

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan bahan konstruksi yang sering digunakan untuk pembangunan karena mudah dikerjakan dan memiliki kuat tekan yang tinggi. Akan tetapi, proses pekerjaan pengecoran beton dibutuhkan *vibrator* dan *compactor* untuk memadatkan beton tersebut menjadi salah satu kelemahan dalam pekerjaan pengecoran karena tidak semua tempat pengecoran dapat dijangkau oleh *vibrator* dan *compactor*, sehingga untuk mengatasi kelemahan dari proses pekerjaan beton normal tersebut, salah satunya *self-compacting concrete* (SCC). *Self-compacting concrete* (SCC) adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalir karena berat sendirinya dan mampu mengisi ruang-ruang didalam cetakan tanpa proses pemadatan (EFNARC, 2002). Beton SCC yang digunakan pada bangunan konstruksi harus mampu menahan gaya tekan dan lentur sehingga bangunan tidak mengalami kegagalan struktur, stabil dan aman. Nilai kuat lentur dapat diketahui dengan pengujian kuat lentur menggunakan benda uji, konversi nilai kuat tekan menggunakan rumus teoritis. Berdasarkan penelitian sebelumnya, memprediksi nilai kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* belum pernah diteliti, sehingga dengan ini akan dilakukan penelitian mengenai hal tersebut.

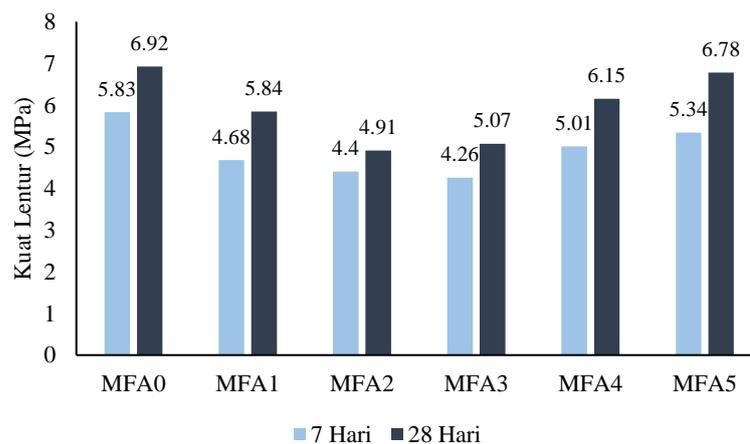
2.1.1. Penelitian Terdahulu tentang Beton Mutu Tinggi

Mushtaq dan Nasier (2018) melakukan penelitian tentang *self-compacting concrete* menggunakan bahan tambah *fly ash*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *fly ash* pada kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur pada beton SCC. Campuran material yang digunakan pada penelitian ini adalah semen, agregat kasar, agregat halus, air, *superplasticier*, dan *fly ash*. Proporsi campuran beton SCC dengan bahan tambah *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 2.1. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan benda uji berbentuk balok dimensi 100 x 100 x 500 mm pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Hasil pengujian kuat lentur beton SCC menggunakan bahan tambah *fly ash* dan tanpa *fly ash* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1.

Berdasarkan pengujian penggunaan bahan tambah *fly ash*, semakin banyak jumlah *fly ash* yang digunakan maka kuat tekan yang dihasilkan akan semakin tinggi, nilai namun kuat lentur yang dihasilkan akan semakin rendah. Nilai kuat lentur paling tinggi pada benda uji MFA0 yang tidak menggunakan bahan tambah *fly ash* yaitu 6,92 MPa.

Tabel 2.1 Proporsi campuran beton SCC (Mushtaq dan Nasier, 2018)

Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Sp (kg/m ³)	<i>Fly ash</i> (kg/m ³)
189	396	924	772	5,26	44
189	374	924	772	5,26	66
189	352	924	772	5,26	88
189	330	924	772	5,26	110
189	308	924	772	5,26	132



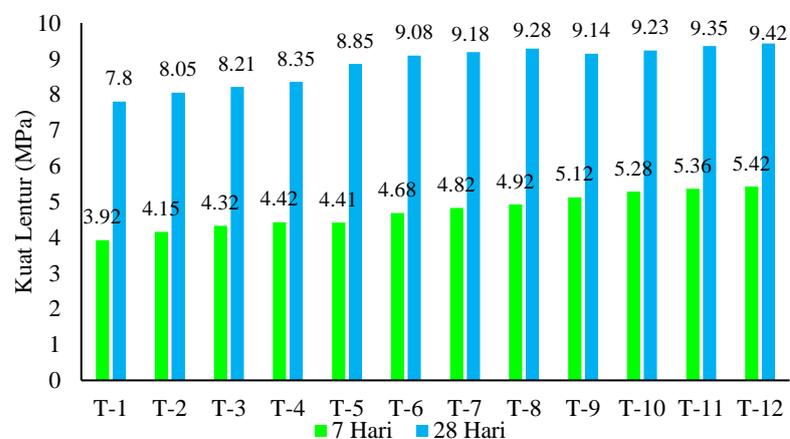
Gambar 2.1 Hasil pengujian kuat lentur (Mushtaq dan Nasier, 2018)

Ramji dan Eswar (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *fly ash* dan serbuk kaca terhadap kekuatan *self-compacting concrete*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur yang dihasilkan dari penambahan *fly ash* dan serbuk kaca pada *self-compacting concrete*. Proporsi campuran beton SCC untuk pengujian yang mana material yang digunakan adalah semen, agregat kasar, agregat halus, air, *superplasticier*, *fly ash* dan penambahan serbuk kaca dengan variasi persentase sebesar 5%, 10%, dan 15% yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. Pengujian kuat lentur berbentuk balok dimensi

100 x 100 x 500 mm pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Gambar 2.2 menunjukkan hasil pengujian kuat lentur pada beton SCC dengan tambahan serbuk kaca 5%, 10%, 15% menghasilkan kuat lentur lebih tinggi yaitu sebesar 2%, 3,7%, 6,75%. Oleh karena itu, penambahan serbuk kaca dapat digunakan sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kuat lentur dari beton SCC namun harus tetap memperkirakan persentase yang akan digunakan.

Tabel 2.2 Proporsi campuran beton SCC (Ramji dan Eswar, 2018).

