

Aplikasi Logika *Fuzzy* Untuk Memprediksi Tingkat *Flowability* Pada *Self-Compacting Concrete*

Fuzzy Logic Application to Predict Flowability Levels on Self-Compacting Concrete

Pradipta Kumara Prabandaru, Fadillawaty Saleh, Fanny Monika, Hakas Prayuda
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Abstrak. *Self-compacting concrete (SCC)* merupakan salah satu inovasi pada beton untuk mempermudah pekerjaan. *Self-compacting concrete (SCC)* memiliki sifat *flowability*, *viscosity*, *passing ability*, dan *segregation resistance*. Sifat *Self-compacting concrete (SCC)* dapat diketahui dengan pengujian beton segar. Pelaksanaan pengujian pada beton segar memiliki kemungkinan terjadi kesalahan yang berakibat pada hasil pengujian. Prediksi pengujian beton segar dengan metode logika *fuzzy mamdani* mengurangi kemungkinan kesalahan yang terjadi. Pengujian beton segar yang diprediksi yaitu *slump-flow*, *T50*, *v-funnel*, *l-box*, dan *j-ring*. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari jurnal dengan jumlah secara berurutan yaitu 60, 36, 54, 28, dan 19 data. Semua prediksi menggunakan 324 *rules* dengan 6 *input* yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer*, dan 1 *output* yaitu masing-masing pengujian. Hasil prediksi *slump-flow* mendapatkan nilai 705,5 mm dengan data yaitu 705 sehingga hanya memiliki selisih 0,5 mm. Hasil prediksi *T50* mendapatkan nilai 1,7 s dengan data yaitu 1,7 s sehingga memiliki kesamaan nilai. Hasil prediksi *v-funnel* mendapatkan nilai 9,1 s dengan data yaitu 9,15 s sehingga hanya memiliki selisih 0,05 s. Hasil prediksi *l-box* mendapatkan nilai 0,93 dengan data 0,93 sehingga memiliki kesamaan nilai. Hasil prediksi *j-ring* mendapatkan nilai 0 mm dengan data 0 mm sehingga memiliki kesamaan nilai. Prediksi logika *fuzzy mamdani* menghasilkan nilai-nilai yang mendekati dan bahkan sama dengan data sekunder sehingga dapat digunakan untuk memprediksi pengujian beton segar pada *self-compacting concrete (SCC)*.

Kata kunci: *self-compacting concrete*, logika *fuzzy*, beton segar dan *fly ash*.

Abstract. *Self-compacting concrete (SCC)* is one of the innovation in concrete to simplify work. *SCC* has *flowability*, *viscosity*, *passing ability*, and *segregation resistance*. Main *SCC* properties can be known by fresh concrete testing. The testing of fresh concrete has possibility of an error that results in the test results. Fresh concrete prediction testing using the Mamdani fuzzy logic method reduce the possibility of errors. Prediction fresh concrete tests are *slump-flow*, *T50*, *v-funnel*, *l-box*, and *j-ring*. The data used is secondary data from journal with numbers in a row, 60, 36, 54, 28, and 19 data respectively. All predictions use 324 rules with 6 input, cement, fly ash, sand, gravel, water, and superplasticizer, and 1 output, namely each test. *Slump-flow* prediction get a value 705,5 mm with data that is 705 mm so that it only has a difference 0,5 mm. *T50* prediction get a value 1,7 s with data that is 1,7 s so that it has the same value. *V-funnel* prediction get a value 9,1 s with data that is 9,15 s so that it only has a 0,05 s difference. *L-box* prediction get a value 0,93 with data that is 0,93 so that it has the same value. *J-ring* prediction get a value 0 mm with data that is 0 mm so that it has same value. Mamdani fuzzy logic predictions produce values that are close and even same as secondary data so it can be used to predic fresh concrete testing on *SCC*.

Key words : *self-compacting concrete*, fuzzy logic, fresh concrete, and fly ash.

1. Pendahuluan

Self-Compacting Concrete (SCC) merupakan pengembangan paling revolusioner dalam industri beton (Krishnapal dkk., 2013). *Self-Compacting Concrete (SCC)* atau beton memadat sendiri merupakan beton yang memiliki sifat cair yang tinggi sehingga bisa mengisi ruang dan memadat sendiri dengan

sedikit atau bahkan tanpa *vibrator* (Siddique, 2013). Teknologi *SCC* memberikan tingkat ekonomis dan efisiensi serta produktivitas yang lebih baik dengan peningkatan kecepatan pengecoran dan pengurangan tenaga kerja, energi, dan biaya peralatan (Ardalan dkk., 2017). Konsep *SCC* pertama kali dikemukakan oleh Okamura pada tahun 1986 dan prototipenya pertama kali dikembangkan oleh

Ozawa di Universitas Tokyo pada tahun 1988 (Shi dkk., 2015). *Self-Compacting Concrete (SCC)* memiliki kemampuan mengalir dan memadat ke setiap bagian bangunan yang sulit dijangkau serta mampu mengalir melewati celah-celah besi dengan ketahanan terhadap segregasi dikarenakan pembatasan kandungan dan ukuran agregat yang biasa digunakan pada beton normal, penggunaan *superplasticizer*, dan factor w/p atau *water per powder* yang rendah (Chopra dkk., 2015). Penyusun SCC sama seperti beton konvensional (semen, agregat, air, *admixture*) tetapi pada beton segar harus memiliki *filling ability*, *passing ability*, dan *segregation resistance* (Kavitha dkk., 2015).

