

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

5) Tahap operasi dan pemeliharaan

Tahap ini tidak dilakukan oleh penulis karena adanya keterbatasan waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi Pustaka dan Konsultasi dengan Pakar

Hasil dari studi pustaka yaitu diperoleh pengetahuan tentang mata air, metode *fuzzy* Sugeno, dan penelitian sebelumnya tentang mata air. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Damayanti (2002) dengan judul Identifikasi Pengembangan Potensi Sumberdaya Air Tanah Berdasarkan Pendekatan Bentuk Medan (Studi kasus daerah sekitar aliran Ci Muja, Kecamatan Segalaherang Kabupaten Subang).

Perbedaan antara penelitian Damayanti (2002) dengan penelitian penulis yaitu Astrid meneliti potensi mata air tanah berdasarkan bentuk medan dan tinggi muka air tanah pada Kecamatan Segalaherang. Hasil penelitiannya yaitu di Desa Cicadas yang memiliki bentuk medan pegunungan, dapat dikembangkan potensi mata air dari akuifer yang terangkat. Sementara itu di Desa Segalaherang, Dayuhkolot, dan Leles yang memiliki bentuk medan perbukitan tinggi, penduduknya dapat memanfaatkan sumur artesis, sumur dangkal, dan mata air. Adapun di wilayah yang berbentuk perbukitan rendah dapat dikembangkan sumur dangkal dan sumur artesis. Di lain pihak, penulis meneliti potensi mata air dari aspek debit mata airnya menggunakan parameter jumlah tanaman, tinggi muka air tanah, dan besar sudut topografi dengan wilayah penelitian pada Kelurahan Balumbangjaya dan Kelurahan Situgede.

Dari hasil konsultasi dengan pakar, penulis mengambil tiga karakteristik lahan yaitu jumlah tanaman, tinggi muka air tanah, dan sudut topografi sebagai parameter dari proses pendugaan debit mata air karena tiga input ini adalah karakteristik lahan yang paling berpengaruh dan mudah untuk diukur. Jenis tanaman mempengaruhi debit mata air karena adanya akar dari tanaman yang merupakan media air untuk masuk ke dalam tanah dan menjadi air tanah dan keluar sebagai mata air, sedangkan tinggi muka air tanah berpengaruh karena semakin besar tinggi muka air tanah maka semakin besar tempat dalam tanah yang dapat menampung air, sudut topografi juga berpengaruh karena semakin terjal atau semakin besar sudut topografi maka kecepatan keluarnya mata air akan semakin tinggi. Karakteristik lahan yang dapat mempengaruhi debit mata air

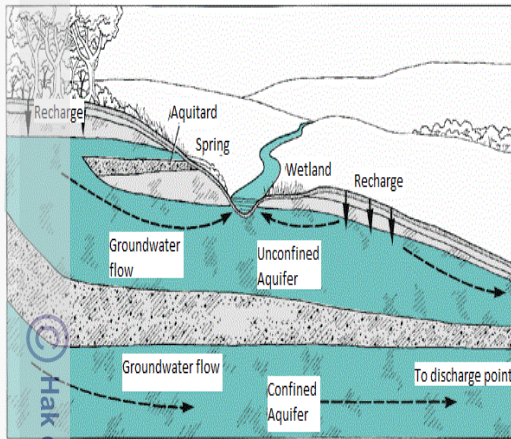
selain ketiga parameter tersebut antara lain produktivitas lapisan batuan yang dapat mengalirkan air (akuifer) dan luas daerah resapan air. Pada aplikasi produk akhir penelitian ini juga diberikan rekomendasi tingkat/level debit mata air dugaan. Sebagai catatan, rekomendasi pada aplikasi ini tidak menuruti standar baku untuk level debit mata air apapun karena standar baku untuk level debit mata air pada umumnya diberikan sesuai data penelitian yang ada. Karena itu penulis membagi level/tingkat debit mata air berdasarkan data hasil survei lapangan yaitu debit air dugaan:

- < 14.73 ml/s (level rekomendasi rendah)
- ≥ 14.73 ml/s dan ≤ 23.36 (level rekomendasi sedang)
- < 23.36 ml/s (level rekomendasi tinggi)

Terdapat dua asumsi yang dipakai dalam penelitian ini antara lain:

- Asumsi yang dipakai dalam penentuan level fungsi keanggotaan *output fuzzy* yaitu pengaruh dari tiap *input fuzzy* pada *output fuzzy* (debit mata air dugaan) adalah sama. Asumsi ini dipakai untuk mempermudah penentuan level fungsi keanggotaan *output fuzzy*.
- Air dalam tanah tidak selalu hanya mengalir pada satu mata air melainkan bisa juga mengalir ke sungai, laut, ataupun mata air yang lain seperti terlihat pada Gambar 7 (Anonim 2001). Penelitian ini memakai asumsi yaitu pada proses pengukuran debit air pada daerah resapan air yang diteliti, pengukuran hanya dilakukan pada air yang keluar melalui mata air, sedangkan air dalam tanah yang mengalir ke tempat lain pada area resapan air tersebut tidak diukur.

Dari hasil konsultasi dengan pakar juga diberikan batasan dalam pengukuran jumlah tanaman yaitu batas ruang pengukuran jumlah tanaman berdiameter sepuluh meter dari mata air yang diukur dan diukur berdasarkan satuan batang. Tinggi muka air tanah diukur berdasarkan kontur pada peta dengan satuan meter di atas permukaan laut. Teknik pengukuran debit mata air menggunakan gelas ukur dengan satuan milliliter, air yang memancar dari mata air ditampung dalam gelas ukur. Waktu untuk menampung air dalam gelas ukur juga diukur menggunakan *stopwatch* dengan satuan detik. Debit mata air didapat dari volume mata air dibagi dengan waktu.



