

Studi Kuat Tekan *Self-Compacting Concrete* Menggunakan Logika Fuzzy

Study of Compressive Strength on Self-Compacting Concrete Using Fuzzy Logic

Nur Ali Maulida, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika, Hakas Prayuda

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. *Self-compacting concrete* atau beton memadat sendiri dapat menjadi pilihan untuk suatu proses konstruksi karena sifatnya yang cair sehingga mampu mengisi seluruh ruang (bekisting) meskipun tanpa alat bantu *vibrator* dan *compactor*. Logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk membaca serangkaian data dan memprediksinya melalui kemampuan generalisasinya. Kuat tekan menjadi aspek penting untuk mengetahui kinerja dan kualitas beton, sehingga perlu dilakukannya studi untuk mengetahui kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy*. Metode yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil antara kuat tekan pengujian dengan hasil kuat tekan menggunakan logika *fuzzy*. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapat dari beberapa literatur. Pemodelan dilakukan dengan material penyusun *self-compacting concrete* sebagai *input* dan kuat tekan sebagai *output*. Prediksi menggunakan logika *fuzzy* pada penelitian ini menunjukkan rata-rata *error* sebesar 6,22%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa logika *fuzzy* mampu digunakan untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete*.

Kata-kata kunci : *Self-compacting concrete*, logika *fuzzy*, dan prediksi kuat tekan.

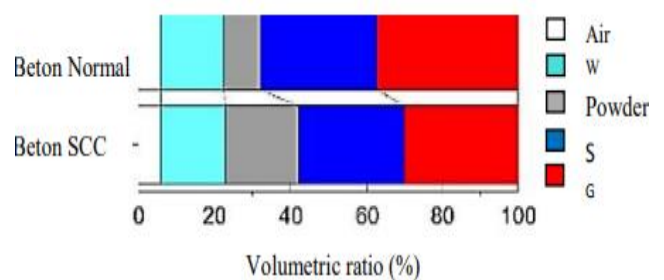
Abstract. *Self-compacting concrete* can be an option for a construction process because it has liquid properties so that it can fill the entire space (formwork) without vibrator and compactor. Fuzzy logic has the ability to read a series of data and predict it with its generalization capabilities. The compressive strength is an important aspect to determine the performance of concrete, so it needs to do a study to predict the compressive strength of *self-compacting concrete* using fuzzy logic. The method used is to compare the results between compressive strength testing with compressive strength using fuzzy logic. The data used is secondary data obtained from several literature. Modeling done with material of *self-compacting concrete* as input and compressive strength as output. Prediction using fuzzy logic in this study shows an average error is 6,22%. These results indicate that fuzzy logic can be used to predict the compressive strength of *self-compacting concrete*.

Keywords : *self-compacting concrete*, fuzzy logic, and compressive strength prediction.

1. Pendahuluan

Self-compacting concrete dipilih dalam suatu proses konstruksi karena kemampuannya untuk mengalir dan mengisi ruang cetakan tanpa bantuan *vibrator* dan *compactor*, sehingga mampu meminimalisir terjadinya rongga pada beton yang dapat mengurugi kinerja beton. Material penyusun *self-compacting concrete* pada dasarnya sama seperti beton konvensional, namun pada *self-compacting concrete* menggunakan bahan tambah berupa *superplasticizer*. 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 1. Komposisi *powder* pada *self-compacting concrete* lebih banyak daripada beton konvensional. Komposisi agregat kasar pada *self-compacting concrete* juga lebih sedikit dibanding beton konvensional.



Gambar 1 Perbandingan komposisi campuran *self-compacting concrete* dengan beton konvensional (Okamura dan Ouchi, 2003)

Logika *fuzzy* mampu melakukan pembacaan dari serangkaian data dan dapat mengetahui kebiasaan dari data tersebut, atau dapat dikatakan logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk memprediksi suatu data melalui kemampuan generalisasinya (Topcu, 2008).

