

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Self-Compacting Concrete atau beton memadat sendiri adalah beton yang bersifat cair dan memiliki kemampuan untuk mengisi seluruh ruang tanpa bantuan *vibrator* dan *compactor*. Karena sifatnya yang cair, *self-compacting concrete* dapat menjadi inovasi untuk menangani masalah resiko adanya rongga yang terdapat pada beton konvensional. Selain itu, *self-compacting concrete* juga memiliki tingkat *workability* yang tinggi sehingga memudahkan dalam proses konstruksi.

Logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk memprediksi hasil luaran (*output*) dari serangkaian data menggunakan kemampuannya untuk mengetahui kebiasaan dari serangkaian data. Kemampuan logika *fuzzy* ini dapat dimanfaatkan untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete* dan mengetahui tingkat efisiensinya. Perbedaan penelitian ini dari penelitian-penelitian sebelumnya adalah penelitian ini meninjau tentang *self-compacting concrete* bukan beton konvensional, dan metode yang digunakan untuk memprediksi adalah menggunakan logika *fuzzy* mamdani yang terdapat pada *toolbox Matlab*, sehingga penelitian ini belum pernah dilakukan sebelumnya.

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Kuat Tekan *Self-Compacting Concrete*

Mushtaq dan Nashier (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh *fly ash* sebagai pengganti semen terhadap *workability* dan kuat tekan *self-compacting concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan tingkat *workability* dan kuat tekan antara *self-compacting concrete* tanpa *fly ash* dengan *self-compacting concrete* menggunakan *fly ash* 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Campuran yang digunakan pada penelitian ini adalah air, semen, agregat kasar, agregat halus, *fly ash* dan *superplasticizer*. Proporsi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus berukuran 150mm × 150mm × 150mm. Pengujian kuat tekan dilakukan saat benda uji berumur 7 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan *self-compacting concrete* tanpa *fly ash* dan dengan menggunakan *fly ash* terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Proporsi benda uji (Mushtaq dan Nashir, 2018)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Fly Ash (%)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	SP (kg/m ³)
1	Kontrol	189	440	0	0	924	772	5,26
2	MFA1	189	396	44	10	924	772	5,26
3	MFA2	189	374	66	15	924	772	5,26
4	MFA3	189	352	88	20	924	772	5,26
5	MFA4	189	330	110	25	924	772	5,26
6	MFA5	189	308	132	30	924	772	5,26

Tabel 2.2 Hasil kuat tekan (Mushtaq dan Nashir, 2018)

No	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	
		7 (Hari)	28 (Hari)
1	Kontrol	33,4	45,8
2	MFA1	34,85	45,82
3	MFA2	36,02	47,69
4	MFA3	36,45	48,04
5	MFA4	38,72	50,11
6	MFA5	39,16	53,21

Krishnapal dkk. (2013) melakukan penelitian tentang studi kuat tekan *self-compacting concrete* dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penambahan *fly ash* terhadap *workability* dan kuat tekan *self-compacting concrete*. Variasi kadar *fly ash* yang digunakan dalam campuran adalah 10%, 20%, dan 30%. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 150mm × 150mm × 150mm.

Tabel 2.3 Proporsi benda uji (Krishnapal dkk., 2013)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	SP (kg/m ³)
1	S0	192	480	0	890	810	13,3
2	S10	192	432	48	890	810	9,9
3	S20	192	384	96	890	810	9,68
4	S30	192	336	144	890	810	9,4
5	S'0	202	450	0	890	810	9,25
6	S'10	202	405	45	890	810	8,2
7	S'20	202	360	90	890	810	6,4
8	S'30	202	315	135	890	810	4,8

Tabel 2.4 Hasil kuat tekan (Krishnapal dkk., 2013)

No	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	
		7 (Hari)	28 (Hari)
1	S0	36	52
2	S10	33	46
3	S20	26	42
4	S30	24	40
5	S'0	32	50
6	S'10	31	45
7	S'20	24	41
8	S'30	22	39

Ramanathan dkk. (2013) melakukan penelitian tentang perbandingan penggunaan bahan tambah *fly ash*, *silica fume*, dan *blast furnace slag* terhadap performa *self-compacting concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh bahan tersebut terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur *self-compacting concrete*. Bahan yang digunakan adalah air, semen, *fly ash*, *silica fume*, *blast furnace slag* agregat halus, agregat kasar, dan *superplasticizer*. Proporsi setiap campuran terdapat pada Tabel 2.5, Tabel 2.6, dan Tabel 2.7. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 150mm × 150mm × 150mm. Pengujian dilakukan ketika benda uji berumur 7 dan 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.5 Proporsi campuran menggunakan *fly ash* (Ramanathan dkk., 2013)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	SP (%)
1	Kontrol	175	500	0	900	600	3,5
2	Fly Ash 30%	175	350	150	900	600	2,2
3	Fly Ash 40%	175	300	200	900	600	2,15
4	Fly Ash 50%	175	250	250	900	600	2,1