Fuzzy Logic atau logika *fuzzy* merupakan metode memprediksi yang banyak dikembangkan dalam berbagai aspek untuk memprediksi penggunaan kebutuhan sehari-hari yang telah ditentukan. Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Luthfi A. Zadeh seorang peneliti dari Universitas California di Berkeley dalam bidang ilmu komputer pada tahun 1965 (Ross, 2010). Logika *fuzzy* merupakan logika kekaburan yang memiliki tingkat kebenaran, berbeda dengan logika tegas yang memiliki kemutlakan antara benar dan salah (Campbell dkk., 2016) Prediksi menggunakan logika *fuzzy* untuk memprediksi suatu nilai sudah banyak dilakukan. Khademi dkk. (2017) memprediksi kuat tekan umur 28 hari dengan metode *multiple linear regression (MLR)*, *artificial neural network (ANN)*, dan *adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)*. Behfarnia dan Khademi (2017) melakukan perbandingan prediksi kuat tekan beton dengan *ANFIS* dan *ANN*. Karasahin dan Tenzi (2014) menggunakan logika *fuzzy* untuk memprediksi nilai *pavement condition index (PCI)* pada aspal beton. Yuan dkk. (2014) membandingkan penggunaan metode *genetic algorithms-artificial neural network (GA-ANN)* dan *ANFIS* untuk memprediksi kuat tekan beton. Jalalifar dkk (2014) memprediksi *rock mass rating (RMR)* menggunakan logika *fuzzy* dan regresi *multi-variabel*.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai prediksi pengujian *slump-flow*, *T50*, *v-funnel*, *l-box*, dan *j-ring* menggunakan metode prediksi logika *fuzzy mamdani*. Hasil penelitian ini diharapkan mampu mengefisienkan pengujian beton

segar yang memiliki kemungkinan terjadi *human error*.

2. Metode Penelitian

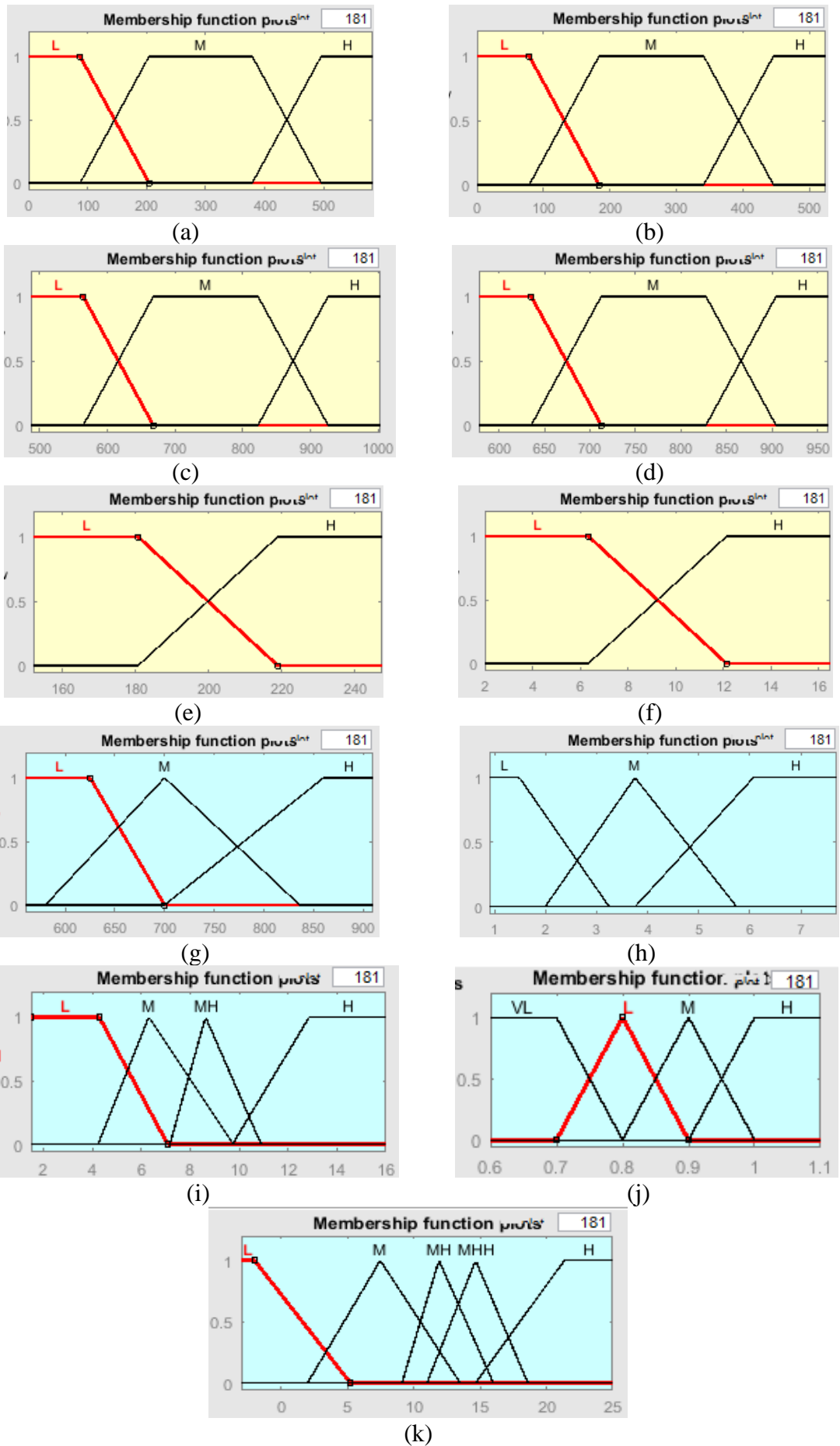
Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dari pengujian beton segar pada *self-compacting concrete* dengan bahan tambah *fly ash*. Data material yang digunakan yaitu semen, *fly ash*, pasir, kerikil, air, dan *superplasticizer* sedangkan data hasil yang digunakan yaitu *slump-flow*, *T50*, *v-funnel*, *l-box*, dan *j-ring*.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputasi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan *software MATLAB* dan *microsoft office* serta alat bantu seperti *mouse*, alat tulis, kalkulator dan alat bantu lainnya. Penelitian ini menggunakan sistem *Multi Input Single Output (MISO)* yaitu menggunakan lebih dari satu *variable input* dan hanya menggunakan satu *variable output*.