Komposisi pada *self-compacting concrete* membutuhkan bahan tambah sebagai pengganti semen. Mushtaq dan Nashir (2018) melakukan penelitian tentang *self-compacting concrete* dengan bahan tambah *fly ash*. Kuat tekan tertinggi didapat pada benda uji dengan bahan tambah *fly ash* 30%. Krishnapal (2013) melakukan penelitian tentang *self-compacting concrete* menggunakan bahan tambah *fly ash* sebagai pengganti semen, hasil yang didapat adalah kuat tekan tertinggi pada campuran dengan *fly ash* 10%. Ramanathan dkk. (2013) melakukan penelitian dengan membandingkan *fly ash*, *silica fume*, dan *blast furnace slag* sebagai bahan tambah dalam campuran, dari penelitian didapat kuat tekan terbesar pada campuran dengan *fly ash* 50%. Jalal dkk. (2015) melakukan penelitian tentang kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan bahan tambah *fly ash*, *nano silica*, dan *silica fume*, dari penelitian tersebut kuat tekan terbesar didapat pada campuran beton menggunakan *nano silica*. Siddique (2013) melakukan penelitian *self-compacting concrete* menggunakan *fly ash* dan *coal bottom ash* sebagai bahan pengganti semen, dari penelitian tersebut kuat tekan yang didapat mencapai 35,1 pada umur beton 28 hari.

Prediksi kuat tekan beton dilakukan untuk membantu mengetahui kuat tekan beton pada umur yang diinginkan tanpa harus menunggu hasil pengujian di laboratorium, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam suatu pekerjaan konstruksi. Yuan dkk. (2013) melakukan penelitian prediksi kuat tekan beton menggunakan algoritma genetik dan *adaptive-network fuzzy inference system* (ANFIS), dari penelitian menunjukkan bahwa prediksi menggunakan ANFIS memiliki nilai error yang lebih sedikit dibandingkan dengan algoritma genetik. Behfarnia dan Khademi (2016) membandingkan efektifitas *artificial neural network* dan *adaptive-network fuzzy inference system* dalam prediksi kuat tekan beton, dari penelitian didapatkan hasil bahwa *artificial*

neural network lebih efektif dibandingkan *adaptive-network fuzzy inference system*. Khademi dkk. (2017) memprediksi kuat tekan beton umur 28 hari menggunakan *multiple linier regression*, *artificial neural network* dan *adaptive-network fuzzy inference system*, dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa *artificial neural network* memiliki tingkat akurasi paling tinggi disbanding dengan metode yang lain. Aggarwal dkk. (2013) melakukan pemodelan menggunakan logika *fuzzy* untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi, dari penelitian didapatkan bahwa logika *fuzzy* dapat digunakan sebagai alternatif untuk memprediksi kuat tekan beton mutu tinggi. Gupta (2015) melakukan pemodelan logika *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan segitiga untuk memprediksi kuat tekan beton yang mengandung *nano silica*, dari penelitian disimpulkan bahwa logika *fuzzy* mampu digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton tersebut.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete* adalah logika *fuzzy mamdani* dengan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium. Hasil dari prediksi menggunakan logika *fuzzy* nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian kuat tekan untuk mengetahui besarnya *error* dari prediksi tersebut. Nilai *error* yang didapat digunakan sebagai dasar seberapa efisien logika *fuzzy* tersebut untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete*.

2. Metode Penelitian

Secara garis besar penelitian ini membuat aplikasi dengan dasar logika *fuzzy mamdani* untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan bantuan *fuzzy logic toolbox* yang terdapat pada aplikasi *MATLAB (Matrix Laboratory)*. Data *input* yang digunakan pada penelitian ini adalah material penyusun *self-compacting concrete*, yaitu jumlah air, semen, agregat halus, agregat kasar, bahan tambah (*fly ash*) sebagai bahan tambah pengganti semen, dan *superplasticier*. Hasil prediksi kuat tekan *self-compacting concrete (output)* menggunakan logika *fuzzy* tersebut dibandingkan dengan data kuat tekan pengujian.