Tabel 2.6 Proporsi campuran menggunakan *silica fume* (Ramanathan dkk., 2013)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	SP (%)
1	Kontrol	175	500	0	900	600	3,5
2	Silica Fume 30%	175	350	150	900	600	2,1
3	Silica Fume 40%	175	300	200	900	600	2,07
4	Silica Fume 50%	175	250	250	900	600	2

Tabel 2.7 Proporsi campuran menggunakan *blast furnace slag* (Ramanathan dkk., 2013)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Blast Furnace Slag (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	SP (%)
1	Kontrol	175	500	0	900	600	3,5
2	Blast Furnace Flag 30%	175	350	150	900	600	2,2
3	Blast Furnace Flag 40%	175	300	200	900	600	2,17
4	Blast Furnace Flag 50%	175	250	250	900	600	2

Tabel 2.8 Hasil uji kuat tekan (Ramanathan dkk., 2013)

No	Kuat Tekan (MPa)								
	Fly Ash			Silica Fume			Blast Furnace Slag		
	Benda Uji	7 (Hari)	28 (Hari)	Benda Uji	7 (Hari)	28 (Hari)	Benda Uji	7 (Hari)	28 (Hari)
1	Kontrol	20	30	Kontrol	20	30	Kontrol	20	30
2	Fly Ash 30%	29,16	37,18	Silica Fume 30%	34	48,88	Blast Furnace Flag 30%	24,1	32,44
3	Fly Ash 40%	28,6	39,13	Silica Fume 40%	32	42,23	Blast Furnace Flag 40%	21,4	31,8
4	Fly Ash 50%	28,73	41,42	Silica Fume 50%	30,15	35,14	Blast Furnace Flag 50%	18,2	31,55

Jalal dkk. (2015) melakukan penelitian tentang perbandingan pengaruh penambahan *fly ash*, *nano silica*, dan *silica fume* pada campuran *self-compacting concrete*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *fly ash*, *nano silica*, dan *silica fume* terhadap sifat-sifat *self-compacting concrete*. Dalam penelitian ini dilakukan uji kuat tekan untuk mengetahui perbandingan kuat tekan penambahan bahan tambah tersebut. Bahan yang digunakan adalah air, semen, *fly ash*, *nano silica*, *silica fume*, agregat halus, agregat kasar, *limestone*, *superplasticizer*, dan VMA. Proporsi setiap campuran terdapat pada Tabel 2.9. Pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 150mm × 150mm × 150mm. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan benda uji saat berumur 7, 28, dan 90 hari. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Proporsi campuran (Jalal dkk., 2015)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Silica Fume (kg/m ³)	Nano Silica (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Filler (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	SP (kg/m ³)	VMA (kg/m ³)
1	SCC400	152	400	0	0	0	177	1003	578	2,5	2
2	SCC500	190	500	0	0	0	177	1003	578	3,12	2,5
3	SCC400FA5	152	380	0	0	20	177	1003	578	2,5	2
4	SCC400FA10	152	360	0	0	40	177	1003	578	2,5	2
5	SCC400FA15	152	340	0	0	60	177	1003	578	2,5	2
6	SCC500FA5	190	478	0	0	25	177	1003	578	3,12	2,5
7	SCC500FA10	190	450	0	0	50	177	1003	578	3,12	2,5
8	SCC500FA15	190	425	0	0	15	177	1003	578	3,12	2,5
9	SCC400NS2	152	392	0	8	0	177	1003	578	2,5	2
10	SCC400SF10	152	360	40	0	0	177	1003	578	2,5	2
11	SCC400SF10NS2	152	352	40	8	0	177	1003	578	2,5	2
12	SCC500NS2	190	490	0	10	0	177	1003	578	3,12	2,5
13	SCC500SF10	190	450	50	0	0	177	1003	578	3,12	2,5
14	SCC500SF10NS2	190	440	50	10	0	177	1003	578	3,12	2,5

Tabel 2.10 Hasil uji kuat tekan (Jalal dkk., 2015)