Kode	Air (kg/m ³)	Semen (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Kerikil (kg/m ³)	Sp (%)	Fly ash (kg/m ³)	Glass powder (kg/m ³)
T-1		470	705	1410	0,846	94	0
T-2	216,2	473	705	1410	0,846	94	23,5
T-3		470	705	1410	0,846	94	47
T-4		472	705	1410	0,846	94	70,5
T-5		490	612,5	980	0,882	98	0
T-6	205,8	492	612,5	980	0,882	98	24,5
T-7		490	612,5	980	0,882	98	49
T-8		493	612,5	980	0,882	98	73,5
T-9		510	795,6	637,5	0,918	102	0
T-10	193,8	512	795,6	637,5	0,918	102	25,5
T-11		510	795,6	637,5	0,918	102	51
T-12		511	795,6	637,5	0,918	102	76,5

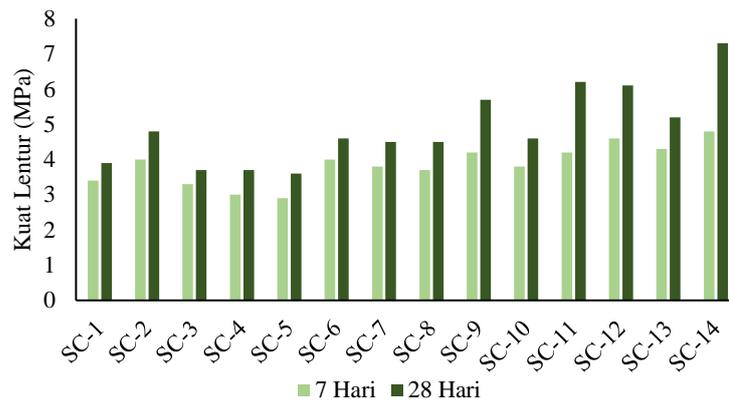


Gambar 2.2 Hasil pengujian kuat lentur (Ramji dan Eswar, 2018)

Jalal dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh perbandingan penggunaan *fly ash*, *nano silica* dan *silica fume* pada kekuatan *self-compacting concrete*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *fly ash*, *nano silica* dan *silica fume* terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur. Material yang digunakan adalah semen, pasir, kerikil, air, *superplasticier*, VMA, dan bahan tambah *fly ash*, *nano silica* dan *silica fume* dengan proporsi campuran material pada pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2.3. Pengujian ini dilakukan pada benda uji berbentuk balok 50 x 50 x 200 mm untuk pengujian kuat lentur beton SCC pada umur 7 dan 28 hari. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 2.3 bahwa hasil pengujian kuat menunjukkan hasil pengujian kuat lentur. Berdasarkan hasil pengujian tersebut beton SCC dengan bahan tambah penambahan *fly ash* kuat tekan, dan kuat lentur yang dihasilkan lebih kecil daripada beton SCC dengan bahan tambah *silica fume* dan *nano silica*. Bahan tambah yang menghasilkan kuat lentur yang paling tinggi menggunakan variasi *silica fume* dan *nano silica* yaitu 7,3 MPa.

Tabel 2.3 Proporsi campuran beton SCC (Jalal dkk. 2015).

Kode	w/b	Semen	Pasir	Kerikil	Filler	Sp	VMA	Fly ash	Silica fume	Nano Silica
SC-1	0,38	400	1003	578	177	2,5	2	-	-	-
SC-2	0,38	500	1003	578	177	3,12	2,5	-	-	-
SC-3	0,38	380	1003	578	177	2,5	2	20	-	-
SC-4	0,38	360	1003	578	177	2,5	2	40	-	-
SC-5	0,38	340	1003	578	177	2,5	2	60	-	-
SC-6	0,38	475	1003	578	177	3,12	2,5	25	-	-
SC-7	0,38	450	1003	578	177	3,12	2,5	50	-	-
SC-8	0,38	425	1003	578	177	3,12	2,5	75	-	-
SC-9	0,38	392	1003	578	177	2,5	2	-	-	8
SC-10	0,38	360	1003	578	177	2,5	2	-	40	-
SC-11	0,38	352	1003	578	177	2,5	2	-	40	8
SC-12	0,38	490	1003	578	177	3,12	2,5	-	-	10
SC-13	0,38	450	1003	578	177	3,12	2,5	-	50	-
SC-14	0,38	440	1003	578	177	3,12	2,5	-	50	10



Gambar 2.3 Hasil pengujian kuat lentur (Jalal dkk. 2015).

Kumar dan Roy (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan serat terhadap kuat lentur dan *flow* pada *self-compacting* concrete. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui perbandingan kuat lentur dan *flow* beton SCC tanpa serat dan beton SCC dengan tambahan serat. Material yang digunakan adalah semen, air, agregat kasar, agregat halus, *fly ash*, *superplasticizer*, dan tambahan serat dengan variasi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.4. Pengujian kuat lentur dilakukan dengan benda uji berbentuk balok dengan dimensi 100 x 100 x 500 mm pada umur 7 dan 28 hari. Tabel 2.5 menunjukkan hasil penelitian kuat lentur pada beton SCC tanpa serat dan digunakan tambahan serat. Berdasarkan hasil pengaruh penambahan serat pada beton SCC semakin besar persentase serat yang ditambahkan akan meningkatkan kuat lentur. Persentase tambahan serat *abaca* 1,5% dan serat baja 0,6% nilai kuat lentur yang dihasilkan paling tinggi yaitu 5,85 MPa.

Tabel 2.4 Persentase proporsi serat pada SCC (Kumar dan Roy,2018)

Kode	Fiber Volume (%)		
	<i>Abaca</i>	<i>Sisal</i>	<i>Steel</i>
Mix 0	-	-	-
Mix 1	0,5	-	0,3
Mix 2	1,0	-	0,3
Mix 3	1,5	-	0,3
Mix 4	0,5	-	0,6
Mix 5	1,0	-	0,6
Mix 6	1,5	-	0,6

Tabel 2.4 Persentase proporsi serat pada SCC (Kumar dan Roy,2018) (Lanjutan)

Kode	<i>Fiber Volume (%)</i>		
	<i>Abaca</i>	<i>Sisal</i>	<i>Steel</i>
Mix 7	-	0,5	0,3
Mix 8	-	1,0	0,3
Mix 9	-	1,5	0,3
Mix 10	-	0,5	0,6
Mix 11	-	1,0	0,6
Mix 12	-	1,5	0,6

Tabel 2.5 Hasil pengujian kuat lentur (Kumar dan Roy,2018)

Kode	Pengujian Kuat Lentur	
	7 hari (MPa)	28 hari (MPa)
Mix 0	4,15	4,43
Mix 1	4,84	5
Mix 2	5,02	5,15
Mix 3	4,35	5,01
Mix 4	5,08	5,32
Mix 5	5,17	5,69
Mix 6	5,3	5,85
Mix 7	4,30	4,87
Mix 8	4,22	4,73
Mix 9	4,35	5,01
Mix 10	4,80	5,10
Mix 11	4,81	5,09
Mix 12	4,90	5,2