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa data *mix design self-compacting concrete* beserta hasil pengujian kuat tekannya yang didapat dari beberapa literatur. Banyaknya data yang digunakan sejumlah 60 data. Data material penyusun *self-compacting concrete* digunakan sebagai *input* dan data kuat tekan sebagai pembandingan dari hasil prediksi kuat tekan (*output*) menggunakan logika *fuzzy*.

Himpunan Fuzzy

Fungsi keanggotaan atau *membership function* pada logika *fuzzy* adalah kurva yang menunjukkan titik-titik pemetaan dari rangkaian data. Fungsi keanggotaan dalam himpunan *fuzzy* digunakan sebagai pendekatan untuk setiap nilai keanggotaannya. Pembuatan *membership function* disesuaikan dengan karakteristik data supaya hasil prediksi yang didapatkan lebih maksimal. *Membership function* yang dibuat pada penelitian ini untuk data *input* semuanya menggunakan kurva trapesium, sedangkan untuk data *output* menggunakan kombinasi antara kurva trapesium dengan kurva segitiga.

Rules dalam Pemodelan Logika Fuzzy

Rules atau aturan yang dibuat dalam pemodelan logika *fuzzy* dibuat berdasarkan *membership function* dan karakteristik dari rangkaian data. Pembuatan *rules* menggunakan metode *trial and error* untuk mengetahui aturan yang paling tepat dan efektif untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete*. *Rules* yang digunakan pada penelitian ini sejumlah 324 *rules*.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Prediksi Kuat Tekan

Prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* mendapatkan nilai rata-rata *error* dibawah 10%, yaitu sebesar 6,22%. Nilai *error* terkecil yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebesar 0,02%, sedangkan hasil nilai *error* terbesar adalah 34,42%. Besarnya *error* yang didapat pada suatu data disebabkan oleh karena pada data tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dari karakteristik data pada umumnya. Hasil prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* dapat dilihat pada Tabel 1.

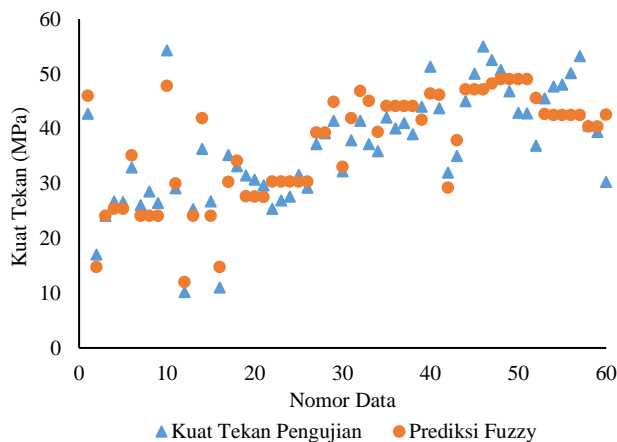
Tabel 1 Hasil prediksi kuat tekan SCC menggunakan logika *fuzzy*

No	Air (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	Agregat Halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Sp (%)	Fly Ash (Kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Hasil Fuzzy	Error (%)	Peneliti
1	175.5	290	913	837	0.8	100	42.7	45.96	7.62	Mohammed Sonebi (2004)
2	281.05	250	478	837	0.5	261	17	14.77	13.09	
3	225.5	250	742	837	0.5	160	24.1	24.11	0.02	
4	193.5	210	786	837	0.8	220	26.7	25.36	5.04	
5	253.5	290	709	837	0.2	100	26.6	25.35	4.71	
6	229.5	290	625	837	0.2	220	32.9	35.15	6.84	
7	225.5	250	742	837	0.5	160	26	24.11	7.29	
8	225.5	250	742	837	0.5	160	28.5	24.11	15.42	
9	225.5	250	742	837	0.5	160	26.4	24.11	8.69	
10	139.5	210	1066	837	0.2	100	54.3	47.81	11.95	
11	262.35	317	594	837	0.5	160	29.1	30	3.09	
12	279.5	210	562	837	0.2	220	10.2	12.02	17.8	
13	225.5	250	742	837	0.5	160	25.3	24.11	4.72	
14	155.8	250	919	837	0.5	160	36.3	41.87	15.34	
15	225.5	250	746	837	1	160	26.7	24.11	9.72	
16	295.2	250	566	837	0.5	160	11	14.77	34.32	

