

APLIKASI LOGIKA FUZZY SUGENO UNTUK PREDIKSI NILAI SLUMP DAN KUAT TEKAN BETON

Fairuza Putri Prastowo
Bambang Djatmiko, N. Bambang Revantoro

Abstrak:Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai slump dan kuat tekan beton adalah bahan-bahan penyusun beton. Logika fuzzy Sugeno digunakan untuk prediksi nilai slump dan kuat tekan beton dengan bantuan software MATLAB versi 8.5.0.197613 R2015a. Penelitian menggunakan desain eksperimental aplikatif dan validasi dengan sistem Multiple Input Double Output (MIDO). Hasil penelitian : 1) Variabel multiple input terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Variabel double output terdiri dari nilai slump dan kuat tekan beton. 2) Himpunan fuzzy yang digunakan himpunan variabel linguistik minimum-medium-maksimum dengan fungsi keanggotaan segitiga. 3) Perhitungan cara manual dengan 4 tahapan, yaitu: membuat himpunan dan multiple input variabel, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan defuzzifikasi. 4) Perhitungan cara komputasi. 5) Hasil validitas diperoleh: a) hasil perhitungan output cara manual sama dengan output cara komputasi, yaitu nilai slump 8,75 cm dan kuat tekan 50 MPa, b) uji linearitas menghasilkan nilai koefisien determinasi $R^2=0,967>0,95$ untuk slump dan $R^2=0,9516>0,95$ untuk kuat tekan beton, c) uji beda rerata didapat P-value $0,200>0,05$ untuk slump dan P-value $0,136>0,05$ untuk kuat tekan beton. Maka, program dinyatakan valid dan layak digunakan. 6) Simulasi aplikasi logika fuzzy Sugeno dilakukan 5 kali dengan hasil: a) Jumlah semen, jumlah agregat kasar, jumlah agregat halus dan jumlah air berbanding lurus dengan nilai slump dan kuat tekan beton, b) Jumlah semen berbanding terbalik dengan air. Apabila jumlah semen maksimum dan jumlah air minimum maka menghasilkan nilai slump minimum dan kekuatan tekan beton maksimum dan sebaliknya, c) Agregat halus berbanding lurus dengan agregat kasar. Sehingga nilai slump dan kuat tekan beton akan mengalami minimum, medium dan maksimum apabila agregat kasar medium dan agregat halus medium.

Kata-kata kunci: Logika fuzzy, Metode Sugeno, slump beton, kuat tekan beton.

Abstract: One of the factors that influence the value of slump and compressive strength of concrete is the ingredients of concrete. Sugeno fuzzy logic is used to predict slump values and concrete compressive strength with the help of MATLAB software version 8.5.0.197613 R2015a. The study uses an applicative experimental design and validation with a Multiple Input Double Output (MIDO) system. Results: 1) Multiple input variables consisting of cement, coarse aggregate, fine aggregate, and water. The double output variable consists of slump value and concrete compressive strength. 2) Fuzzy set which is used minimum-medium-maximum linguistic variable set with triangle membership function. 3) Calculation of the manual method with 4 stages, namely: creating sets and multiple input variables, application of function implications, composition of rules, and defuzzification. 4) Calculation of computational methods. 5) The validity results are obtained: a) the results of manual output calculation are the same as the output of the computational method, namely the slump value of 8.75 cm and compressive strength of 50 MPa, b) the linearity test produces a coefficient of determination $R^2 = 0.967 > 0.95$ for the slump and $R^2 = 0.9516 > 0.95$ for concrete compressive strength, c) the average difference test obtained P-value $0.200 > 0.05$ for slump and P-value $0.136 > 0.05$ for concrete compressive strength. Then, the program is declared valid and is feasible to use. 6) Sugeno fuzzy logic application simulation is done 5 times with the results: a) The amount of cement, the amount of coarse aggregate, the amount of fine aggregate and the amount of water is directly proportional to the slump value and concrete compressive strength, b) The amount of cement is inversely proportional to water. If the maximum amount of cement and minimum amount of water results in a minimum slump value and maximum concrete compressive strength and vice versa, c) Fine aggregate is directly proportional to coarse aggregate. So the value of slump and compressive strength of concrete will experience a minimum, medium and maximum if the coarse aggregate is medium and the fine aggregate is medium.

