

LAPORAN PENELITIAN TENTANG

Penentuan Kelas Area Bencana Lumpur Lapindo
Menggunakan Pendekatan Logika Fuzzy Berbasis Spasial

Oleh:

Candra Dewi, S.Kom, M.Sc
Bayu Rahayudi, MT, MM
Ginanjer Endra Prasetyo

Penelitian ini dibiayai oleh DPP/SPP Fakultas MIPA
Berdasarkan surat perjanjian Nomor: 25/J.10.1.28/PG/2009

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Brawijaya
Malang 2009



ABSTRAK

Penentuan area yang berbahaya dari suatu sumber bencana sangat penting untuk memberikan informasi tentang area yang mungkin terdampak (*vulnerability area*) bencana tersebut. Analisa tingkat bahaya suatu area selain melibatkan analisa spasial juga memerlukan adanya evaluasi yang melibatkan berbagai kriteria. Dalam analisa tingkat bahaya terhadap bencana alam kadang timbul ketidakpastian/kekaburan yang terkait dengan adanya informasi yang tidak lengkap terhadap lingkungan sistem (*vagueness*, ambiguitas, *fuzziness*) dan ketidakpastian dalam pengukuran (ketidakpresisian, *fuzziness*). Untuk kasus analisa tingkat bahaya yang memiliki informasi yang tidak presisi, metode standarisasi yang bisa digunakan adalah dengan metode fuzzy.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode fuzzy dalam evaluasi multi kriteria daerah berbahaya Lumpur Lapindo. Hasil yang diperoleh dari penerapan fuzzy dari masing-masing kriteria ini kemudian digunakan untuk menampilkan informasi area berdasarkan tingkat bahaya dengan menggunakan analisa spasial. Perhitungan nilai derajat keanggotaan dengan menggunakan fungsi *sigmoid* naik, *sigmoid* turun dan fungsi linier naik. Sedangkan untuk analisa sensitifitas, digunakan nilai kriteria pada batas bawah, batas tengah dan batas atas.

Berdasarkan hasil analisa spasial diketahui bahwa sekitar 71% area dikategorikan kelas kerawanan rendah (Z3), daerah dengan kelas kerawanan sedang (Z2) mencakup luas sekitar 27%, kelas kerawanan tinggi (Z1) dan daerah tidak rawan secara berturut-turut hanya menempati luasan 5% dan 2% dari total area pemukiman. Dari hasil *overlay* peta kerawanan ini dengan peta terdampak dapat diketahui bahwa terdapat daerah diluar daerah terdampak yang termasuk dalam kelas kerawanan sedang dan rendah. Dan dari hasil analisa sensitifitas diketahui bahwa zona Z1 dan Z2 tidak begitu sensitif untuk nilai dari batas bawah sampai tengah, zona Z4 tidak begitu sensitif untuk nilai dari batas tengah sampai batas atas, sedangkan Z3 sangat sensitif terhadap perubahan nilai kriteria.