Gambar 7 Ilustrasi aliran air tanah.

Penyimpulan Data Mata Air

Data hasil survei lapangan dapat dilihat pada Tabel 1 (data GPS sudah diolah menjadi data tinggi muka air tanah dan sudut topografi). Data GPS hasil survei lapangan dapat dilihat pada Lampiran 3 dan detail nama tanaman hasil survei lapangan beserta jumlahnya dapat dilihat pada Lampiran 4.

Tabel 1 Data survei lapangan

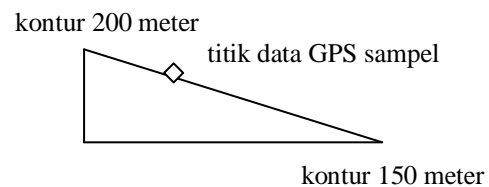
Lokasi	Jumlah Tanaman (batang)	Tinggi Muka Air Tanah (meter)	Sudut Topografi (derajat)	Debit Mata Air Lapangan (ml/s)
L1	52	167.67	0.86	21.33
L2	81	160	0.76	15.6
L3	63	160.71	1.02	32
L4	22	151.76	0.81	7.17
L5	22	151.19	0.91	8.21
L6	72	150.37	0.86	18.18
L7	138	150.94	0.73	16
L8	140	150.73	1.11	30
L9	66	150.95	1.09	13.33
L10	130	151	0.91	30
L11	64	151.72	0.87	12.67
L12	24	151.18	0.67	6.09
L13	62	150.9	0.68	14

Keterangan Tabel 1:

- L1=Lokasi survei di Kelurahan Balumbangjaya RT 02 RW 02
- L2=Lokasi survei di Kelurahan Balumbangjaya RT 04 RW 04
- L3=Lokasi survei di Kelurahan Balumbangjaya RT 02 RW 04
- L4=Lokasi survei di Kelurahan Balumbangjaya RT 01 RW 06
- L5=Lokasi survei di Kelurahan Balumbangjaya RT 03 RW 06

- L6=Lokasi survei di Kelurahan Balumbangjaya RT 04 RW 06
- L7=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 02 RW 05
- L8=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 02 RW 05
- L9=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 01 RW 07
- L10=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 02 RW 06
- L11=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 03 RW 06
- L12=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 02 RW 06
- L13=Lokasi survei di Kelurahan Situgede RT 02 RW 06

Pengolahan data GPS menjadi data tinggi muka air tanah dan sudut topografi memakai bantuan peta rupa bumi Balumbangjaya dan Situgede skala 1:25000. Proses penghitungan pengolahan data GPS ini akan diilustrasikan dengan contoh sampel L1 dan L7 pada Tabel 1. Contoh ilustrasi pengolahan data GPS menjadi data tinggi muka air tanah dengan menggunakan metode interpolasi linier dapat dilihat pada Gambar 8 beserta perhitungannya di bawahnya. Perhitungan di bawah ini menggunakan sampel L1 dari Kelurahan Balumbangjaya dan sampel L7 dari Kelurahan Situgede:



Gambar 8 Interpolasi linier untuk mencari tinggi muka air tanah.

Pada sampel pertama Tabel 1 yaitu L1 di Kelurahan Balumbangjaya RT 02 RW 02, jarak dari kontur 200 meter ke titik sampel pada peta adalah 8.6 cm dan jarak antara titik sampel ke titik kontur 150 meter pada peta adalah 4.7 cm. Maka tinggi muka air tanah pada titik sampel tersebut dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$y = \left(\frac{4.7 \text{ cm}}{4.7 \text{ cm} + 8.6 \text{ cm}} \times (200 - 150) \text{ meter} \right) + 150 \text{ meter} = 167.67 \text{ meter}$$

dengan y adalah tinggi muka air tanah pada titik sampel pertama.

Pada sampel kedua Tabel 1 yaitu L7 di Kelurahan Situgede RT 02 RW 05, jarak dari kontur 200 meter ke titik sampel pada peta

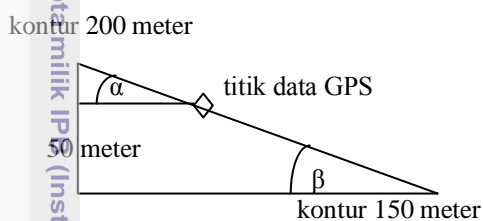
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

adalah 15.5 cm dan jarak antara titik sampel ke titik kontur 150 meter pada peta adalah 0.3 cm. Maka tinggi muka air tanah pada titik sampel tersebut dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$y = \left(\frac{0.3 \text{ cm}}{0.3 \text{ cm} + 15.5 \text{ cm}} \times (200 - 150) \text{ meter} \right) + 150 \text{ meter} = 150.94 \text{ meter}$$

dengan y adalah tinggi muka air tanah pada titik sampel kedua.

Adapun ilustrasi pengolahan data GPS menjadi data sudut topografi dapat dilihat pada Gambar 9. Perhitungan di bawahnya menggunakan sampel L1 dan sampel L7 pada Tabel 1.



Gambar 9 Ilustrasi pengolahan data GPS menjadi data besar sudut topografi.

