

# Studi Kuat Lentur *Self-Compacting Concrete* Menggunakan Logika Fuzzy

*Study Flexural Strength of Self-Compacting Concrete Using Fuzzy Logic*

**Jheval Senna Emerald, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika, Hakas Prayuda**  
*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** *Self-compacting concrete (SCC)* merupakan suatu inovasi dari beton konvensional yang mampu mengisi ruang-ruang didalam cetakan tanpa proses pemadatan, dan mampu mengalir dengan berat sendirinya. Beton jenis ini dapat memadat sendiri dan memiliki *workability* tinggi sehingga tidak dibutuhkan alat bantu *vibrator* dan *compactor* untuk memadatkannya. *Self-compacting concrete* harus mampu menahan gaya tekan dan lentur sehingga bangunan tidak mengalami kegagalan struktur, stabil dan aman. Kuat lentur dapat diprediksi menggunakan logika fuzzy. Logika fuzzy merupakan logika untuk menyelesaikan masalah dengan memetakan ruang *input* ke dalam ruang *output*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prediksi nilai kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan logika fuzzy terhadap jumlah material yang digunakan. Pemodelan dilakukan dengan metode *fuzzy mamdani* yang terdapat pada *toolbox software* MATLAB dengan fungsi keanggotaan representasi kurva trapesium. Prediksi nilai kuat lentur selanjutnya akan dibandingkan dengan data sekunder yang diperoleh dari penelitian sebelumnya tentang *self-compacting concrete*. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa prediksi nilai kuat lentur logika fuzzy mendekati nilai kuat lentur laboratorium dengan presentase *error* rata-rata sebesar 5,79% dan simpangan nilai kuat lentur sebesar 4,20%, sehingga nilai kuat lentur tidak jauh berbeda.

Kata kunci: *self-compacting concrete*, logika fuzzy, prediksi, dan kuat lentur.

**Abstract.** *Self-compacting concrete (SCC)* is an innovation of conventional concrete that is able to fill spaces in the mold without compaction, and is able to flow by itself. This type of concrete can solidify itself and possess high *workability* so it does not need a *vibrator* and *compactor* tool to compact it. *Self-compacting concrete* must be able to withstand compressive and bending forces so that the building does not experience structural failure, stable and safe. Flexural strength can be predicted using fuzzy logic. Fuzzy logic is a logic for solving problems by mapping input space into the output space. This study aims to determine the predictions of the flexural strength of *self-compacting concrete* using fuzzy logic to the amount of material used. Modeling is done by the *fuzzy mamdani* method found in the MATLAB software toolbox with the membership function of the trapezoidal curve representation. The prediction of the next flexural strength will be compared with secondary data obtained from previous research on *self-compacting concrete*. The modeling results show that the predictive value of fuzzy logic flexural strength approaches the laboratory flexural strength with an average percentage error of 5.79% and a deviation of flexural strength value of 4.20%, so that the flexural strength value is not much different.

Key words : *self-compacting concrete*, fuzzy logic, prediction, and flexural strength.

## 1. Pendahuluan

*Self-compacting concrete* merupakan suatu inovasi dari beton konvensional, namun beton jenis ini dapat memadat sendiri dan memiliki *workability* yang tinggi sehingga mudah dalam proses pengecoran. *Self-compacting concrete* adalah beton yang memiliki tingkat kecairan (*fluidity*) yang tinggi sehingga mampu mengalirkan campuran dengan berat sendirinya, sehingga mampu mengisi ruang-ruang didalam cetakan tanpa proses pemadatan dan tanpa mengalami segregasi yang signifikan (Mustaq dkk., 2002).

Menurut Jalal dkk. (2018) memiliki kelebihan antara lain: *fluidity* tinggi sehingga dapat menahan slump tinggi; dapat memadat sendiri tanpa perlu pemadatan mekanik sehingga dapat menjangkau tempat yang sulit dan sempit; penyusutan beton lebih rendah; dan dapat mengurangi biaya tenaga kerja. Keuntungan lain yaitu *self-compacting concrete* permukaan yang lebih baik sehingga lebih kedap air dan lebih mengikatnya campuran maka daya tahan semakin meningkat.

*Self-compacting concrete* harus mampu menahan gaya tekan dan lentur sehingga bangunan aman dan stabil. Kuat lentur adalah kemampuan beton untuk menahan beban atau gaya dengan arah tegak lurus sampai beton patah (Kumar dkk.,2018).

Mahmod dkk. (2018) melakukan penelitian tentang sifat lentur *self-compacting concrete* dengan penambahan tulangan baja sebagai perkuatan yang hasilnya dibandingkan dengan kuat prediksi yang terdapat pada ACI-363,2010. Sehingga, beberapa metode dapat digunakan untuk memprediksi nilai kuat lentur yaitu melakukan pengujian eksperimental dan mengkonversi nilai kuat tekan menggunakan rumus teoritis.

