah untuk dimengerti,
- b. logika *fuzzy* memiliki toleransi pada data-data yang tidak tepat,
- c. logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi non linier yang sangat kompleks,
- d. logika *fuzzy* mampu membangun dan mengaplikasikan berbagai pengalaman para pakar tanpa harus memalai proses pelatihan,
- e. logika *fuzzy* memiliki hubungan yang dekat dengan bahasa sehari-hari, dan
- f. logika *fuzzy* dapat digunakan dengan berbagai macam teknik kendali secara konvensional.

Logika *fuzzy* merupakan metode berhitung dengan *linguistic variable* atau menggunakan kata-kata sebagai pengganti bilangan dalam suatu perhitungan (Kusumadewi, 2002). Tahapan yang diperlukan untuk mendapatkan hasil nilai *output* dari logika *fuzzy* mamdani ada 4, yaitu sebagai berikut ini.

- a. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* merupakan kelompok yang mewakili sebuah keadaan variabel *fuzzy*. Terdapat dua jenis variabel pada himpunan *fuzzy* yaitu variabel *linguistic* yang merupakan penamaan suatu grup yang mewakili kondisi atau

keadaan tertentu menggunakan bahasa alami, dan variabel numeris yang merupakan nilai angka yang menunjukkan ukuran pada suatu variable (Kusumadewi, 2002).

b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Setiap aturan dalam logika *fuzzy* berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy* menggunakan pernyataan berikut ini.

$$IF\ x\ is\ A\ THEN\ y\ is\ B$$

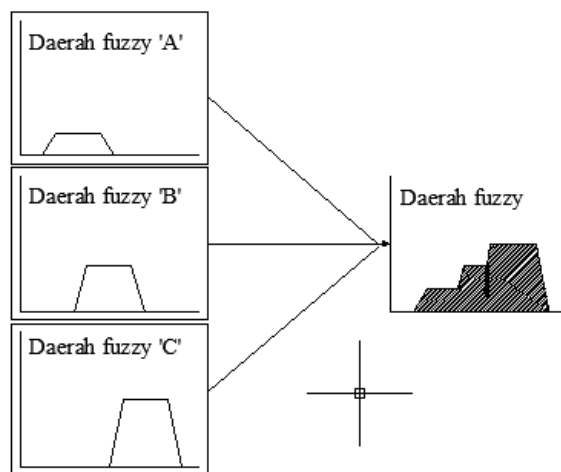
Nilai x dan y merupakan skalar, sedangkan nilai A dan B merupakan variabel linguistic. Aturan yang mengikuti *IF* disebut *anteseden*, sedangkan aturan yang mengikuti *THEN* disebut *konsekuen* (Kusumadewi, 2002).

c. Koperasi Aturan

Logika *fuzzy* memiliki 3 metode komposisi aturan yaitu *max-min*, *additive*, dan probabilistik OR (probor) (Kusumadewi, 2002).

d. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan penegasan dimana *input* dari prosesnya merupakan himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari kombinasi aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan berasal dari bilangan pada domain himpunan tersebut. Proses *defuzzifikasi* pada logika *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 2.10 (Kusumadewi, 2002).



Gambar 2.9 Proses *defuzzifikasi* (Kusumadewi, 2002)