Keywords: Fuzzy logic, Sugeno Method, concrete slump, strong concrete reach.

PENDAHULUAN

Beton adalah material yang tersusun dari campuran semen portland atau semen lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, dengan bahan tambahan maupun tidak (SNI 2847:2013). Untuk menjamin kualitas beton, maka quality control melalui pengujian harus dijadikan bagian yang tak terpisahkan pada proses pembuatan beton. Beberapa pengujian yang tidak dapat dipisahkan untuk menjaga kualitas pengecoran beton adalah uji slump dan kuat tekan. Pengujian nilai slump merupakan salah satu metode untuk mengetahui workability campuran beton sebelum diterima dan diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. Sedangkan kuat tekan merupakan suatu parameter utama yang memberikan gambaran seluruh sifat mekanis beton setelah pengecoran (Manuahe, dkk., 2014)

Beberapa metode terdahulu yang sering digunakan, maupun komputasi masih memiliki beberapa kelemahan. Oleh karena itu dicoba cara lain yaitu, memprediksi nilai slump dan kuat tekan beton menggunakan metode logika fuzzy Sugeno dengan sistem kerja Multiple Input Double Output (MIDO). Variabel multiple input terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air, sedangkan double output berupa nilai slump dan kuat tekan.

Penelitian prediksi double output (nilai slump dan kuat tekan) menggunakan logika fuzzy Sugeno dipilih karena sejauh penelusuran peneliti, belum pernah dilakukan sebelumnya. Logika fuzzy diyakini sangat fleksibel dan memiliki toleransi terhadap data-data yang ada (Sitio, 2018). Apabila penelitian ini berhasil, diharapkan dapat dijadikan acuan dalam mengembangkan penggunaan logika fuzzy Sugeno di masa men-

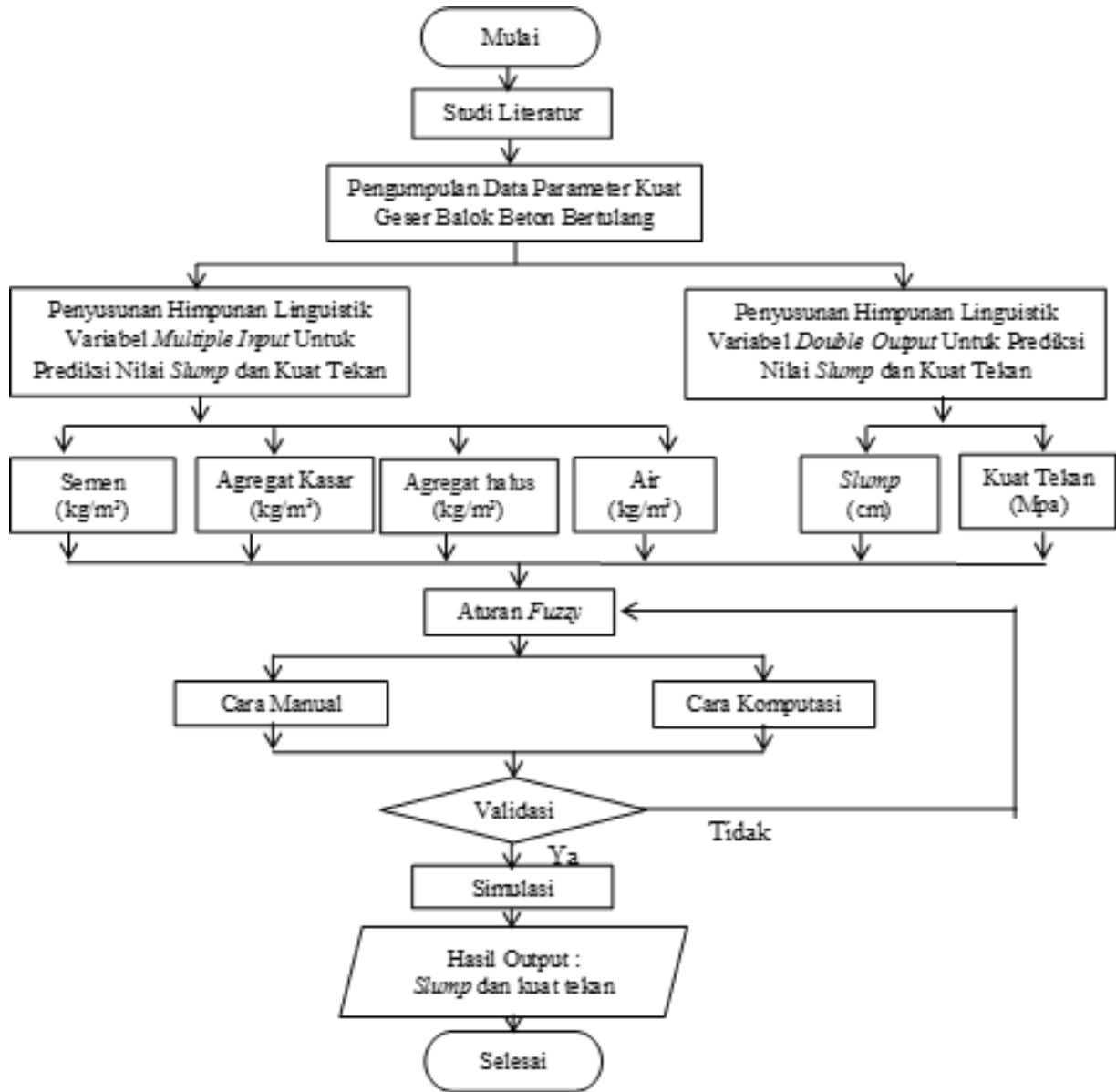
datang dan dapat diterapkan pada semua bidang teknik sipil serta memperkaya materi kuliah konstruksi beton, khususnya cara memprediksi nilai slump dan kuat tekan.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental aplikatif. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang berasal dari penelitian terdahulu sebanyak 40 sampel data. Data tersebut dibagi menjadi 2 kelompok masing-masing sebanyak 20 data yaitu, kelompok data aplikatif untuk pembentukan semesta model fuzzy dan kelompok data empiris untuk uji validitas. Objek yang digunakan adalah data empiris nilai slump dan nilai kuat tekan pada beton yang diperoleh dari hasil pengujian uji slump dan uji kuat tekan beton dari jurnal-jurnal terkait dan data penelitian eksperimen mahasiswa di laboratorium. Sumber data berupa parameter jumlah semen, jumlah agregat kasar, jumlah agregat halus, dan jumlah air diperoleh dari analisis pada penelitian terdahulu.