Yuan dkk.(2014) melakukan studi prediksi kuat tekan beton menggunakan *adaptive-network fuzzy inference system*. Berdasarkan kajian tersebut prediksi nilai kekuatan beton lainnya dapat menggunakan metode logika *fuzzy mamdani* yang terdapat pada *toolbox MATLAB*. Hasil prediksi nilai kuat lentur *self-compacting concrete* selanjutnya dibandingkan dengan nilai kuat lentur eksperimental yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya tentang *self-compacting concrete* dengan jumlah dan bahan yang sama.

Logika *fuzzy* merupakan metode yang efektif untuk pemetaan antara variabel *input* dan variabel *output* dengan menggunakan himpunan linguistik yang memiliki fungsi keanggotaan masing-masing (Aggrawal dkk., 2013).

*Adaptive-Network Fuzzy Inference System* memiliki lima lapis pemodelan yang berbeda yaitu: *input*, fungsi keanggotaan *input*, *rules*, fungsi keanggotaan *output*, dan *output* (Behfania & Khademi, 2016).

Basis aturan *fuzzy* mencakup semua kemungkinan yang berhubungan antara *input* dan *output* (Gupta, 2015). Fungsi keanggotaan dan aturan *fuzzy* yang dibangun akan mempengaruhi akurasi dari kekuatan prediksi yang dihasilkan (Khademi dkk., 2017).

Penelitian ini merupakan pengembangan dari beberapa peneliti sebelumnya yang memprediksi kekuatan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana hasil prediksi nilai kuat lentur beton *self-compacting concrete* menggunakan logika

*fuzzy* dan mengetahui sesuaikah prediksi *fuzzy* dengan kuat lentur eksperimental. Dengan demikian, penelitian ini dapat mempermudah dalam memprediksi kuat lentur *self-compacting concrete* terhadap jumlah material yang digunakan.

## 2. Metode Penelitian

Secara umum penelitian ini membuat aplikasi berdasarkan logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy* yang terdapat pada *software Matrix Laboratory (MATLAB)*. Data *input* yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah material dan data *output* adalah kuat lentur. Variabel *input* dan *output* yang digunakan dalam pemodelan adalah *Multiple Input Single Output (MISO)*. Penarikan hasil (*defuzzikasi*) yang digunakan metode *centroid* dan operatornya adalah *AND*. Hasil prediksi kuat lentur *self-compacting concrete* dibandingkan dengan data kuat lentur pengujian eksperimental yang dilakukan peneliti sebelumnya dengan jumlah material dan material yang sama.

### Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder kuat lentur *self-compacting concrete* umur 28 hari sebanyak 60 data yang diperoleh dari penelitian eksperimental yang dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti. Data yang digunakan jumlah semen, jumlah air, jumlah agregat kasar, jumlah agregat halus, jumlah *superplasticizer*, jumlah *fly ash*, dan hasil kuat lentur.

### Analisis Simulasi Software MATLAB Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan suatu cara untuk menyelesaikan suatu masalah dengan memetakan ruang *input* ke dalam ruang *output* yang antara kedua ruang tersebut terdapat suatu kotak hitam (*black box*) untuk memetakan data yang sesuai (Kusumadewi, 2002). Logika *fuzzy* yang digunakan untuk menganalisis nilai kuat lentur *self-compacting concrete* adalah metode *fuzzy mamdani*. Sistem kerja logika *fuzzy Mamdani* berupa *Multiple Input Single Output (MISO)* yaitu variabel *input* yang dapat berjumlah dua atau lebih dan satu variabel *output*, dalam pemodelan ini *defuzzifikasi*

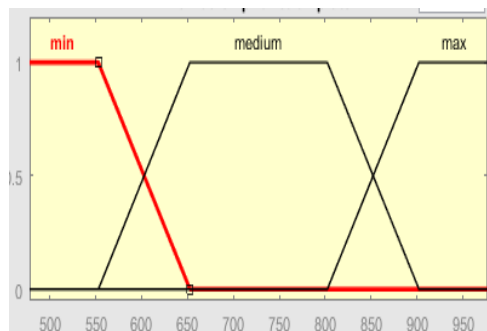
menggunakan metode *centroid* dan operator yang digunakan adalah *AND*.