Pembuatan *rules* digunakan sebagai penentu *output* pada pemodelan logika *fuzzy*. *Rules* yang bekerja pada *fuzzy* menggunakan pernyataan *IF x is A THEN y is B*. *Rules* yang digunakan pada setiap pembuatan program pengujian beton segar dibuat dengan menggunakan 324 *rules*.

3. Hasil dan Pembahasan

Membership function pada pengujian beton segar dibuat seperti Gambar 1. *Membership function* semen, *fly ash*, pasir, kerikil, *slump-flow*, *T50* dibuat dengan fungsi keanggotaan L, M dan H, air dan *superplasticizer* dibuat dengan fungsi keanggotaan L dan H, *v-funnel* dibuat dengan fungsi keanggotaan L, M, MH, dan H, *l-box* dibuat dengan fungsi keanggotaan VL, L, M, dan H, sementara *j-ring* dibuat dengan fungsi keanggotaan L, M, MH, MHH, dan H. Data sekunder yang digunakan dalam prediksi pengujian *slump-flow* berjumlah 60 data dari hasil penelitian pada pengujian laboratorium. Hasil prediksi uji *slump-flow* yang didapatkan dari analisis logika *fuzzy* sebesar 705,5 mm yang mendekati hasil pengujian *slump-flow* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 705 mm dengan selisih 0,5 mm. Hasil prediksi

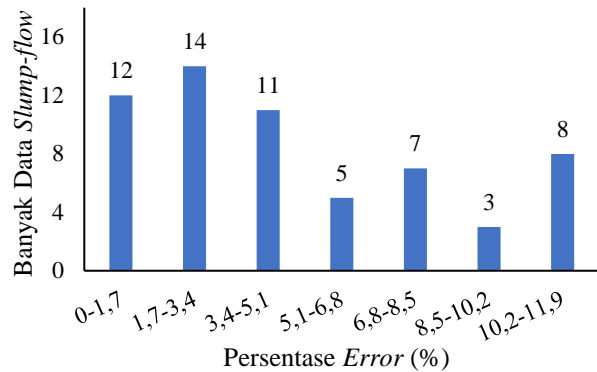


Gambar 1 Fungsi keanggotaan (a) semen (b) fly ash (c) pasir (d) kerikil (e) air (f) superplasticizer (g) slump-flow (h) T50 (i) v-funnel (j) l-box (k) j-ring

uji *slump-flow* yang cukup jauh didapatkan nilai 705,3 mm dengan hasil uji *slump-flow* pada pengujian laboratorium sebesar 800 mm sehingga memiliki selisih 94,7 mm.

Hasil perhitungan *error* dikelompokkan seperti Gambar 2. Gambar 2 menunjukkan banyaknya nilai *error* yang dikelompokkan pada kenaikan setiap 1,7% dimulai dari 0%. Data yang ada menunjukkan ada 12 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 0-1,7 %, 14 data dengan rentang 1,7-3,4 %, 11 data dengan rentang 3,4-5,1 %, 5 data dengan rentang 5,1-6,8 %, 7 data dengan rentang 6,8-8,5 %, 3 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 8,5-10,2 % dan terdapat 8 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 10,2-11,9 %.