2.2.4 Fuzzy Logic Toolbox Pada MATLAB

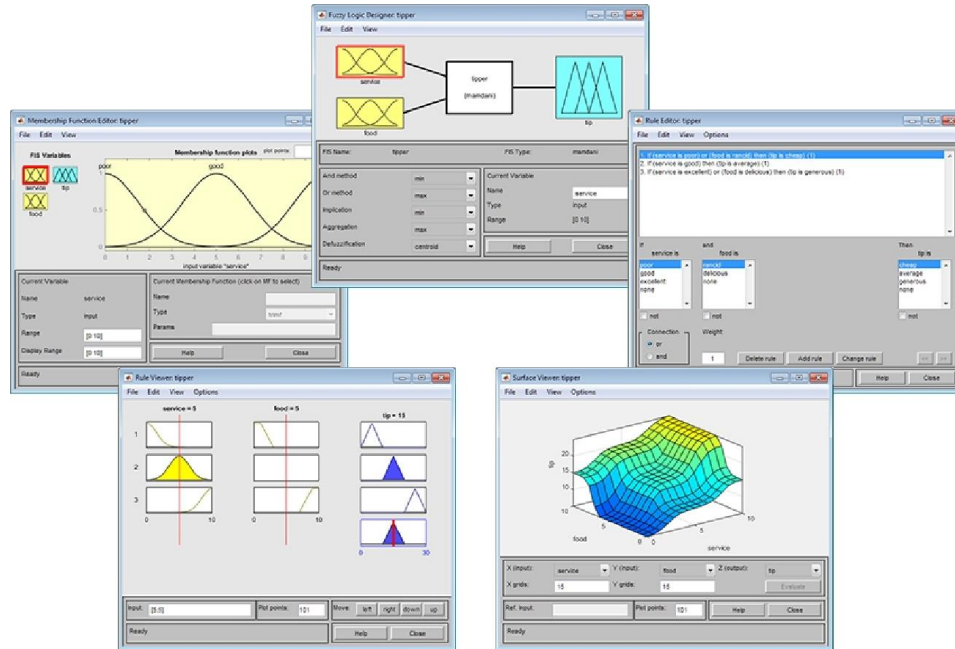
MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi dalam lingkungan komputasi numerik menggunakan dasar matriks. Banyak tools

yang ada dalam MATLAB yang dapat membantu berbagai cabang disiplin ilmu karena memiliki fungsi dan perintah yang mudah dimengerti.

Bahasa MATLAB mendukung operasi vektor yang menjadi dasar-dasar masalah teknik data. Fasilitas *fuzzy logic toolbox* yang ada pada aplikasi MATLAB mempermudah pemodelan suatu sistem *fuzzy*. Kemudahan dari ketersediaan tersebut dapat memaksimalkan pembuatan program berbasis logika *fuzzy*. Beberapa *tools* yang dapat digunakan untuk membuat, mengubah dan mengkonsep penalaran *fuzzy* dapat dilihat di bawah ini.

- a. *Fuzzy Interence System (FIS) Editor*, yaitu *toolbox* yang digunakan untuk membuat dan mengedit *input* dan *output* pada sistem penalaran *fuzzy*. Cara memunculkan *Fuzzy Interence System (FIS) Editor* dengan mengetik “*fuzzy*” pada *command window* di MATLAB.
- b. *Membership Function Editor*, yaitu *toolbox* yang digunakan untuk membuat dan mengedit fungsi keanggotaan *fuzzy* yang ada pada *input* dan *output*. Cara memunculkannya dengan klik *edit* lalu pilih *Membership Function* pada *toolbox Fuzzy Interence System (FIS) Editor*, atau bisa dengan menekan Ctrl+2.
- c. *Rule Editor*, yaitu *toolbox* yang digunakan untuk membuat dan mengedit aturan-aturan pada sistem penalaran *fuzzy*. Aturan yang dibuat akan berpengaruh pada proses *defuzzifikasi* pada logika *fuzzy*. Cara memunculkannya dengan klik *edit* lalu pilih *Rules* pada *toolbox Fuzzy Interence System (FIS) Editor*, atau bisa dengan menekan Ctrl+3.
- d. *Rule Viewer*, yaitu *toolbox* yang digunakan untuk melihat alur penalaran pada *fuzzy* meliputi variabel *input*, kompilasi aturan, fungsi implikasi, dan *defuzzifikasi* pada penegasan *output*. Cara memunculkannya dengan klik *view* lalu pilih *Rules* pada *toolbox Fuzzy Interence System (FIS) Editor*, atau bisa dengan menekan Ctrl+5.
- e. *Suface Viewer*, yaitu *toolbox* yang digunakan untuk melihat pemetaan variabel-variabel *input* dengan variabel-variabel *output*. Variable yang ditentukan dari *input* berjumlah 2 variabel sedangkan untuk *output* hanya terdapat 1 variabel apabila variable *output* hanya terdapat 1 varibael. Cara

memunculkannya dengan klik *view* lalu pilih *Surface* pada *toolbox Fuzzy Inference System (FIS) Editor*, atau bisa dengan menekan *Ctrl+6*.



Gambar 2.10 Tampilan *Fuzzy Inference System*

2.2.5 Parameter Ketepatan Prediksi

Parameter yang digunakan untuk mengukur ketepatan prediksi adalah *root mean squared error (RMSE)* dan *mean absolute error (MAE)* (Gupta, 2015).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (aktual - prediksi)^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (aktual - prediksi) \dots\dots\dots (2.4)$$