No	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)		
		7 (Hari)	28 (Hari)	90 (Hari)
1	SCC400	36,4	51,8	53,1
2	SCC500	40,2	52,5	53,2
3	SCC400FA5	32,7	40,4	50,3
4	SCC400FA10	26,9	31,3	52,5
5	SCC400FA15	22,4	34,2	55
6	SCC500FA5	33,2	43,1	53
7	SCC500FA10	31,5	40,3	56,3
8	SCC500FA15	30,1	36,1	60,2
9	SCC400NS2	44,3	71,3	75,9
10	SCC400SF10	48,7	56,5	58,1
11	SCC400SF10NS2	59	78,8	82,4
12	SCC500NS2	49,7	82,1	86,1
13	SCC500SF10	43,9	63,4	65,1
14	SCC500SF10NS2	52,3	87,9	92,1

Siddique (2013) melakukan penelitian tentang pengaruh *coal bottom ash* sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap kuat tekan, permeabilitas, daya serap dan ketahanan abrasi *self-compacting concrete*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh *coal bottom ash* pada *self-compacting concrete* dan perbandingannya dengan *self-compacting concrete* tanpa *coal bottom ash*. Pada pengujian kuat tekan menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 150mm × 150mm × 150mm. Proporsi campuran untuk benda uji terdapat pada Tabel 2.11 dan hasil uji kuat tekan terdapat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.11 Proporsi campuran (Siddique, 2013)

No	Benda Uji	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus (kg/m ³)	Bottom Ash (kg/m ³)	SP (%)
1	SCC1	228,6	460	90	589	913	0	2
2	SCC2	260,9	460	90	589	821	91	1,85
3	SCC3	281,4	460	90	589	730	183	1,9
4	SCC4	300,5	460	90	589	639	274	1,88

Tabel 2.12 Hasil uji kuat tekan (Siddique, 2013)

No	Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)			
		7 (Hari)	28 (Hari)	90 (Hari)	365 (Hari)
1	SCC1	29,6	35,2	59	61,2
2	SCC2	25,8	35,1	46,5	48,8
3	SCC3	22,7	28,9	39,5	45,3
4	SCC4	20,8	25,8	36,2	41,8

2.1.2 Penelitain Terdahulu tentang Logika *Fuzzy*

Yuan dkk. (2013) melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan beton menggunakan algoritma genetik dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi prediksi kuat tekan beton antara menggunakan *artificial neural network* (ANN), *genetic-algorithms artificial neural network* (GA-ANN), dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS). Data benda uji yang digunakan sebanyak 180 sampel beton berumur 28 hari, dengan 150 sampel diuji menggunakan uji tekan dan 30 sampel diuji menggunakan *artificial neural network* (ANN), *genetic-algorithms artificial neural network* (GA-ANN), dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa prediksi kuat tekan beton menggunakan ANFIS memiliki simpangan dan *error* yang lebih kecil dibandingkan menggunakan *artificial neural network* (ANN), dan *genetic-algorithms artificial neural network* (GA-ANN). Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Hasil perbandingan ANN, GA-ANN, dan ANFIS (Yuan dkk., 2013)

Model	R ²	RMSE
ANN	0,68	3,21
GA-ANN	0,813	2,22
ANFIS	0,95	1,46

Behfarnia dan Khademi (2016) melakukan penelitian tentang perbandingan prediksi kuat tekan beton antara menggunakan *artificial neural network* dan *adaptive-network fuzzy inference system*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat efektifitas antara *artificial neural network* (ANN) dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS) dalam memprediksi kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150mm dan tinggi 300mm. Benda uji memiliki 7 parameter campuran yang berbeda-beda. Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 160 sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *artificial neural network* (ANN) lebih efektif digunakan untuk prediksi kuat tekan beton dibandingkan dengan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS). Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Hasil perbandingan prediksi antara ANN dan ANFIS (Behfariana dan Khademi, 2016)

Model	R ²
ANN	0,9321
ANFIS	0,8931

Khademi dkk. (2017) melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan beton umur 28 hari menggunakan *multiple linier regression*, *artificial neural network* dan *adaptive-network fuzzy inference system*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil prediksi kuat tekan beton menggunakan tiga model tersebut. Benda uji yang digunakan sebanyak 173 sampel dengan dua jenis data yang berbeda. Dua jenis data tersebut dibedakan berdasarkan parameter yang digunakan. Hasil dai penelitian menunjukkan bahwa prediksi kuat tekan beton umur 28 hari menggunakan *artificial neural network* (ANN) memiliki akurasi yang lebih tinggi daripada menggunakan *multiple linier regression* (MLR) dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS). Hasil perbandingan dari ketiga model tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.15.