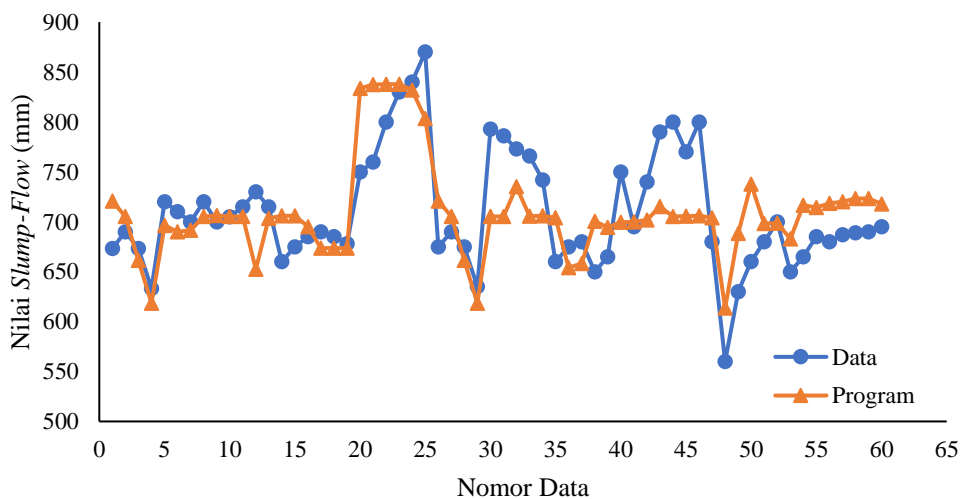
Perbandingan data pengujian dengan nilai prediksi yang dihubungkan antara nilai *slump-flow* dengan nomor data ditampilkan pada Gambar 3 dimana Grafik Program merupakan nilai prediksi uji *slump-flow* dari logika *fuzzy mamdani* sementara Grafik Data merupakan data sekunder hasil pengujian laboratorium. Terlihat perbedaan nilai pada beberapa titik dalam Gambar 3. Data 20 sampai 25 pada Program memiliki nilai yang seragam antara 803-837 mm sedangkan pada Data memiliki nilai yang cenderung naik dari 750-870 mm, data 30 sampai 34 pada Program juga memiliki nilai yang datar antara 704-735 mm sedangkan pada Data memiliki nilai yang menurun dari 793-742 mm, begitu pula data 40 sampai 46 pada Program memiliki nilai yang seragam dan datar antara 699-715 mm sedangkan pada



Gambar 2 Hubungan antara banyak data *slump-flow* dan persentase *error*

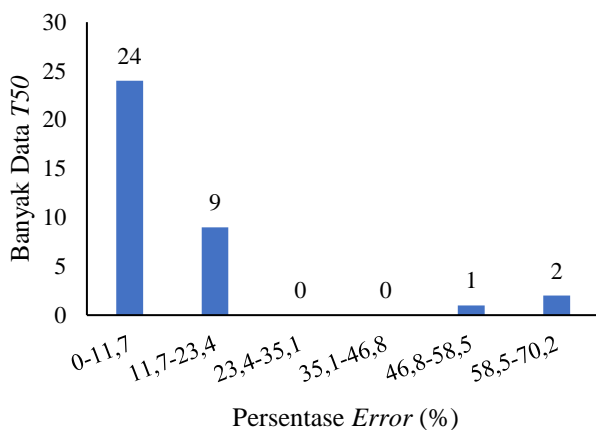
Data memiliki nilai yang naik turun antara 699-800 mm. Grafik data dan program memiliki perbedaan pada beberapa nilai namun keduanya masih memiliki alur yang sama tanpa bersebrangan sehingga hasil prediksi masih bisa mendekati nilai data pengujian.

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai pengujian *T50* berjumlah 36 data yang diambil dari jurnal penelitian SCC pada pengujian laboratorium. Hasil prediksi didapatkan nilai-nilai yang banyak mendekati data sekunder namun masih ada beberapa data yang juga jauh. Hasil prediksi pengujian *T50* dari analisis logika *fuzzy mamdani* didapatkan nilai 1,7 s yang sama dengan hasil uji *T50* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 1,7 s dengan selisih 0 s, sedangkan hasil prediksi uji *T50* dari analisis logika *fuzzy mamdani* yang jauh didapatkan nilai 3,1 s dengan hasil uji *T50* pada pengujian laboratorium mendapatkan 2 s sehingga memiliki selisih 1,1 s.



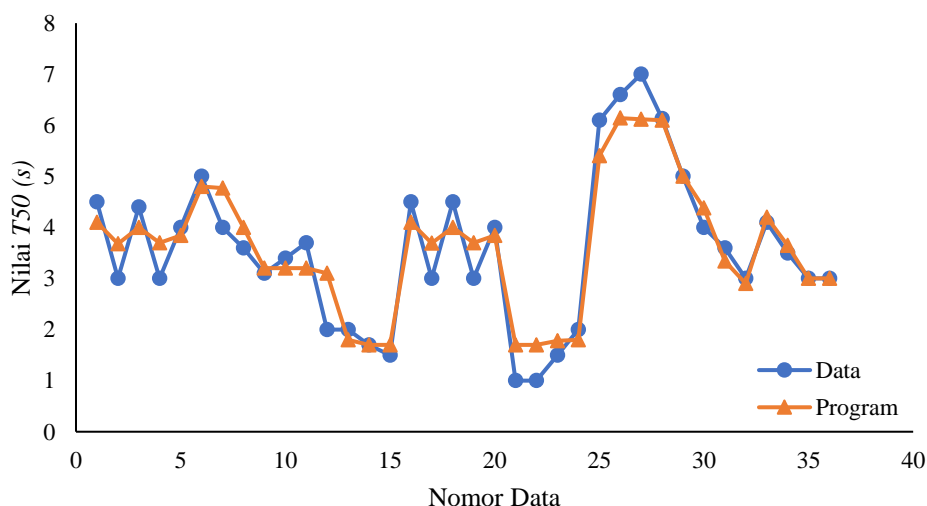
Gambar 3 Hubungan antara nilai *slump-flow* dan nomor data