Tabel 1 Hasil prediksi kuat tekan *SCC* menggunakan logika *fuzzy* (lanjutan)

No	Air (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	Agregat Halus (Kg/m ³)	Agregat Kasar (Kg/m ³)	Sp (%)	Fly Ash (Kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	Hasil Fuzzy	Error (%)	Peneliti
17	227.7	465	910	590	1.95	85	35.19	30.27	13.99	
18	228.6	440	910	590	2	110	33.15	34.16	3.03	
19	233.3	415	910	590	1.8	135	31.47	27.65	12.13	Rafat Siddique (2011)
20	234.4	385	910	590	1.8	165	30.66	27.6	10	
21	241.6	355	910	590	1.8	195	29.62	27.53	7.06	
22	257	485	977	561	1.14	135	25.36	30.35	19.66	
23	256	485	977	561	1.14	135	26.9	30.35	12.81	
24	254	485	977	561	1.14	135	27.57	30.35	10.07	Parathiba Aggarwal (2008)
25	253	485	977	561	1.14	135	31.54	30.35	3.78	
26	252	485	977	561	1.14	135	29.21	30.35	3.89	
27	175	350	900	600	2.2	150	37.18	39.29	5.68	
28	175	300	900	600	2.15	200	39.13	39.29	0.41	Ramanathan P (2013)
29	175	250	900	600	2.1	250	41.42	44.85	8.28	
30	238.5	477	768	668	0.86	53	32.19	33	2.52	
31	238.5	424	768	668	0.86	106	37.89	41.87	10.5	
32	238.5	371	768	668	0.86	159	41.42	46.86	13.13	Dhiyanewaran (2013)
33	238.5	318	768	668	0.86	212	37.18	45.05	21.16	
34	238.5	265	768	668	0.86	265	35.9	39.39	9.73	
35	192	384	890	810	2	96	42	44.14	5.08	
36	192	336	890	810	2	144	40	44.14	10.34	
37	202	360	890	810	1.5	90	41	44.14	7.65	Prajhapati Krisnapal (2013)
38	202	315	890	810	1	135	39	44.14	13.17	
39	163	330	917	764	2.4	150	44	41.61	5.43	
40	165	225	1024	762	0.4	225	51.3	46.39	9.57	Dr. Hemant Sood (2009)
41	180	225	988	624	0.8	225	43.7	46.19	5.69	
42	210	240	900	830	0.47	180	32	29.21	8.72	
43	200	280	900	830	0.65	170	35	37.84	8.11	
44	190	320	900	830	0.8	160	45	47.14	4.76	B. K Raghdu Prasad (2009)
45	190	360	900	830	0.93	150	50	47.14	5.72	
46	190	400	900	830	1.04	140	55	47.14	14.29	
47	175	412	820	880	0.36	254	52.5	48.2	8.19	
48	176	384	824	875	0.36	250	50.7	49.02	3.32	
49	176	352	819	875	0.35	250	46.8	49.02	4.74	
50	176	331	856	873	0.33	241	42.9	49.02	14.26	D. Indu (2016)
51	176	315	851	868	0.32	240	42.75	49.02	14.66	
52	178	281	868	864	0.32	236	36.9	45.56	23.48	
53	193.8	510	795.6	637.5	0.92	102	45.5	42.64	6.29	Er. Subhan Ramji (2018)
54	189	374	924	772	1.2	66	47.69	42.5	10.88	
55	189	352	924	772	1.2	88	48.04	42.5	11.53	
56	189	330	924	772	1.2	110	50.11	42.5	15.19	Ifrah Mushtaq (2018)
57	189	308	924	772	1.2	132	53.2	42.5	20.11	
58	200	400	809	794	1.5	100	40.55	40.35	0.49	Zeyad (2017)
59	200	300	809	794	1.5	200	39.39	40.35	2.44	
60	197.16	295.74	970.71	794.21	1.2	98.58	30.3	42.54	13.96	Shahana Sheril (2013)