### Input Data

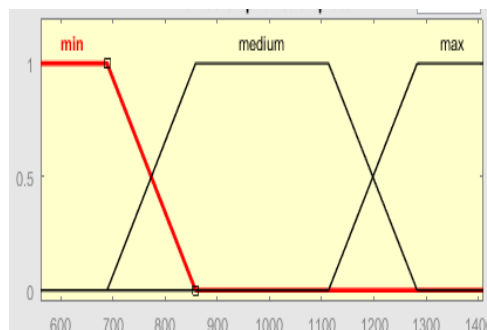
Input data pada pemodelan ini menggunakan data sekunder penelitian sebelumnya tentang *self-compacting concrete* oleh beberapa peneliti yaitu jumlah air, jumlah semen, jumlah pasir, jumlah kerikil, jumlah *superplasticizer* dan jumlah *fly ash*. Data sekunder tersebut diperoleh berdasarkan hasil pengujian kuat lentur yang dilakukan oleh beberapa peneliti dengan jumlah dan material yang sama.

### Himpunan Fuzzy

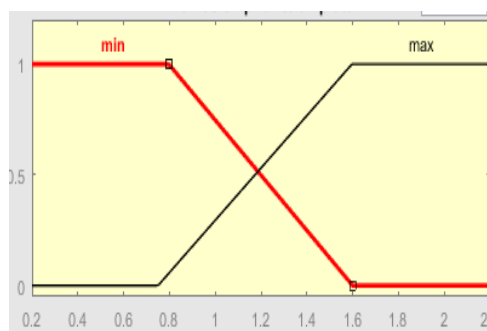
*Membership function* atau fungsi keanggotaan merupakan kurva yang menunjukkan titik-titik pemetaan yang ditunjukkan oleh rangkaian rata. Fungsi keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* digunakan sebagai pendekatan untuk setiap nilai keanggotaannya yang disesuaikan dengan karakteristik data. Himpunan *fuzzy* dibagi menjadi tiga yaitu *low*, *medium*, dan *high* pada sub-variabel semen, pasir, kerikil, *fly ash* dan kuat lentur, sedangkan sub-variabel air dan *superplasticzier* dibagi menjadi dua yaitu *low* dan *high*. Fungsi keanggotaan yang digunakan untuk mendekati nilai derajat keanggotaan menggunakan representasi kurva trapesium.



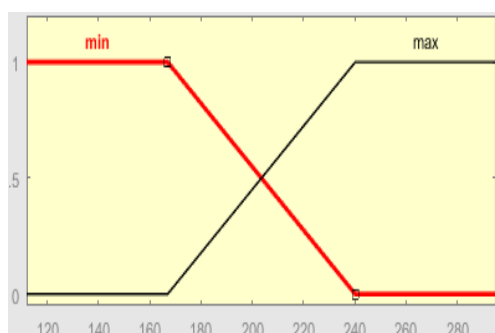
Gambar 4 Fungsi keanggotaan pasir.



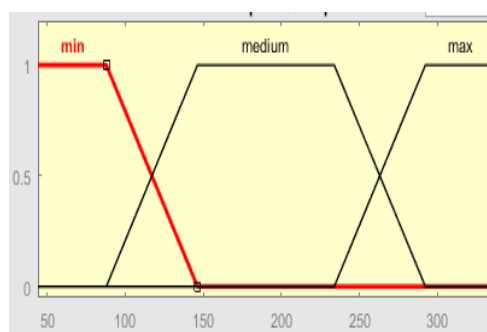
Gambar 5 Fungsi keanggotaan kerikil.



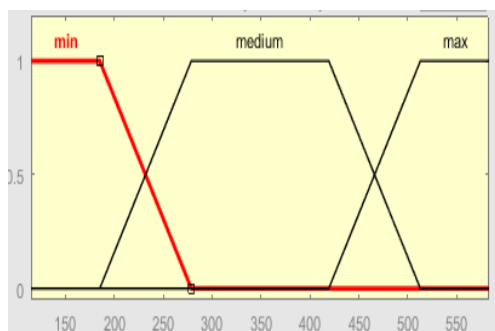
Gambar 6 Fungsi keanggotaan *superplasticzier*.



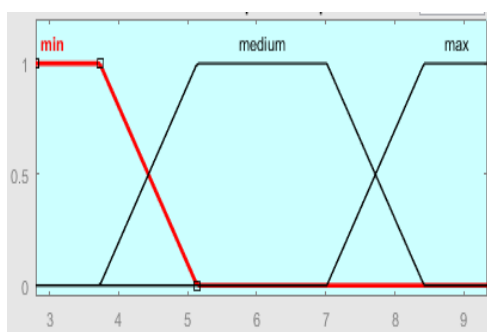
Gambar 2 Fungsi keanggotaan air.



Gambar 7 Fungsi keanggotaan *fly ash*.



Gambar 3 Fungsi keanggotaan semen.



Gambar 8 Fungsi keanggotaan *fly ash*.