Penentuan ketepatan prediksi dilakukan dengan menghitung *error*. Hasil perhitungan *error* dikelompokkan pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan banyaknya nilai *error* yang dikelompokkan pada kenaikan setiap 11,7% dimulai dari 0% dengan jumlah 6 kelompok dengan 36 data. Data yang ada menunjukkan ada 24 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 0-11,7 %, 9 data dengan rentang 11,7-23,4 %, tidak ada data pada rentang 23,4-35,1 % dan 35,1-46,8 %, 1 data pada rentang 46,8-58,5 % dan terdapat 2 data yang memiliki *error* lebih dari 58,5-70,2 %.



Gambar 4 Hubungan antara banya data T50 dan persentase *error*

Perbandingan antara data pengujian dengan nilai prediksi disajikan dalam grafik hubungan antara nilai T50 dan nomor data pada Gambar 5. Hasil perbandingan menunjukkan simpangan terbesar pada data 12 dengan nilai simpangan 1,1 s, begitu pula data 21-24 pada. Program memiliki nilai yang rata sementara



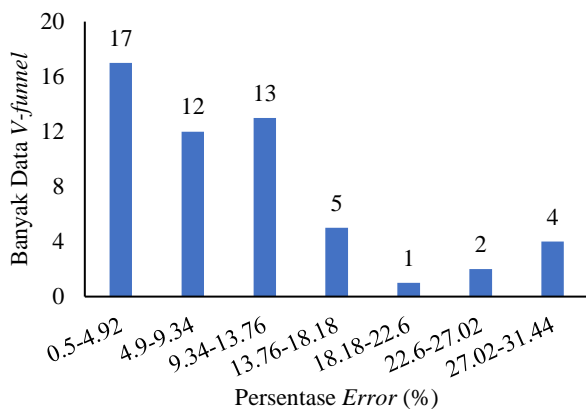
Gambar 5 Hubungan antara nilai T50 dan nomor data

pada Data memiliki alur yang cenderung naik namun kembali berhimpitan ketika menuju data 25. Data 26 dan 27 mempunyai nilai Program yang lebih kecil dari nilai Data ditunjukkan dengan grafik program yang berada dibawah grafik data namun alur dari nilai prediksi masih sama dengan data pengujian serta pada beberapa data terakhir menunjukkan nilai yang berhimpitan yang bisa merepresentasikan nilai dari data sekunder.

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai pengujian *v-funnel* berjumlah 54 data. Hasil prediksi pengujian *v-funnel* dari analisis logika *fuzzy mamdani* didapatkan nilai 9,1 s yang mendekati hasil pengujian *v-funnel* berdasarkan pengujian laboratorium yaitu 9,15 s dengan selisih 0,05 s sedangkan hasil prediksi pengujian *v-funnel* dari analisis logika *fuzzy mamdani* yang berbeda jauh didapatkan nilai 7 s dengan hasil pengujian *v-funnel* berdasarkan laboratorium yaitu 10 s sehingga memiliki selisih 3 s.

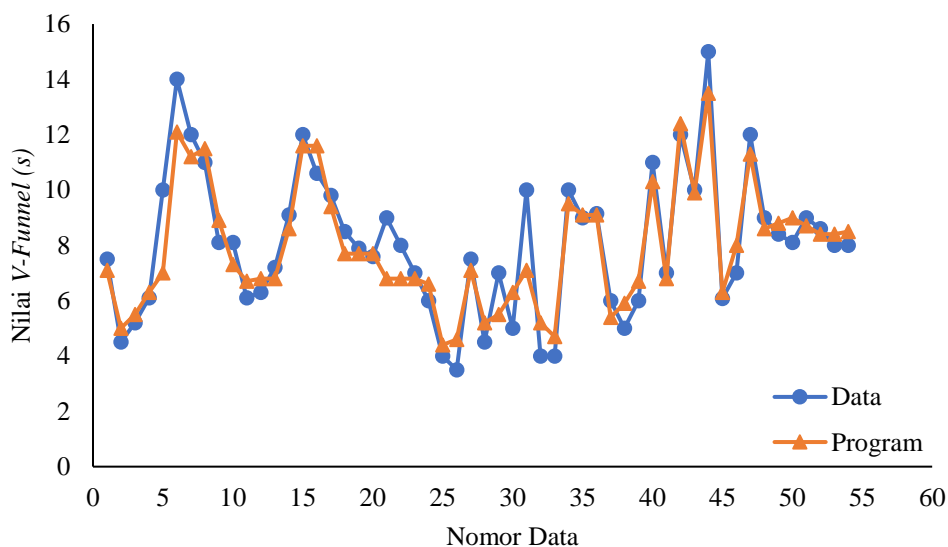
Nilai *error v-funnel* dikelompokkan pada Gambar 6 untuk mengetahui banyaknya data pada setiap kelompok *error*. Nilai *error* dikelompokkan pada setiap rentang 4,42 % dimulai dari 0,5 %. Hasil pengelompokan menunjukkan terdapat 17 data yang masuk dalam tentang 0,5-4,92 %, 12 data pada rentang 4,9-9,34 %, 13 data pada rentang 9,34-13, 76 %,5 data pada rentang 13,76-18,18 %, 1 data pada rentang 18,18-22,6 %, 2 data pada rentang 22,6-27,02 %, serta terdapat 4 data yang masuk pada rentang 27,02-31,44 %. *Error* terbesar ada pada rentang 27,02-31,44 % dengan 4 data. Banyaknya data yang memiliki *error*

