

# MODEL PERANCANGAN DISTRIBUSI AIR DENGAN PENDEKATAN JARINGAN FUZZY

---

**Mulyono, Isnaini Rosyida**

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Email: mulyono\_unnes@yahoo.com

Abstrak. Pada wilayah tertentu belum ada keseimbangan antara permintaan penggunaan air dan nilai aliran maksimum pada jaringan distribusi air Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Nilai aliran maksimum pada jaringan pipa distribusi air dalam suatu wilayah minimal harus sama dengan ketersediaan suplai air dari sumber mata air dalam wilayah tersebut, agar kebutuhan air pada wilayah yang dilayani dapat tercukupi. Dengan demikian perlu dirancang sebuah jaringan yang dapat mengatasi masalah tersebut. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan jaringan fuzzy, yaitu sebuah jaringan dengan parameter berupa bilangan fuzzy. Dalam hal ini digunakan jaringan fuzzy, karena tidak ada data yang pasti tentang kapasitas pipa dalam sebuah jaringan. Dalam penelitian ini telah dihasilkan program untuk memodelkan jaringan fuzzy dan menentukan nilai aliran maksimum pada jaringan fuzzy tersebut. Selanjutnya nilai aliran maksimum digunakan untuk menganalisis pemenuhan kebutuhan air pelanggan dalam suatu wilayah.

Kata Kunci: Suplai air, aliran maksimum, jaringan fuzzy, kapasitas, bilangan fuzzy

## PENDAHULUAN

Masalah penentuan aliran maksimum pada sebuah jaringan membutuhkan data kapasitas tiap pipa dalam jaringan tersebut. Akan tetapi kendalanya, ketersediaan data tersebut biasanya tidak lengkap. Data kapasitas tidak dapat diketahui dengan pasti. Data yang tersedia hanya diameter dan luas penampang pipa. Dengan demikian nilai kapasitas dapat didekati dengan bilangan *fuzzy* dan jaringan distribusi air dapat didekati dengan jaringan *fuzzy*. Jaringan *fuzzy* (*fuzzy network*) yang dimaksud dalam makalah ini adalah sebuah jaringan dengan parameter bilangan fuzzy. Sedangkan arus maksimum pada jaringan fuzzy disebut arus maksimum fuzzy (*fuzzy maximal flow*).

Kelebihan Model jaringan fuzzy diantaranya dapat lebih mendekati kondisi permasalahan *real* dibandingkan model jaringan konvensional (jaringan *crisp*). Model jaringan konvensional ini selalu mengasumsikan parameter-parameter ini berupa bilangan real yang nilainya sudah

pasti. Padahal kenyataannya selalu ada ketidakpastian dalam parameter-parameter tersebut. Untuk menangani ketidakpastian ini, parameter-parameter tersebut dapat dinyatakan dengan bilangan *fuzzy*. Tentang himpunan *fuzzy* dan bilangan *fuzzy* dapat dilihat pada Larsen (2011), Fuller (1991), dan Nasser (2008).

Paper tentang aliran maksimum *fuzzy* pertama kali ditulis oleh Kim dan Roush pada tahun 1982 (dalam Kumar dan Kaur, 2011). Kim dan Roush yang pertama kali mengembangkan teori aliran *fuzzy* (*fuzzy flow*) dan menentukan aliran maksimum *fuzzy* dengan *fuzzy matrices*. Pada tahun yang sama, Chanas dan Kolodziejczyk (dalam Kumar dan Kaur, 2011) juga telah menulis tentang penyelesaian masalah aliran maksimum *fuzzy* dengan *minimal cuts*. Paper berikutnya tentang arus maksimum *fuzzy* dapat dilihat pada Chanas et al. (1995), Yadav dan Biswas (2009). Sedangkan penyelesaian masalah aliran maksimum *fuzzy* dengan program linear *fuzzy* (*fuzzy linear programming*) pertama kali dikaji oleh Kumar dan Kaur (2010 dan 2011).

