

PREDIKSI BANJIR SUNGAI CITARUM DENGAN LOGIKA FUZZY HASIL ALGORITMA PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Phitsa Mauliana

AMIK BSI Bandung
Jl. Sekolah Internasional No. 1-6, Antapani Bandung
E-mail: phitsa.phu@bsi.ac.id

Abstract

The purpose of this paper is the prediction of the possibility of flooding using fuzzy logic results of data processing algorithms using particle swarm optimization (PSO). Flooding is the water level exceeds the normal stream. Usually on the face of water and erratic rainfall cause people cannot predict the occurrence of floods. It required an effort to predict the flood in order to minimize losses resulting from flooding. Particle swarm optimization algorithm can solve a system of nonlinear equations for predicting flooding is a non-linear data processing. Particle swarm optimization algorithm and sample used was rainfall and water level, the result is a flood prediction accuracy of 73% based on the resulting confusion matrix calculations. Implementation of fuzzy logic can help predict the likelihood of flooding around the Citarum River.

Keywords: Prediction, Flood, Particle Swarm Optimization, Fuzzy Logic.

1. Pendahuluan

Banjir yang terjadi di Bandung, khususnya paling sering terjadi adalah di daerah Kabupaten Bandung, kejadian banjir dipantau dan ditangani oleh salah satu Dinas Pemerintahan dalam hal ini Balai Besar Wilayah Sungai Citarum sebagai salah satu Dinas Pemerintahan yang bertugas untuk melakukan pemantauan terhadap keadaan sungai Citarum, harus dapat melakukan fungsinya dalam mengatasi berbagai kemungkinan terjadinya banjir di daerah-daerah sekitar yang dilalui oleh sungai Citarum sehingga dapat diambil tindakan untuk menghindari terjadinya banjir (Mauliana & Widodo, 2014).

Sebagian besar negara telah memberikan perhatian yang cukup besar untuk memantau keadaan banjir di negaranya, karena banjir merupakan salah satu permasalahan serius bahkan dapat dikatakan sebagai ancaman besar bagi kehidupan manusia. Banjir dapat menyebabkan kerugian ekonomi, seperti : rusak dan hilangnya harta benda yang dimiliki masyarakat dan bahkan dapat menyebabkan kematian (Hong & Quanhua, 2009).

Memprediksi banjir merupakan hal yang cukup sulit, karena merupakan jenis penelitian yang memiliki data non linier. Data non linier mempunyai area yang lebih luas untuk dilakukan suatu penelitian, karena model-model non linier seringkali memiliki bentuk yang lebih kompleks dan dinamis. Pembagian pemrograman non linier dapat ditentukan dari bentuk fungsi tujuan/obyektif, dari karakteristik fungsi tujuan/obyektif, atau dari keberadaan dan bentuk fungsi-fungsi pembatasnya (Hong & Quanhua, 2009).

Salah satu alternatif untuk prediksi banjir dapat digunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), karena algoritma PSO dapat menyelesaikan sistem persamaan nonlinear (Rosita dkk, 2012), selain itu PSO merupakan salah satu metode optimisasi yang terbukti efektif digunakan untuk memecahkan masalah optimisasi multidimensi dan multiparameter pada pembelajaran machine learning seperti di *Neural Network*, SVM, dan *classifier* lain (Brits, 2009).

Menurut (Kusumadewi & Purnomo, 2010) logika *fuzzy* mudah dimengerti. *Fuzzy logic* menggunakan dasar teori himpunan, maka konsep matematika yang mendasari penalaran *fuzzy* tersebut cukup

mudah dimengerti secara umum. *Fuzzy logic* sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan, dan ketidakpastian yang menyertai permasalahan.

Dari uraian pendahuluan berbagai penulisan tentang banjir, berikut tujuan dari penulisan ini adalah prediksi kemungkinan banjir menggunakan logika *fuzzy* hasil dari pengolahan data menggunakan algoritma *particle swarm optimization* (PSO).