Mahmod dkk. (2018) melakukan penelitian tentang sifat lentur pada *self-compacting concrete* dengan penambahan perkuatan menggunakan tulangan baja. Tujuan dari penelitian ini untuk analisis pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat lentur beton SCC. Material yang digunakan adalah semen, air, agregat kasar, agregat halus, *lime stone powder* (LSP) atau biasa disebut batu kapur. Benda uji

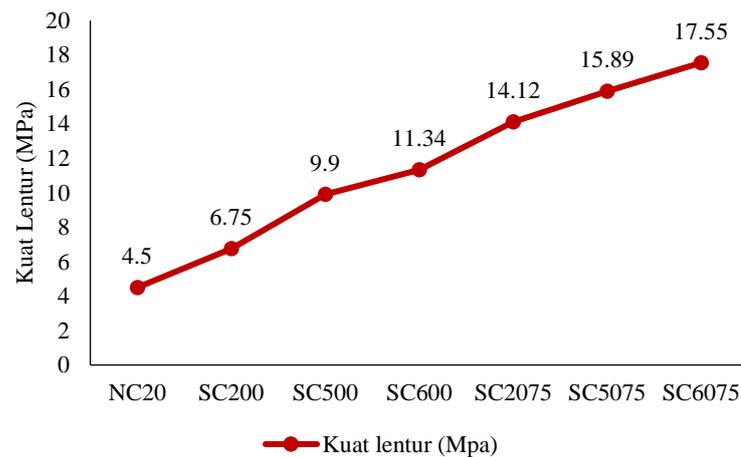
yan digunakan berbentuk balok berukuran 1200 x 180 x 250 mm yang diklasifikasi menjadi tiga berdasarkan mutu beton yang digunakan yaitu 20, 50, 60 MPa. Tabel 2.6 menunjukkan proporsi campuran beton SCC yang digunakan untuk pengujian. Hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur ditunjukkan pada Tabel 2.7, sedangkan hasil pengujian pengujian kuat lentur ditunjukkan Gambar 2.4. Berdasarkan hasil penelitian bahwa penambahan serat baja pada campuran beton menurunkan *workability* dan *flowability* tetapi meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur, penambahan serat baja meningkatkan kuat tekan *self-compacting concrete* dari 20,38 MPa menjadi 55,22 MPa, beban retak meningkat sebesar 45% dan sekitar 63,64%, dan penambahan serat baja ke *self-compacting concrete* secara signifikan meningkatkan kuat lentur

Tabel 2.6 Proporsi campuran benda uji beton SCC (Mahmod dkk., 2018)

Kode	Air	Semen	Pasir	Kerikil	Sp	LSP
	lt/m ³	kg/m ³				
NC ₂₀	180	300	600	1100	-	-
SC _{20SF0}	187	270	780	850	6.5	250
SC _{50SF0}	173	500	785	850	8.5	85
SC _{60SF0}	150	550	825	850	12	50
SC _{20SF75}	187	270	780	850	9	250
SC _{50SF75}	173	500	785	850	11	85
SC _{60SF75}	150	550	825	850	15	50

Tabel 2.7 Hasil penelitian beton SCC (Mahmod dkk., 2018)

Kode	Kuat tekan	Kuat lentur
	(MPa)	(MPa)
NC ₂₀	16,99	4,5
SC _{20SF0}	20,38	6,75
SC _{50SF0}	23,5	9,9
SC _{60SF0}	39,34	11,34
SC _{20SF75}	48,12	14,12
SC _{50SF75}	55,2	15,89
SC _{60SF75}	61,88	17,55



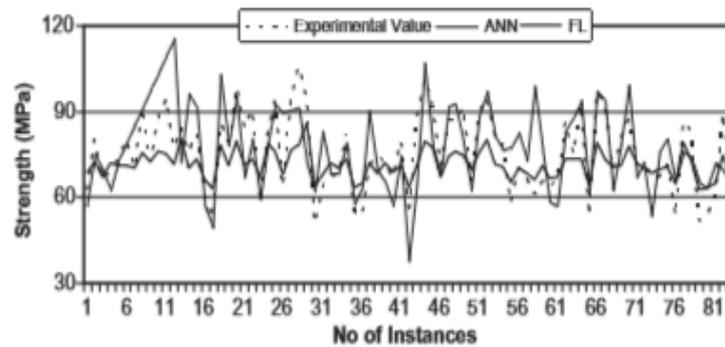
Gambar 2.4 Hasil pengujian kuat lentur (Mahmod dkk., 2018)

2.1.2. Penelitian Terdahulu Logika *Fuzzy*

Aggarwal dkk. (2013) melakukan studi kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan logika *fuzzy*. Tujuan dari penelitian ini untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan logika *fuzzy* dan *artificial neural networks* (ANN). Variabel *input* yang digunakan adalah semen, pasir, agregat kasar, *silica flume*, *fly ash*, fiber, *super plasticizer*, air, aspek rasio, sedangkan variabel *output* yang digunakan adalah kuat tekan beton. Data eksperimen yang digunakan sebagai data perbandingan adalah nilai kuat tekan beton mutu tinggi pada umur 28 hari sebanyak 83 data. Pada Tabel 2.8 menunjukkan hasil perbandingan *fuzzy* berdasarkan regresi, *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE) dan Gambar 2.5 menunjukkan perbandingan hasil prediksi dari logika *fuzzy mamdani* yang menggunakan kurva *gauss*, kurva segitiga, dan ANN. Berdasarkan pemodelan *fuzzy* yang telah dilakukan maka dapat dikatakan bahwa logika *fuzzy mamdani* dan ANN dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi, logika *fuzzy* ANN lebih mudah digunakan daripada logika *fuzzy*.

Tabel 2.8 Hasil perbandingan *fuzzy logic* dan ANN (Aggarwal dkk., 2013)

Model	Koefisien Korelasi	MAE	RMSE
ANN	0,689	7,933	2,042
<i>Fuzzy Logic (Gauss)</i>	0,898	4,171	10,685
<i>Fuzzy Logic (triangular)</i>	0,920	10,620	8,980



Gambar 2.5 Hasil perbandingan *fuzzy logic* dan ANN
(Aggarwal dkk., 2013)

Yuan dkk. (2014), melakukan studi tentang prediksi kuat tekan beton menggunakan algoritma genetik dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan tingkat akurasi prediksi kuat tekan beton menggunakan *artificial neural network* (ANN), *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS), dan *genetic-algorithms artificial neural network* (GA-ANN). Data eksperimen yang digunakan adalah kuat tekan beton umur 28 hari sebanyak 180 data. Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 2.9 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) yaitu nilai regresinya sebesar 0,95.