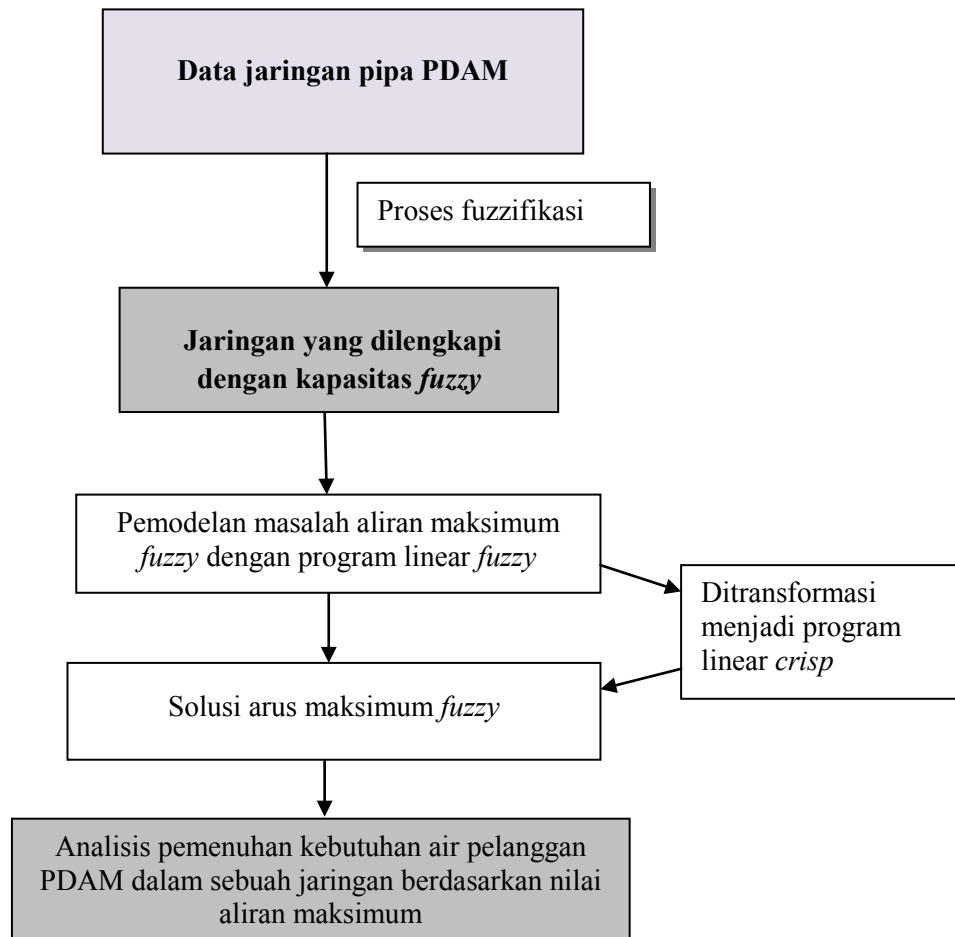
Tujuan dari penelitian ini adalah (1) memodelkan jaringan distribusi air dengan jaringan *fuzzy*, (2) menentukan aliran maksimum *fuzzy* (*fuzzy maximal flow*) pada jaringan tersebut, (3) menganalisis hasil tersebut untuk pemenuhan kebutuhan air tiap pelanggan.

## METODE

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah perancangan program untuk memodelkan jaringan *fuzzy* dan menentukan nilai aliran maksimum pada jaringan. Dalam hal ini digunakan Algoritma Kumar dan Kaur (2011) untuk menentukan aliran maksimum pada jaringan *fuzzy*, sedangkan software yang digunakan Borland Delphi.

Berikut ini disajikan Algoritma Kumar dan Kaur (2011), yaitu: (1) merumuskan masalah arus maksimum *fuzzy* dengan program linear *fuzzy* sebagai berikut:  $\tilde{u}_{ij}$  adalah kapasitas *fuzzy* pada busur  $(i,j)$ ,  $\tilde{x}_{ij}$  adalah arus *fuzzy* (*fuzzy flow*) pada busur  $(i,j)$ ,  $\tilde{f} = (f_1, f_2, f_3)$  adalah arus maksimum *fuzzy* dari titik sumber  $s$  ke titik tujuan  $t$  dalam jaringan; (2) menyajikan variabel dengan format bilangan *fuzzy* segitiga. Misal  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ,  $\tilde{f} = (f_1, f_2, f_3)$  dan  $\tilde{u}_{ij} = (u_{ij}, v_{ij}, w_{ij})$ ; (3) mengubah kendala ketidaksamaan menjadi kesamaan dengan menambah variabel tak negatif  $\tilde{S}_{ij} = (s'_{ij}, s''_{ij}, s'''_{ij})$  untuk setiap  $(i,j) \in E$ ; (4) mentransformasi program linear *fuzzy* menjadi program linear *crisp* dengan menggunakan fungsi peringkat dan operasi aritmatika pada bilangan *fuzzy*; (5) menentukan arus maksimal *crisp*  $f_1, f_2, dan f_3$  dengan menyelesaikan program linear pada Langkah 4 menggunakan metode-metode yang sudah

ada; dan (6) menentukan Arus maksimum fuzzy  $\vec{f} = (f_1, f_2, f_3)$  beserta fungsi keanggotaannya.