1. Banjir

Banjir adalah tinggi muka air melebihi normal pada sungai. Biasanya pada muka air tinggi, air mengalir meluap melebihi tinggi tebing sungai dan luapan airnya menggenang pada suatu daerah genangan (Hadisusanto, 2011).

Dalam kepentingan yang lebih teknis, banjir dapat disebut sebagai genangan air yang terjadi di suatu lokasi yang diakibatkan oleh: (1) Perubahan tata guna lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS); (2) Pembuangan sampah; (3) Erosi dan sedimentasi; (4) Kawasan kumuh sepanjang jalur drainase; (5) Perencanaan sistem pengendalian banjir yang tidak tepat; (6) Curah hujan yang tinggi; (7) Pengaruh fisiografi/geofisik sungai; (8) Kapasitas sungai dan drainase yang tidak memadai; (9) Pengaruh air pasang; (10) Penurunan tanah dan rob (genangan akibat pasang surut air laut); (11) Drainase lahan; (12) Bendung dan bangunan air; dan (13) Kerusakan bangunan pengendali banjir (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

Dalam Surat Keputusan yang dikeluarkan oleh Dirjen RLPS (Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial) No. P.04 tahun 2009 tentang Pedoman Monitoring Dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai menyatakan, banjir adalah debit aliran sungai yang secara relatif lebih besar dari biasanya akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu secara terus menerus, sehingga air limpasan tidak dapat ditampung oleh alur/palung sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya.

2. Algoritma *Particle Swarm Optimization*

Particle Swarm Optimization merupakan teknik optimisasi berbasis populasi yang dikembangkan oleh Eberhart dan Kennedy pada tahun 1995. *Particle Swarm Optimization*, didasarkan pada

perilaku sebuah kawanan burung atau ikan. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompoknya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh dari kelompok tersebut (Santoso & Willy, 2011).

Pada Algoritma PSO, pencarian solusi dilakukan oleh suatu populasi yang terdiri dari beberapa partikel. Populasi dibangkitkan secara random dengan batasan nilai terkecil dan terbesar. Setiap partikel merepresentasikan posisi atau solusi dari permasalahan yang dihadapi. Setiap partikel melakukan pencarian solusi yang optimal dengan melintasi ruang pencarian (*search space*). Hal ini dilakukan dengan cara setiap partikel melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari partikel tersebut (*local best*) dan penyesuaian terhadap posisi partikel terbaik dari seluruh kawanan (*global best*) selama melintasi ruang pencarian (Santoso & Willy, 2011).

Penyebaran pengalaman atau informasi terjadi di dalam partikel itu sendiri dan antara suatu partikel dengan partikel terbaik dari seluruh kawanan selama proses pencarian solusi. Setelah itu, dilakukan proses pencarian untuk mencari posisi terbaik setiap partikel dalam sejumlah iterasi tertentu sampai didapatkan posisi yang relatif steady atau mencapai batas iterasi yang telah ditetapkan. Pada setiap iterasi, setiap solusi yang direpresentasikan oleh posisi partikel, dievaluasi performansinya dengan cara memasukkan solusi tersebut ke dalam *fitness function* (Santoso & Willy, 2011).

Setiap partikel diperlakukan sebagai sebuah titik pada suatu dimensi ruang tertentu. Kemudian terdapat dua faktor yang memberikan karakter terhadap status partikel pada ruang pencarian yaitu posisi partikel dan kecepatan partikel (Santoso & Willy, 2011).

Algoritma PSO meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Bangkitkan posisi awal sejumlah partikel sekaligus kecepatan awalnya secara random
2. Evaluasi *fitness* dari masing-masing partikel berdasarkan posisinya
3. Tentukan partikel dengan *fitness* terbaik dan tetapkan sebagai *Gbest*. Untuk setiap partikel *Pbest* awal akan sama dengan posisi awal.