### Rules Fuzzy

Aturan (proporsi) logika *fuzzy* akan berhubungan dengan relasi *fuzzy* dengan menggunakan pernyataan sebagai berikut:

$$IF x \text{ is } A \text{ THEN } y \text{ is } B$$

Pembuatan *rules* menggunakan metode *trial and error* untuk mengetahui aturan yang paling tepat. *Rules* yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 324 *rules*. Komposisi aturan logika *fuzzy* dibangun berdasarkan karakteristik dan pengetahuan yang dihubungkan berdasarkan kemungkinan sehingga *running fuzzy* akan sesuai dengan yang diperkirakan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Analisis Prediksi Kuat Lentur Self-Compacting Concrete

Pemodelan analisis kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy* dibandingkan dengan kuat lentur yang dilakukan melalui pengujian laboratorium yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan jumlah dan material yang sama. Batasan prediksi kuat lentur menggunakan logika *fuzzy*

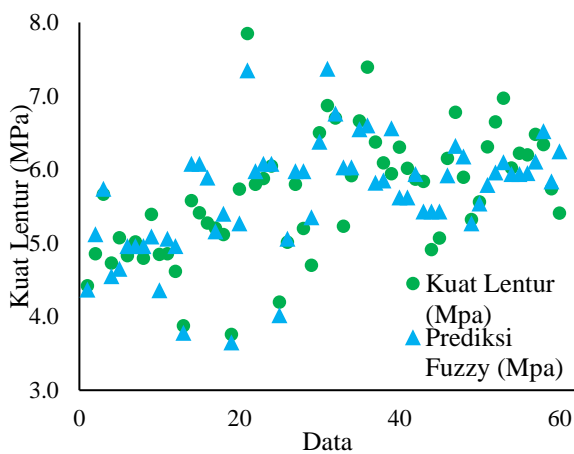
sebesar 3,65 MPa sampai dengan 7,78 MPa. Hasil prediksi nilai kuat lentur *fuzzy* ditunjukkan pada Tabel 1 bahwa hasil paling mendekati sebesar 5,54 MPa untuk kuat lentur *fuzzy* sebesar 5,56 MPa untuk kuat lentur eksperimental, sedangkan hasil yang cukup jauh sebesar 6,25 untuk kuat lentur *fuzzy* dan 5,41 MPa untuk kuat lentur eksperimental. Hasil prediksi kuat lentur *fuzzy* yang lebih tinggi dari kuat lentur eksperimental memiliki rata-rata persentase *error* sebesar 6,30% dan kuat lentur *fuzzy* yang lebih rendah memiliki rata-rata persentase *error* sebesar 5,32%. Perbandingan hasil kuat lentur *fuzzy* dan kuat lentur eksperimental ditunjukkan pada Gambar 9, bahwa grafik tersebut menunjukkan selisih angka. Selisih angka tersebut disebabkan oleh faktor data sekunder yang digunakan sebagai pembandingan diperoleh secara acak sehingga masing-masing peneliti memiliki metode pengerjaan, perilaku, dan lingkungan pengujian yang berbeda, faktor lainnya yaitu *error* data dan tingkat ketelitian logika *fuzzy*.