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

Model	Koefisien Determinasi Data 1 (R ²)	Koefisien Determinasi Data 2 (R ²)
MLR	0,7456	0,7311
ANN	0,9226	0,901
ANFIS	0,8212	0,8053

Aggarwal dkk. (2013) melakukan penelitian tentang pemodelan menggunakan logika *fuzzy* untuk kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah sebagai pengganti semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi pada umur 28 hari dengan bahan tambah sebagai pengganti semen. Bahan tambah yang digunakan sebagai pengganti semen pada penelitian ini adalah *fly ash* dan *silica fume*. Hasil dari prediksi menggunakan logik *fuzzy* selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil prediksi menggunakan *artificial neural network* (ANN). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa logika *fuzzy* dan ANN dapat menjadi alternatif untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi, perbandingan hasil prediksi antara ANN dan logika *fuzzy* dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Hasil perbandingan antara ANN dan logika *fuzzy* (Aggarwal, 2013)

Model	Koefisien Korelasi	MAE	MRSE
FL (<i>gaussian</i>)	0,898	4,171	2,042
ANN	0,689	7,933	10,685
FL (<i>triangular</i>)	0,92	10,62	8,98

Gupta (2015) melakukan penelitian tentang menggunakan fungsi keanggotaan segitiga pada logika *fuzzy* untuk memprediksi kuat tekan beton yang mengandung *nanosilica* sebagai bahan pengganti semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana keefektifan fungsi keanggotaan segitiga pada logika *fuzzy* untuk memprediksi kuat tekan beton yang mengandung *nanosilica* pada umur 28 hari. Penelitian ini menggunakan 32 data sekunder pengujian kuat tekan beton yang menganung *nanosilica* yang berasal dari beberapa literature. Nilai kuat tekan yang berasal dari data tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pemodelan menggunakan logika *fuzzy*. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa fungsi keanggotaan segitiga pada logika *fuzzy* efektif untuk memprediksi kuat tekan beton. Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Hasil prediksi logika *fuzzy* (Gupta, 2015)

No	Parameter	Nilai
1	Koefisien Korelasi	0,968581
2	Mean Absolute Error (MAE)	1,00875
3	Root Mean Square Error (RMSE)	5,769963

2.1.3 Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini membahas tentang prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* dengan representasi kurva trapesium dan segitiga. *Input* yang digunakan dalam penelitian ini adalah data *mix design self-compacting concrete* dengan *fly ash* sebagai zat tambah pengganti semen. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Perbedaan dengan penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian	Perbedaan	
		Terdahulu	Sekarang
1	Prediksi Kuat Tekan Beton, Perbandingan antara Algoritma Genetik dengan ANFIS (Yuan dkk., 2013)	Metode yang digunakan untuk prediksi kuat tekan beton adalah ANN, GA-ANN dan ANFIS	Metode yang digunakan untuk prediksi kuat tekan adalah logika <i>fuzzy mamdani</i>
2	Studi Perkiraan Kuat Tekan Beton Menggunakan <i>Artificial Neural Network</i> dan <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (Behfarnia dan Khademi, 2017)	Kuat tekan beton yang akan diprediksi merupakan beton konvensional	Kuat tekan beton yang akan diprediksi adalah beton memadat sendiri atau <i>self-compacting concrete</i>
3	Prediksi Kuat Tekan Beton 28 Hari Menggunakan <i>Multiple Linear Regression</i> , <i>Artificial Neural Network</i> dan Logika Fuzzy (Khademi dkk., 2017)	Prediksi kuat tekan beton konvensional menggunakan <i>Multiple Linear Regression</i> , <i>Artificial Neural Network</i> dan Logika Fuzzy (ANFIS)	Prediksi kuat tekan <i>self-compacting concrete</i> menggunakan logika <i>fuzzy mamdani</i>
4	Prediksi Kuat Tekan Beton yang Mengandung <i>Nanosilica</i> Menggunakan Fungsi Keanggotaan Segitiga Pada Logika Fuzzy (Gupta, 2015)	Kurva representasi yang digunakan pada logika fuzzy adalah kurva segitiga	Kurva representasi yang digunakan pada logika fuzzy adalah kurva trapesium
5	Pemodelan Logika Fuzzy untuk Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah (Aggarwal dkk., 2010)	Metode yang digunakan untuk prediksi kuat tekan <i>self-compacting concrete</i> adalah <i>Artificial Neural Network</i> , <i>fuzzy logic gaussian</i> dan <i>tringular</i>	Metode yang digunakan untuk prediksi kuat tekan <i>self-compacting concrete</i> adalah logika <i>fuzzy mamdani</i>