kurang dari sama dengan 13,76 % lebih banyak yaitu sebanyak 42 dibandingkan data yang memiliki *error* lebih dari 13,76 % yaitu berjumlah 12 data.



Gambar 6 Hubungan antara banyak data *v-funnel* dan presentase *error*

Perbandingan antara data penelitian dengan program *fuzzy* ditampilkan pada Gambar 7 yang dihubungkan antara nilai *v-funnel* dengan nomor data. Gambar tersebut menunjukkan terdapat beberapa nilai prediksi program yang cukup jauh dari data pengujian seperti pada nomor data 21-23 yang hasil programnya seragam yaitu 6,8 s sedangkan data pengujian menunjukkan nilai yang menurun dari 9-6,8 s. Data selain pada nomor data 21-23 memiliki nilai prediksi yang mendekati data pengujian. Data tersebut seperti nomor data 33-54 memiliki perbedaan nilai yang sangat kecil dan hampir mendekati sempurna untuk nomor-nomor data tersebut. Meskipun terdapat beberapa nilai prediksi yang relatif jauh, namun



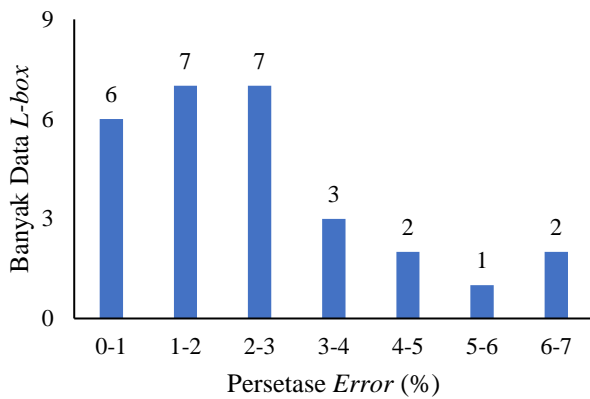
Gambar 7 Hubungan antara nilai *v-funnel* dan nomor data

secara keseluruhan jika dilihat dari aliran grafik nilai prediksi dari analisis logika *fuzzy mamdani* mampu mendekati data sekunder.

Data yang digunakan untuk memprediksi nilai pengujian *l-box* berjumlah 28 data yang didapat dari jurnal penelitian SCC dengan pengujian laboratorium. Hasil prediksi dari analisis logika *fuzzy* didapatkan nilai 0,92 yang sama dengan hasil uji *l-box* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 0,92 dengan selisih 0, sedangkan hasil prediksi uji *l-box* yang cukup jauh didapatkan nilai 0,85 dengan hasil uji *l-box* pada pengujian laboratorium sebesar 0,8 sehingga memiliki selisih 0,05.

Hasil perhitungan *error* dikelompokkan seperti pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan banyaknya nilai *error* yang dikelompokkan pada kenaikan setiap 1% dimulai dari 0%. Data yang ada menunjukkan ada 6 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 0-1 %, 7 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 1-2 %, 7 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 2-3%, 3 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 3-4 %, 2 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 4-5 %, 1 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 5-6 % dan terdapat 2 data yang masuk ke dalam nilai *error* dengan rentang 6-7 %. Nilai *error* yang dikelompokkan memiliki kelompok *error* terbesar yaitu 6-7%.

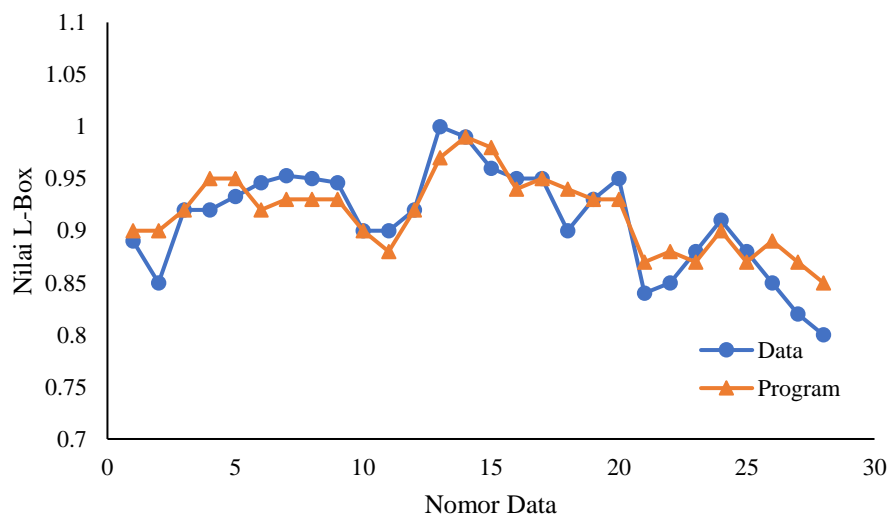
Perbandingan data pengujian dengan prediksi *fuzzy* pada *l-box* ditampilkan pada Gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan hubungan antara nomor data dengan nilai *l-box*