Ulangi langkah berikut hingga kriteria yang sesuai terpenuhi:

1. Menggunakan *Pbest* dan *Gbest* yang ada, perbaharui kecepatan setiap partikel menggunakan persamaan 1. Lalu dengan kecepatan baru yang didapat, perbarui posisi setiap partikel menggunakan persamaan 2.
2. Evaluasi *fitness* dari setiap partikel
3. Tentukan partikel dengan *fitness* terbaik dan tetapkan sebagai *Gbest*. Untuk setiap partikel tentukan *Pbest* dengan membandingkan posisi sekarang dengan *Pbest* dari iterasi sebelumnya.
4. Cek stopping criteria, jika terpenuhi berhenti, jika tidak kembali ke 1.

3. Fuzzy Logic

Fuzzy logic adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output, mempunyai nilai kontinyu dan *fuzzy logic* dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran (Kusumadewi S. , 2002).

Untuk menghadapi banyaknya informasi yang tidak tepat, diperlukan gagasan *fuzzy logic* dalam penentuan prediksi (Ary, 2013). Termasuk dalam prediksi banjir dengan beberapa informasi berupa variabel fuzzy.

Beberapa istilah dalam *fuzzy* (Ariyati & Wahyudi, 2014):

- a. Variabel *Fuzzy*
Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*, contoh:gaji, umur, temperatur, permintaan, dan lain sebagainya.
- b. Himpunan *Fuzzy*
Himpunan *fuzzy* merupakan suatu group atau kelompok yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*.
- c. Crisp Input

Nilai masukkan yang diberikan untuk mencari *Degree of membership* atau Derajat Keanggotaan.

- d. *Universe of Discourse*
Batas input yang telah diberikan dalam merancang suatu system *fuzzy*.
- e. Semesta Pembicaraan
Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai terkecil hingga nilai terbesar yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*.
- f. *Domain/Scope*
Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.
- g. Label
Kata-kata untuk memberikan suatu keterangan di dalam domain.
- h. Derajat Keanggotaan
Fungsi dari derajat keanggotaan adalah untuk memberikan bobot pada suatu input yang telah diberikan, sehingga input tadi dapat dinyatakan dengan nilai.
- i. Fungsi keanggotaan
Fungsi keanggotaan atau sebagai *membership function* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antar 0–1.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian untuk memprediksi banjir ini merupakan penelitian eksperimen.

Data sekunder yang digunakan yaitu data curah hujan, dan muka air sungai dari tahun 2012 bulan Juli hingga Desember dan tahun 2013 bulan Januari hingga Juni. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan dari pencatatan harian Stasiun curah hujan Cipaku (Kecamatan Paseh) dan data muka air diperoleh dari pencatatan harian Stasiun duga air Kamasan (Kecamatan Banjaran). Data tersebut diperoleh dari Balai Besar Sungai Citarum. Data curah hujan dan muka air akan diolah menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk dapat memprediksi banjir.

Hasil pengolahan PSO ini selanjutnya digunakan *fuzzy logic* untuk menentukan prediksi banjir disekitar sungai citarum. *Fuzzy logic* digunakan dengan

sumber data sekunder dari BMKG kota Bandung, tentang curah hujan, debit sungai dan lama hujan.

3. Hasil dan Pembahasan

Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum merupakan DAS terbesar dan terpanjang di Jawa Barat, secara geografis dari 106o 51'36" - 107o 51'BT dan 7o 19' - 6o 24' LS. DAS Citarum adalah salah satu DAS yang secara hidrologis tercakup ke dalam wilayah Sungai Citarum dengan pengelolaannya berada di wilayah kerja Balai Besar Sungai Citarum (BBWS) Citarum.

Daerah wilayah Sungai Citarum yang sering terkena banjir yaitu wilayah Kabupaten Bandung, yang meliputi 5 (lima) kecamatan yaitu Kecamatan Dayeuh Kolot, Kecamatan Bale Endah, Kecamatan Bojong Soang, Kecamatan Pameungpeuk dan Kecamatan Banjaran. Berikut data wilayah potensi banjir di Kabupaten Bandung.