Kata kunci: analisa multi kriteria, analisa spasial, logika fuzzy

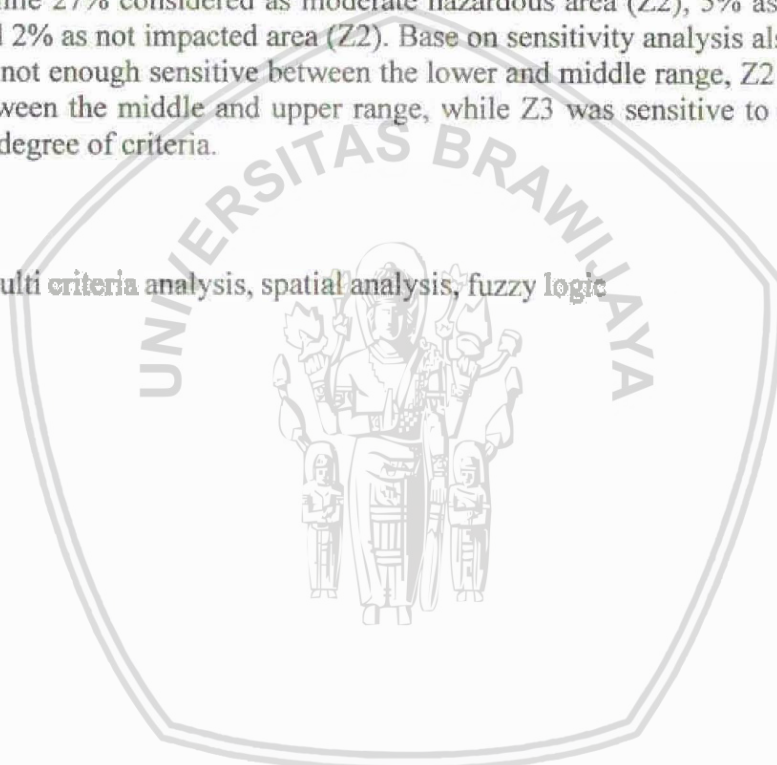
ABSTRACT

Determining vulnerable area of hot mud volcano is important to provide information on the extent of the areas affected by the hazard. Vulnerability analysis requires consideration of a comprehensive set of factors and balancing of multiple objectives in determining the dangerous level of particular area from a defined hazard source. Vulnerability analysis for natural hazard deals with uncertainty arises due to the lack of information about system behavior (vagueness, ambiguity, fuzziness) and inexactness of measurement (impreciseness, fuzziness).

The objectives of this research were to develop multi-criteria evaluation method using fuzzy analysis approach for mud volcano vulnerable area and to develop mud volcano vulnerable map using proposed method in Lapindo Mud area. This research used fuzzy for standardize the criteria of analysis. The calculation of membership degree used sigmoid and linier function. The sensitivity analysis was done at lower, middle and upper value of the range.

Base on the spatial analysis was found that low hazardous area (Z3) covered about 71% area, while 27% considered as moderate hazardous area (Z2), 5% as high hazardous area (Z1) and 2% as not impacted area (Z2). Base on sensitivity analysis also found that Z1 and Z2 were not enough sensitive between the lower and middle range, Z2 was not enough sensitive between the middle and upper range, while Z3 was sensitive to the changing of membership degree of criteria.

Key word: multi criteria analysis, spatial analysis, fuzzy logic



LEMBAR PENGESAHAN

- a. a. Judul Penelitian : Penentuan Kelas Bencana Lumpur Lapindo Menggunakan Pendekatan Logika Fuzzy Berbasis Spasial
- b. Bidang Ilmu : MIPA – Ilmu Komputer
- c. Peneliti Utama
- Nama : Candra Dewi, S.Kom, M.Sc
 - Jenis Kelamin : Perempuan
 - NIP : 19771114200312 2 001
 - Pangkat/Golongan : Penata Muda/ IIIa
 - Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
 - Fakultas : MIPA
 - Jurusan/Program Studi : Matematika / Ilmu Komputer
 - Bidang Keahlian : Multimedia, Sistem Informasi Geografis
- d. Anggota Peneliti
- Nama : Bayu Rahayudi, MT, MM
 - NIP : 19740712 200604 1 001
 - Bidang Keahlian : Multimedia, Sistem Informasi Geografis
- e. Nama/NIM Mahasiswa : ~~Cinanjar Endra Prasetyo / 0510960027~~
- f. Waktu Penelitian : April – Desember 2009
- g. Biaya yang diperlukan
- 1. Sumber DPP/SPP : Rp. 7.000.000,-
 - 2. Sumber lain : -
 - 3. Total : Rp. 7.000.000,-
- Terbilang : (Tujuh juta rupiah)

Menyetujui
Ketua P3M MIPA

Prof. Dr. Henny Pramodyo, MS
NIP. 19570705 198103 1 009

Malang, 26 Nopember 2009
Peneliti Utama

Candra Dewi, S.Kom, M.Sc
NIP. 19771114 200312 2 001

Mengetahui
Dekan FMIPA



Prof. Dr. Marjono, M.Phil
NIP. 19621116 198803 1 004



DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Permasalahan	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Pendahulu	4
2.2 Analisa Spasial Multi Kriteria	5
2.3 Logika Fuzzy dalam Pengambilan Keputusan	5
2.4 Fungsi Keanggotaan	7
2.5 Analytical Hierarchy Process (AHP).....	8
BAB III METODE PENELITIAN.....	10
3.1 Area Penelitian.....	10
3.2 Data.....	10
3.3 Metode	11
3.4 Identifikasi Kriteria Analisa	12
3.5 Konstruksi Struktur Hierarki dari Kriteria.....	12
3.6 Menentukan Variable Linguistik Tiap Kriteria	14
3.7 Fuzzifikasi.....	14
3.8 Mengaplikasikan Spasial Decision Rule	15
3.9 Agregasi Kriteria	16
3.10 Analisa Sensitivitas.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Implementasi Program	17
4.2 Peta Analisa	20
4.3 Peta Kelas Kerawanan	21