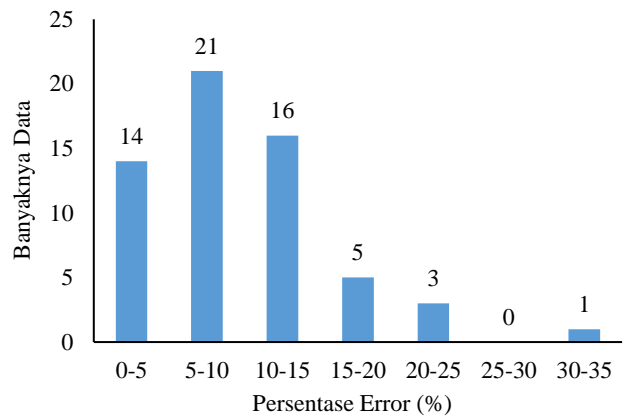
Hasil prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* menunjukkan hasil yang sama jika memiliki nilai *input* yang sama, sedangkan hasil kuat tekan pada pengujian mendapatkan hasil yang berbeda-beda meskipun nilai *input* dari beberapa data tersebut sama, hal ini disebabkan karena hasil kuat tekan yang didapat dari logika *fuzzy mamdani* berasal dari hitungan matematis, sehingga tidak dipengaruhi oleh faktor luar pengujian kuat tekan *self-compacting concrete* tersebut, seperti suhu ruangan, proses *curing*, *human error*, dan lain sebagainya. Perbandingan antara kuat tekan hasil pengujian dengan prediksi logika *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan grafik dapat kita lihat seberapa besar simpangan pada setiap data yang digunakan dalam pengujian dan ditunjukkan pula bahwa hasil prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* dapat memperoleh nilai kuat tekan yang sama, sedangkan hasil pada pengujian kuat tekan *self-compacting concrete* memperoleh hasil yang berbeda-beda.



Gambar 2 Perbandingan kuat tekan hasil pengujian dengan logika *fuzzy*

Distribusi Frekuensi Error

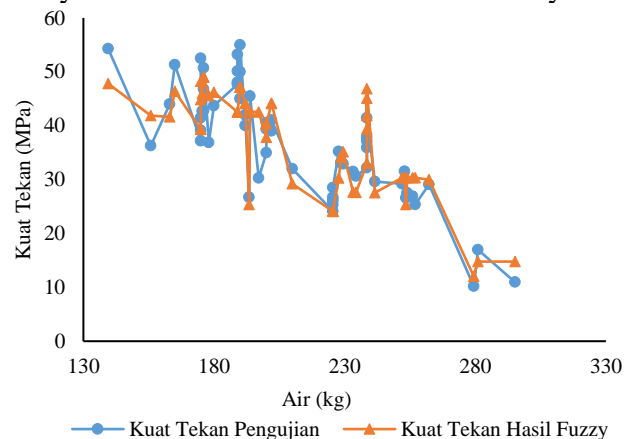
Grafik distribusi frekuensi digunakan untuk mengetahui berapa banyaknya data pada suatu kriteria, dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa data dengan nilai *error* di bawah 10% mencapai 35 data, diantara 10-15% sebanyak 16 data dan jumlah data yang mencapai di atas 15% hanya 9 data.