Tabel 2.9 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

Khademi dkk. (2017) melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan beton pada umur 28 hari menggunakan *multiple linier regression*, *artificial neural network* dan *adaptive neuro-fuzzy inference system*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil prediksi kuat tekan beton menggunakan tiga model tersebut. Benda uji yang digunakan pada *multiple linier regression* sebanyak 147 sampel

data, sedangkan pada *artificial neural network* dan *adaptive neuro-fuzzy inference system* sebanyak 173 sampel data. Parameter yang digunakan sebagai variabel *output* adalah kuat tekan beton pada umur 28 hari, sedangkan variabel *input* dibagi menjadi dua, yaitu: 1) Parameter pertama meliputi pasir 3/4, pasir 3/8, semen, kerikil, ukuran agregat maksimum, modulus halus pasir, dan faktor air semen; 2) Parameter kedua meliputi semen, faktor air semen, kerikil, dan pasir. Tabel 2.10 menunjukkan hasil regresi yang didapatkan dari hasil prediksi kuat tekan dari ketiga model. Berdasarkan hasil dari penelitian menunjukkan bahwa prediksi kuat tekan beton umur 28 hari menggunakan *artificial neural network* (ANN) dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS) memiliki akurasi yang lebih tinggi daripada menggunakan *Multiple Linier Regression* (MLR).

Tabel 2.10 Hasil perbandingan antara MLR, ANN, dan ANFIS (Khademi, 2017)

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

Gupta (2015) melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan beton yang mengandung *nanosilica* sebagai bahan pengganti semen menggunakan fungsi keanggotaan segitiga pada logika *fuzzy*. 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 menggunakan *nanosilica* yang berasal dari beberapa literatur lainnya. Variabel *input* menggunakan parameter semen, agregat halus, agregat kasar, *water to binder ratio*, *superplasticizer*, *nanosilica*, dan diameter *nanosilica*, sedangkan variabel *output* yaitu kuat tekan beton umur 28 hari. Nilai kuat tekan yang diperoleh dari beberapa literatur digunakan sebagai pembanding nilai kuat tekan yang dihasilkan dari prediksi logika *fuzzy*, sehingga diperoleh koefisien korelasi, *mean absolute error* (MAE), dan *root mean square error* (RMSE) yang ditunjukkan Tabel 2.11.

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa logika *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan segitiga efektif untuk memprediksi kuat tekan beton secara efektif karena angka korelasinya yang mendekati 1.

Tabel 2.11 Hasil prediksi logika *fuzzy* (Gupta, 2015)

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

Behfarnia dan Khademi (2016), melakukan penelitian tentang prediksi kuat tekan menggunakan *artificial neural network* dan *adaptive-network fuzzy inference system*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan antara *artificial neural network* (ANN) dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS) dalam memprediksi kuat tekan beton. Data kuat tekan yang digunakan sebanyak 160 data kuat tekan dengan *mix design* yang berbeda. Parameter yang digunakan adalah kuat tekan, pasir 3/4, pasir 3/8, semen, ukuran agregat maksimum (MSA), kerikil, dan faktor air semen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka didapatkan hasil bahwa nilai regresi *artificial neural network* (ANN) lebih tinggi daripada *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.12, sehingga prediksi menggunakan *artificial neural network* (ANN) akurat dan efektif digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton. Tabel 2.12 Hasil perbandingan ANN dan ANFIS (Behfariana dan Khademi, 2016)

Model	R ²
ANN	0,9321
ANFIS	0,8931

2.1.3. Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Penelitian ini akan meneliti mengenai nilai kuat lentur *self-compacting concrete* yang diprediksi menggunakan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* yang digunakan yaitu *fuzzy mamdani* dengan representasi kurva trapesium, sehingga dengan demikian dijamin keasliannya. Terdapat beberapa perbedaan penelitian ini dengan perbedaan sebelumnya mengenai nilai kuat lentur *self-compacting concrete* yang diprediksi menggunakan logika *fuzzy* sebagai berikut ini.

Tabel 2.13 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang

No.	Penelitian	Perbedaan komposisi yang dipakai pada Penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
1	Pemodelan Logika <i>Fuzzy</i> pada Kuat Tekan Mutu Tinggi dengan Material Pengganti Semen (Aggarwal dkk., 2013)	Digunakan logika <i>fuzzy mamdani</i> dan <i>artificial neural networks</i> (ANN) menggunakan representasi gauss dan segitiga untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi (HSC).	Digunakan logika <i>fuzzy mamdani</i> menggunakan fungsi keanggotaan representasi trapesium untuk memprediksi kuat lentur <i>self-compacting concrete</i>
2	Prediksi pada Kuat Tekan Beton menggunakan Algoritma Genetik dan <i>Adaptive-Network Fuzzy Inference System</i> (ANFIS) (Yuan dkk., 2014)	Digunakan algoritma genetik berbasis <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dan <i>Adaptive-Network Fuzzy Inference System</i> (ANFIS) untuk memprediksi kuat tekan beton	Digunakan logika <i>fuzzy mamdani</i> menggunakan fungsi keanggotaan representasi trapesium untuk memprediksi kuat lentur <i>self-compacting concrete</i> .
3	<i>Multiple linier regression, artificial neural network</i> , dan logika <i>fuzzy</i> untuk memprediksi kuat tekan beton pada 28 hari (Khademi dkk., 2017)	Digunakan <i>Multiple linier regression, artificial neural network</i> , dan logika <i>fuzzy</i> Sugeno untuk memprediksi kuat tekan beton pada 28 hari.	Digunakan logika <i>fuzzy mamdani</i> menggunakan representasi trapesium untuk memprediksi kuat lentur <i>self-compacting concrete</i> .
4	Menggunakan fungsi keanggotaan segitiga untuk memprediksi kuat tekan pada beton yang mengandung <i>nanosilica</i> (Gupta, 2015)	Memprediksi kuat tekan beton menggunakan logika <i>fuzzy</i> dengan fungsi keanggotaan representasi segitiga.	Digunakan logika <i>fuzzy mamdani</i> menggunakan representasi trapesium untuk memprediksi kuat lentur <i>self-compacting concrete</i> .

No.	Penelitian	Perbedaan komposisi yang dipakai pada Penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
5	Studi perbandingan estimasi kuat tekan beton menggunakan <i>artificial neural network</i> dan <i>adaptive-network uzzy Inference System</i> (Behfarnia dan Khademi, 2017)	Memprediksi kuat tekan beton menggunakan <i>artificial neural network</i> dan <i>adaptive-network uzzy Inference System</i>	Digunakan logika <i>fuzzy mamdani</i> menggunakan representasi trapesium untuk memprediksi kuat lentur <i>self-compacting concrete</i> .