Tinggi 50 meter didapat dari tinggi kontur 200 meter dikurangi tinggi kontur 150 meter. Sudut α sama besar dengan sudut β . Pada sampel L1 pada Tabel 1, jarak antara kontur 200 meter dan kontur 150 meter pada peta yang melewati titik sampel adalah 13.3 sentimeter (0.13 meter) maka perhitungan sudut topografi pada titik sampel pertama adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \beta = \arcsin \left(\frac{50 \text{ meter}}{0.13 \text{ meter} \times 25000} \right) = 0.86^\circ$$

dengan α adalah sudut topografi pada titik sampel pertama dan angka 25000 pada perhitungan didapat dari skala peta rupa bumi Kelurahan Balumbangjaya.

Pada sampel L7 pada Tabel 1, jarak antara kontur 200 meter dan kontur 150 meter pada peta yang melewati titik sampel adalah 15.8 sentimeter (0.15 meter) maka perhitungan sudut topografi pada titik sampel kedua adalah sebagai berikut:

$$\alpha = \beta = \arcsin \left(\frac{50 \text{ meter}}{0.15 \text{ meter} \times 25000} \right) = 0.73^\circ$$

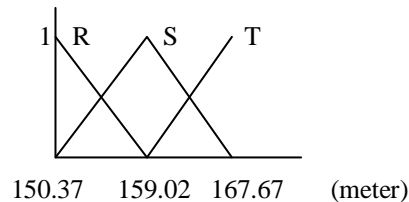
dengan α adalah sudut topografi pada titik sampel kedua dan angka 25000 pada perhitungan didapat dari skala peta rupa bumi Kelurahan Situgede.

Fungsi Keanggotaan dan Rule Fuzzy

Dari data survei lapangan dihasilkan fungsi keanggotaan *input* yang bisa dilihat pada Gambar 10, 11, dan 12.

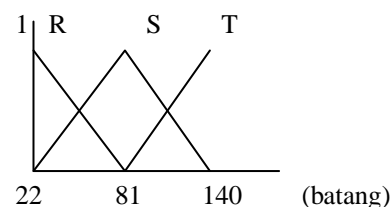
Fungsi keanggotaan *input*:

- Tinggi muka air tanah



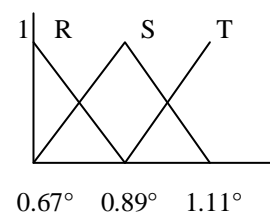
Gambar 10 Fungsi keanggotaan tinggi muka air tanah

- Jumlah tanaman



Gambar 11 Fungsi keanggotaan jumlah tanaman.

- Sudut topografi



Gambar 12 Fungsi keanggotaan sudut topografi.

Keterangan Gambar 10, 11, 12:

- R (Rendah) diambil dari nilai *input* minimum dari seluruh data survei lapangan.
- S (Sedang) diambil dari nilai *input* tengah dari seluruh data survei lapangan.
- T (Tinggi) diambil dari nilai *input* maximum dari seluruh data survei lapangan.

Dari data survei lapangan juga dihasilkan fungsi keanggotaan *output* sebagai berikut: (satuan milliliter per detik dan nilai dibagi sama rata dari debit air maksimum dikurangi debit air minimum)

- output_1=6.09 ml/s
- output_2=10.41 ml/s
- output_3=14.72 ml/s

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- output_4=19.04 ml/s
- output_5=23.36 ml/s
- output_6=27.68 ml/s
- output_7=32 ml/s

Rule fuzzy yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rule fuzzy

	R			S			T		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T
R	1	2	3	2	3	4	3	4	5
S	2	3	4	3	4	5	4	5	6
T	3	4	5	4	5	6	5	6	7

Keterangan Tabel 2:

- Jumlah tanaman
- Tinggi muka air tanah
- Sudut topografi
- R: Rendah
- S: Sedang
- T: Tinggi

dengan fungsi keanggotaan *output* tiap *rule* pada Tabel 2:

- 1: output_1
- 2: output_2
- 3: output_3
- 4: output_4
- 5: output_5
- 6: output_6
- 7: output_7

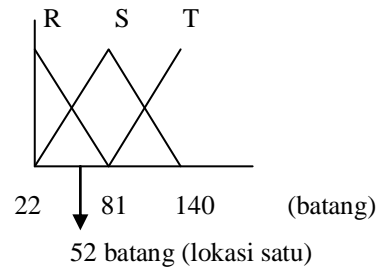
Penerapan dan Evaluasi Hasil Metode Fuzzy

Penerapan fuzzy terbagi tiga tahap yaitu *fuzzification*, *inference*, dan *defuzzification*. Pada laporan ini akan diberikan contoh perhitungan fuzzy dengan sampel dari lokasi satu (L1) pada Tabel 1. Lokasi satu berada di Kelurahan Balumbangjaya dengan jumlah tanaman 52 batang, tinggi muka air tanah 167.67 meter, dan sudut topografi 0.86 derajat. Perhitungan terbagi tiga tahap yaitu *fuzzification*, *inference*, dan *defuzzification*:

1) Fuzzification

Tahap ini menghitung nilai derajat keanggotaan *input* jumlah tanaman, tinggi muka air tanah, dan sudut topografi. Untuk menghitung derajat keanggotaan jumlah tanaman digunakan bentuk fungsi keanggotaan segitiga seperti terlihat pada Gambar 13 (dengan R melambangkan fungsi keanggotaan

jumlah tanaman rendah, S melambangkan fungsi keanggotaan jumlah tanaman sedang, dan T melambangkan fungsi keanggotaan jumlah tanaman tinggi).



Gambar 13 Ilustrasi perhitungan *fuzzification* *input* jumlah tanaman.