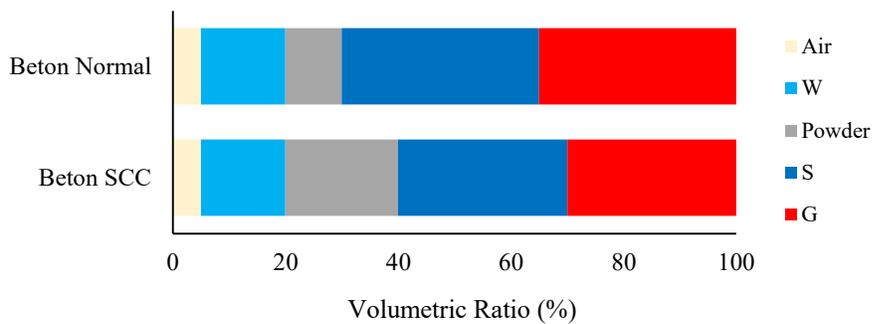
Keaslian penelitian ini dapat dilihat dari perbedaannya dengan penelitian-penelitian terdahulu, yaitu terletak pada objek dan metode yang digunakan. Objek pada penelitian ini adalah kuat tekan *self-compacting concrete* dengan bahan tambah *fly ash* dan metode yang digunakan untuk memprediksi adalah logika *fuzzy mamdani* dengan kurva representasi segitiga dan trapesium, dimana penelitian ini belum pernah dilakukan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Self-Compacting Concrete*

Self-compacting concrete atau beton memadat sendiri adalah beton yang memiliki sifat cair sehingga mampu mengalir dan mengisi ke seluruh ruang meskipun tanpa bantuan *vibrator* dan *compactor*. Bahan penyusun *self-compacting concrete* secara umum sama seperti beton konvensional, namun pada *self-compacting concrete* diberi bahan tambah berupa *superplasticizer*. Sifat cair yang dimiliki *self-compacting concrete* mampu meningkatkan *workability* pada saat proses pengecoran. Selain itu, *self-compacting concrete* juga memiliki tingkat kohesi yang tinggi sehingga tingkat terjadinya segregasi dan *bleeding* pada campuran menjadi rendah. *Self-compacting concrete* juga mampu mengeras lebih cepat daripada beton konvensional, sehingga dapat mempercepat waktu pengerjaan dan mengurangi biaya konstruksi.

Bahan material penyusun *self-compacting concrete* adalah air, semen dengan atau tanpa bahan pengganti semen yang bersifat *pozzolan*, agregat halus, agregat kasar, dan *superplasticizer*. Bahan pengganti semen yang sering digunakan pada *self-compacting concrete* antara lain *fly ash*, *silica fume*, dan *blast furnace slag*. Proporsi material yang diperlukan pada *self-compacting concrete* berbeda dengan beton konvensional. Okamura dan Ouchi (2003), membandingkan komposisi campuran antara *self-compacting concrete* dengan beton konvensional, yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Komposisi *powder* (semen dengan atau tanpa bahan pengganti semen yang bersifat *pozzolan*) pada *self-compacting concrete* lebih banyak daripada beton konvensional. Komposisi agregat kasar pada *self-compacting concrete* juga lebih sedikit dibanding beton konvensional.



Gambar 2.1 Perbandingan komposisi campuran *self-compacting concrete* dengan beton konvensional (Okamura dan Ouchi, 2003)

Self-compacting concrete memiliki beberapa kriteria, diantaranya sebagai berikut ini.

1. *Flow Ability*

Flow ability adalah kemampuan *self-compacting concrete* untuk mengalir dan mengisi ruang dengan beratnya sendiri. Tingkat *flow ability* dapat diukur dengan pengujian *slump-flow test*. Syarat minimum nilai *slump-flow* untuk *self-compacting concrete* adalah 550-850mm (EFNARC, 2005).

2. *Viscosity*

Viscosity adalah tingkat kekentalan yang dimiliki oleh *self-compacting concrete* yang diuji dengan mencari kecepatan mengalirnya. Tingkat *viscosity* pada *self-compacting concrete* dapat diuji dengan melakukan pengujian T₅₀₀ atau *V-funnel test*. (EFNARC, 2005).

3. *Passing Ability*

Passing ability adalah kemampuan *self-compacting concrete* kemampuan *self-compacting concrete* untuk mengalir melewati tulangan atau celah sempit tanpa terjadinya segregasi. *Passing ability* dapat ditentukan salah satunya dengan pengujian *L-shape box* untuk mengetahui nilai *blocking ratio* dari campuran *self-compacting concrete*. Nilai *blocking ratio* yang disyaratkan adalah 0,8-1,0 (EFNARC, 2005).