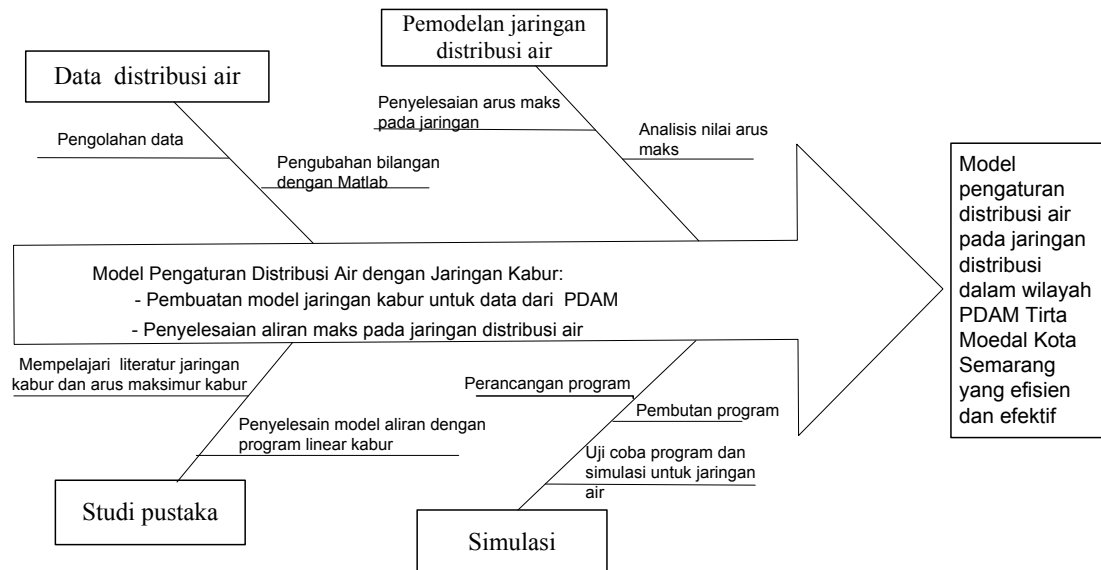


**Bar 1. Tahapan penelitian**

Tahap selanjutnya adalah implementasi program untuk memodelkan jaringan distribusi air pada PDAM. Pada penelitian ini diperlukan data sebagai berikut: (1) gambar peta jaringan distribusi air, yang dilengkapi dengan data diameter pipa serta kapasitas masing-masing pipa pada jaringan tersebut; (2) data kebutuhan air oleh pelanggan pada jaringan; (3) setelah diperoleh data, kemudian diolah sebagai berikut (a) menyajikan data kapasitas dalam bilangan fuzzy segitiga, sehingga diperoleh jaringan *fuzzy*; (b) dicari arus maksimum *fuzzy* pada jaringan fuzzy tersebut.

Tahap berikutnya adalah pemodelan jaringan distribusi air dengan model jaringan *fuzzy*. Langkah-langkah pemodelan tersebut sebagai berikut; (1) sambungan atau pertemuan antar pipa digambarkan dengan titik, sedangkan pipa digambarkan sebagai sisi; dan (2) setiap sisi  $(i, j)$  pada jaringan dilengkapi dengan data kapasitas  $u_{ij}$  yang berupa bilangan *fuzzy*.

Secara ringkas, alur kerja penelitian ini hingga diperoleh luaran dapat diilustrasikan pada Gambar 2 di bawah ini.

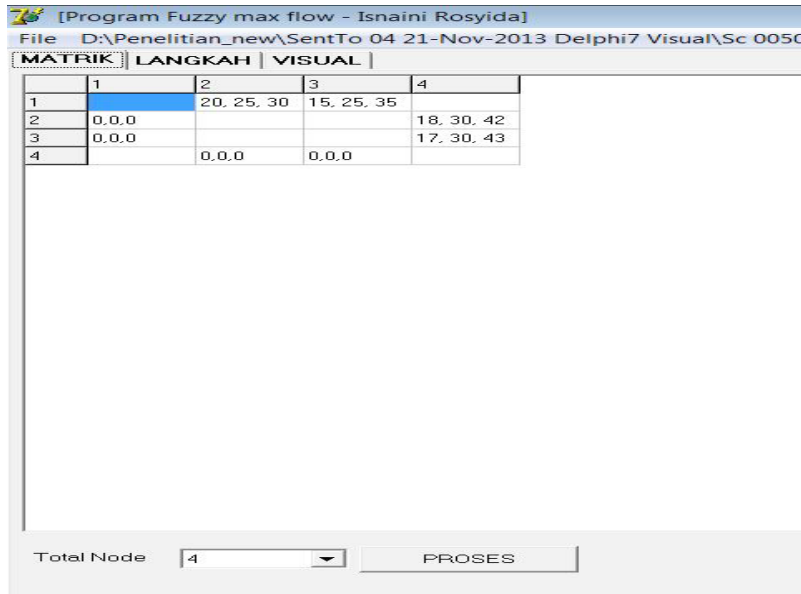


**Gambar 2. Diagram Tulang Ikan (fishbone) dalam penelitian**

Tahap terakhir adalah analisis pemenuhan kebutuhan air pelanggan PDAM dalam sebuah jaringan berdasarkan nilai arus maksimum *fuzzy*. Pada tahap ini akan dilakukan analisis nilai arus maksimum terhadap pemenuhan kebutuhan air pelanggan dalam sebuah jaringan. Dalam hal ini ditinjau suplai air dari reservoir ke jaringan serta data banyaknya pelanggan dan kebutuhan air pelanggan dalam sebuah jaringan. Jika nilai arus maksimum *fuzzy* mendekati kapasitas yang tersedia pada sumber air maka dapat disimpulkan kebutuhan pelanggan dapat tercukupi. Tetapi bila tidak, maka kapasitas saluran perlu ditingkatkan agar dihasilkan nilai arus yang lebih besar lagi sehingga dapat mencukupi kebutuhan air pelanggan.

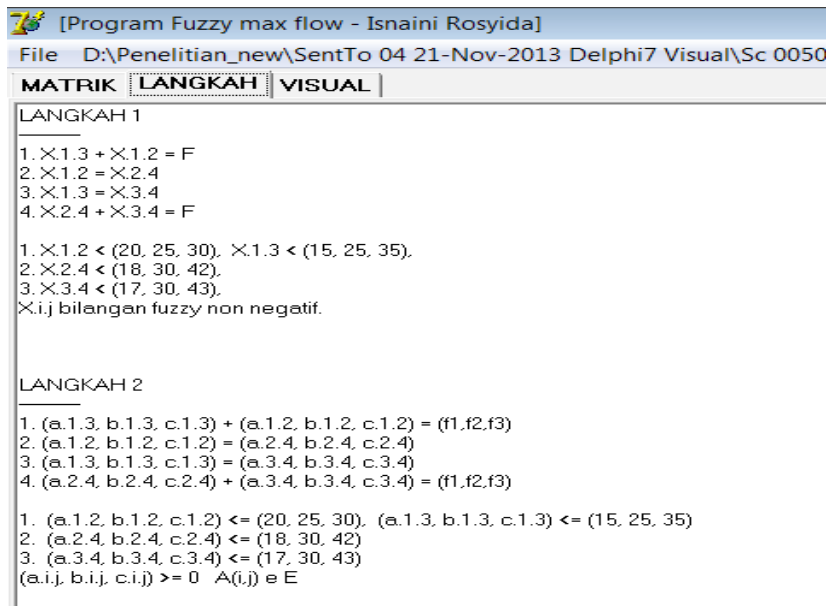
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini telah dihasilkan program untuk menyelesaikan masalah aliran maksimum pada jaringan fuzzy menggunakan software Borland Delphi. Tampilan output program untuk tahap input data disajikan pada Gambar 3. Tampilan ini diperoleh setelah mengisikan banyaknya titik pada tombol total node.