Sumber data yang berasal dari Balai Besar Sungai Citarum, terdiri dari data curah hujan yang diperoleh dari data pencatatan harian dari stasiun curah hujan dan data muka air yang diperoleh dari data pencatatan harian dari stasiun duga air.

Prediksi banjir ini dilakukan untuk mengetahui pada kondisi curah hujan, seberapa besar dan muka air mencapai ketinggian seberapa tinggi sehingga akan terjadi banjir berdasarkan hasil pengolahan kedua data tersebut menggunakan algoritma PSO, sehingga dapat diketahui kemungkinan akan terjadinya banjir.

Dalam penelitian ini model matematika untuk perhitungan data berdasarkan data harian, digunakan persamaan matematika sebagai berikut:

$$X_i(t) = x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots$$

$$V_i(t) = v_{i1}(t), v_{i2}(t), \dots$$

dimana:

X = Curah Hujan

V = Muka air sungai

i = indeks partikel

t = iterasi ke- t

N = ukuran dimensi ruang

Sedangkan model matematika yang menggambarkan mekanisme *updating*

status partikel (Kennedy and Eberhart, 1995):

$$V_i(t) = V_i(t-1) + c_1 r_1 (X_i^L - X_i(t-1)) + c_2 r_2 (X^G - X_i(t-1))$$

$$X_i(t) = V_i(t) + X_i(t-1)$$

dimana:

$$X_i^L = x_{Li1}, x_{Li2}, \dots, x_{LiN}$$

merepresentasikan local best dari partikel ke- i

$$X^G = XG1, XG2, \dots, XGN$$

merepresentasikan global best dari seluruh kawan

c_1 dan c_2 adalah konstanta yang bernilai positif, menunjukkan bobot dari posisi sebuah partikel terhadap posisi dari kelompok (swarm).

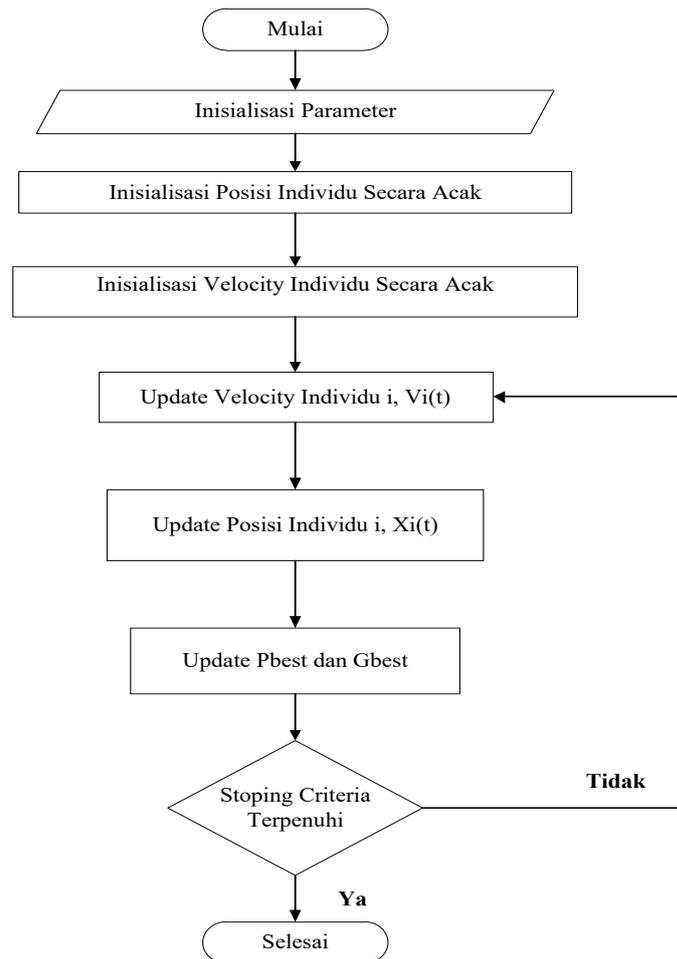
r_1 dan r_2 adalah bilangan random yang bernilai antara 0 sampai 1

Setelah ditentukan variabel X dan V serta nilainya, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan mentransformasikan nilai X dan V ke dalam rumus PSO. Dalam perhitungan menggunakan rumus PSO ini ditentukan pula nilai c_1 dan c_2 , r_1 dan r_2 , $Pbest$ dan $Gbest$. Dimisalkan dalam perhitungan ini c_1 dan $c_2 = 1$, $r_1 = 0.3$, $r_2 = 0.6$, $Pbest =$ nilai X dan $Gbest = 9$.