4. *Segregation Resistance*

Segregation resistance adalah kemampuan *self-compacting concrete* untuk tetap dalam keadaan komposisi yang homogen sebelum campuran beton tersebut mengeras. Hal tersebut untuk mencegah terpisahnya material agregat dalam

campuran adukan beton, sehingga akan mengakibatkan kerusakan pada permukaan beton atau melemahnya permukaan beton yang akan penurunan menurunkan kualitas beton itu sendiri. *Segregation resistance* dapat ditentukan dengan pengujian *sieve segregation resistance test*. Tingkat segregasi yang dibolehkan untuk *self-compacting concrete* adalah maksimal 20%. (EFNARC, 2005).

2.2.2 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima beban (gaya tekan aksial) per satuan luas. Kuat tekan beton menjadi salah satu aspek yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur (Mulyono, 2004). Sifat utama beton adalah memiliki kuat tekan yang lebih besar dari pada kuat tariknya. Kuat tekan beton dinyatakan dalam satuan MPa atau N/mm² yang didapatkan dari Persamaan 2.1 (BSN, 2011).

$$f_c' = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

- f_c' = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban atau gaya tekan aksial (N)
- A = luas penampang benda uji (mm²)

2.2.3 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Lotfi A. Zadeh dari California University di Barkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* merupakan suatu cara untuk memetakan suatu masukan (*input*) kedalam bentuk keluaran (*output*) menggunakan *IF-THEN rules*. Konsep dasar dari logika *fuzzy* adalah menjabarkan perhitungan matematis untuk menjelaskan ketidakjelasan atau tingkat kesamaran suatu data.

Logika *fuzzy* menjadi salah satu alternatif dari beberapa metode untuk pengambilan keputusan yang telah ada karena logika *fuzzy* memiliki beberapa kelebihan, diantaranya sebagai berikut ini.

1. Logika *fuzzy* memiliki konsep yang sangat sederhana.
2. Logika *fuzzy* memiliki sifat fleksibel, sehingga dapat beradaptasi dengan berbagai perubahan dan ketidakpastian.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap berbagai data input yang kurang tepat.

4. Logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk memodelkan berbagai fungsi non linear yang kompleks.
5. Logika *fuzzy* mampu membangun serta mengaplikasikan berbagai pengalaman dan pengetahuan dari para pakar.
6. Logika *fuzzy* dapat digunakan bersama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
7. Logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa sehari-hari.

Menurut Kusumadewi (2002) logika *fuzzy* merupakan metode berhitung dengan menggunakan *linguistic variable* (menggunakan kata-kata sebagai pengganti bilangan dalam hitungan). Terdapat 4 tahap yang diperlukan untuk mendapatkan nilai output dari *fuzzy mamdani*, yaitu sebagai berikut ini.

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu kelompok yang mewakili keadaan sebuah variabel *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* mempunyai dua jenis variabel, yaitu variabel linguistik dan numeris. Variabel linguistik merupakan penamaan berdasarkan keadaan menggunakan bahasa alami, sedangkan numeris merupakan nilai angka yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel (Kusumadewi, 2002).

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Setiap aturan pada logika *fuzzy* berhubungan dalam suatu relasi *fuzzy* dengan menggunakan pernyataan sebagai berikut:

$$IF x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B \dots\dots\dots (2.2)$$

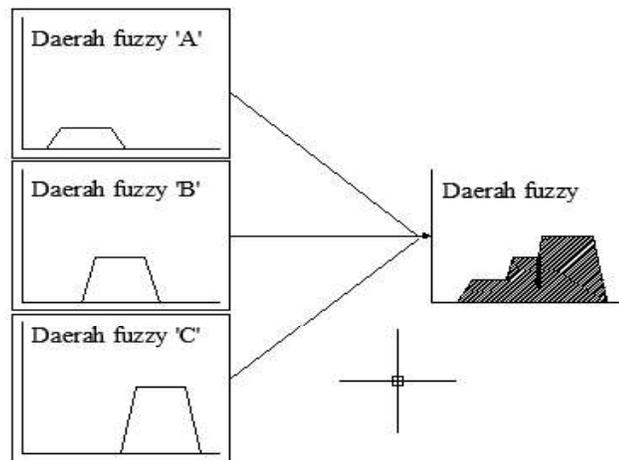
Dengan x dan y merupakan skala, sedangkan A dan B adalah variabel linguistik. Aturan *IF* disebut *anteseden*, sedangkan *THEN* disebut konsekuensi.

3. Komposisi Aturan

Komposisi aturan pada logika *fuzzy* terdapat 3 metode yaitu *max-min*, *additive* dan probabilitas OR (probor) (Kusumadewi, 2002).