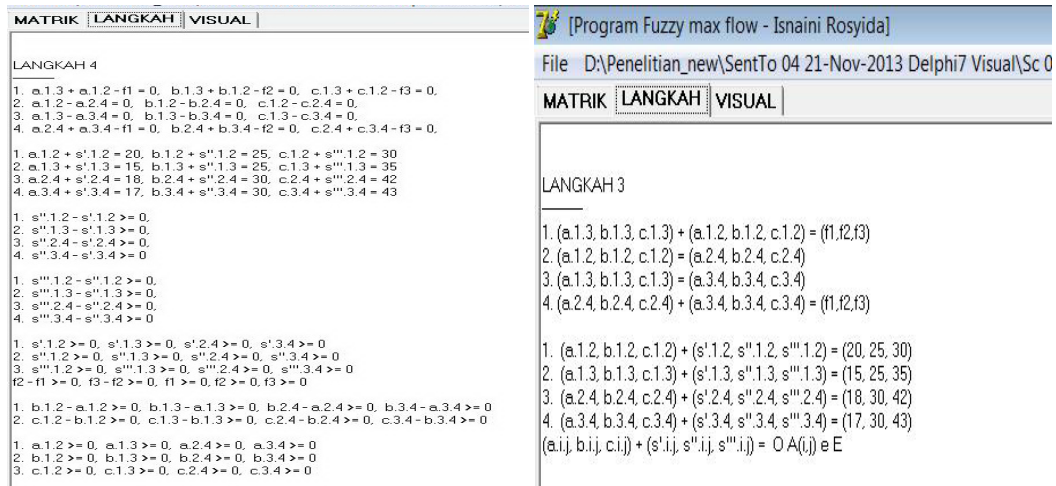
 **Gambar 3. Tampilan Input Data**

Selanjutnya tampilan output program untuk penyelesaian masalah aliran maksimum disajikan pada Gambar 4. Tampilan ini diperoleh setelah mengklik tombol proses.



**Gambar 4. Tampilan Output Program dari Algoritma Kumar dan Kaur**

Tampilan output program untuk selanjutnya dari Algoritma Kumar dan Kaur disajikan pada Gambar 5.



**Gambar 5. Tampilan Output Program untuk terakhit dari Algoritma Kumar dan Kaur**

## Implementasi Program untuk Menentukan Nilai Aliran Maksimum pada Perancangan Jaringan Distribusi Air PDAM

Dalam sub bab ini akan dibahas aplikasi nilai aliran maksimum untuk perancangan jaringan pipa transmisi baru dari sebuah sumber air ke wilayah pelayanan. Dalam hal ini nilai aliran maksimum jaringan pipa transmisi tersebut minimal sama dengan ketersediaan suplai air dari sumber tersebut, agar kebutuhan air pada wilayah yang dilayani dapat tercukupi. Dalam penelitian ini dilakukan studi kasus nilai aliran maksimum dalam perancangan jaringan pipa transmisi baru dari sumber air Kalidoh ke reservoir Pudukpayung, dimana reservoir ini nantinya yang akan memenuhi kebutuhan air pelanggan di wilayah Kecamatan Banyumanik yang terdiri dari 11 kelurahan (dapat dilihat pada Tabel 1).

**Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Kebutuhan Air Total di Wilayah Kecamatan Banyumanik sampai dengan Tahun 2021**

No	Kelurahan	Qd l/s	Qnd l/s	Qt (Qd+Qnd) l/s
1	Pudak Payung	40,84	5,29	46,13
2	Gedawang	5,49	0,80	6,29
3	Jabungan	10,41	0,56	10,97
4	Banyumanik	17,95	6,36	24,31
5	Padangsari	23,72	1,20	24,92
6	Sron dol Kulon	21,44	1,62	23,06
7	Sron dol Wetan	36,45	2,91	39,36
8	Pedalangan	18,95	2,68	21,63
9	Sumurboto	18,89	2,96	21,85
10	Ngesrep	26,76	4,54	31,30
11	Tinjomoyo	16,92	2,42	19,34
	<b>Jumlah</b>	<b>237,82</b>	<b>31,34</b>	<b>269,16</b>