Berdasarkan perbedaan tersebut diatas, maka penelitian tentang prediksi nilai kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* adalah asli dan belum pernah diteliti oleh penelitian sebelumnya, sehingga dengan ini dilakukan penelitian mengenai hal tersebut.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Self-Compacting Concrete

Self-compacting concrete (SCC) adalah beton yang memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalirkan karena berat sendirinya dan mampu mengisi ruang-ruang didalam cetakan tanpa proses pemadatan (EFNARC, 2002). *Self Compacting Concrete* (SCC) merupakan suatu pengembangan dari beton konvensional, hanya saja beton SCC memerlukan bahan tambah berupa *superplasticizer* untuk mendapatkan beton segar yang *self-compactable* dan *high-flowable*, sehingga dapat memadat dan mengalir dengan memanfaatkan berat sendirinya tanpa membutuhkan *vibrator* dan *compactor* untuk pemadatan. Bahan tambah lainnya pada *Self Compaction Concrete* adalah bahan yang mengandung *pozzolan*. Bahan material yang mengandung *pozzolan* diperoleh dari limbah industri seperti *Fly Ash*, Kapur, abu sekam padi dan bahan lainnya. Penambahan bahan *Pozzolan* digunakan untuk pengganti semen sehingga dapat mengurangi penggunaan semen dan memanfaatkan limbah industri yang tidak terpakai.

Menurut Ramji dan Eswar (2018), *Self Compacting Concrete* memiliki banyak kelebihan dibandingkan beton normal, antara lain sebagai berikut ini.

- a. *Self-compacting concrete* memiliki sifat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga beton sangat encer, bahkan dapat menahan slump tinggi dalam waktu yang lama (*slump keeping admixture*) dengan penambahan zat aditif tertentu.
- b. Dapat memadat sendiri sehingga tidak memerlukan pemadat manual atau getaran mekanik.
- c. Penyusutan beton lebih rendah.
- d. Permukaan beton yang dihasilkan lebih baik sehingga ketahanan (*durable*) yang dihasilkan akan lebih lama.
- e. Tenaga kerja yang dibutuhkan lebih rendah karena beton tidak memerlukan tenaga kerja untuk memadatkan karena beton dapat mengalir sendiri.

Campuran beton pada *Self Compacting Concrete* mampu menghasilkan *workability* yang baik dengan kriteria sebagai berikut ini.

- a. Kemampuan untuk mengisi ruang (*filling ability*)
Filling ability adalah kemampuan beton *Self Compacting Concrete* untuk mengalir dan mengisi seluruh ruang cetakan melalui berat sendirinya. *Filling Ability* beton *Self Compacting Concrete* ditentukan dengan pengujian *Slump-flow Test* menggunakan kerucut Abrams sehingga dapat diketahui kondisi *workability* dari beton SCC berdasarkan kemampuan penyebaran beton segar yang dinyatakan dengan diameter yaitu antara 60-75 cm (EFNARC, 2005).
- b. Kemampuan melewati tulangan (*passing ability*)
Passing ability adalah kemampuan untuk mengalirkan beton melalui celah-celah antara besi tulangan atau bagian yang sempit dari cetakan pengecoran tanpa adanya segregasi atau *blocking*. *Passing ability* dapat ditentukan dengan pengujian *L-shape box* sehingga dapat mengetahui nilai *blocking ratio* yaitu antara 0,8-1,0. Semakin besar nilai dari *blocking ratio* tersebut, semakin baik beton segar tersebut mengalir dengan viskositas tertentu (EFNARC, 2005).
- c. *Segregation Resistance*
Segregation resistance adalah kemampuan untuk menjaga beton SCC supaya tetap dalam keadaan komposisi yang homogen sebelum beton tersebut mengeras. Hal tersebut untuk mencegah supaya beton tidak terjadi rongga yang disebabkan oleh material agregat yang memisahkan diri dari campuran adukan beton, sehingga akan mengakibatkan penurunan permeabilitas beton, kuat

tekan, dan keawetan atau *durability*. *Segregation resistance* dapat ditentukan dengan pengujian *V-Funnel test* yang akan mengalirkan beton melalui ujung bawah dari alat ukur *V-Funnel* yang akan diukur dengan besaran waktu antara 3-15 detik (EFNARC, 2005).

2.2.2. Kuat Lentur Beton

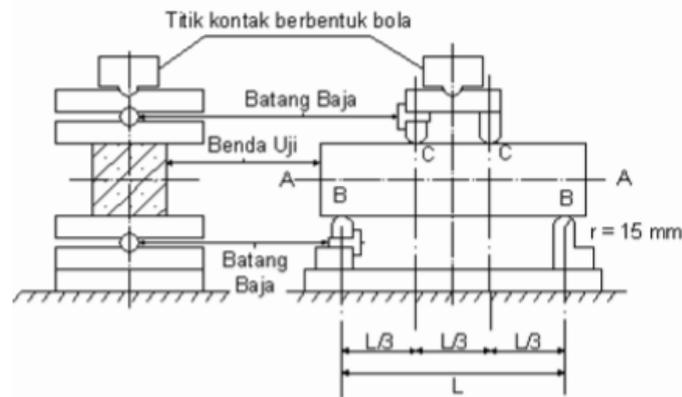
Beton adalah suatu bahan campuran material yang bahan utamanya terdiri dari semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat kasar, agregat halus, air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*) dengan perbandingan tertentu (BSN, 2013). Beton yang digunakan pada bangunan konstruksi harus mampu menahan gaya tekan dan lentur yang diakibatkan oleh gaya dalam dari bangunan tersebut maupun gaya yang disebabkan dari luar seperti angin, gempa, dan gaya luar lainnya. Struktur beton harus aman terhadap gaya-gaya tersebut, sehingga bangunan tidak mengalami kegagalan struktur, stabil dan aman.

Kuat lentur adalah kemampuan beton untuk menahan beban atau gaya dengan arah tegak lurus terhadap beton yang dinyatakan dalam *Mega Pascal (MPa)* per satuan luas (BSN, 2011). Beberapa metode dapat digunakan untuk mengetahui nilai kuat lentur beton, yaitu melakukan pengujian kuat lentur menggunakan benda uji atau mengkonversikan nilai kuat tekan menggunakan persamaan teoritis sebagai berikut ini.

$$\sigma = 0,94 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots 2.1$$

Pengujian kuat lentur dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk balok yang berukuran lebar 15 cm, tinggi 15 cm, dan panjang 53 cm. Beban untuk pengujian kuat lentur menggunakan mesin tekan beton yang dapat digunakan untuk pengujian kuat lentur dengan perlengkapan dua buah titik perletakan berbentuk silinder, dua buah titik pembebanan berbentuk silinder, manometer dengan dua jarum pembacaan beban.