Pada analisis data penelitian terdapat 6 sub-bab yang akan dibahas mengacu pada tujuan dari penelitian ini. (1) Variabel input dan output Himpunan Logika Fuzzy Sugeno pada Nilai Slump dan Kuat Tekan Beton. (2) Susunan Himpunan Fuzzy Sugeno. (3) Perhitungan Logika Fuzzy Sugeno Cara Manual. (4) Perhitungan Logika Fuzzy Sugeno Cara Komputasi. (5) Validasi perhitungan cara manual dan cara komputasi pada logika Fuzzy Sugeno. (6) Simulasi prediksi nilai uji slump dan kuat tekan beton.

Agar pelaksanaan penelitian tidak menyimpang dari tujuan, maka digunakan diagram alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL

1. Variabel Multiple Input dan Single Output

Pemilihan variabel multiple input didasarkan oleh parameter-parameter yang merupakan material penyusun beton berdasarkan PBI 1971 dan penelitian terdahulu seperti pada Tabel 1. Multiple input berupa jumlah material penyusun beton yaitu semen (kg/m³), agregat kasar (kg/m³), agregat halus (kg/m³), dan air (kg/m³). dan double output yang digunakan berupa nilai slump (cm) dan kuat tekan (MPa).

Variabel multiple input dan variabel double output

Tabel 1. Variabel Multiple Input dan Single Output Pada Logika Fuzzy Sugeno

No	Variabel	Sub-Variabel	Satuan
1	Multiple Input	Jumlah Semen	(kg/m ³)
		Jumlah Agregat Halus	(kg/m ³)
		Jumlah Agregat Kasar	(kg/m ³)
		Jumlah Air	(kg/m ³)
2	Double Output	Nilai Slump	(cm)
		Nilai Kuat Tekan	(MPa)

2. Susunan Himpunan Linguistik Logika Fuzzy Sugeno

Penentuan nilai semesta himpunan linguistik ditentukan berdasarkan nilai minimum, medium dan maksimum yang berlaku pada SNI dan kelompok data aplikatif. Sedangkan nilai domain ditentukan dari fungsi keanggotaan kurva segitiga. Susunan himpunan linguistik fuzzy sugeno dapat dilihat pada Tabel 2.