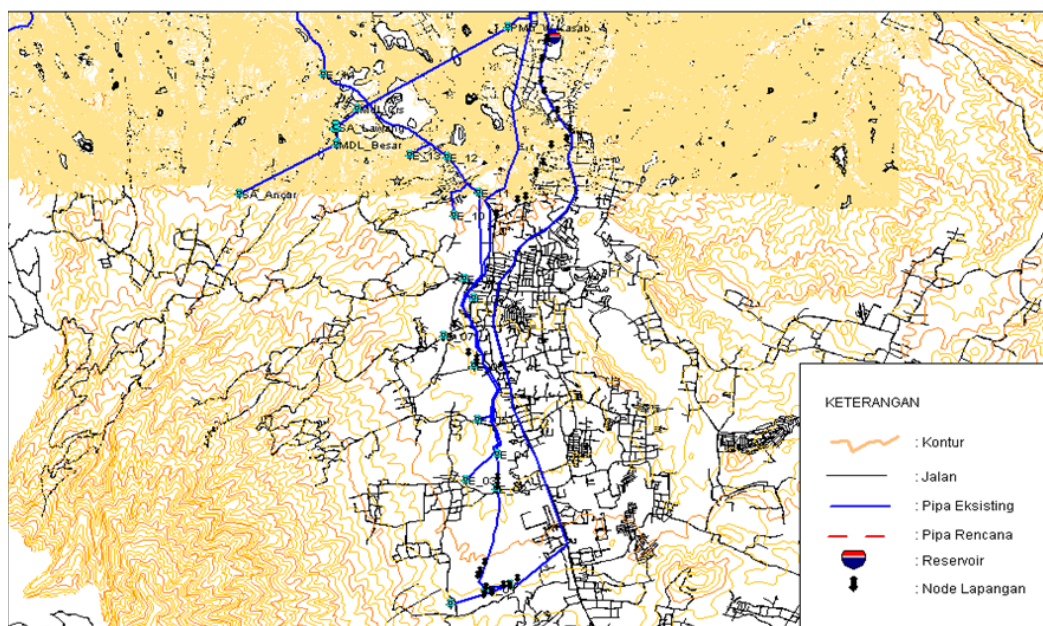
Sumber: Aryono (2013), Bag. Litbang PDAM Tirta Moedal Kota Semarang.

Keterangan :

Qd = Kebutuhan domestik (lt/dt), Qnd = Kebutuhan non domestik (l/s)

dan Qt = Kebutuhan total (l/s)

Berdasarkan perhitungan proyeksi kebutuhan air bersih di wilayah Kecamatan Banyumanik sampai dengan tahun 2021, diperoleh kebutuhan air di wilayah ini mencapai 269,16 l/s (dapat dilihat pada Tabel 1). Ketersediaan air baku di Kecamatan Banyumanik sebagian berasal dari mata air Kalidoh, mata air Seleses dan Sumur Kalidoh (E1) yang berada di wilayah administratif Kabupaten Semarang. Dari tiga mata air yang ada tersebut kemudian ditampung pada bangunan penampung air dan selanjutnya ditransmisikan melalui pipa transmisi ke reservoir Pudakpayung yang berada di wilayah Kecamatan Banyumanik Kota Semarang. Secara kuantitas air yang berasal dari sumber tersebut dapat terpantau dengan memasang meter induk pada saluran keluar (*outlet*) yang ada pada bak penampung tersebut dan debit yang keluar dari bak penampung tersebut tercatat  $\pm 200$  l/s.



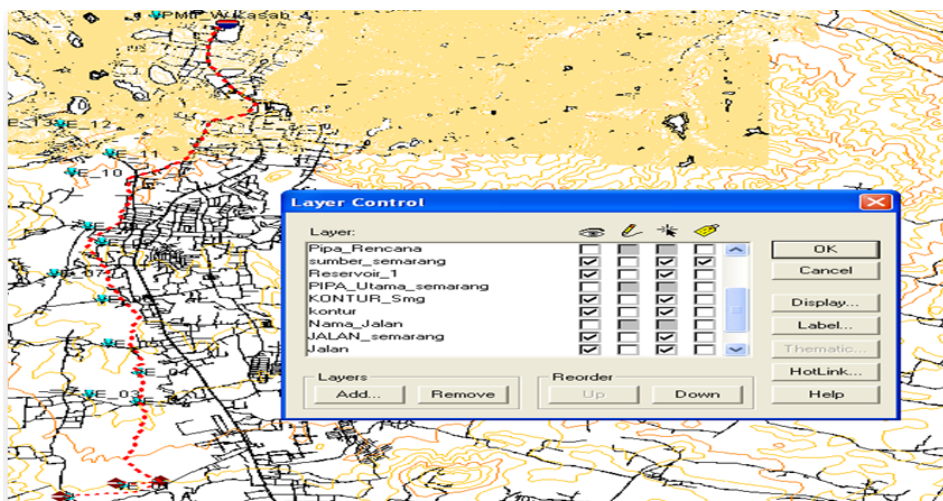
 Gambar 6. Kondisi Eksisting Pipa Transmisi pada Lokasi

Berdasarkan informasi dari bagian Litbang PDAM (Aryono dkk, 2013) diperoleh data – data sebagai berikut : ketersediaan air pada sumber air Kalidoh dengan debit 200 lt/dt. Jaringan pipa eksisting mengalirkan air dengan debit sampai di reservoir Wungkal Kasab sebesar  $\pm 70$  l/s, sedangkan debit yang tersedia sebesar 200 l/s maka direncanakan pada jalur tersebut akan

diadakan rehabilitasi pipa transmisi dengan memasang jaringan baru yang diharapkan bisa mengalirkan dengan debit minimal  $\pm 200$  l/s, untuk memenuhi kebutuhan air di wilayah Kecamatan Banyumanik sampai 10 th kedepan. Jaringan pipa eksisting yang sudah ada ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan rencana pipa transmisi baru pada lokasi ditunjukkan pada Gambar 7. Jaringan pipa transmisi baru ini diharapkan dapat mensuplai kebutuhan air pelanggan PDAM di wilayah Kecamatan Banyumanik sampai 10 tahun ke depan.