4.4	Perbandingan Peta Kelas Kerawanan Dengan Peta Terdampak (BPLS)	22
4.5	Analisa Sensitivitas.....	23
4.6	Perbandingan Kelas Kerawanan Menggunakan Beberapa Metode.....	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		26
5.1	Kesimpulan	26
5.2	Saran	26
DAFTAR PUSTAKA.....		28
LAMPIRAN		30



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Integrasi analisa spasial (SIG) dan multi kriteria analisis.....	5
Gambar 2 Studi area penelitian.....	10
Gambar 3 Prosedur Penelitian	11
Gambar 4 Struktur hierarki dari kriteria	13
Gambar 5 Skema fungsi keanggotaan tiap kriteria.....	15
Gambar 6 Kotak dialog fuzzifikasi kriteria	18
Gambar 7 Kotak dialog penghitungan bobot kriteria	20
Gambar 8 Peta kriteria	20
Gambar 9 Peta kelas kerawanan bencana	21
Gambar 10 <i>Overlay</i> peta kelas kerawanan dengan area terdampak (BPLS).....	23
Gambar 11 Tampilan peta hasil analisa sensitifitas.....	24



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Skala untuk perbandingan berpasangan	8
Tabel 2 Klasifikasi nilai kriteria relatif terhadap kelas kerawanan	13
Tabel 3 Deskripsi variabel linguistik dari tiap kriteria	14
Tabel 4 Perbandingan persentase luas dengan AHP, Fuzzy-AHP dan Logika Fuzzy.....	25
Tabel 5 Hasil perhitungan luas pada batas atas, tengah dan bawah	23



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak bulan Mei tahun 2006, lautan lumpur telah menyembur dari bawah tanah di daerah Sidoarjo dan menyebabkan berbagai dampak negatif baik pada lingkungan, infrastruktur dan sosial-ekonomi. Diperkirakan jika semburan Lumpur ini terus berlanjut, maka akan semakin banyak penduduk yang harus dipindahkan secara permanent. Dan karena tingkat kestabilan permukaan di daerah tersebut sangat rendah, maka area pemukiman di daerah tersebut juga harus dipindahkan (Pohl, 2007).

Sebagai akibat adanya bencana lumpur panas tersebut, pemerintah Sidoarjo memerlukan informasi tentang daerah pemukiman yang cukup berbahaya sehingga mengharuskan merelokalisasi penduduk di daerah tersebut secara bertahap. Disamping itu, mereka juga memerlukan informasi daerah pemukiman yang sekiranya masih efektif dikembangkan.

Permasalahan yang berkaitan dengan kebencanaan terbukti dapat diatasi dengan melalui penelitian dan perencanaan yang cukup matang terhadap suatu daerah. Karenanya penentuan tingkat bahaya dari suatu area sangat penting untuk pengambil kebijakan dalam menentukan area pemukiman yang cukup aman untuk pengembangan di masa depan. Analisa resiko memerlukan pertimbangan yang komprehensif terhadap faktor-faktor yang berpengaruh untuk menentukan tingkat bahaya suatu area dari sumber bencana.

Analisa daerah rawan (*vulnerability analysis*) melibatkan beberapa faktor yang harus dianalisa. Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan alat yang sangat handal untuk perencanaan spasial. Dengan menggunakan SIG dapat dilakukan tumpang susun data spasial sehingga dapat dimungkinkan untuk menampilkan informasi dalam bentuk peta. Hanya saja, meskipun SIG menyediakan kemampuan untuk analisa spasial dan visualisasi, masih perlu didukung oleh kemampuan untuk pengambilan keputusan. Multicriteria Decision Analysis (MCDA) dapat digunakan untuk pemecahan permasalahan SIG dengan menggabungkan model analitik dalam proses pengambilan keputusan (Densham dan Goodchild, 1989 dalam Jun, 2000). MCDA juga menawarkan teknik untuk menganalisa trade-offs yang kompleks diantara berbagai pilihan alternative.