Gambar 8 Hubungan antara banyak data *l-box* dan persentase *error*

baik data pengujian maupun prediksi *fuzzy*. Perbandingan antara data pengujian dengan prediksi *fuzzy* menunjukkan perbedaan nilai yang jelas terlihat. Perbedaan nilai sudah mulai terlihat pada nomor data 2 lalu muncul lagi mulai nomor data 4 yang berlanjut sampai nomor data 9. Perbedaan nilai juga terlihat jelas pada nomor data terakhir yaitu pada nomor data 26 sampai nomor data 28. Meskipun perbandingan nilai pada grafik perbandingan data pengujian dengan prediksi *fuzzy* terlihat jelas, namun perbedaan nilai atau selisih terbesar pada prediksi pengujian *l-box* hanya 0,05 sehingga masih relatif kecil untuk persebaran data tersebut.

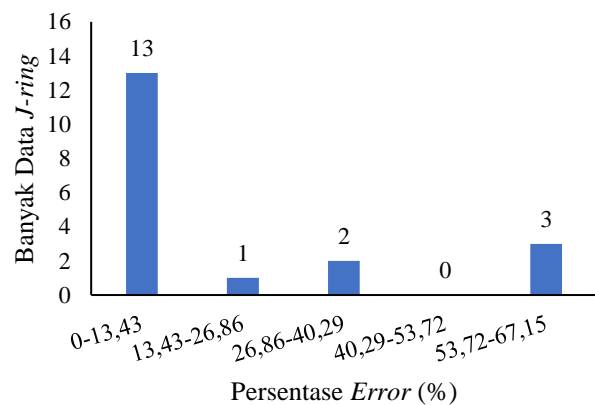
Data yang digunakan untuk memprediksi nilai pengujian *j-ring* berjumlah 19 data dari jurnal penelitian laboratorium. Hasil prediksi dari analisis logika *fuzzy mamdani* didapatkan nilai 0 mm yang sama dengan hasil uji *j-ring* berdasarkan pengujian laboratorium sebesar 0 mm dengan selisih 0 mm, sedangkan hasil



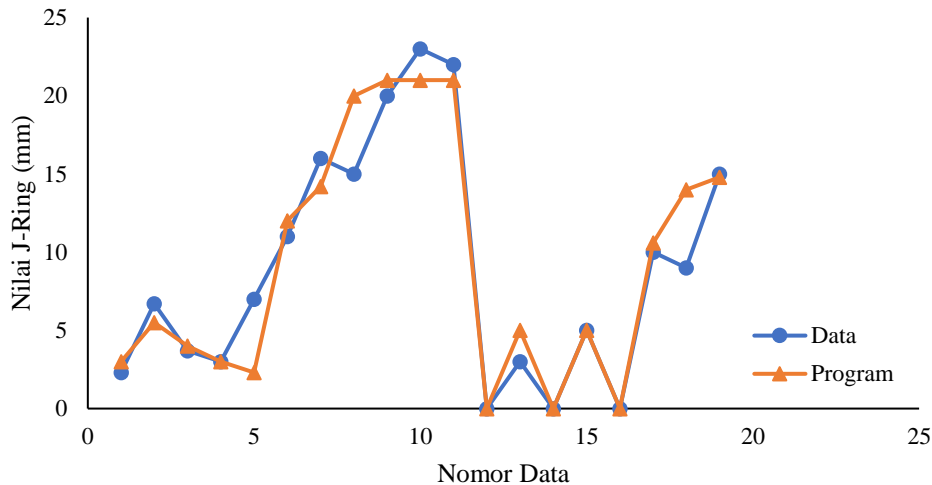
Gambar 9 Hubungan antara nilai *l-box* dan nomor data

prediksi uji *j-ring* dari analisis logika *fuzzy mamdani* yang jauh didapatkan nilai 20 mm dengan hasil uji *j-ring* pada pengujian laboratorium mendapatkan 15 mm sehingga memiliki selisih 5 mm.

Nilai *error j-ring* dikelompokkan seperti pada Gambar 10 untuk mengetahui banyaknya data pada setiap kelompok *error*. Nilai *error* dikelompokkan pada setiap rentang 13,43 % dimulai dari 0 %. Hasil pengelompokan menunjukkan terdapat 13 data yang masuk dalam tentang 0-13,43 %, 1 data yang masuk pada rentang 13,43-26,86 %, 2 data yang masuk pada rentang 26,86-40,29 %, tidak ada data yang masuk pada rentang 40,29-53,72 %, serta terdapat 3 data yang masuk pada rentang 53,72-67,15 %. *Error* terbesar ada pada rentang 53,72-67,15 % dengan banyak 4 data. Banyaknya data yang memiliki *error* kurang dari sama dengan 13,43 % lebih banyak yaitu sebanyak 13 dibandingkan data yang memiliki *error* lebih dari 13,43 % yaitu berjumlah 6 data.