= 725,00 kg/m³, dan Air = 215,00 kg/m³.

Berdasarkan langkah kerja, diperoleh hasil pembentukan himpunan dan variabel multiple input fuzzy Sugeno yang kemudian masing-masing variabel yang direpresentasikan kedalam fungsi keanggotaan kurva segitiga sebagai berikut: (1) PC = 420,00 kg/m³ diperoleh nilai derajat keanggotaan min1, med1, dan max1 adalah 0,00, 0,498,

Tabel 2. Himpunan Linguistik Fuzzy Sugeno

No.	Variabel	Sub Variabel	Semesta Pembicaraan		Domain	Sumber
(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(5)	(6)
1	Multiple Input	Jumlah Semen (kg/m ³)	Min1	275,0	[0,0 275,0 387,5]	SNI 2834 (2000)
			Med1	387,5	[299,0,0 387,5 476,0]	(max1-min1)/2 + min1
			Max1	500,0	[387,5 500,0 1000,0]	Nugroho (2017)
		Jumlah Agregat Kasar (kg/m ³)	Min2	701,85	[0,0 701,85 1062,93]	Widyawati (2011)
			Med2	1062,93	[925,85 1062,93 1200,0]	(max2-min2)/2 + min2
			Max2	1424,0	[1062,93 1424 1500,0]	Nugroho (2017)
		Jumlah Agregat Halus (kg/m ³)	Min3	513,5	[0,0 513,5 732,25]	Ramadevi (2012)
			Med3	732,25	[641,5 732,25 823,0]	(max3-min3)/2 + min3
			Max3	951,0	[732,25 951,0 1000,0]	Nugroho (2017)
		Jumlah Air (kg/m ³)	Min4	156,75	[0,0 156,75 203,38]	SNI 2834 (2000)
			Med4	203,38	[172,75 203,38 234,0]	(max4-min4)/2 + min4
			Max4	250,0	[203,38 250,0 300,0]	SNI 2834 (2000)
2	Double Output	Nilai Slump (cm)	Min5	2,50	[2,5]	PBI (1971)
			Med5	8,75	[8,8]	(max5-min5)/2 + min5
			Max5	15,00	[15]	PBI (1971)
		Nilai Kuat Tekan (MPa)	Min6	9,80	[9,8]	SNI 7394 (2008)
			Med6	29,90	[29,9]	(max6-min6)/2 + min6
			Max6	50,00	[50]	Iswanto (2014)

3. Perhitungan Cara Manual Logika Fuzzy Sugeno

Berdasarkan susunan himpunan fuzzy Sugeno, selanjutnya dipilih nilai multiple input masing-masing variabel yang berada dalam range himpunan linguistik min, med, dan max sebagai berikut: PC = 420,00 kg/m³, AK = 1150,00 kg/m³, AH

dan 0,56. (2) AK = 1150,00 kg/m³, diperoleh nilai derajat keanggotaan min2, med2, dan max2 adalah 0,00, 0,36, dan 0,24. (3) AH = 725,00 kg/m³, diperoleh nilai derajat keanggotaan min3, med3, dan max3 adalah 0,03, 0,92, dan 0,00. (4) Air = 215,00 kg/m³, diperoleh nilai derajat keanggotaan min4, med4, dan max4 adalah 0,00, 0,62, dan 0,25.

Aplikasi operator fuzzy dengan menggunakan operator And dan diperoleh nilai α dari setiap aturan yang diterapkan pada 3 aturan dengan output berpasangan diperoleh himpunan fuzzy dengan derajat keanggotaan sebagai berikut: (1) Aturan 1 diperoleh $\alpha_1 = 0,00$. (2) Aturan 2 diperoleh $\alpha_2 = 0,00$, dan (3) Aturan 3 diperoleh $\alpha_3 = 0,03$. Berdasarkan nilai α_1 diperoleh nilai $z_{1.1} = 2,5$ dan $z_{1.2} = 29,9$. Nilai α_2 diperoleh nilai $z_{2.1} = 15$ dan $z_{2.2} = 9,8$, dan α_3 diperoleh nilai $z_{3.1} = 8,75$ cm dan $z_{3.2} = 50$ MPa.