Dalam analisa daerah rawan bencana seringkali terkait dengan ketidakpastian akibat informasi yang tidak lengkap (*vagueness, ambiguity, fuzziness*) dan ketidakpresisian

dalam pengukuran (*impreciseness, fuzziness*) (Zischg *a* al, 2005). Pakar yang dilibatkan dalam pengambilan keputusan multi kriteria juga mengandung beberapa *vagueness* dan ketidakpresisian dalam memberikan keputusan pada parameter. Dengan menggunakan logika Boolean sangat tidak mungkin untuk memodelkan ketidakpresisian ini karena metode ini hanya menggunakan nilai *crisp* (benar atau salah), yang mana membatasi analisa hanya pada area yang spesifik. Logika Fuzzy menyediakan metode matematika yang menangani informasi yang tidak presisi, tidak komplit dan tidak jelas (*vague*). Nilai tersebut diekspresikan dalam derajat yang kontinyu dengan *range* antara 0.0 sampai 1.0.

Analisa *Vulnerability* untuk bencana lumpur panas melibatkan beberapa kriteria yang mana masing-masing kriteria dikelompokkan dalam suatu nilai *range* tertentu (Dewi, 2008). Dalam analisa spasial yang dilakukan, nilai *range* ini dinyatakan dalam suatu nilai *crisp* untuk mendapatkan batasan area dari masing-masing kelas (Dewi, 2008). Dengan menggunakan nilai *crisp* ini, suatu daerah yang semestinya lebih mendekati kelas rawan akan masuk kedalam kelas kurang rawan karena masih dalam batas *range* dari kelas kurang rawan. Hal ini tentunya akan mempengaruhi hasil analisa yang dilakukan. Dengan menggunakan pendekatan fuzzy, permasalahan ini dapat diatasi karena masing-masing nilai dari kelas akan diberi derajat keanggotaan tertentu sesuai dengan nilai kedekatan dari masing-masing *range* kelas yang ada.

Road map penelitian program studi Ilmu Komputer terbagi dalam tiga kelompok yaitu kecerdasan buatan, multimedia dan jaringan (Lampiran 2). Dari ketiga bidang minat ini, peneliti berada dalam kelompok bidang multimedia. Bidang multimedia mencakup penggunaan komputer untuk menyajikan dan menggabungkan teks, suara, gambar, animasi dan video dengan alat bantu (*tool*) serta pemodelan spasial. Pada sub bagian pemodelan spasial, *road map* penelitian meliputi pengembangan model database spatial, pengembangan *software* pemrosesan database spatial, efisiensi waktu pemrosesan data dan penerapan model pada pengembangan sistem berbasis spasial. Penelitian ini berada pada tahap awal dari *road map* yaitu mengaplikasikan penggunaan logika fuzzy untuk memodelkan nilai *crisp* 0 dan 1 ke dalam nilai yang kontinyu antara 0 dan 1 pada analisa multi kriteria berbasis spasial.

12 Perumusan Permasalahan

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana mengaplikasikan integrasi SIG dengan MCDA dan Logika Fuzzy untuk menganalisa tingkat bahaya daerah pemukiman dari sumber bencana.

- b. Bagaimana menampilkan area berdasarkan informasi tingkat bahaya hasil analisa dengan menggunakan SIG.

13 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode fuzzy dalam evaluasi multi kriteria daerah berbahaya Lumpur Lapindo. Beberapa kriteria yang digunakan dalam analisa distandarisasi dengan menggunakan pendekatan fuzzy. Hasil yang diperoleh dari penerapan fuzzy dari masing-masing kriteria ini kemudian digunakan untuk menampilkan informasi area berdasarkan tingkat bahaya dengan menggunakan analisa spasial.