Gambar 3 Distribusi frekuensi *error*

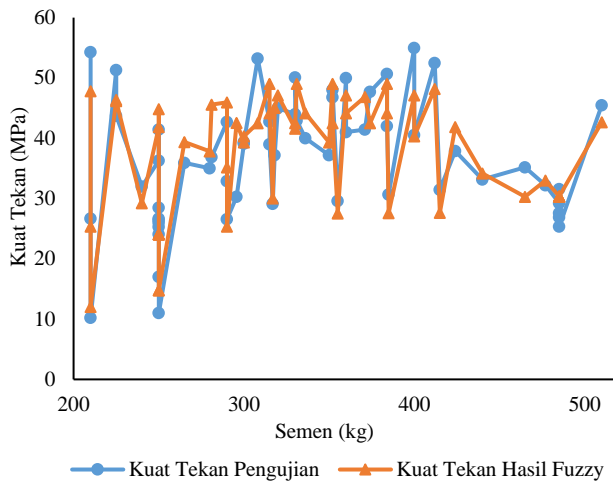
Hubungan Material dengan Kuat Tekan

Komposisi material penyusun *self-compacting concrete* sangat berpengaruh terhadap nilai kuat tekannya. Setiap material saling berhubungan dalam menentukan hasil kuat tekannya. Pada Gambar 4 ditunjukkan bagaimana pengaruh air terhadap kuat tekan *self-compacting concrete*, yaitu semakin banyak jumlah air pada campuran dapat menyebabkan semakin rendah kuat tekannya.



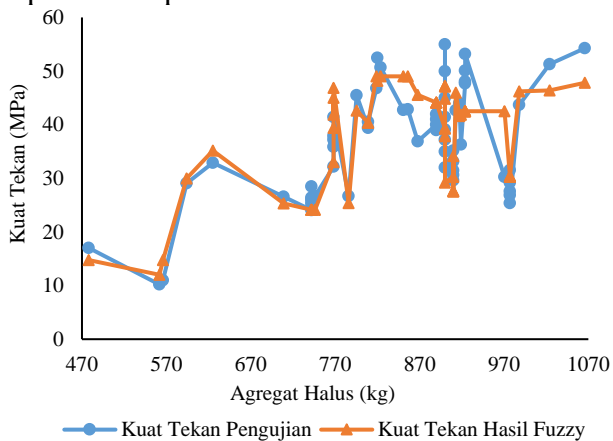
Gambar 4 Hubungan kuat tekan dan jumlah air

Pengaruh semen terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* dapat dikatakan berbanding lurus, artinya semakin banyak jumlah semen yang digunakan dalam *mix design*, maka kuat tekan yang diperoleh dapat semakin tinggi, sedangkan jumlah semen yang lebih sedikit menyebabkan nilai kuat tekan yang didapat semakin rendah. Namun, perlu diperhatikan juga komposisi material lain, seperti perbandingannya dengan air, bahan tambahannya serta agregat yang digunakan. Grafik hubungan antara jumlah semen dalam campuran dengan kuat tekan *self-compacting concrete* dapat dilihat pada Gambar 5.



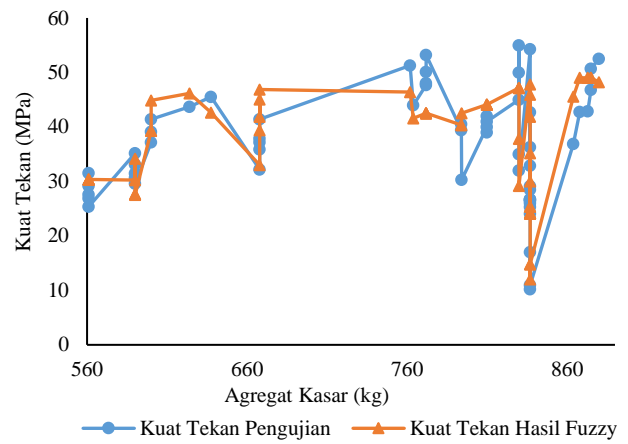
Gambar 5 Hubungan antara kuat tekan dan jumlah semen

Pengaruh agregat halus terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* tergolong berbanding lurus, artinya semakin banyak jumlah agregat halus yang digunakan dalam campuran maka kuat tekan yang diperoleh akan semakin tinggi, sebaliknya jika jumlah agregat halus lebih sedikit maka nilai kuat tekan yang didapat akan semakin rendah. Grafik hubungan antara jumlah agregat halus dalam campuran terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* dapat dilihat pada Gambar 6.