Karena jumlah tanaman 52 batang berada di antara batas fungsi keanggotaan jumlah tanaman rendah dan sedang maka derajat keanggotaan jumlah tanaman selain rendah dan sedang adalah nol. Perhitungan untuk mendapatkan derajat keanggotaan jumlah tanaman pada lokasi satu adalah sebagai berikut dengan W sebagai simbol derajat keanggotaan.

$$W_{\text{jumlahTanaman_rendah}} = \frac{81-52}{81-22} = 0.49$$

$$W_{\text{jumlahTanaman_sedang}} = \frac{52-22}{81-22} = 0.51$$

$$W_{\text{jumlahTanaman_tinggi}} = 0$$

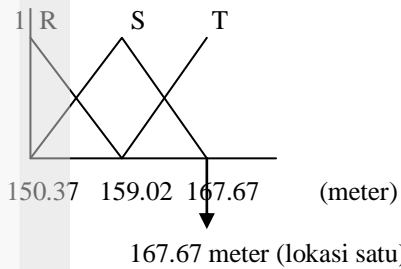
Untuk menghitung derajat keanggotaan tinggi muka air tanah digunakan bentuk fungsi keanggotaan segitiga seperti terlihat pada Gambar 14 (dengan R melambangkan fungsi keanggotaan tinggi muka air tanah rendah, S melambangkan fungsi keanggotaan tinggi muka air tanah sedang, dan T melambangkan fungsi keanggotaan tinggi muka air tanah tinggi).

Karena tinggi muka air tanah 167.67 meter tepat berada di batas fungsi keanggotaan tinggi muka air tanah 'tinggi' maka derajat keanggotaan tinggi muka air tanah selain tinggi adalah nol. Perhitungan untuk mendapatkan derajat keanggotaan tinggi muka air tanah pada lokasi satu yang mempunyai tinggi muka air tanah 167.67 meter adalah sebagai berikut dengan W sebagai simbol derajat keanggotaan.

$$W_{\text{tinggiMukaAirTanah_rendah}} = 0$$

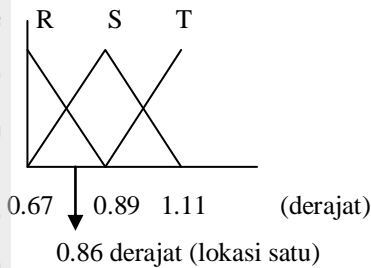
$$W_{\text{tinggiMukaAirTanah_sedang}} = 0$$

$$W_{\text{tinggiMukaAirTanah_tinggi}} = \frac{167.67-159.02}{167.67-159.02} = 1$$



Gambar 14 Ilustrasi perhitungan *fuzzification* input tinggi muka air tanah.

Untuk menghitung derajat keanggotaan sudut topografi digunakan bentuk fungsi keanggotaan segitiga seperti terlihat pada Gambar 15 (dengan R melambangkan fungsi keanggotaan sudut topografi rendah, S melambangkan fungsi keanggotaan sudut topografi sedang, dan T melambangkan fungsi keanggotaan sudut topografi tinggi).



Gambar 15 Ilustrasi perhitungan *fuzzification* input sudut topografi.

Karena sudut topografi 0.86° berada di antara batas fungsi keanggotaan sudut topografi rendah dan sedang maka derajat keanggotaan sudut topografi selain rendah dan sedang adalah nol. Perhitungan untuk mendapatkan derajat keanggotaan sudut topografi pada lokasi satu yang mempunyai sudut topografi 0.86° adalah sebagai berikut dengan W sebagai simbol derajat keanggotaan.

$$W_{\text{sudutTopografi_rendah}} = \frac{0.89 - 0.86}{0.89 - 0.67} = 0.14$$

$$W_{\text{sudutTopografi_sedang}} = \frac{0.86 - 0.67}{0.89 - 0.67} = 0.86$$

$$W_{\text{sudutTopografi_tinggi}} = 0$$

Hasil *fuzzification* pada lokasi satu (L1) sampai lokasi empat (L4) pada Tabel 1 dapat dilihat pada Tabel 3 dengan W menyimbolkan nilai derajat keanggotaan sedangkan hasil *fuzzification* dari seluruh sampel survey lapangan pada Tabel 1 dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 3 *Fuzzy input* hasil *fuzzification*

Lokasi	Tempat	Jumlah Tanaman	Tinggi Muka Air Tanah	Sudut Topografi
L1	BJ RT 02 RW 02	Wrendah=0.49 Wsedang=0.51	Wtinggi=1	Wrendah=0.14 Wsedang=0.86
L2	BJ RT 04 RW 04	Wsedang=1	Wsedang=0.89; Wtinggi=0.11	Wrendah=0.59; Wsedang=0.41
L3	BJ RT 02 RW 04	Wrendah=0.31 Wsedang=0.69	Wsedang=0.8; Wtinggi=0.2	Wsedang=0.41; Wtinggi=0.59
L4	BJ RT 01 RW 06	Wrendah=1	Wrendah=0.84; Wsedang=0.16	Wrendah=0.39; Wsedang=0.61

Keterangan Tabel 3:

- BJ: Kelurahan Balumbangjaya
- W: simbol derajat keanggotaan
- Li: Lokasi survei ke-*i* pada Tabel 1