Pengumpulan data dilakukan secara sekunder. Pengumpulan data yang digunakan mencakup data curah hujan dan data muka air. Data tersebut diperoleh dari Balai Besar Sungai Citarum Unit Hidrologi dari hasil pencatatan data harian di pos curah hujan dan pos duga air.

Data curah hujan, dan data muka air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data tahun 2012 dari bulan Juli hingga bulan Desember dan data tahun 2013 dari bulan Januari hingga bulan Juni. Jumlah data yang diolah adalah data curah hujan sebanyak 365 hari dan data muka air sebanyak 365 hari, jadi total data yang akan diuji adalah 730 data.

Data yang sudah diinput ke dalam excel kemudian diolah menggunakan persamaan algoritma Particle Swarm Optimization agar dapat ditemukan nilai optimum untuk prediksi banjir yang akurat. Berikut diagram alir proses pengolahan data menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization*



Gambar 1
Diagram Alir Particle Swarm Optimization

Dari 365 sampel yang diolah berdasarkan perhitungan algoritma Particle Swarm Optimization, maka ditemukan: 12 data banjir berdasarkan data banjir tahun 2012 dan 2013, 18 data tidak konvergen, 122 data konvergen namun tidak banjir dan 213 data konvergen dan menyebabkan banjir. Hasil perhitungan data dengan menggunakan *Particle Swarm*

Optimization, dinyatakan konvergen jika nilai X saling mendekati, jika tidak konvergen maka data tidak valid.

Berikut tabel hasil pengolahan data dengan menggunakan persamaan algoritma *Particle Swarm Optimization* dan perbandingannya dengan data yang belum diolah oleh PSO (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Perhitungan PSO berdasarkan Data Banjir tahun 2012-2013

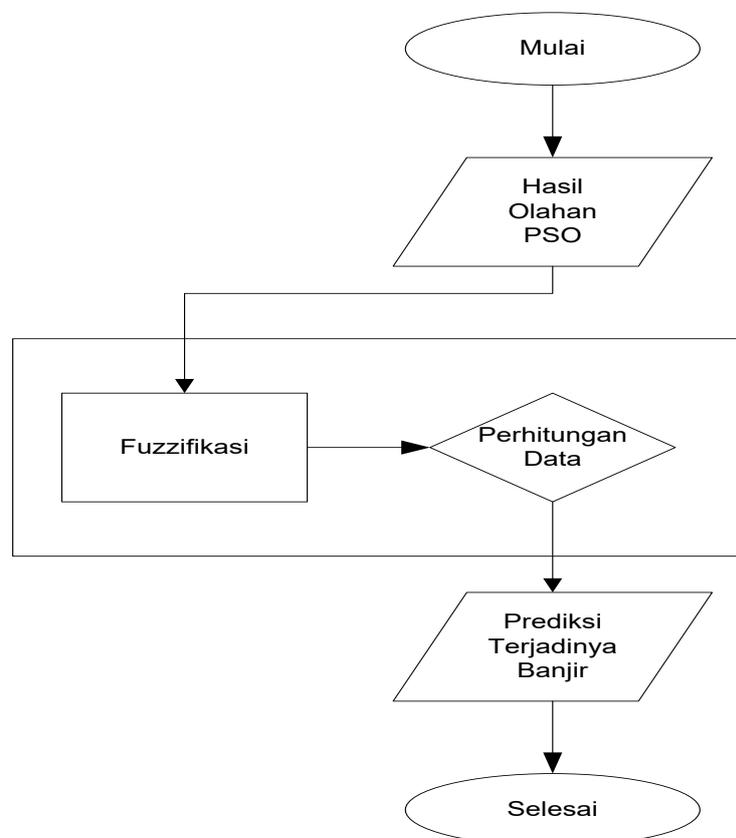
Bulan	Tgl	Var .X	Nilai awal Curah Hujan (X)	Posisi Partikel (X) dng PSO	Var. V	Nilai awal Muka Air (V)	Kec.par tikel (V) dng PSO	Ket
Nov	18	X_{141}	25	51,710	V_{141}	1.82	662,15	Banjir
Des	22	X_{175}	10	71,925	V_{175}	1.36	534,65	Banjir
Feb	11	X_{226}	11	99,397	V_{226}	2.54	55,.35	Banjir