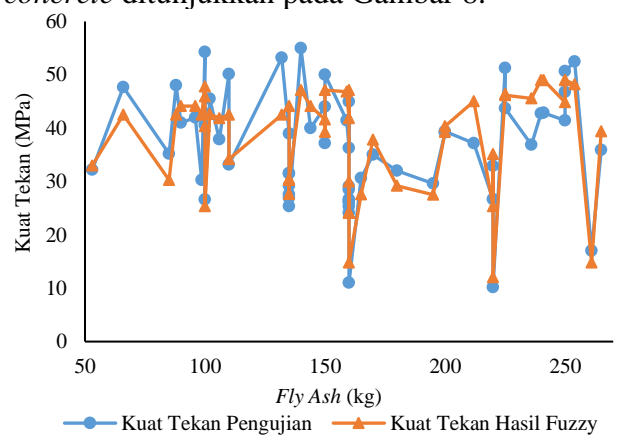
Gambar 6 Hubungan antara kuat tekan dan jumlah agregat halus

Pengaruh agregat kasar terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* tergantung pada jumlah agregat halus dan material lain yang digunakan dalam *mix design*. Namun, secara umum semakin banyak jumlah agregat kasar yang digunakan dapat meningkatkan hasil kuat tekan *self-compacting concrete*. Grafik hubungan antara jumlah agregat kasar terhadap hasil kuat tekan *self-compacting concrete* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Hubungan antara kuat tekan dan jumlah agregat kasar

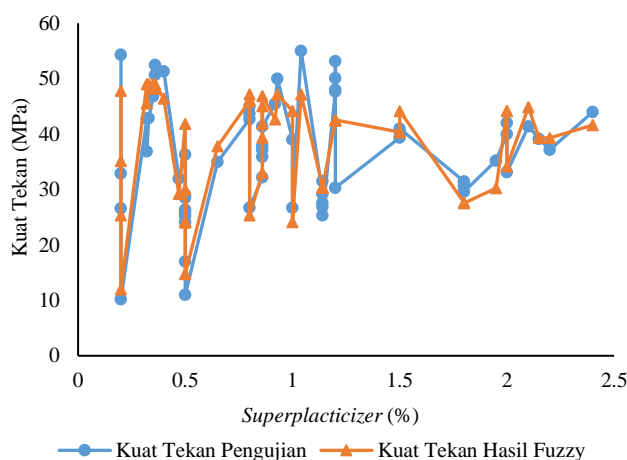
Fly ash digunakan pada campuran beton sebagai bahan tambah pengganti semen. Penggunaan *fly ash* berfungsi untuk mengurangi penggunaan semen dalam *mix design self-compacting concrete*. Pengaruh *fly ash* sendiri terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* sulit didefinisikan, karena sangat tergantung pada sifat kimia dari *fly ash* itu sendiri dan perbandingan jumlah semen yang digunakan. Grafik hubungan antara jumlah *fly ash* terhadap kuat tekan *self-compacting concrete* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Hubungan kuat tekan dan jumlah *fly ash*