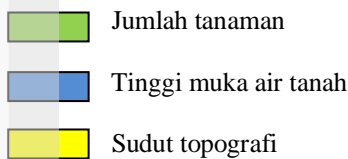
2) Inference

Pada tahap *inference*, *fuzzy input* hasil *fuzzification* kemudian diolah memakai operator AND (prinsip *logical connectives conjunction*) dan menggunakan Tabel 2 yaitu tabel aturan yang berisi 27 aturan (3 level linguistik jumlah tanaman dikali 3 level linguistik tinggi muka air tanah dikali 3 level linguistik sudut topografi). Berikut akan diberikan contoh perhitungan tahap *inference* pada sampel lokasi satu (L1) dari Tabel 1. *Rule* yang dipakai pada sampel L1 ini berjumlah empat buah karena yang dipengaruhi oleh derajat keanggotaan *input* hasil tahap *fuzzification* pada sampel satu juga berjumlah empat buah. *Rule* pada Tabel 2 yang terpengaruh merupakan kombinasi dari nilai linguistik fungsi keanggotaan *input* hasil tahap *fuzzification* sampel lokasi satu (L1) yang derajat keanggotaannya tidak bernilai nol. Untuk lebih jelasnya penulis akan mengilustrasikan cara mencari *rule* yang terpengaruh pada sampel lokasi satu (L1) pada Tabel 1 di Kelurahan Balumbangjaya pada Gambar 16.

	R			S			T		
R	R	S	T	R	S	T	R	S	T
S	1	2	3	2	3	4	3	4	5
T	2	3	4	3	4	5	4	5	6
	3	4	5	4	5	6	5	6	7

Gambar 16 Ilustrasi pencarian *rule* yang berpengaruh pada sampel L1.

Keterangan Gambar 16:



R: Rendah
S: Sedang
T: Tinggi

dengan fungsi keanggotaan *output* tiap *rule* pada Gambar 16:

- 1: output_1 = 6.09 ml/s
- 2: output_2 = 10.41 ml/s
- 3: output_3 = 14.72 ml/s
- 4: output_4 = 19.04 ml/s
- 5: output_5 = 23.36 ml/s
- 6: output_6 = 27.68 ml/s
- 7: output_7 = 32 ml/s

Pada tabel ilustrasi di atas terdapat nilai-nilai R, S, dan T yang dilingkari lingkaran merah. Nilai-nilai R, S, dan T tersebut adalah nilai linguistik tiap fungsi keanggotaan *input* sampel L1 hasil *fuzzification*. Untuk lebih jelas maka akan diberikan nilai-nilai derajat keanggotaan hasil tahap *fuzzification* sampel L1 dengan linguistik rendah, sedang, ataupun tinggi sebagai berikut:

$$W_{\text{jumlahTanaman_rendah}} = \frac{81-52}{81-22} = 0.49$$

$$W_{\text{jumlahTanaman_sedang}} = \frac{52-22}{81-22} = 0.51$$

$$W_{\text{jumlahTanaman_tinggi}} = 0$$

$$W_{\text{tinggiMukaAirTanah_rendah}} = 0$$

$$W_{\text{tinggiMukaAirTanah_sedang}} = 0$$

$$W_{\text{tinggiMukaAirTanah_tinggi}} = \frac{167.67-159.02}{167.67-159.02} = 1$$

$$W_{\text{sudutTopografi_rendah}} = \frac{0.89-0.86}{0.89-0.67} = 0.14$$

$$W_{\text{sudutTopografi_sedang}} = \frac{0.86-0.67}{0.89-0.67} = 0.86$$

$$W_{\text{sudutTopografi_tinggi}} = 0$$

Nilai linguistik yang derajat keanggotaannya nol tidak akan diikuti dalam pencarian *rule* yang berpengaruh. Pada tabel ilustrasi *rule* di atas terlihat untuk jumlah tanaman, nilai linguistik yang dilingkari hanya rendah dan sedang. Untuk tinggi muka air tanah, nilai linguistik yang dilingkari hanya tinggi, dan untuk sudut topografi, nilai linguistik yang dilingkari hanya rendah dan sedang. Kombinasi dari nilai-nilai linguistik yang dilingkari merah pada Tabel ilustrasi menghasilkan empat *rule* yang berpengaruh (kotak berwarna merah) untuk sampel L1 pada Tabel 1 yaitu:

- Jika jumlah tanaman rendah dan tinggi muka air tanah tinggi dan sudut topografi rendah maka fungsi keanggotaan *output* debit mata air adalah output_3.
- Jika jumlah tanaman rendah dan tinggi muka air tanah tinggi dan sudut topografi sedang maka fungsi keanggotaan *output* debit mata air adalah output_4.
- Jika jumlah tanaman sedang dan tinggi muka air tanah tinggi dan sudut topografi rendah maka fungsi keanggotaan *output* debit mata air adalah output_4.
- Jika jumlah tanaman sedang dan tinggi muka air tanah tinggi dan sudut topografi sedang maka fungsi keanggotaan *output* debit mata air adalah output_5.

Tahap *inference* juga melibatkan operator AND pada *rule* untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan fungsi keanggotaan *output*. Perhitungan untuk mendapatkan nilai derajat keanggotaan fungsi keanggotaan *output* pada sampel lokasi satu (L1) pada Tabel 1 yaitu dengan cara mengambil nilai derajat keanggotaan minimum dari ketiga *input* untuk tiap *rule* yang dipengaruhi. Nilai minimum ini akan menjadi nilai derajat keanggotaan fungsi keanggotaan *output*. Dari keempat *rule* tersebut dan melibatkan operator AND maka didapatkan empat nilai derajat keanggotaan *output* untuk empat fungsi keanggotaan *output*.