Tabel 1 Hasil analisis kuat lentur *fuzzy*

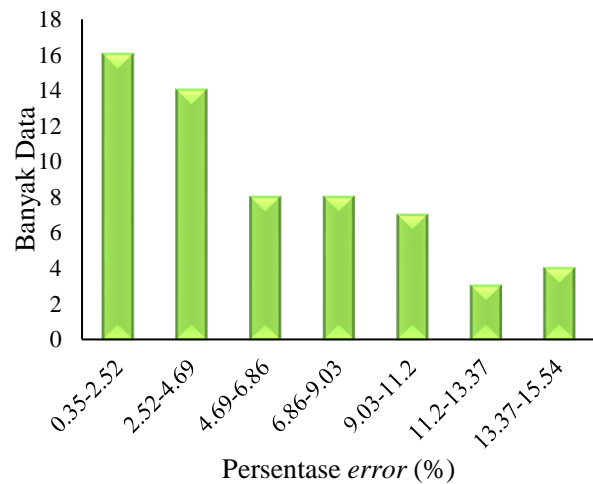
N o	Air (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	Kerikil (kg/m <sup>3</sup> )	Sp (%)	Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Lentur (MPa)	Fuzzy (MPa)	% Error (%)	Peneliti
1	188,65	183	891	837	0,5	160	4,42	4,37	1,11	Sonebi, (2003)
2	225,50	250	746	837	1,0	160	4,86	5,12	5,41	
3	155,80	250	919	837	0,5	160	5,66	5,74	1,35	
4	225,50	250	742	837	0,5	160	4,73	4,55	3,77	
5	262,35	317	596	837	0,5	160	5,07	4,65	8,30	
6	225,50	250	742	837	0,5	160	4,83	4,96	2,70	
7	225,50	250	742	837	0,5	160	5,02	4,96	1,16	
8	225,50	250	742	837	0,5	160	4,79	4,96	3,48	
9	229,50	290	625	837	0,2	220	5,39	5,09	5,60	
10	253,50	290	709	837	0,2	100	4,85	4,36	10,07	
11	166,50	210	786	837	0,8	160	4,86	5,06	4,18	
12	225,50	250	742	837	0,5	160	4,61	4,96	7,48	
13	281,05	250	478	837	0,5	261	3,88	3,78	2,47	
14	242,00	355	910	590	1,8	195	5,58	6,08	9,04	Siddique,dkk., (2012)
15	236,50	385	910	590	1,8	165	5,41	6,08	12,34	
16	231,00	415	910	590	1,8	135	5,27	5,89	11,70	
17	225,50	440	910	590	2,0	110	5,20	5,16	0,86	
18	225,50	465	910	590	1,95	85	5,12	5,40	5,55	
19	167,00	115	743	924	0,65	336	3,76	3,65	2,93	Liu, (2010)
20	170,00	225	743	924	0,68	247	5,73	5,27	8,08	
21	176,00	437	743	924	0,90	80	7,85	7,35	6,34	
22	175,00	250	900	600	2,10	250	5,80	5,98	3,10	Ramanathan,dkk., (2013)
23	175,00	300	900	600	2,15	200	5,88	6,08	3,40	
24	175,00	350	900	600	2,20	150	6,05	6,08	0,50	
25	238,50	477	768	668	0,86	53	4,20	4,02	4,29	Dhyaneshwaran,dkk., (2013)
26	238,50	424	768	668	0,86	106	5,01	5,06	1,00	

Tabel 1 Hasil analisis kuat lentur *fuzzy* (Lanjutan)

N o	Air (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Pasir (kg/m <sup>3</sup> )	Kerikil (kg/m <sup>3</sup> )	Sp (%)	Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Lentur (MPa)	Fuzzy (MPa)	% Error (%)	Peneliti
27	238,50	371	768	668	0,86	159	5,80	5,98	3,10	Dhiyaneshwaran, dkk., (2013)
28	238,50	318	768	668	0,86	212	5,20	5,98	15,00	
29	238,50	265	768	668	0,86	265	4,70	5,35	13,83	
30	160,00	400	731	870,20	1,00	139,2	6,50	6,38	1,85	Dehwah, (2012)
31	152,00	400	739,2	880	1,40	140,8	6,87	7,37	7,28	
32	160,00	400	684,8	842,30	1,20	171,2	6,70	6,76	0,90	Sukumar, dkk., (2008)
33	112,00	280	974,9	974,90	1,10	120	5,23	6,03	15,30	
34	178,50	250	842	772	0,40	275	5,92	6,03	1,91	
35	181,00	333	835	766	0,40	215	6,66	6,55	1,69	
36	182,00	417	828	759	0,50	153	7,39	6,60	10,70	
37	192,00	432	890	810	2,06	48	6,38	5,82	8,71	
38	192,00	384	890	810	2,02	96	6,09	5,85	3,97	
39	192,00	336	890	810	1,96	144	5,95	6,56	10,34	
40	202,00	405	890	810	1,82	45	6,31	5,62	10,87	
41	202,00	360	890	810	1,42	90	6,02	5,62	6,63	
42	202,00	315	890	810	1,07	135	5,87	5,94	1,19	Mustaq dan Nasier, (2018)
43	189,00	396	924	772	1,20	44	5,84	5,43	7,02	
44	189,00	374	924	772	1,20	66	4,91	5,43	10,59	
45	189,00	352	924	772	1,20	88	5,07	5,43	7,10	
46	189,00	330	924	772	1,20	110	6,15	5,92	3,74	
47	189,00	308	924	772	1,20	132	6,78	6,32	6,78	
48	173,00	500	785	850	1,45	85	5,90	6,18	4,82	Mahmod dkk., (2019) Prasad
49	210	240	900	830	0,47	180	5,32	5,27	0,94	
50	200	280	900	830	0,65	170	5,56	5,54	0,36	
51	190	320	900	830	0,8	160	6,31	5,79	8,24	D. Indu (2016)
52	190	360	900	830	0,93	150	6,65	5,96	10,38	
53	190	400	900	830	1,04	140	6,97	6,1	12,48	
54	176	352	819	875	0,35	250	6,02	5,94	1,33	
55	176	384	824	875	0,36	250	6,22	5,94	4,50	
56	175	412	820	880	0,36	254	6,2	5,95	4,03	
57	175	432	803	881	0,38	260	6,48	6,11	5,71	Ramji (2018)
58	193,8	510	795,6	637,5	0,92	102	6,34	6,52	2,84	
59	197,16	328,6	938,27	767,67	1,1	109,53	5,74	5,84	1,74	
60	200	400	809	794	1,5	100	5,41	6,25	15,53	Zeyad, 2017



Gambar 9 Grafik hubungan hasil prediksi kuat lentur dan nomor data .