Apr	3	X_{277}	15	128,820	V_{277}	1.75	515,75	Banjir
Apr	4	X_{278}	11	129,330	V_{278}	1.94	510,95	Banjir
Apr	7	X_{281}	39	130,880	V_{281}	2.82	525,95	Banjir
Apr	12	X_{286}	20	133,380	V_{286}	3.08	513,05	Banjir
Apr	17	X_{291}	37	135,870	V_{291}	2.74	461,75	Banjir
Apr	18	X_{292}	15	136,310	V_{292}	3.03	438,35	Banjir
Apr	21	X_{295}	0	137,580	V_{295}	3.15	402,65	Banjir
Mei	10	X_{314}	25	145,770	V_{314}	3.38	465,95	Banjir
Juni	12	X_{347}	24	160,500	V_{347}	1.78	469,85	Banjir

Berdasarkan Tabel 1 maka dapat ditentukan nilai minimum untuk curah hujan dan nilai minimum untuk muka air banjir setelah diolah oleh algoritma *Particle Swarm Optimization*, untuk nilai minimum curah hujan banjir adalah 51,710 dan untuk

nilai minimum muka air banjir adalah 402,65.

Hasil Perhitungan PSO berdasarkan Data Banjir tahun 2012-2013, dilanjutkan dengan metode *fuzzy logic* untuk prediksi terjadinya banjir. Berikut *flowchart* prediksi banjir menggunakan *fuzzy logic* (Gambar 2).



Gambar 2
Flowchart Prediksi Banjir

Perhitungan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG)

mengenai curah hujan, lama hujan dan debit sungai yang digunakan sebagai

aturan pada fuzzy logic adalah sebagai berikut:

1. Curah Hujan
 - a. 0-25 mm : Hujan Gerimis
 - b. 26-75 mm : Hujan Sedang
 - c. 76-100 mm : Hujan Deras
2. Debit Sungai
 - a. 0-4 m³/s : Rendah
 - b. 5-7 m³/s : Sedang
 - c. 8-10 m³/s : Tinggi
3. Lama Hujan
 - a. 0-30 menit : Sebentar
 - b. 31-60 menit : Cukup Lama

- c. 61-90 menit : Lama
- d. 91-120 menit : Lama Sekali

Fuzzy logic hasil olah PSO dengan memasukkan variabel curah hujan, lama hujan dan debit sungai, disajikan pada tabel berikut (Tabel 2).

Tabel 2. Fuzzy Logic Hasil Perhitungan PSO

Var. X	Nilai awal Curah Hujan (X)	Posisi Partikel (X) dengan PSO	Var. V	Nilai awal Muka Air (V)	Kecepatan partikel (V) dengan PSO	Curah Hujan
X ₁₄₁	25	51,710	V ₁₄₁	1.82	662,15	Gerimis
X ₁₇₅	10	71,925	V ₁₇₅	1.36	534,65	Gerimis
X ₂₂₆	11	99,397	V ₂₂₆	2.54	55,35	Gerimis
X ₂₇₇	15	128,820	V ₂₇₇	1.75	515,75	Gerimis
X ₂₇₈	11	129,330	V ₂₇₈	1.94	510,95	Gerimis
X ₂₈₁	39	130,880	V ₂₈₁	2.82	525,95	Hujan Sedang
X ₂₈₆	20	133,380	V ₂₈₆	3.08	513,05	Gerimis
X ₂₉₁	37	135,870	V ₂₉₁	2.74	461,75	Hujan Sedang
X ₂₉₂	15	136,310	V ₂₉₂	3.03	438,35	Gerimis
X ₂₉₅	0	137,580	V ₂₉₅	3.15	402,65	Gerimis
X ₃₁₄	25	145,770	V ₃₁₄	3.38	465,95	Gerimis
X ₃₄₇	24	160,500	V ₃₄₇	1.78	469,85	Gerimis