- Jika jumlah tanaman rendah (W=0.49) dan tinggi muka air tanah tinggi (W=1) dan sudut topografi rendah (W=0.14) maka level debit mata air adalah output_3. Derajat keanggotaan output_3 = minimum (0.49, 1, 0.14) = 0.14
- Jika jumlah tanaman rendah (W=0.49) dan tinggi muka air tanah tinggi (W=1) dan sudut topografi sedang (W=0.86) maka debit mata air adalah output_4. Derajat keanggotaan output_4 = minimum (0.49, 1, 0.86) = 0.49
- Jika jumlah tanaman sedang (W=0.51) dan tinggi muka air tanah tinggi (W=1) dan sudut topografi rendah (W=0.14) maka debit mata air adalah output_4. Derajat keanggotaan output_4 = minimum (0.51, 1, 0.14) = 0.14
- Jika jumlah tanaman sedang (W=0.51) dan tinggi muka air tanah tinggi (W=1) dan sudut topografi sedang (W=0.86) maka debit mata air adalah output_5. Derajat keanggotaan output_5 = minimum (0.51, 1, 0.86) = 0.51

Hasil dari tahap *inference* ini yaitu fungsi keanggotaan *output* beserta nilai derajat

keanggotaannya yaitu fungsi keanggotaan $output_{output_3}$ dengan nilai derajat keanggotaan 0.14, fungsi keanggotaan $output_{output_4}$ dengan nilai derajat keanggotaan 0.49 dan 0.14, dan fungsi keanggotaan $output_{output_5}$ dengan nilai derajat keanggotaan 0.51. Hasil *inference* pada lokasi satu (L1) sampai lokasi empat (L4) pada Tabel 1 dapat dilihat pada Tabel 4 dengan W menyimbolkan nilai derajat keanggotaan sedangkan hasil *inference* dari seluruh sampel survei lapangan pada Tabel 1 dapat dilihat pada Lampiran 6.

Tabel 4 Fuzzy output hasil *inference* fuzzy

Lokasi	Tempat	Fuzzy Output
L1	BJ RT 02 RW 02	W output_3=0.14; W output_4=0.49; W output_4=0.14; W output_5=0.51
L2	BJ RT 04 RW 04	W output_3=0.59; W output_4=0.11; W output_4=0.41; W output_5=0.11
L3	BJ RT 02 RW 04	W output_3=0.31; W output_4=0.2; W output_4=0.41; W output_4=0.31 W output_5=0.2; W output_5=0.2; W output_5=0.59; W output_6=0.2
L4	BJ RT 01 RW 06	W output_1=0.39; W output_2=0.16; W output_2=0.61; W output_3=0.16

Keterangan Tabel 4:

- BJ: Kelurahan Balumbangjaya
- W: simbol derajat keanggotaan
- Li: Lokasi survei ke-*i* pada Tabel 1

3) Defuzzification

Tahap terakhir dalam sistem fuzzy adalah *defuzzification*. Fuzzy output hasil *inference* dan fungsi keanggotaan output diolah menggunakan metode *defuzzification weighted average* sehingga menghasilkan *crisp output* yang merupakan hasil akhir dari proses fuzzy. Untuk memperjelas berikut adalah hasil *inference* dari sampel lokasi satu (L1) pada Tabel 1.

- derajat keanggotaan $output_{output_3}$ = 0.14
- derajat keanggotaan $output_{output_4}$ = 0.49
- derajat keanggotaan $output_{output_4}$ = 0.14
- derajat keanggotaan $output_{output_5}$ = 0.51

Dengan nilai fungsi keanggotaan output:

- $output_{output_3}$ = 14.72 ml/s
- $output_{output_4}$ = 19.04 ml/s
- $output_{output_5}$ = 23.36 ml/s

Proses perhitungan metode *defuzzification weighted average* adalah jumlah dari semua derajat keanggotaan output dikali dengan nilai fungsi keanggotaan output. Proses perhitungan *defuzzification* pada sampel lokasi satu (L1) pada Tabel 1 yaitu:

$$\begin{aligned} crisp\ output &= (0.14 * 14.72\ ml/s) + (0.49 * \\ &19.04\ ml/s) + (0.14 * 19.04 \\ &ml/s) + (0.51 * 23.36\ ml/s) \\ &= 20.26\ ml/s \end{aligned}$$

dengan *crisp output* adalah debit mata air dugaan sebagai hasil akhir fuzzy.

Persentase keakuratan debit mata air dugaan hasil fuzzy dengan debit mata air hasil survei lapangan dihitung menggunakan formula kesalahan/galat. Sebagai contoh, perhitungan persentase akurasi pada sampel lokasi satu (L1) pada Tabel 1 adalah sebagai berikut (dengan 21.33 ml/s adalah debit air hasil survei lapangan dan 20.26 ml/s adalah debit air dugaan hasil fuzzy):

$$Error\ L1 = \frac{|20.26\ ml/s - 21.33\ ml/s|}{21.33\ ml/s} \times 100\% = 5.02\%$$

$$Akurasi\ L1 = 100\% - Error\ L1 = 94.98\%$$

Hasil dari tahap *defuzzification* yaitu *crisp output* beserta hasil evaluasi akurasi dapat dilihat pada Tabel 5 (karena keterbatasan ruang, data yang ditampilkan pada Tabel 5 hanya berjumlah empat data), sedangkan untuk keseluruhan data survei lapangan dapat dilihat pada Lampiran 7.