Secara garis besar pengujian kuat lentur dilakukan dengan membuat benda uji sesuai ketentuan yang disarankan, mengatur peralatan pada mesin uji kuat tekan, meletakkan benda uji pada mesin sesuai kebutuhan pengujian, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sketsa pengujian kuat lentur (BSN, 2011)

Keterangan gambar :

- A-A : sumbu memanjang,
 B : titik-titik perletakan, dan
 C : titik-titik pembebanan.

Hasil pembacaan tertinggi yang diperoleh dari manometer kemudian akan digunakan untuk menghitung nilai kuat lentur dengan persamaan sebagai berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{P.L}{b.h^2} \dots\dots\dots 2.2$$

dengan:

- σ_1 : kuat lentur benda uji (MPa),
 P : beban tertinggi yang terbaca oleh mesin uji (kg),
 L : jarak antara dua garis perletakan (cm),
 b : lebar tampang lintang patah arah horisontal (cm), dan
 h : lebar tampang lintang patah arah vertikal (cm).

2.2.3. Logika *Fuzzy*

Menurut Kusumadewi (2002), Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk menyelesaikan suatu masalah dengan memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output* yang antara input-output tersebut terdapat satu kotak hitam untuk memetakan input ke output yang sesuai. Logika *fuzzy* memiliki kelebihan dalam penggunaannya antara lain sebagai berikut ini.

- a. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti karena penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan didasarkan pada bahasa alami.

- b. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang yang tidak tepat.
- c. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi non linier yang sangat kompleks.
- d. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- e. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.

Menurut Kusumadewi (2002), logika *fuzzy mamdani* merupakan metodologi berhitung dengan *linguistic variable* yaitu variabel yang menggunakan kata-kata sebagai pengganti berhitung dengan bilangan, logika *fuzzy mamdani* juga dikenal sebagai metode *fuzzy MIN-MAX*. Metode untuk mendapatkan nilai *output* dari *fuzzy mamdani*, diperlukan 4 tahap yaitu sebagai berikut ini.

- a. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* memiliki dua variabel, yaitu linguistik dan numeris. Linguistik merupakan penamaan grup yang mewakili keadaan atau kondisi tertentu menggunakan bahasa alami sedangkan numeris merupakan suatu nilai angka yang menunjukkan ukuran dari variabel (Kusumadewi, 2002).

- b. Aplikasi Fungsi Implikasi

Menurut Kusumadewi (2002), setiap aturan (proposisi) pada logika *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy* dengan menggunakan pernyataan sebagai berikut :

IF x is A THEN y is B 2.3

dengan x dan y merupakan skalar, A dan B adalah variabel linguistik. Aturan (proposisi) yang mengikuti IF disebut anteseden, sedangkan yang mengikuti THEN disebut konsekuen. Fungsi implikasi yang dapat digunakan ada dua, yaitu:

- 1) min (*minimum*), fungsi yang memotong *output* himpunan *fuzzy*, dan
- 2) dot (*product*), fungsi ini akan menskala *output* himpunan *fuzzy*.

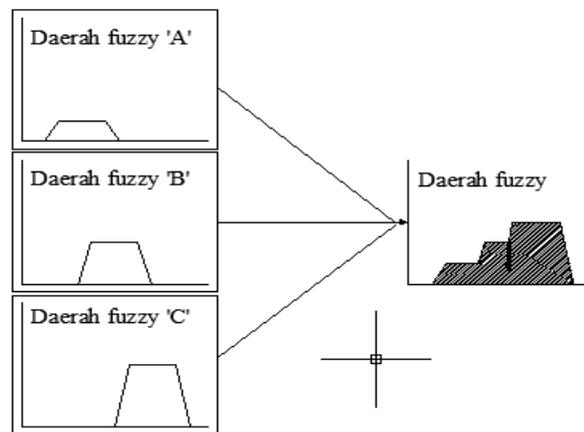
- c. Komposisi Aturan

Menurut Kusumadewi (2002), komposisi aturan dalam logika *fuzzy* ada tiga metode, yaitu *max-min*, *additive*, dan probabilistik OR (probor). Pada metode *max* hasil himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan *fuzzy*, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi

daerah *fuzzy*. Apabila digunakan fungsi implikasi *min*, maka komposisi tersebut merupakan komposisi *MAX-MIN* atau *Mamdani*.

d. *Defuzzifikasi*

Menurut Kusumadewi (2002), *defuzzifikasi* merupakan penegasan yang *input* dari prosesnya adalah himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari kombinasi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan bilangan pada domain himpunan tersebut. Oleh karena itu, apabila dalam suatu *range* tertentu diberikan himpunan *fuzzy*, maka didapatkan hasil nilai *crisp* tertentu sebagai *output* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. *Defuzzifikasi mamdani* memiliki beberapa metode, antara lain sebagai berikut ini.



Gambar 2.7 Proses *defuzzifikasi* (Kusumadewi, 2002)

1) Metode *Centroid (Composite Moment)*

Pada metode *centroid* solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat pada daerah *fuzzy*. Ada 2 keuntungan menggunakan metode *centroid*, yaitu :

- a) perubahan dari topologi himpunan *fuzzy* ke topologi berikutnya akan berjalan dengan halus, disebabkan nilai *defuzzy* yang bergerak secara halus, dan
- b) mudah dihitung.

2) Metode Bisektor

Pada metode bisektor, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan daerah *fuzzy*.

3) Metode *Mean of Maximum* (MOM)

Pada metode *mean of maximum* solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

4) Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Pada metode *largest of maximum* solusi *crisp* diperoleh dengan mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5) Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Pada metode *smallest of maximum* memperoleh solusi *crisp* dengan mengambil nilai terkecil dari domain yang nilai keanggotaan maksimum.