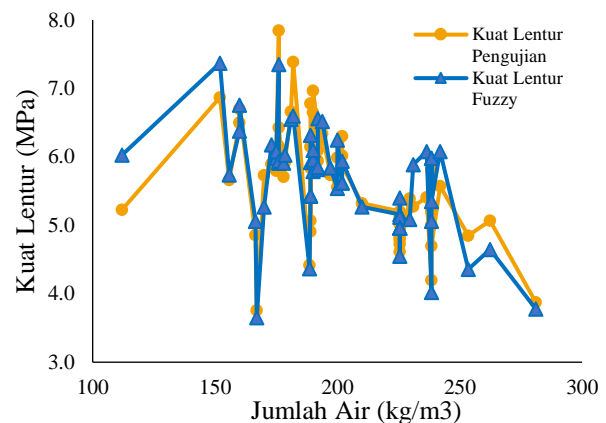
Gambar 10 Grafik hubungan banyak data dan persentase error

### Persentase Error Kuat Lentur Fuzzy

Persentase *error* digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan hasil prediksi kuat lentur yang diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai kuat lentur *fuzzy* dan data sekunder pengujian kuat lentur *self-compacting concrete* yang dilakukan sebelumnya. Berdasarkan tabel 1 diperoleh persentase *error* terkecil sebesar 0,36% dan terbesar sebesar 15,53% sehingga diperoleh persentase rata-rata 5,79%. Standar deviasi persentase *error* sebesar 4,20%. Selanjutnya, persentase *error* dikelompokkan sesuai frekuensi distribusinya pada Gambar 10 bahwa persentase *error range* 0,35-2,52% menunjukkan jumlah data paling banyak yang terdapat pada *range* tersebut sebanyak 16 data sedangkan pada *range* 11,2–13,37% menunjukkan jumlah data paling sedikit sebanyak 3 data. Berdasarkan hasil diatas apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Gupta (2015) yang menghasilkan persentase *error* sebesar 9,63% dan standar deviasi sebesar 7,59% maka hasil yang diperoleh pada penelitian ini lebih baik karena persentase *error* dan standar deviasi yang didapatkan lebih kecil daripada penelitian sebelumnya.

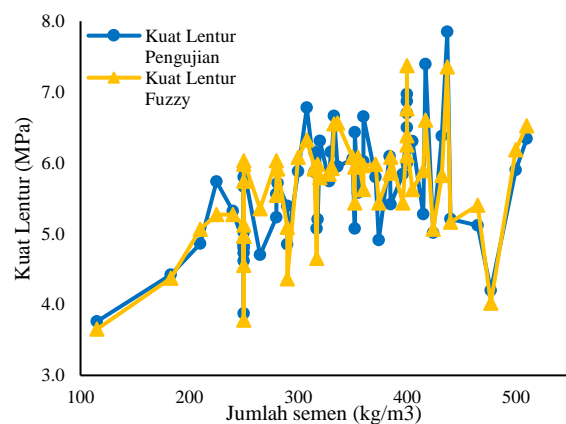
### Hubungan Material terhadap Kuat Lentur Self-Compacting Concrete

Jumlah dan kualitas material yang digunakan pada campuran *self-compacting concrete* menentukan hasil kuat lentur yang akan diperoleh. Material yang paling berpengaruh untuk menentukan kuat lentur *self-compacting concrete* adalah semen dan air. Penggunaan air berbanding terbalik dengan kuat lentur, sehingga semakin besar jumlah air maka kuat lentur yang dihasilkan semakin kecil, sedangkan semakin kecil jumlah air maka kuat lentur yang dihasilkan akan semakin besar. Gambar 11 merupakan grafik hubungan antara jumlah air dan kuat lentur yang menjelaskan bahwa kuat lentur semakin menurun jika jumlah airnya semakin banyak, hasil data yang mengalami penurunan kuat lentur sebesar 50%.



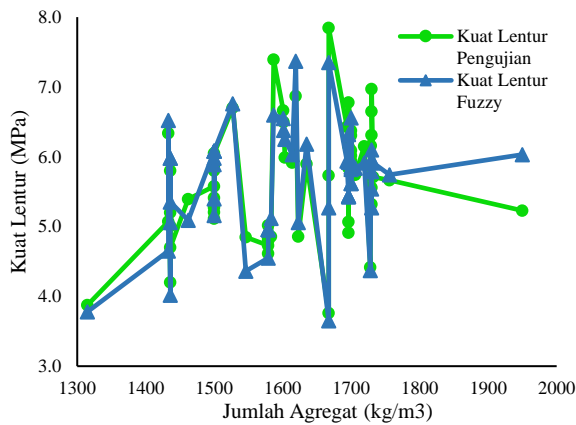
Gambar 11 Hubungan kuat lentur dan jumlah air.