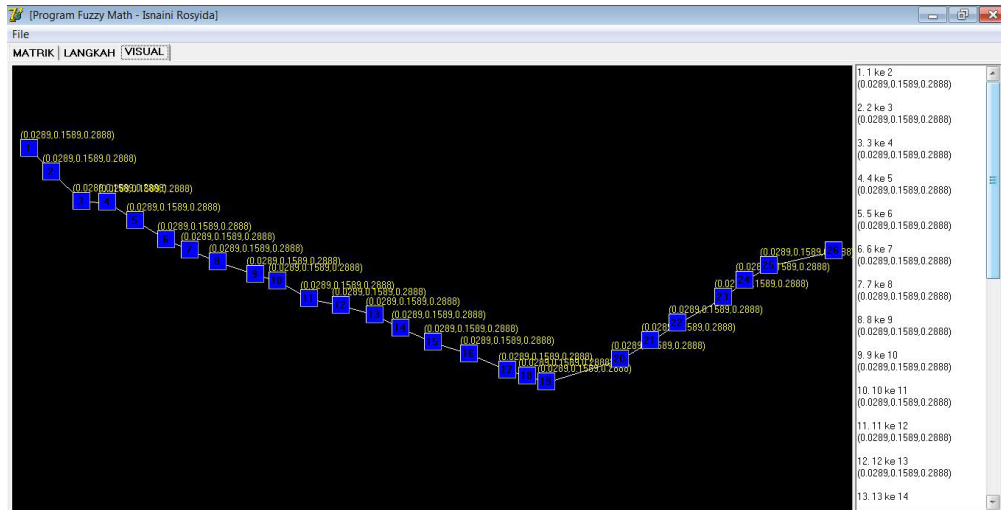
Pada penelitian ini akan ditentukan aliran maksimum pada perancangan jaringan pipa transmisi baru dari sumber air Kalidoh sampai dengan reservoir Pudakpayung. Selanjutnya nilai aliran maksimum ini dapat digunakan sebagai salah satu indikator untuk menentukan pemenuhan kebutuhan air pelanggan dalam sebuah wilayah.

Berdasarkan data yang ada, belum tersedia data yang pasti tentang nilai aliran maksimum pada jaringan pipa transmisi. Data yang sudah tersedia dengan pasti hanya diameter pipa dan panjang pipa. Sedangkan data kecepatan aliran pada pipa juga tidak pasti. Pipa pada jaringan ini merupakan pipa High Density Poly Ethylene (HDPE) dengan kecepatan aliran pada pipa maksimum ( $V$ )=3,0 m/s. Apabila kecepatan aliran pada pipa HDPE  $> 3,0$  m/s maka akan mengakibatkan keausan pada pipa. Sedangkan kecepatan minimum( $V$ )= 0,3 m/s. Apabila kecepatan aliran pada pipa HDPE  $< 0,3$  m/dt maka akan mengakibatkan endapan pada dinding pipa sehingga kecepatan aliran pada pipa yang ditoleransi berada dalam interval  $[0,3, 3]$ . Dengan demikian perhitungan nilai aliran maksimum dapat didekati dengan jaringan fuzzy. Data kapasitas pada tiap pipa dapat dinyatakan dengan bilangan fuzzy. Dalam penelitian ini data kapasitas dinyatakan dengan bilangan fuzzy segitiga. Berikut ini perhitungan kapasitas aliran pada setiap pipa.



 Gambar 7. Rencana Pipa Transmisi pada Lokasi

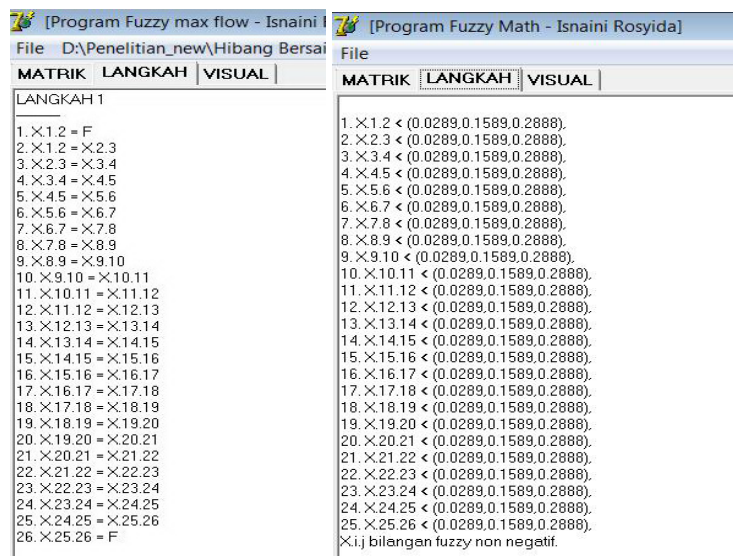




Gambar 8. Gambar jaringan transmisi baru dari Kalidoh-Pudakpayung dengan pendekatan jaringan fuzzy