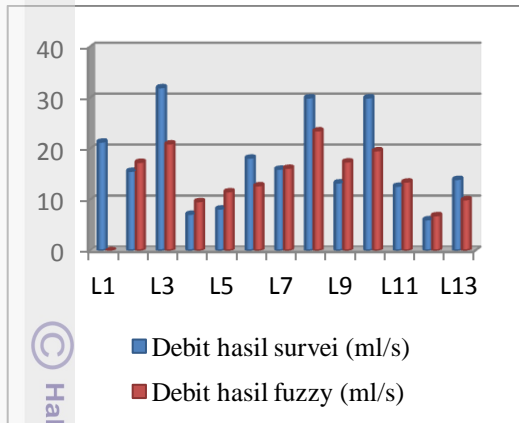
Tabel 5 Crisp output hasil *defuzzification* dan evaluasi akurasi

Lokasi	Tempat	Debit di lapang (ml/s)	Debit hasil fuzzy system (crisp output) (ml/s)	Persentase Akurasi (%)
L1	BJ RT 02 RW 02	21.33	20.26	94.98
L2	BJ RT 04 RW 04	15.6	17.35	88.78
L3	BJ RT 02 RW 04	32	20.97	65.53
L4	BJ RT 01 RW 06	7.17	9.64	65.62
Rata-rata akurasi (%)				77.53

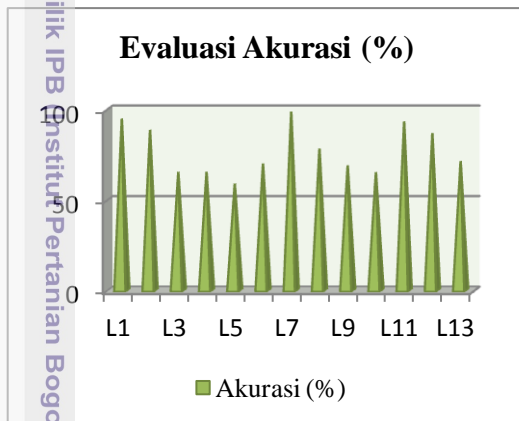
Keterangan Tabel 5:

- BJ: Kelurahan Balumbangjaya
- Li: Lokasi survei ke-*i* pada Tabel 1

Grafik perbandingan debit mata air di lapangan dengan debit mata air hasil fuzzy system dari seluruh data survei lapangan dapat dilihat pada Gambar 17 sedangkan grafik perbandingan akurasi dari seluruh data survei lapangan dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 17. Perbandingan data debit mata air lapangan dengan data debit air hasil fuzzy.



Gambar 18. Perbandingan akurasi metode fuzzy pada seluruh data survei lapangan.

Keterangan Gambar 17 dan Gambar 18:

- L_i = Lokasi survei ke- i pada Tabel 1

Dari seluruh data survei terdapat tiga data dengan persentase akurasi $\pm 90\%$, dua data $\pm 80\%$, tiga data $\pm 70\%$, empat data $\pm 60\%$, dan satu data 59.14% . Rendahnya akurasi data kelima dengan akurasi 59.14% diperkirakan terjadi dari dua kemungkinan. Kemungkinan pertama yaitu adanya salah pengukuran ketika survei lapangan. Kemungkinan kedua yaitu penentuan *rule*, jumlah, batas-batas, dan bentuk fungsi keanggotaan metode fuzzy Sugeno yang kurang optimal.

Di lain pihak, tingginya akurasi tiga data yaitu data pertama dengan akurasi 94.98% , data kedua dengan akurasi 98.81% , dan data ketiga dengan akurasi 93.44% diperkirakan terjadi karena pengukuran yang tepat pada saat survei lapangan dan tingkat akurasi metode fuzzy Sugeno yang baik. Konsep *rule fuzzy* bahwa semakin tinggi nilai *input* maka semakin tinggi juga nilai debit mata air (*output*) juga

dinilai benar karena menghasilkan tiap data yang akurasinya melebihi 50% .

Rata-rata akurasi dari keseluruhan data adalah 77.53% . Tentu saja rata-rata akurasi akan berubah jika datanya ditambah ataupun dikurangi karena itu penulis tidak menjadikan rata-rata akurasi sebagai ukuran melainkan melihat dari akurasi tiap data yang secara keseluruhan melebihi 50% . Karena itu aplikasi ini layak digunakan oleh masyarakat luas.

Pengembangan Aplikasi

Pengembangan aplikasi dalam penelitian ini memakai model *waterfall*. Berikut adalah hasil dari tiap tahap dalam pengembangan aplikasi:

1) Tahap analisis dan definisi kebutuhan

Berdasarkan hasil konsultasi dengan *user*, fasilitas yang diharapkan dari aplikasi yaitu aplikasi dapat menduga debit mata air pada suatu wilayah menggunakan metode fuzzy dengan memasukkan *input* jumlah tanaman, tinggi muka air tanah, dan besar sudut topografi dari wilayah tersebut. Fasilitas yang lain yaitu adanya peta yang berfungsi sebagai pencarian untuk tiap kelurahan yang ada di peta administrasi kota Bogor.

Batasan dari aplikasi ini adalah wilayah penelitian dibatasi hanya pada Kelurahan Balumbangjaya dan Kelurahan Situgede sehingga peta *output* dari aplikasi ini juga terbatas pada peta administrasi kota Bogor dan bersifat statis. *Input fuzzy* dari aplikasi ini juga mempunyai daerah nilai yaitu 22 sampai 140 batang untuk jumlah tanaman, 150.37 meter sampai 167.67 meter untuk tinggi muka air tanah, dan 0.67° (derajat) sampai 1.11° (derajat) untuk besar sudut topografi. Tujuan pengembangan aplikasi ini adalah untuk memudahkan proses pencarian mata air yang berkualitas pada aspek debit mata airnya (kecepatan air mengalir) di daerah yang memenuhi persyaratan *range* nilai *input fuzzy*.