4. Penegasan (*Defuzzifikasi*)

Defuzzifikasi merupakan penegasan *input* dari prosesnya yang diperoleh dari himpunan *fuzzy* dan kombinasi aturan-aturannya, dan nilai *output* yang didapat merupakan bilangan pada domain himpunan tersebut (Kusumadewi, 2002). Proses *defuzzifikasi* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *defuzzifikasi* (Kusumadewi, 2002)

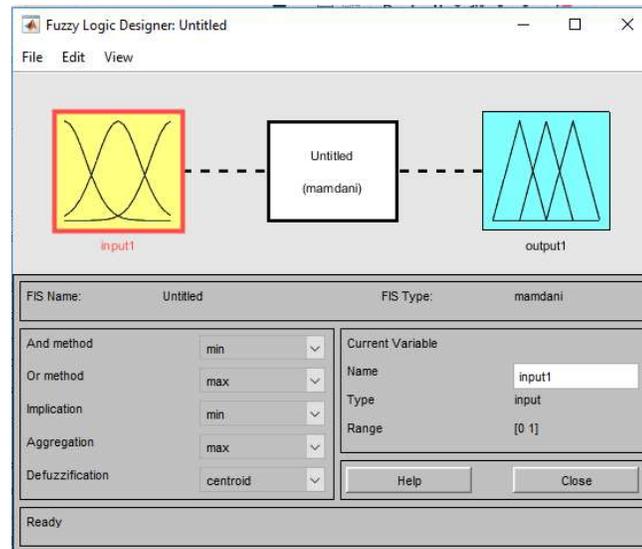
2.2.4 *Fuzzy Logic Toolbox* Pada *MATLAB*

MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan bahasa pemrograman tingkat lanjut yang dibentuk berdasarkan menggunakan sifat dan operasi matriks. *MATLAB* adalah sebuah program yang dapat digunakan untuk analisis data, komputasi numerik, simulasi dan pemodelan perhitungan. *MATLAB* telah digunakan di berbagai cabang disiplin ilmu sebagai *problem solver* karena memiliki perintah dan fungsi yang mudah dimengerti.

Bahasa yang digunakan pada aplikasi *MATLAB* mendukung operasi vektor yang menjadi dasar dalam masalah teknik data. Aplikasi *MATLAB* juga dapat digunakan untuk memodelkan logika *fuzzy* menggunakan *fuzzy logic toolbox* yang terdapat pada aplikasi tersebut. Fasilitas *fuzzy logic toolbox* yang terdapat pada aplikasi *MATLAB* memudahkan dalam memodelkan suatu sistem *fuzzy*. Terdapat 5 *tools* utama yang dapat digunakan untuk membuat, mengubah dan mengobservasi penalaran logika *fuzzy* pada *fuzzy logic toolbox* yang terdapat pada aplikasi *MATLAB*.

1. *Fuzzy Logic Designer*

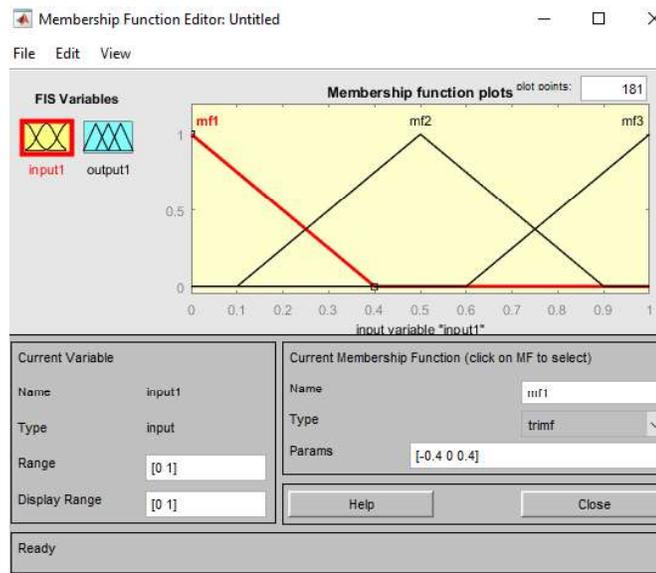
Fuzzy Logic Designer digunakan untuk memulai atau memodelkan suatu sistem *fuzzy*. Cara untuk memulai pemrograman *fuzzy* pada aplikasi *MATLAB* adalah dengan menuliskan “*fuzzy*” di *command line* pada tampilan awal *MATLAB*. Tampilan kotak dialog *Fuzzy Logic Designer* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tampilan kotak dialog *Fuzzy Logic Designer*