Penggunaan jumlah semen semakin banyak maka kuat lentur yang dihasilkan akan semakin besar sehingga penggunaan jumlah semen terhadap kuat lentur berbanding lurus. Gambar 12 merupakan grafik hubungan antara jumlah semen dan kuat lentur yang menjelaskan bahwa data yang mengalami kenaikan kuat lentur sebesar 56%.



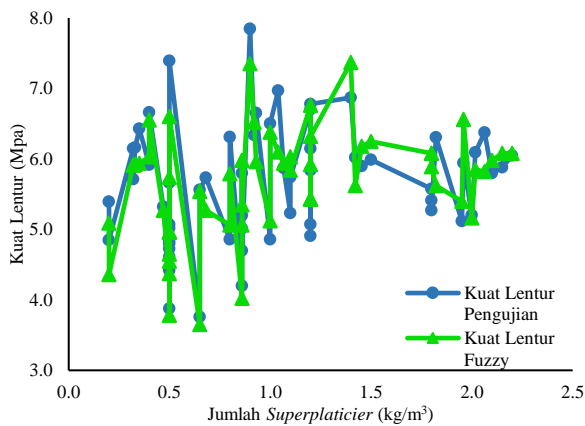
Gambar 12 Hubungan kuat lentur dan jumlah semen.

Penggunaan jumlah agregat akan semakin banyak apabila kuat lentur semakin besar, sebaliknya jika jumlah agregat sedikit maka kuat lentur semakin kecil. Penggunaan jumlah agregat mempengaruhi kepadatan beton, semakin padat beton maka kuat lentur yang dihasilkan semakin besar. Gambar 13 merupakan grafik hubungan antara jumlah grafik dan kuat lentur bahwa data yang mengalami kenaikan kuat lentur sebesar 47%.



Gambar 13 Hubungan kuat lentur dan jumlah agregat.

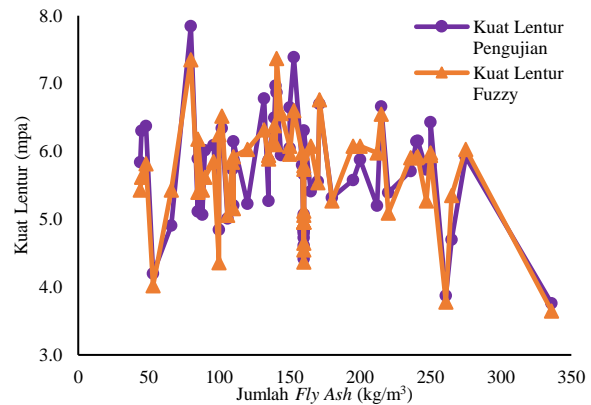
Bahan tambah *superplasticizer* digunakan untuk mengurangi jumlah air, semakin sedikit jumlah air maka jumlah *superplasticizer* akan semakin banyak. Penggunaan *superplasticizer* menjadikan beton lebih encer namun, jumlah air yang digunakan sedikit sehingga dapat meningkatkan *workability* beton dan dapat menjangkau celah-celah sempit. Gambar 14 merupakan grafik hubungan *superplasticizer* dan kuat lentur yang menunjukkan data yang mengalami kenaikan 48%.



Gambar 14 Hubungan kuat lentur dan jumlah *superplasticier*.

Bahan tambah lainnya yaitu *fly ash* yang digunakan untuk mengurangi jumlah semen. Akan tetapi, penggunaan *fly ash* yang semakin banyak sedangkan jumlah semen semakin sedikit atau dikurangi maka kuat lentur yang dihasilkan semakin menurun karena *fly ash* belum bisa mengikat campuran sebaik semen. Gambar 15 merupakan grafik hubungan *fly ash* dan kuat lentur yang menunjukkan kenaikan kuat lentur rata-rata sebesar 0,85 MPa. Hasil hubungan antara jumlah material dan kuat lentur yang tidak sesuai secara teoritis,

disebabkan data *input* diperoleh secara acak, sehingga metode dan acuan *mix desain* yang digunakan oleh beberapa peneliti berbeda.