Tahap berikutnya yaitu komposisi semua output, diperoleh nilai output untuk tiap aturan sebagai berikut: (1) Aturan 1, nilai slump adalah 0,00 cm dan kuat tekan adalah 0,00 MPa. (2) Aturan 2, nilai slump adalah 0,00 cm dan kuat tekan adalah 0,00 MPa. (3) Aturan 3, nilai slump adalah 0,29 cm dan kuat tekan adalah 1,66 MPa. Langkah terakhir yaitu defuzzifikasi dengan menggunakan metode rata-rata terbobot diperoleh nilai slump adalah 8,75 cm dan kuat tekan adalah 50 MPa

4. Perhitungan Cara Komputasi Logika Fuzzy Sugeno

Perhitungan cara komputasi diawali dengan mengatur variabel multiple input dan double output dalam sistem MIDO, selanjutnya membuat fungsi keanggotaan segitiga, mengatur himpunan linguistik dan mengatur params pada masing-masing himpunan linguistik. Selanjutnya aturan yang digunakan diambil dari 58 aturan yang telah dibuat sebelumnya yaitu dipilih 3 aturan (rules) yang paling berpengaruh dengan perhitungan cara manual sebagai

berikut : (1) If Semen (PC) min And Agregat Kasar (AK) max And Agregat Halus (AH) min And Air min, Then Slump min And Kuat Tekan (KTB) med. (2) If Semen (PC) min And Agregat Kasar (AK) min And Agregat Halus (AH) med And Air med, Then Slump max And Kuat Tekan (KTB) min. (3) If Semen (PC) max And Agregat Kasar (AK) max And Agregat Halus (AH) min And Air med, Then Slump med And Kuat Tekan (KTB) max

Setelah langkah-langkah pada proses komputasi selesai, maka akan didapatkan double output yaitu nilai slump sebesar 8,75 cm dan kuat tekan sebesar 50 MPa dengan menampilkan rule viewer untuk memasukkan variabel input sebagai berikut: PC = 420,00 kg/m³, AK = 1150,00 kg/m³, AH = 725,00 kg/m³, dan Air = 215,00 kg/m³