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai dasar untuk pengembangan sistem berbasis sistem cerdas. Hasil analisa yang dilakukan merupakan bahan untuk mendukung pengambilan kebijakan berdasarkan informasi spasial dan non spasial.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Penelitian Pendahulu

Sebagai akibat adanya bencana lumpur panas di Sidoarjo, beberapa penelitian dan analisa tentang akibat dari bencana ini telah dilakukan. Analisa kuantitatif tentang tipe dari resiko terkait dengan pembuangan Lumpur ke laut, dan ancamannya terhadap sumber daya laut telah dilakukan oleh Awad (2006). Sedangkan UN (2006) memperkenalkan panduan teknik berkenaan dengan lingkungan dengan identifikasi dampak lingkungan dari lumpur, dan berdasarkan hasil analisa memberikan rekomendasi untuk tindakan mitigasi. Penelitian lain berbasis karakteristik geologi juga telah dilakukan oleh Pusat Lingkungan Geologi (Rumbudi, 2007).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Widodo (2008) telah dilakukan pembuatan peta kawasan berisiko di sekitar tanggul lumpur Lapindo dengan melibatkan komunitas lokal. Dalam penelitian ini pembagian zona bahaya berdasarkan sifatnya yang analog dengan bencana gunung api dan belum sepenuhnya menggunakan komponen analisa spasial berbasis multi kriteria. Dewi (2008) telah melakukan penelitian multi kriteria berbasis spasial di daerah Lumpur Lapindo. Dalam penelitian yang dilakukan telah diidentifikasi beberapa kriteria analisa yang merupakan dampak adanya bencana Lumpur yang bisa dilihat dari permukaan. Selain itu telah dilakukan pembuatan peta kelas area terdampak berdasarkan pembobotan yang diperoleh dari pakar menggunakan metode Fuzzy-AHP. Namun demikian, dalam penelitian yang dilakukan Dewi (2008) masih belum memperhitungkan aspek *vagueness* dari masing-masing kriteria dalam analisa spasial yang dilakukan.

Studi tentang perkiraan bencana dan analisa vulnerability menggunakan logika fuzzy telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Yalcin, dkk (2002) mengintegrasikan SIG dan analisa keputusan multi kriteria (MCDA) untuk membuat kombinasi peta bagi pengambil keputusan dengan mengakibatkan terjadinya banjir. Dalam analisa membandingkan pendekatan Boolean, Metode Ranking, *Pairwise Comparison Method* (PCM) dan metode *Ordered Weighted Averaging* (OWA) yang menggunakan konsep fuzzy untuk standarisasi nilai dari masing-masing kriteria. Hasil analisa menggarisbawahi bahwa penggunaan logika fuzzy dapat mengurangi *error* yang berkaitan dengan standarisasi dan klasifikasi suatu nilai. Namun demikian juga dijelaskan bahwa aplikais

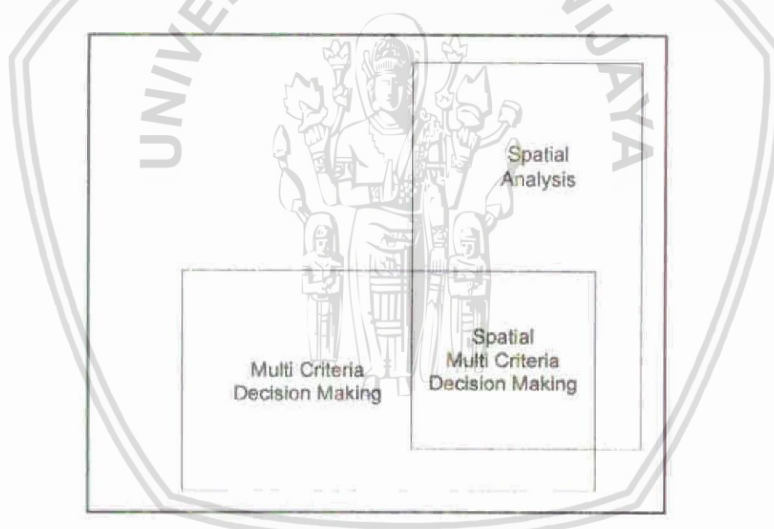


fuzzy dalam evaluasi berbasis multi kriteria secara umum dan OWA khususnya masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Rashed (2003) memperkenalkan metodologi untuk memperkirakan *vulnerability* daerah perkotaan terhadap gempa bumi kedalam *framework* SIG yang mengkombinasikan elemen dari teknik analisa spasial multi kriteria dan logika fuzzy. Penelitian ini menyimpulkan bahwa metodologi yang digunakan memberikan suatu pendekatan baru yang bisa digunakan untuk analisa *vulnerability*.