2) Tahap desain sistem dan perangkat lunak

Desain perangkat lunak juga disesuaikan dengan analisis kebutuhan perangkat lunak dan dapat dilihat pada Lampiran 8. Desain basis data yang dibangun terdiri dari:

- Tabel *user*, berisi *field username* (*primary key*) dan *field password*
- Tabel *username*, berisi *field id_input* (*primary key*), daerah, *jns_tan*, *tinggi_muka*, topografi, *output*.

Tabel *username* dibuat berdasarkan *field username* dari tabel *user*. Jika terdapat

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

username yang baru dibuat oleh *user* melalui fungsi *sign up* pada aplikasi, maka pada database juga akan terbuat tabel dengan nama *username* tersebut. Keterangan atribut tiap tabel dapat dilihat pada Lampiran 9.

3) Tahap implementasi dan uji unit

Hasil dari tahap ini yaitu dibangunnya tiap unit aplikasi yaitu unit beranda, *signup*, admin, edit, dan lihat peta. Pengujian tiap unit dilakukan bersamaan dengan proses *coding* pengembangan aplikasi tiap unit oleh penulis.

4) Tahap integrasi dan uji sistem

Hasil dari tahap ini adalah produk akhir dalam penelitian ini yaitu Aplikasi Penduga Mata Air-Fuzzy (APMA-Fuzzy). Pengujian dilakukan dengan metode *black box* oleh penulis pada tanggal 18 September 2011 dengan cara menguji tiap fungsi yang ada dalam aplikasi sesuai dengan skenario uji. Skenario uji beserta hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 10.

5) Tahap operasi dan pemeliharaan

Tahap ini tidak dilakukan oleh penulis karena adanya keterbatasan waktu.

Deskripsi Aplikasi

Aplikasi ini memberikan kemudahan dalam proses pencarian mata air yang berkualitas pada aspek debit mata air dengan cara menduga debit mata air pada suatu wilayah. Semakin tinggi debit mata air dugaan pada suatu wilayah maka semakin baik wilayah tersebut untuk dijadikan mata air. Input dari aplikasi ini adalah nama kelurahan dan keterangan daerah, jumlah tanaman (dalam satuan batang), tinggi muka air tanah (dalam satuan meter), dan besar sudut topografi (dalam satuan derajat) pada wilayah yang diinginkan. Nama kelurahan dan keterangan daerah hanya sebagai keterangan wilayah yang diduga debit mata airnya dan tidak mempunyai pengaruh apapun dalam proses pendugaan debit mata air. *Output* dari aplikasi adalah debit mata air dugaan dan peta administrasi kota Bogor yang berfungsi sebagai pencarian data berdasarkan kelurahan yang ada di peta.

Manfaat dan Keterbatasan Sistem

Sistem yang dibangun mempunyai manfaat untuk membantu dan mempermudah masyarakat dalam proses pencarian mata air yang berkualitas dengan menduga besar debit mata air (kecepatan air mengalir). Selain itu, sistem ini juga mempunyai keterbatasan yaitu input karakteristik lahan yang dipakai hanya jumlah tanaman, tinggi muka air tanah, dan

besar sudut topografi. Karakteristik lahan yang dapat mempengaruhi debit mata air selain ketiga parameter tersebut antara lain produktivitas lapisan batuan yang dapat mengalirkan air (akuifer) dan luas daerah resapan air. Ketiga *input* yang dipakai penulis dipilih karena paling berpengaruh terhadap debit mata air dan mudah untuk diukur.

Masing-masing *input* tersebut juga mempunyai batasan nilai (*range*) yaitu 22 sampai 140 batang untuk jumlah tanaman, 150.37 meter sampai 167.67 meter untuk tinggi muka air tanah, dan 0.67° (derajat) sampai 1.11° (derajat) untuk besar sudut topografi. Penentuan level fungsi keanggotaan *output fuzzy* juga dibatasi dengan asumsi pengaruh tiap *input* terhadap *output fuzzy* (debit mata air dugaan) adalah sama. Asumsi lain yaitu pada proses pengukuran debit air pada daerah resapan air yang diteliti, pengukuran hanya dilakukan pada air yang keluar melalui mata air, sedangkan air dalam tanah yang mengalir ke tempat lain pada area resapan air tersebut tidak diukur karena kesukaran dalam pengukuran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesesuaian lahan adalah kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu. Penelitian ini mengukur kesesuaian lahan untuk pendugaan debit mata air. Sistem yang dibangun memberikan kemudahan bagi masyarakat dalam pencarian mata air yang berkualitas dengan menduga besar debit mata air. Dalam menduga debit mata air digunakan metode *fuzzy Sugeno* dengan fungsi keanggotaan *input* dan *output* diambil dari hasil analisis data survei lapangan dan *rule* dikembangkan sesuai dengan konsep dari pakar yaitu semakin tinggi nilai *input* karakteristik lahan, maka semakin tinggi nilai debit mata airnya (*output*).

Dari hasil evaluasi akurasi juga dapat disimpulkan bahwa konsep *rule* semakin tinggi nilai *input* maka semakin tinggi juga nilai *output* adalah benar karena hasil akurasi dari tiap data melebihi 50%. Evaluasi ini juga memperlihatkan bahwa aplikasi ini layak dipakai. Sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif untuk proses pencarian mata air dalam masyarakat luas, beserta segala keterbatasannya.