Berdasarkan Tabel 2 maka dapat ditentukan nilai minimum untuk curah hujan dan nilai minimum untuk muka air banjir setelah diolah oleh algoritma Particle Swarm Optimization, untuk nilai minimum curah hujan banjir adalah 51,710 dan untuk nilai minimum muka air banjir adalah 402,65.

Curah Hujan Gerimis

- a. nilai minimum curah hujan banjir adalah 51,710 mm
- b. nilai minimum muka air banjir 402,65 mm

Curah Hujan Sedang

- c. nilai minimum curah hujan banjir adalah 130,880 mm
- d. nilai minimum muka air banjir 461,75 mm

Hasil analisis prediksi banjir sungai citarum dengan logika fuzzy hasil algoritma particle swarm optimization, dapat menghasilkan nilai minimum curah hujan banjir dan nilai minimum muka air banjir sehingga dapat diketahui, nilai curah hujan dan muka air yang akan menyebabkan banjir. Sehingga dapat diantisipasi sebelum terjadinya banjir.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penulisan ini bahwa *fuzzy logic* dapat membantu memprediksi terjadinya banjir sungai citarum. Prediksi kemungkinan banjir menggunakan logika *fuzzy* hasil dari pengolahan data menggunakan algoritma *particle swarm optimization* (PSO), yaitu curah hujan gerimis dan curah hujan sedang. Nilai minimum curah hujan banjir yaitu 51,710 mm dan 130,880 mm, untuk hujan gerimis dan hujan sedang.

4.1. Saran

Saran dari penulisan ini lebih kearah pengembangan aplikasi prediksi banjir melalui *device mobile*. Diharapkan masyarakat akan lebih cepat mendapatkan informasi mengenai prediksi banjir, khususnya wilayah sekitar sungai citarum.

ToolBox Matlab, Edisi Pertama Cetakan Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Kusumadewi, S., & Purnomo, H. (2010). *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Mauliana, P., & Widodo, P. P. (2014). Prediksi Banjir Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization (Studi Pada: Sungai Citarum). *Jurnal Tekno Insentif Kopwil 4, Volume 8, No.2, Oktober 2014*, 1-10.

Santosa, and Willy. *Metode Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Guna Widya, 2011.

REFERENSI

Ariyati, I., & Wahyudi, M. (2014). Logika Fuzzy Inference System Mamdani Untuk Pendukung Keputusan Penilaian Siswa Di Yayasan Gema Nurani Bekasi. *Seminar Nasional Inovasi dan Tren (SNIT)* (pp. A51.313-318). Bekasi: LPPM Bina Sarana Informatika.

Ary, M. (2013). Penyelesaian Persoalan Transportasi Dengan Fuzzy Cost Menggunakan Pendekatan Basis Tree. *Matematika Jurnal Teori dan Terapan Matematika, Vol 11, Juni 2013, ISSN 1412-5056*, 1-16.

Brits. (2009). *A Niching Particle Swarm Optimizer*. -: -.

Hadisusanto. (2011). *Aplikasi Hidrologi*. Malang: Jogja Mediautama.

Hong, & Quanhua. (2009). *Flood Level Prediction on The Basis of the Artificial Neural Network*. China: -.

Kodoatie, R., & Sugiyanto. (2002). *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya, dalam perspektif lingkungan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Kusumadewi, S. (2002). *Analisa Desain Sistem Fuzzy Menggunakan*