2.2 Analisa Spasial Multi Kriteria

Permasalahan pengambilan keputusan spasial melibatkan sekumpulan kriteria dan alternatif darimana pemilihan alternatif dilakukan berdasarkan urutan alternatif terhadap kriteria yang ada. Analisa keputusan multi kriteria berbasis spasial merupakan sekumpulan prosedur untuk menganalisa permasalahan keputusan yang kompleks yang mengkombinasikan dan mentransformasikan data geografis menjadi output yang sesuai. Prosedur ini meliputi utilisasi data geografis, preferensi dari pengambil keputusan, manipulasi dari data dan preferensi ini berdasarkan aturan keputusan tertentu.



Gambar 1 Integrasi analisa spasial (SIG) dan multi kriteria analisis

2.3 Logika Fuzzy dalam Pengambilan Keputusan

Teknik pengambilan keputusan berbasis fuzzy muncul karena adanya kesulitan dalam pengambilan keputusan normal untuk menangani ketidakpresisian dan *vagueness*. Padahal dalam kenyataan pengambilan keputusan, terdapat banyak tujuan, batasan dan akibat yang tidak presisi. Salah satu metode untuk menyelesaikan permasalahan *vagueness* dan ketidakpresisian suatu informasi dalam analisa resiko adalah dengan

merepresentasikan *vagueness* dan ketidakpresisian dari parameter menggunakan *fuzzy number*.

Logika fuzzy dapat dipresentasikan sebagai bahasa yang memungkinkan untuk menerjemahkan suatu statemen dari *natural language* kedalam formula matematis (Zadeh, 1978 dalam Malczewski, 1999). Logika fuzzy merupakan teori dengan *multi-valued* dimana *intermediate values* seperti “menengah”, “tinggi”, “rendah” digunakan untuk menggantikan nilai ya/tidak, benar/salah sebagaimana digunakan dalam teori *crisp* konvensional. Fuzzy sets merepresentasikan derajat dari elemen x yang memiliki keanggotaan parsial terhadap A . Derajat dari elemen tersebut berada diantara 0 dan 1. Suatu elemen x adalah anggota A jika $A(x)=1$, dan bukan anggota jika $A(x)=0$. Semakin tinggi derajat keanggotaan suatu elemen, semakin besar elemen x tersebut berada dalam set A .

Beberapa *fuzzy set* merepresentasikan konsep linguistic seperti rendah, menengah, tinggi dan lain sebagainya untuk mendefinisikan *state* dari suatu variabel (atau sering disebut variabel fuzzy).

Fuzzy Number

Fuzzy numbers adalah *number* yang mendekati *real number* yang diberikan atau mendekati interval dari *real number*. Untuk mendapatkan fuzzy number, fuzzy set A dari x harus diproses dengan menggunakan minimal tiga properti berikut:

- Fuzzy number adalah *convex fuzzy set*;
- Hanya ada satu x_0 yang memenuhi $A(x_0) = 1$;
- A adalah *continuous* dalam suatu interval

Operasi Aritmatika pada Fuzzy Numbers

Fuzzy aritmatika didasarkan pada dua properti fuzzy number:

1. Setiap fuzzy set dan fuzzy number, dapat secara unik direpresentasikan oleh suatu α -cuts;
2. α -cuts dari tiap fuzzy number adalah interval terdekat dari *real number* untuk semua $\alpha \in (0,1)$

Misalkan $A = (l_a, m_a, u_a)$ dan $B = (l_b, m_b, u_b)$ adalah dua buah bilangan fuzzy. Operasi aritmatika pada interval terdekat didefinisikan sebagai berikut:

1. Penambahan

$$A + B = (l_a + l_b, m_a + m_b, u_a + u_b) \quad (2)$$

2. Pengurangan

$$A - B = (l_a - l_b, m_a - m_b, u_a - u_b) \tag{3}$$

3. Perkalian

$$A \cdot B = (l_a \cdot l_b, m_a \cdot m_b, u_a \cdot u_b) \tag{4}$$

4. Pembagian (dimana $0 \notin [l_b, m_b, u_b]$)

$$\frac{A}{B} = \left(\frac{l_a}{u_b}, \frac{m_a}{m_b}, \frac{u_a}{l_b} \right) \tag{5}$$

2.4 Fungsi Keanggotaan

Bentuk dari fungsi keanggotaan merepresentasikan derajat *vagueness* dari range tiap kriteria. Dalam logika fuzzy, terdapat beberapa fungsi keanggotaan yang diantaranya adalah linier, sigmoid, kurva normal, segitiga dan trapesium. Dalam penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan linier dan sigmoid.