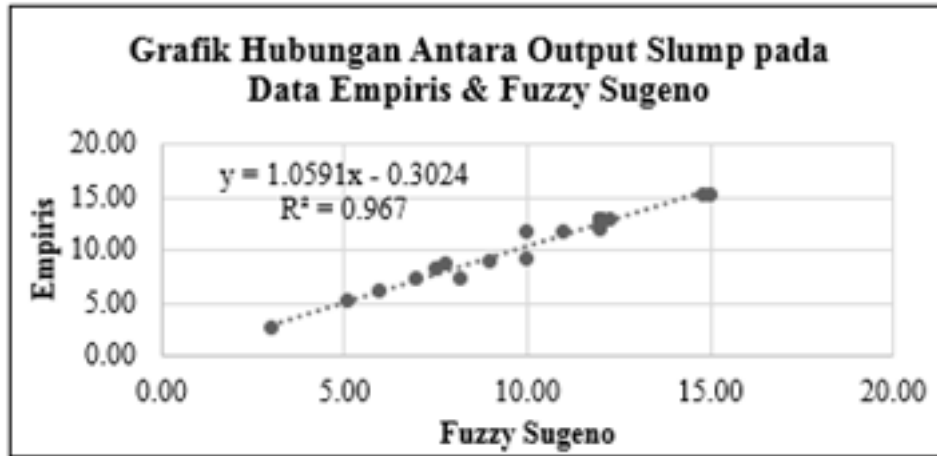
5. Validasi Hasil Output Fuzzy

(a) Hasil Ouput Cara Manual dan Cara Komputasi

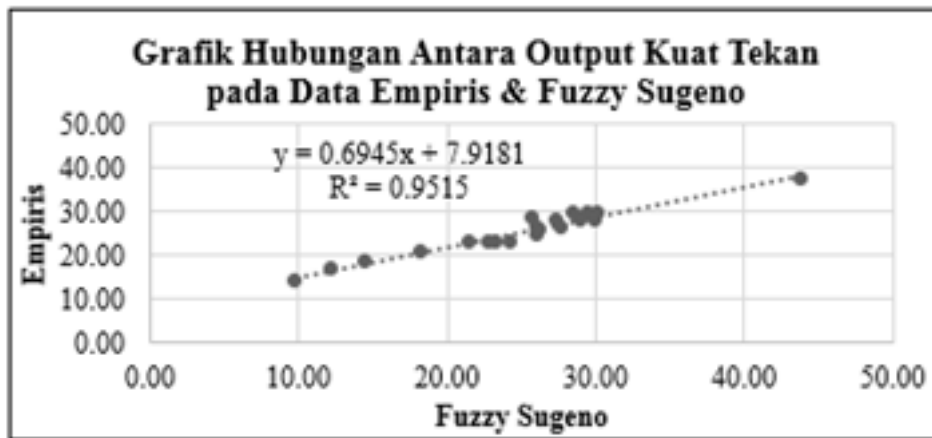
Perhitungan cara manual pada penelitian ini diperoleh nilai slump 8,75 cm dan kuat tekan 50 MPa. Sedangkan perhitungan dengan cara komputasi diperoleh nilai slump 8,75 cm dan kuat tekan 50 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil perhitungan double output cara manual dan komputasi adalah sama.

(b) Uji Linieritas

Uji linieritas dilakukan dengan menggunakan regresi linier yang kemudian diperoleh hasil regresi untuk slump sebesar $R^2 = 0,967$ seperti pada Gambar 2, dan nilai regresi untuk kuat tekan beton sebesar $R^2 = 0,9516$ seperti pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Uji Regresi Hubungan Hasil Prediksi dengan Data Empiris pada Slump



Gambar 3. Grafik Uji Regresi Hubungan Hasil Prediksi dengan Data Empiris pada Kuat Tekan

(c) Uji Beda

Pada uji beda rerata diperoleh hasil sebagai berikut: 1). Nilai P-value untuk slump adalah 0,200 seperti pada Gambar 4. 2). Nilai P-value

untuk kuat tekan beton adalah 0,136 seperti pada Gambar 5. Nilai P-value pada tiap variabel double output lebih besar dari nilai α (0,05).

Paired T-Test and CI: SlumpEmpiris, SlumpPrediksi

Paired T for SlumpEmpiris - SlumpPrediksi

	N	Mean	StDev	SE Mean
SlumpEmpiris	20	10.160	3.073	0.687
SlumpPrediksi	20	10.650	3.211	0.718
Difference	20	-0.490	0.639	0.143

95% CI for mean difference: (-0.788, -0.191)
T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -1.33 P-Value = 0.200

Gambar 4. Hasil Uji T untuk Slump

Paired T-Test and CI: KTempiris, KTprediksi

Paired T for KTempiris - KTprediksi

	N	Mean	StDev	SE Mean
KTempiris	20	25.21	8.04	1.80
KTprediksi	20	26.18	5.68	1.27
Difference	20	-0.976	2.803	0.627

95% CI for mean difference: (-2.288, 0.336)
T-Test of mean difference = 0 (vs ≠ 0): T-Value = -1.56 P-Value = 0.136

Gambar 5. Hasil Uji T untuk Kuat Tekan

6. Simulasi Prediksi Nilai Slump dan Kuat Tekan Beton

Simulasi dilakukan sebanyak 5 kali untuk mengetahui hubungan antara variabel multiple input dan double output. Simulasi dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

SIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah serta hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat disimpulkan variabel yang digunakan terdiri dari 4 variabel multiple input dan 2 double output, susunan himpunan logika fuzzy Sugeno untuk prediksi nilai slump dan kuat tekan dari semesta pembicaraan dan domain pada tiap himpunan linguistik (min-med-max) dengan fungsi keanggotaan segitiga.