2. *Membership Function Editor*

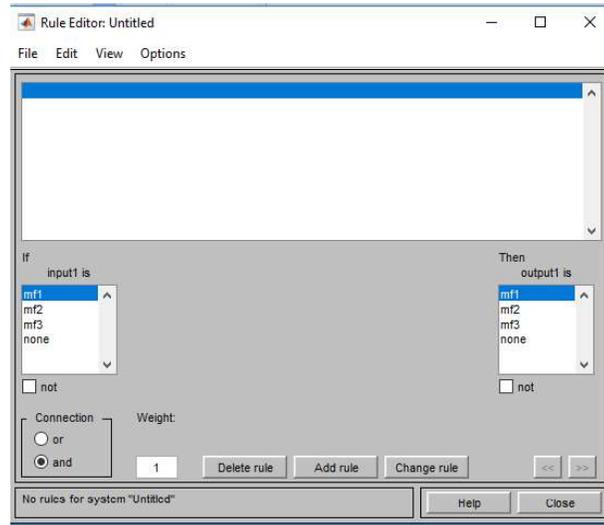
Membership Function Editor berfungsi untuk mengubah dan mengatur keanggotaan himpunan pada setiap variabel *input* maupun *output* yang digunakan pada logika *fuzzy*. Jenis kurva representasi yang digunakan juga diatur pada *tools* ini. Tampilan kotak dialog *Membership Function Editor* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tampilan kotak dialog *Membership Function Editor*

3. Rule Editor

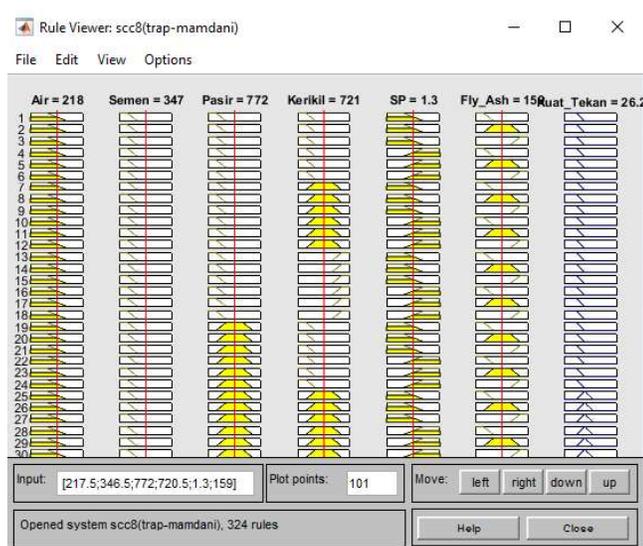
Rule Editor merupakan *tools* yang digunakan untuk membuat, mengubah, dan menghapus aturan yang terdapat pada sistem *fuzzy*. Aturan pada logika *fuzzy* berfungsi dalam pengambilan keputusan pada sistem *fuzzy* itu sendiri. Tampilan kotak dialog *Rule Editor* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tampilan kotak dialog *Rule Editor*

4. Rule Viewer

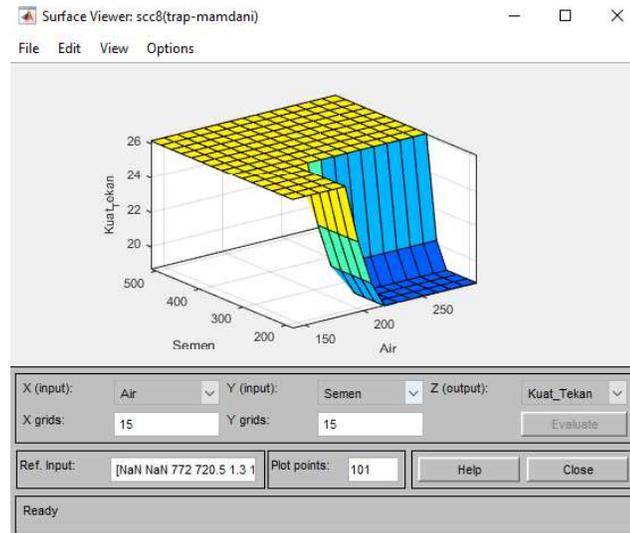
Rule Viewer adalah *tools* yang digunakan untuk melihat hasil dari penalaran *fuzzy* meliputi pemetaan *input*, aplikasi operator, fungsi implikasi sampai dengan penegasan (*defuzzifikasi*). Tampilan kotak dialog *Rule Viewer* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Tampilan kotak dialog *Rule Viewer*

5. *Surface Viewer*

Surface Viewer merupakan *tools* yang digunakan untuk melihat pemetaan antara variabel *input* dengan variabel *output*. *Surface Viewer* mampu menganalisa hubungan antara 2 jenis *input* terhadap hasil *output*. Tampilan kotak dialog *Surface Viewer* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tampilan kotak dialog *Surface Viewer*