Gambar 10 Hubungan antara banyak data dan persentase *error*



Gambar 11 Hubungan antara nilai *j-ring* dan nomor data

Perbandingan antara data penelitian dengan program *fuzzy* ditampilkan pada Gambar 11 yang dihubungkan antara nomor data dengan nilai *j-ring*. Gambar tersebut menampilkan titik dari hubungan antara nomor data dengan nilai *j-ring* yang kemudian dihubungkan setiap titiknya menjadi alur dari data pertama sampai data terakhir. Gambar tersebut menunjukkan terdapat beberapa nilai program prediksi yang cukup jauh dari data pengujian seperti pada nomor data 5 yang hasil programnya lebih rendah sedangkan data pengujian menunjukkan nilai yang naik ke 7 mm. Data yang memiliki perbedaan juga ada pada nomor data 8-10 yang memiliki selisih terbesar yaitu 5 mm. Meskipun terdapat beberapa nilai prediksi yang relatif jauh, namun secara keseluruhan jika dilihat dari aliran grafik, nilai prediksi *j-ring* dari analisis logika *fuzzy mamdani* mampu mendekati data pengujian berdasarkan laboratorium, sehingga dapat mewakili data-data pengujian berdasarkan pengujian laboratorium.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

a. Prediksi pada pengujian *slump-flow* menghasilkan *error* terbesar yaitu 11,84 % dan *error* terkecil yaitu 0,07 % dengan rata-rata *error* 5 % sehingga nilai prediksi mampu mendekati data sekunder.

- b. Prediksi pada pengujian *T50* menghasilkan *error* terbesar yaitu 70 % dan *error* terkecil yaitu 0 % dengan rata-rata *error* 13,9 %. Selisih terbesar yaitu 1,1 s relatif kecil untuk data pengujian yang mencapai 7 s sehingga nilai prediksi masih mendekati data pengujian.
- c. Prediksi pada pengujian *v-funnel* menghasilkan *error* terbesar yaitu 31,43 % dan *error* terkecil yaitu 0,55 % dengan rata-rata *error* 9,78 %. Selisih terbesar yaitu 3 s relatif kecil untuk data pengujian yang mencapai 15 s sehingga nilai prediksi masih mendekati data pengujian.
- d. Prediksi pada pengujian *l-box* menghasilkan *error* terbesar yaitu 6,25 % dan *error* terkecil yaitu 0 % dengan rata-rata *error* 2,27 % sehingga nilai prediksi mampu mendekati data sekunder.
- e. Prediksi pada pengujian *j-ring* menghasilkan *error* terbesar yaitu 67,4 % dan *error* terkecil yaitu 0 % dengan rata-rata *error* 17,1 %. Selisih terbesar yaitu 5 mm relatif kecil untuk data pengujian yang mencapai 23 mm sehingga nilai prediksi masih mendekati data pengujian.

5. Daftar Pustaka

Ardalan, B. R., Joshaghani, A., dan Hooton, R. D. 2017. Workability retention and compressive strength of self-compacting concrete incorporating pumice powder and silica fume. *Construction and Building Materials*, 134, 116–122.

- 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, 71-80.
- Campbell, J. T., Sirmon, D. G., dan Schijven, M. 2016. Fuzzy Logic and the Market: A Configurational Approach to Investor Perceptions of Acquisition Announcements. *Academy of Management Journal*, 59, 163-187.
- Chopra, D., Siddique, R., dan Kunal. 2015. Strength, permeability and microstructure of self-compacting concrete containing rice husk ash. *Biosystems Engineering*, 130, 72–80.
- Jalalifar, H., Mojedifar, S., dan Sahebi, A. A. 2014. Prediction of rock mass rating using fuzzy logic and multi-variable RMR regression model. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24, 237–244.
- Karasahin, M., dan Terzi, S. 2014. Performance Model for Asphalt Concrete Pavement Based on The Fuzzy Logic Approach. *Transport*, 29, 18–27.
- Kavitha, O. R., Shanthi, V. M., Prince Arulraj, G., dan Sivakumar, P. 2015. Fresh, micro- and macrolevel studies of metakaolin blended self-compacting concrete. *Applied Clay Science*, 114, 370–374.
- Khademi, F., Akbari, M., Jamal, S. M., dan 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, 90–99.
- Krishnapal, P., Yadav, R. K., dan Rajeev, C. 2013. Strength Characteristics of Self-Compacting Concrete Containing Flyash. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2, 1-5.
- Ross, T. J., 2010, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, University of New Mexico, USA.
- Shi, C., Wu, Z., Lv, K., dan Wu, L. 2015. A review on mixture design methods for self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 84, 387-398.
- Siddique, R. 2013. Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, 47, 1444–1450.
- Yuan, Z., Wang, L.-N., dan Ji, X. 2014. Prediction of concrete compressive strength: Research on hybrid models genetic based algorithms and ANFIS. *Advances in Engineering Software*, 67, 156–163.