Menurut Kusumadewi (2002), ada beberapa sistem *fuzzy* yang perlu diketahui, yaitu sebagai berikut ini.

a. Variabel *Fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan yang akan dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Variabel dalam sistem *fuzzy* dibagi menjadi dua, yaitu : variabel input, variabel output.

b. Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu kelompok yang mewakili sebuah kondisi atau keadaan dalam suatu variabel *fuzzy*, misalkan : minimal-maksimal, minimal-medium-maksimal.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan merupakan batas keseluruhan nilai minimum dan maksimum (range) yang diperbolehkan untuk pengoperasian dalam variabel *fuzzy*.

d. Domain

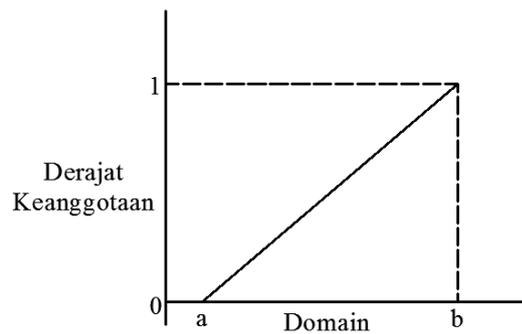
Domain merupakan himpunan keseluruhan nilai yangizinkan dalam semesta pembicaraan dan diizinkan dalam operasi himpunan *fuzzy*.

Menurut Kusumadewi (2002), fungsi keanggotaan *fuzzy* (*membership function*) adalah kurva yang menunjukkan titik-titik *input* sebagai pemetaan data ke dalam nilai keanggotaannya atau disebut derajat keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan dapat dibuat

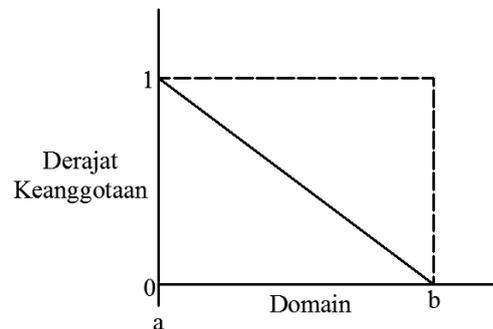
dalam berbagai bentuk kurva sesuai yang diinginkan sebagai pendekatan untuk mendapatkan nilai keanggotaan. Beberapa pendekatan fungsi yang bisa digunakan, yaitu sebagai berikut ini.

a. Representasi Kurva Linier

Representasi linier memiliki permukaan yang digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Kurva representasi memiliki dua kurva yaitu kurva naik yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 Dan kurva turun yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



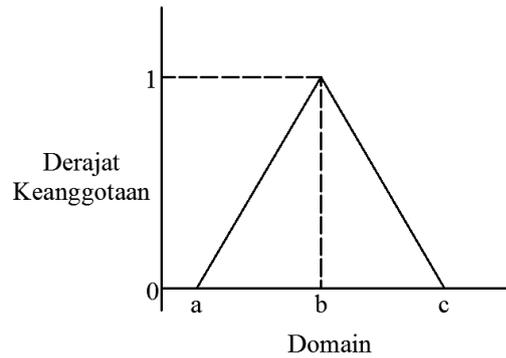
Gambar 2.8 Kurva representasi linier naik (Kusumadewi, 2002)



Gambar 2.9 Kurva representasi linier turun (Kusumadewi, 2002)

b. Representasi Kurva Segitiga

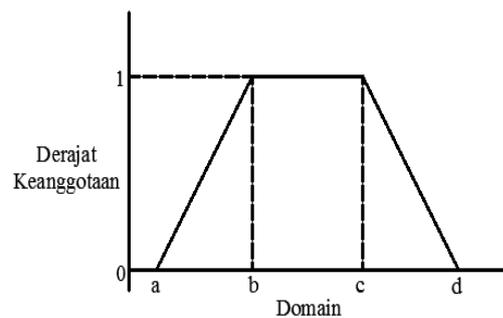
Pada dasarnya kurva segitiga merupakan gabungan antara dua garis linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kurva representasi segitiga (Kusumadewi, 2002)

c. Representasi Kurva Trapesium

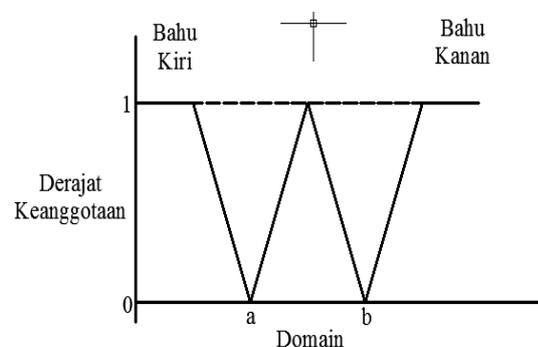
Pada dasarnya kurva trapesium merupakan bentuk segitiga, akan tetapi beberapa titiknya memiliki nilai keanggotaan 1 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kurva representasi trapesium (Kusumadewi, 2002)

d. Representasi Kurva Bentuk Bahu

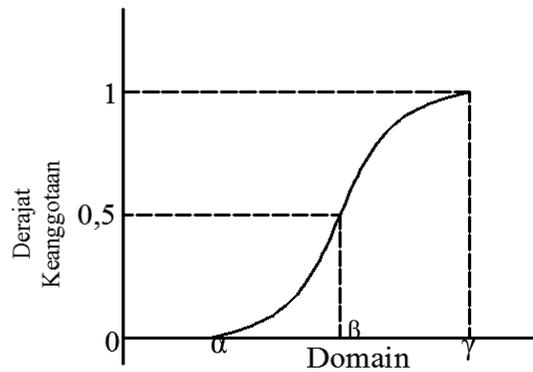
Kurva bahu merupakan daerah yang terletak di tengah-tengah pada suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kurva representasi bentuk bahu (Kusumadewi, 2002)

e. Representasi Kurva-S

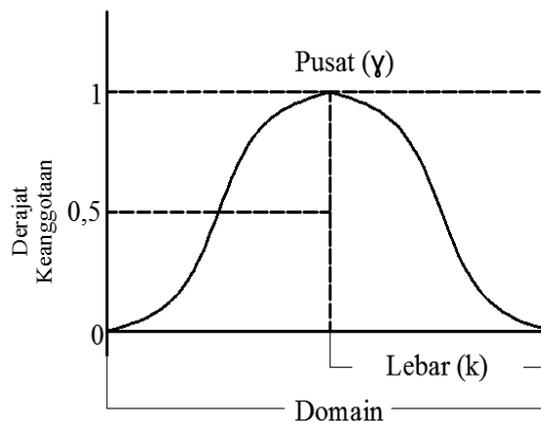
Kurva-S didefinisikan dengan menggunakan 3 paramater, yaitu nilai keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infeksi atau *crossover* (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar. Gambar 2.13 menunjukkan karakteristik skema kurva-S.