Gambar 15 Hubungan kuat lentur dan jumlah *fly ash*.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian studi kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy* yang terdapat pada *toolbox software MATLAB*, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- Kuat lentur *self-compacting concrete* menggunakan *fuzzy* yang telah dibangun hanya dapat memprediksi sebesar 3,65 MPa sampai 7,78 MPa. Hasil prediksi kuat lentur logika *fuzzy* yang memiliki persentase *error* terkecil 0,36%; terbesar 15,30%; rata-rata 5,66%. Persebaran data tidak terlalu jauh dengan simpangan deviasi persentase *error* sebesar 3,99%.
- Fuzzy Inference System (FIS)* menggunakan *software MATLAB* dapat membantu memprediksi nilai kuat lentur *self-compacting concrete* dengan efektif dan efisien secara waktu dan biaya.

#### 5. Daftar Pustaka

- Aggarwal, P., Aggarwal Y., Siddiue R., Gupta S., dan Garg H. 2013. Fuzzy Logic Modeling of Compressive Strength of High-Strength Concrete (HSC) with Supplementary Cementitious Material. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 2(2), 128-143.
- Behfarnia, K. dan Khademi F. 2017. A Comprehensive Study on The Concrete Compressive Strength Estimation Using Artificial Neural Network and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 7(1), 71-80.

- Dehwah, H.A.F. 2012. Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 26(2012), 547-551.
- Dhiyaneshawaran S., Ramanathan P., Baskar I., dan Venkatasubramani R. 2013. Study on Durability Characteristics of Self-Compacting Concrete with Fly Ash. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 7(3), 342-353.
- Gupta, S. 2015. Use of triangular membership function for prediction of compressive strength of concrete containing nanosilica. *Cogent Engineering*, 2(2015), 1-11.
- Indu., D dan Elangovan, R. 2016. Optimum Mix Proportioning of High Strength Self Compacting Concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 37(6), 347-349.
- Jalal, M., Pouladkhan A., Harandi O.F., dan Jafari D. 2015. Comparative Study on Effect of Class F Fly Ash, Nano Silica, and Silica Fume on Properties of High Performance Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 94 (2015), 90-104.
- Khademi, F., Akbari M., Jamal S.M., dan Nikoo M. 2017. Multiple Linier Regression, Artificial Neural Network, and Fuzzy Logic Prediction of 28 Days Compressive Strength of Concrete. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 11(1), 90-99.
- Krishnapal, P., R.K. Yadav, dan Rajeev C. 2013. Strength Characteristics of Self Compacting Concrete Containing Flyash. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2(6), 1-5.
- Kumar, P. dan Roy R. 2018. Study and Experimental Investigation of Flow dan Flexural, Properties of Natural Fiber Reinforced Self Compacting Concrete. *International Conference on Smart Computing and Communications*, 125(2018),598-608.
- Kusumadewi, S. 2002. *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Liu, Miao. 2010. Self-Compacting Concrete with Different Levels of Pulverized Fuel Ash. *Construction and Building Materials*, 24(2010), 1245-1252.
- Mahmod, H.M., Hanoon A.N., dan Abed H.J. 2018. Flexural Behavior of Self-Compacting Concrete Beams Strengthened with Steel Fiber Reinforcement. *Journal of Building Engineering*, 16(2018),228-237.
- Mushtaq I., dan Nasier S. 2018. Self Compacting Concrete Design and Performance Using Fly Ash. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(4), 436-445.
- Prasad, B.R., Erkandari, H., dan Reddy, B.V. 2009. Prediction of Compressive Strength of SCC and HPC with High Volume Fly Ash Using ANN. *Construction and Building Materials*, 23(1), 117-128.
- Ramanathan, P., Baskar I., Muthupriya P., dan Venkatasubramani R. 2013. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Different Mineral Admixture. *Struktural Engineering*, 17(2),465-472.
- Shahana Sheril, P.T. 2013. Self Compacting Concrete Using Fly Ash and Glass Fibre. *Internasional Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 2(9), 30074-3076.
- Siddique, Rafat. 2013. Compressive Strength, Water Absorption, Sorptivity, Abrasion Resistance and Permeability of Self-Compacting Concrete Containing Coal Bottom Ash. *Construction and Building Materials*, 47(2013), 1444-1450.
- Sonebi, Mohammed. 2004. Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans. *Cement and Concrete Research*, 34(2004), 1199-1208.
- Sukumar, B., Nagamani K., dan Raghavan R.S. 2008. Evaluation of Strength at Early Ages of Self-Compacting Concrete with High Volume Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 22(2008), 1394-1401.
- Yuan, Z., Wang L., dan Xu Ji. 2014. Prediction of Concrete Compressive Strength: Research on Hybrid Models Genetic Based Algorithms and ANFIS. *Advances*



*in Enginerin Software*, 67(2014), 156-163.

Zeyad, A.M.A., dan Saba A.M. 2017. Influence of Fly Ash on the Properties of Self-Compacting Fiber Reinforced Concrete. *Journal of Steel Structures & Construction*, 3(1), 1-8.