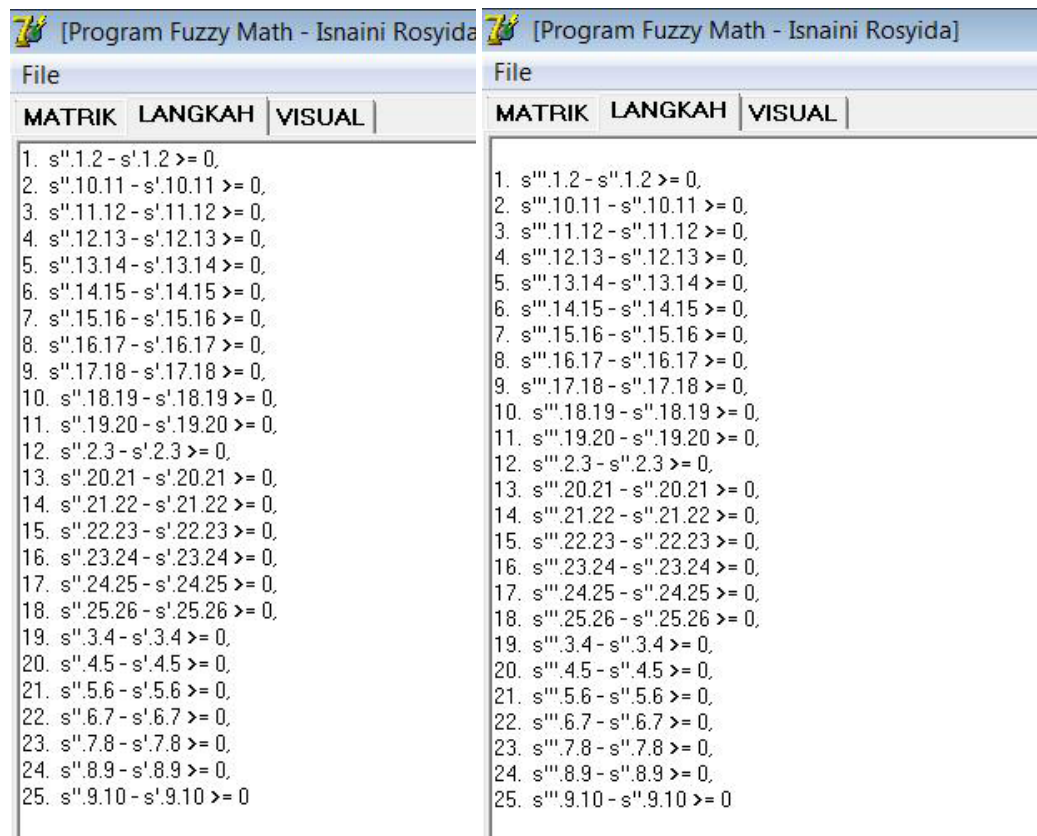
Tabel 2. Representasi data kapasitas dalam bilangan fuzzy segitiga

No	Diameter pipa (m)	Luas penampang pipa (A)	Kecepatan aliran (V)	Kapasitas aliran ( $m^3/s$ ), $Q=A.V$	Kapasitas dalam bil. fuzzy segitiga
1	0.35	0.09625	0.3	0.028875	[0.0289,0.1589,0.2888]
2	0.35	0.09625	3	0.28875	



Gambar 9. Tampilan Output Program untuk Langkah pemodelan masalah dengan program linear fuzzy

Pada penelitian ini, akan ditentukan nilai aliran maksimum pada jaringan fuzzy dari titik 1 ke titik 26. Titik 1 merupakan letak mata air Kalidoh, sedangkan titik 26 merupakan letak reservoir Pudakpayung. Data diameter tiap pipa 350 mm atau 0.35 m. Berikut ini output program untuk model jaringan fuzzy dari mata air Kalidoh (1) ke reservoir Pudakpayung (26) dilengkapi dengan kapasitas fuzzy pada masing-masing pipa. Tampilan output program untuk Langkah 4 disajikan berikut ini.



**Gambar 10. Tampilan Output Program untuk Langkah 4**

Langkah 4 merupakan transformasi program linear fuzzy menjadi program linear crisp. Langkah selanjutnya adalah menentukan solusi dari program linear crisp pada Langkah 4 di atas. Dalam penelitian ini program yang dibuat belum sampai pada tahap ini. Solusi program linear crisp masih dikerjakan dengan paket program yang sudah ada, yaitu WinQSB.

```

1. s'.1.2>=0, s'.10.11>=0, s'.11.12>=0, s'.12.13>=0, s'.13.14>=0, s'.14.15>=0, s'.15.16>=0, s'.16.17>=0, s'.17.18>=0, s'.18.19>=0, s'.19.20>=0, s'.2.3>=0, s'.20.21>=0, s'.21.22>=0, s'.22.23>=0, s'.23.24>=0, s'.24.25>=0,
2. s''.1.2>=0, s''.10.11>=0, s''.11.12>=0, s''.12.13>=0, s''.13.14>=0, s''.14.15>=0, s''.15.16>=0, s''.16.17>=0, s''.17.18>=0, s''.18.19>=0, s''.19.20>=0, s''.2.3>=0, s''.20.21>=0, s''.21.22>=0, s''.22.23>=0, s''.23.24>=0, s''.24.25>=0,
3. s'''.1.2>=0, s'''.10.11>=0, s'''.11.12>=0, s'''.12.13>=0, s'''.13.14>=0, s'''.14.15>=0, s'''.15.16>=0, s'''.16.17>=0, s'''.17.18>=0, s'''.18.19>=0, s'''.19.20>=0, s'''.2.3>=0, s'''.20.21>=0, s'''.21.22>=0, s'''.22.23>=0, s'''.23.24>=0, s'''.24.25>=0,
f2-f1>=0, f3-f2>=0, f1-f2>=0, f2-f3>=0

1. b.1.2-a.1.2>=0, b.10.11-a.10.11>=0, b.11.12-a.11.12>=0, b.12.13-a.12.13>=0, b.13.14-a.13.14>=0, b.14.15-a.14.15>=0, b.15.16-a.15.16>=0, b.16.17-a.16.17>=0, b.17.18-a.17.18>=0, b.18.19-a.18.19>=0, b.19.20-a.19.20>=0,
2. c.1.2-b.1.2>=0, c.10.11-b.10.11>=0, c.11.12-b.11.12>=0, c.12.13-b.12.13>=0, c.13.14-b.13.14>=0, c.14.15-b.14.15>=0, c.15.16-b.15.16>=0, c.16.17-b.16.17>=0, c.17.18-b.17.18>=0, c.18.19-b.18.19>=0, c.19.20-b.19.20>=0,
3. a.1.2>=0, a.10.11>=0, a.11.12>=0, a.12.13>=0, a.13.14>=0, a.14.15>=0, a.15.16>=0, a.16.17>=0, a.17.18>=0, a.18.19>=0, a.19.20>=0, a.2.3>=0, a.20.21>=0, a.21.22>=0, a.22.23>=0, a.23.24>=0, a.24.25>=0, a.25.26>=0,
c.1.2>=0, c.10.11>=0, c.11.12>=0, c.12.13>=0, c.13.14>=0, c.14.15>=0, c.15.16>=0, c.16.17>=0, c.17.18>=0, c.18.19>=0, c.19.20>=0, c.2.3>=0, c.20.21>=0, c.21.22>=0, c.22.23>=0, c.23.24>=0, c.24.25>=0, c.25.26>=0,