Penggunaan *superplasticizer* bertujuan untuk mengurangi jumlah air yang digunakan pada komposisi campuran *self-compacting concrete*. *Superplasticizer* memiliki kemampuan untuk membuat beton segar memiliki sifat yang lebih cair sehingga dapat meningkatkan *workability* beton. Pengaruh *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton itu sendiri tidak dapat didefinisikan, karena tergantung juga dengan perbandingan jumlah

air, semen, serta material lain yang digunakan dalam campuran beton. Grafik hubungan antara jumlah *superplasticizer* yang digunakan dengan kuat tekan *self-compacting concrete* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Hubungan antara kuat tekan dan jumlah *superplasticizer*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* dengan *fuzzy logic toolbox* pada aplikasi MATLAB, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Prediksi kuat tekan *self-compacting concrete* menggunakan logika *fuzzy mamdani* memiliki nilai *error* rata-rata sebesar 6,22% dengan nilai *error* terbesar 34,32%, sedangkan nilai *error* terkecil sebesar 0,02%.
2. Logika *fuzzy mamdani* dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan *self-compacting concrete*, karena memiliki nilai rata-rata *error* yang relatif kecil.

5. Daftar Pustaka

Ahmed Zeyad, A. M., & Mustafa Saba, A. (2017). Influence of Fly Ash on the Properties of Self-Compacting Fiber Reinforced Concrete. *Journal of Steel Structures & Construction*, 03(01). doi:10.4172/2472-0437.1000128

Aggarwal, P., Aggarwal, Y., Siddique, R., Gupta, S., & 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.

Aggarwal, P., Siddique, R., Aggarwal, Y., & Gupta, S. M. 2008. Self-Compacting Concrete-Procedure for Mix Design. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 12, 15-24.

Behfarnia, K., & 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.

Dhiyaneshwaran, S., Ramanathan, P., Baskar, I., & Venkatasubramani, R. 2013. Study on Durability Characteristics of Self-Compacting Concrete with Fly Ash. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 7(3), 342-352.

Er. B. Subhan Ramji & Mr. D. Varun Eswar. 2018. Performance and Strength Evaluation on Self Compacting Concrete by Partial Replacement of Flyash and Glass Power. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 9(3), 204-216.

Gupta, S. 2015. Use of Triangular Membership Function for Prediction of Compressive Strength of Concrete Containing Nanosilica. *Cogent Engineering*, 2(1). doi:10.1080/23311916.2015.1025578

Indu, D., & Elangovan, R. 2016. Optimum Mix Proportioning of High Strength Self-Compacting Concrete. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 37(6), 342-349.

Jalal, M., Pouladkhan, A., Harandi, O. F., & Jafari, D. 2015. Comparative Study on Effects of Class F Fly Ash, Nano Silica and Silica Fume on Properties of High Performance Self Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 90–104.

Khademi, F., Akbari, M., Jamal, S. M., & Nikoo, M. 2017. Multiple Linear

- 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., Yadav, R. K., & Rajeev, C. 2013. Strength Characteristics of Self Compacting Concrete Containing Fly Ash. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2(6), 1-5.
- Mushtaq, I & Sandeep, N. 2018. Self Compacting Concrete Design and Performance Using Fly. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(4), 436-445.
- Okamura, H., & Ouchi, M. 2003. Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15.
- Prasad, B.R., Eskandari, H., & 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., & Venkatasubramani, R. 2013. Performance of Self-Compacting Concrete Containing Different Mineral Admixtures. *KSCE journal of Civil Engineering*, 17(2), 465-472.
- Shahana Sheril, P. T. 2013. Self Compacting Concrete Using Fly Ash and Glass Fibre. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(9), 3074-3076.
- Siddique, R. 2011. Properties of Self-Compacting Concrete Containing Class F Fly Ash. *Materials & Design*, 32(3), 1501-1507.
- Sonebi, M. 2004. Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans. *Cement and Concrete research*, 34(7), 1199-1208.
- Sood, H., Khitoliya, R. K., & Pathak, S. S. 2009. Incorporating European Standards for Testing Self Compacting Concrete in Indian Conditions. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6), 41.
- Topcu, I. B., & Sarıdemir, M. 2008. Prediction of Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic. *Computational Materials Science*, 41(3), 305-311.
- Yuan, Z., Wang, L. N., & Ji, X. 2014. Prediction of Concrete Compressive Strength: Research on Hybrid Models Genetic Based Algorithms and ANFIS. *Advances in Engineering Software*, 67, 156-163.