Hasil perhitungan cara manual untuk prediksi kuat geser balok beton bertulang terdiri dari empat tahapan, yaitu: (1) Membuat himpunan dan input fuzzy yang direpresentasikan dalam fungsi keanggotaan kurva segitiga, (2) Menentukan aplikasi operator fuzzy dengan menggunakan fungsi implikasi MIN, (3) Menentukan aplikasi fungsi impikasi dan komposisi aturan (4) Melakukan defuzzy dengan menggunakan metode Weighted average sehingga diperoleh nilai slump 8,75 cm dan kuat tekan 50 MPa. Sedangkan perhitungan cara komputasi dilakukan dengan cara mengatur variabel dalam sistem MIDO, mengatur fungsi keanggotaan segitiga, men-

gatur himpunan linguistik, mengatur params masing-masing himpunan linguistik dan menyusun 3 aturan yang sama dengan perhitungan cara manual, sehingga diperoleh nilai slump sebesar 8,75 cm dan kuat tekan sebesar 50 MPa yang ditampilkan dalam rule viewer.

Hasil validitas double output nilai slump dan kuat tekan beton pada logika fuzzy Sugeno dilakukan dengan tiga cara, yaitu: (1) Hasil double output cara komputasi sama dengan cara manual yaitu untuk nilai slump=8,75 cm dan kuat tekan beton=29,90 MPa. (2) Uji linieritas antara data empiris dan komputasi double output fuzzy Sugeno menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) untuk slump $R^2=0,967 \leq 1$ dan untuk kuat tekan $R^2=0,9516 \leq 1$. (3) Pada uji beda rerata dengan T-test untuk slump diperoleh $P\text{-value}=0,200 > 0,05$ dan kuat tekan diperoleh $P\text{-value}=0,136 > 0,05$. Sehingga berdasarkan tiga cara validitas diatas prediksi nilai slump dan kuat tekan beton dengan software fuzzy Sugeno dikatakan valid dan layak digunakan. Berdasarkan hasil simulasi 1 sampai simulasi 5, nilai slump minimum dan kekuatan tekan maksimum diperoleh saat jumlah semen maksimum, jumlah agregat kasar medium, jumlah agregat halus medium dan jumlah air minimum. Sedangkan nilai slump maksimum dan kekuatan tekan minimum diperoleh saat semen minimum, jumlah agregat kasar medium, jumlah agregat halus medium dan jumlah air maksi-

mum. Nilai slump medium dan kuat tekan medium jika semua multiple input medium.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standar Nasional. 2008. SNI 7394 Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2013. SNI 03-2847 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton. Jakarta.
- Cahyadi, W.D. 2012. Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah yang Mengandung Abu Sekam Padi (RHA) dan Limbah Adukan Beton (CSW). Skripsi tidak diterbitkan. Jakarta: FT Universitas Indonesia.
- Direktorat Djendral Tjipta Karya. 1971. Peraturan Beton Indonesia 1971. Bandung.
- Haf, B. B. L. 2012. Pengaruh Penggunaan Fly Ash Pada Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi Ditinjau dari Kuat Tekan dan Absorpsi. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 10(1). 1-9.
- Iswanto & Adriati, Y. 2014. Perbandingan Uji Kuat Tekan Beton yang Menggunakan Air Bersih dengan Air Payau Sungai Indragiri di Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Saintis*, 14(1). 56-69. ISSN: 1410-7783.
- Kusumadewi, S. & Purnomo, H. 2010. Aplikasi Logika Fuzzy. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Manuahe, Riger. Dkk. 2014. Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash). *Jurnal Sipil Statik*, 2 (6), 277-282.
- Nugroho, F. S., Rizalditya, P. B., Susilorini, M. I. & Santosa, B. 2017. Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Polimer Termodifikasi Alami Amylum serta Bahan Tambahan Madu. *Jurnal Teknik Sipil UNIKA*, 1(2). ISSN: 2620-5297.
- Ramadevi, K., & Manju, R. 2012. Experimental Investigation on the Properties of Concrete with Plastic PET (Bottle) Fibres as Fine Aggregates. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(6). ISSN: 2250-2459.
- Sitio, S. L. M. 2018. Penerapan Fuzzy Inference System Sugeno untuk Menentukan Jumlah Pembelian Obat (Studi Kasus: Garuda Sentra Medika). *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*.
- Widyawati, R. 2011. Serapan, Penetrasi dan Permeabilitas Beton Ringan. Seminar Nasional Sains & Teknologi – IV. Bandar Lampung. ISBN: 978-979-5810-34-2.