```

 Gambar 11. Lanjutan Tampilan Output Program untuk Langkah 4.

Hasil di atas dapat diinterpretasikan sebagai berikut: nilai aliran maksimum pada rancangan jaringan pipa transmisi baru dari sumber air Kalidoh ke reservoir Pudukpayung sekitar 158,9 l/s. Artinya dengan digunakannya jenis pipa High Density Poly Ethylene (HDPE) berdiameter 0,35 m akan dihasilkan nilai aliran maksimum yang sesuai dengan suplai air dari Kalidoh sebesar  $\pm 200$  l/s. Sedangkan jaringan pipa eksisting yang sudah ada hanya mengalirkan air dengan debit sampai di reservoir Wungkal Kasab sebesar  $\pm 70$  l/s. Sehingga dengan perancangan jaringan pipa transmisi baru ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air pelanggan dalam wilayah Kecamatan Banyumanik 10 tahun ke depan yaitu sebesar  $\pm 269,26$  l/s. Pada penelitian selanjutnya akan ditinjau studi kasus untuk perancangan jaringan pipa transmisi baru di wilayah lainnya.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Pada makalah ini telah dihasilkan program untuk memodelkan dan menyelesaikan masalah aliran maksimum pada jaringan fuzzy. Selanjutnya dilakukan implementasi program untuk menentukan nilai aliran maksimum pada jaringan distribusi air PDAM, khususnya jaringan dari mata air Kalidoh ke reservoir Pudukpayung yang akan mensuplai air pelanggan di wilayah Kecamatan Banyumanik. Dari hasil output program diperoleh nilai aliran maksimum pada rancangan jaringan pipa transmisi baru dari sumber air Kalidoh ke reservoir Pudukpayung sekitar 158,9 l/s. Artinya dengan digunakannya jenis pipa High Density Poly Ethylene (HDPE) berdiameter 0,35 m akan dihasilkan nilai aliran maksimum yang sesuai dengan suplai air dari

kalidoh sebesar  $\pm 200$  l/s. Sedangkan jaringan pipa eksisting yang sudah ada hanya mengalirkan air dengan debit sampai di reservoir Wungkal Kasab sebesar  $\pm 70$  l/s, sehingga dengan perancangan jaringan pipa transmisi baru ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan air pelanggan dalam wilayah Kecamatan Banyumanik 10 tahun ke depan yaitu sebesar  $\pm 269,26$  liter/s.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aryono. 2013. *Data Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dari Mata Air Kalidoh ke Reservoir Pudak Payung*. Semarang: Bagian Penelitian dan Pengembangan PDAM Tirta Moedal Semarang.
- Kumar, A. dan Kaur, M. 2010. An Algorithm for Solving Fuzzy Maximal Flow Problems Using Generalized Trapezoidal Fuzzy Numbers. *International Journal of Applied Science and Engineering*, vol. 8.2, hal 109-118.
- Kumar, A. dan Kaur, M. 2011. An Algorithm for Solving Fuzzy Maximum Flow Problems Using Generalized Triangular Fuzzy Numbers. *International Journal of Hybrid Intelligent Systems*, vol.8, hal 15-24.
- Larsen, H.L. 2011. *Course in Fuzzy Logic: Fuzzy Number Arithmetic*. Dalam internet: [http://www.aau.dk/~legind/FL\\_E2006/FL.../FL14b%20fuzzy%20arithmetics.pdf](http://www.aau.dk/~legind/FL_E2006/FL.../FL14b%20fuzzy%20arithmetics.pdf). 15-02-2012.
- Nasseri, H. 2008. Fuzzy Numbers: Positive and Nonnegative. *International Mathematical Forum*. 3. no. 36: 1777 – 1780.
- Yadav, A.K. dan Biswas, B.R. 2009. On Searching Fuzzy Shortest Path In a Network, *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol 2, No. 3, hal 16-18