Gambar 2.13 Kurva representasi kurva-S (Kusumadewi, 2002)

f. Representasi Kurva Gauss

Kurva gauss menggunakan keanggotaan lengkap (γ) untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva dan (k) yang menunjukkan lebar kurva seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kurva representasi gauss (Kusumadewi, 2002)

Menurut Kusumadewi (2002), himpunan *fuzzy* membutuhkan operator khusus yang digunakan untuk mengkombinasi dan memodifikasi dengan beberapa operasi yaitu sebagai berikut ini.

a. Operator *AND*

Pada logika *fuzzy*, operator *AND* berhubungan dengan operasi interaksi pada himpunan yang memperlihatkan dengan derajat keanggotaan minimum diantara beberapa himpunan. Hasil operasi menggunakan operator *AND* merupakan α -predikat yang diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

b. Operator *OR*

Operator *OR* berhubungan dengan operasi *union* pada himpunan. Hasil operasi menggunakan operator *OR* merupakan α -predikat yang diperoleh dengan mengambil nilai terbesar dari derajat keanggotaan himpunan-himpunan yang bersangkutan.

c. Operator *NOT*

Operator *NOT* berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan yang mana hasil dari operasi tersebut merupakan α -predikat yang diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan dari 1.

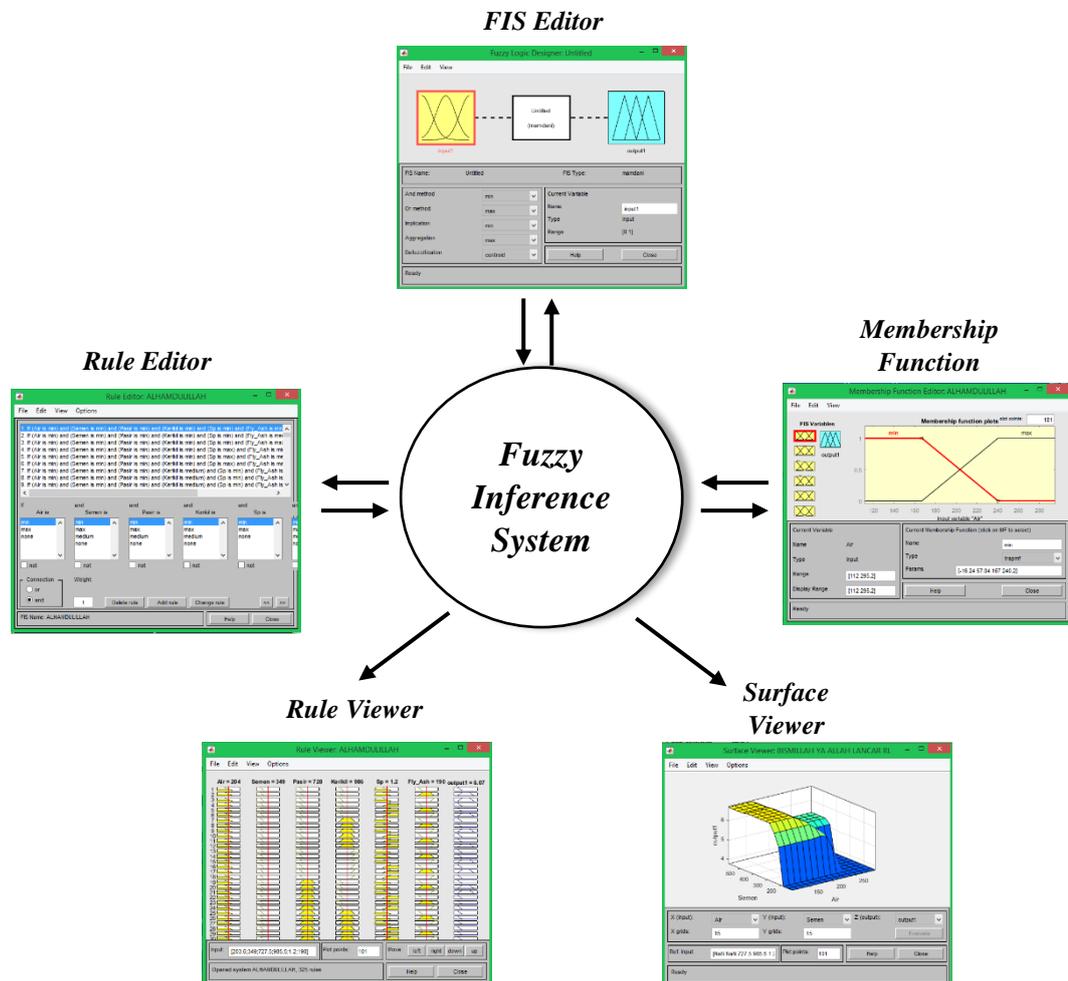
2.2.4. *Fuzzy Logic Toolbox* pada *MATLAB*

MATLAB adalah singkatan dari *Matrix Laboratory, software* bahasa pemrograman aras tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan visualisasi, komputasi teknik, komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan grafik-grafik perhitungan sehingga *MATLAB* digunakan sebagai *problem solver* yang kompleks dari berbagai disiplin ilmu.

Bahasa *MATLAB* mampu mendukung operasi vektor yang merupakan dasar-dasar masalah ilmiah Teknik data. *Fuzzy logic toolbox* memberikan kemudahan fasilitas *Graphical User Interface* (GUI) untuk mempermudah dalam memodelkan suatu system *fuzzy*. Pada Gambar 2.15 terdapat 5 GUI *tools* yang dapat digunakan untuk membangun, mengedit, dan mengobservasi system penalaran *fuzzy*, yaitu sebagai berikut ini.

- a) *Fuzzy Inference System* (FIS) *Editor*, yaitu apabila ingin membangun atau memodelkan system penalaran *fuzzy* yang baru, maka hanya menuliskan “*fuzzy*” pada *command line*.

- b) *Membership Function Editor*, yaitu editor fungsi keanggotaan yang berfungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk tiap-tiap variabel *input* dan *output*.
- c) *Rule Editor*, yaitu *tools* yang digunakan untuk mengedit atau menampilkan aturan yang akan atau telah dibuat.
- d) *Rule Viewer*, yaitu *tools* yang digunakan untuk melihat alur penalaran *fuzzy* pada system meliputi pemetaan *input* yang diberikan ke tiap-tiap variabel *input* aplikasi operator, dan fungsi implikasi, komposisi aturan (*rules*), dan penegasan *output* pada defuzzifikasi.
- e) *Surface Viewer*, yaitu *viewer* yang digunakan untuk melihat gambar pemetaan antara variabel-variabel *input* dan variabel-variabel *output*.



Gambar 2.15 GUI *Fuzzy Inference System* (Kusumadewi, 2002)