Kurva sigmoid didefinisikan dengan menggunakan tiga parameter, yaitu keanggotaan nol (α), nilai keanggotaan lengkap (γ), dan titik infleksi atau crossover (β) yaitu titik yang memiliki domain 50% benar. Fungsi keanggotaan pada kurva sigmoid naik untuk setiap nilai domain x diberikan dalam persamaan berikut:

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \rightarrow x \leq \alpha \\ 2((x - \alpha) / (\gamma - \alpha))^2 & \rightarrow \alpha < x < \beta \\ 1 - 2((\gamma - x) / (\gamma - \alpha))^2 & \rightarrow \beta \leq x < \gamma \\ 1 & \rightarrow x \geq \gamma \end{cases} \tag{6}$$

Fungsi keanggotaan pada kurva sigmoid turun untuk setiap nilai domain x diberikan dalam persamaan berikut:

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1 & \rightarrow x \leq \alpha \\ 1 - 2((\gamma - x) / (\gamma - \alpha))^2 & \rightarrow \alpha < x < \beta \\ 2((x - \alpha) / (\gamma - \alpha))^2 & \rightarrow \beta \leq x < \gamma \\ 0 & \rightarrow x \geq \gamma \end{cases} \tag{7}$$

Sedangkan fungsi keanggotaan pada representasi linier naik untuk setiap nilai domain x diberikan dalam persamaan berikut:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & \rightarrow x \leq a \\ (x - a) / (b - a) & \rightarrow a < x < b \\ 1 & \rightarrow x \geq b \end{cases} \tag{8}$$



2.5 Analytical Hierarchy Process (AHP)

AHP adalah teknik pembobotan yang melibatkan multi obyektif yang dibandingkan dan multi alternatif. Input dari AHP adalah penilaian pembuat keputusan/ahli tentang 'seberapa penting suatu kriteria relatif terhadap kriteria yang lain'. Penilaian ini disajikan dalam bentuk matrik perbandingan berpasangan.

Pendekatan AHP menggunakan skala Saaty mulai dari nilai bobot 1 sampai dengan 9. Nilai bobot 1 menggambarkan "sama penting", ini berarti bahwa nilai atribut yang sama skalanya, nilai bobotnya 1, sedangkan nilai bobot 9 menggambarkan kasus atribut yang "penting absolut" dibandingkan dengan yang lainnya. Skala Saaty dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Skala untuk perbandingan berpasangan (Saaty, 1993)

Tingkat Kepentingan	Definisi
1	Kedua elemen sama penting
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting dari elemen yang lain
5	Elemen yang satu lebih penting dari elemen yang lain
7	Elemen yang satu jelas lebih penting dari elemen yang lain
9	Elemen yang satu mutlak lebih penting dari elemen yang lain
2,4,6,8	Nilai antara dua nilai yang berdekatan
Kebalikan	Jika aktifitas i mendapat satu angka jika dibandingkan dengan j , maka j mempunyai nilai kebalikannya bila dibandingkan dengan i

Tahapan dalam metode perbandingan berpasangan (pairwise comparison method) terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

1. Identifikasi sistem, yaitu untuk mengidentifikasi permasalahan dan menentukan solusi yang diinginkan. Identifikasi sistem dilakukan dengan cara mempelajari referensi dan berdiskusi dengan para pakar yang memahami permasalahan, sehingga diperoleh konsep yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi.
2. Penyusunan struktur hierarki yang diawali dengan tujuan umum, dilanjutkan dengan sub tujuan, kriteria dan kemungkinan alternatif-alternatif pada tingkatan kriteria yang paling bawah.
3. Perbandingan berpasangan, menggambarkan pengaruh relatif setiap elemen terhadap masing-masing tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya. Teknik perbandingan berpasangan yang digunakan dalam AHP berdasarkan "judgement" atau pendapat dari para responden yang dianggap sebagai "key person". Mereka dapat terdiri atas: 1)



pengambil keputusan; 2) para pakar; 3) orang yang terlibat dan memahami permasalahan yang dihadapi.

4. Matriks pendapat individu, formulasinya disajikan sebagai berikut:

$$A = (a_{ij}) = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ C_1 & 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ C_2 & 1/a_{12} & 1 & \dots & 1/a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_n & a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{matrix}$$

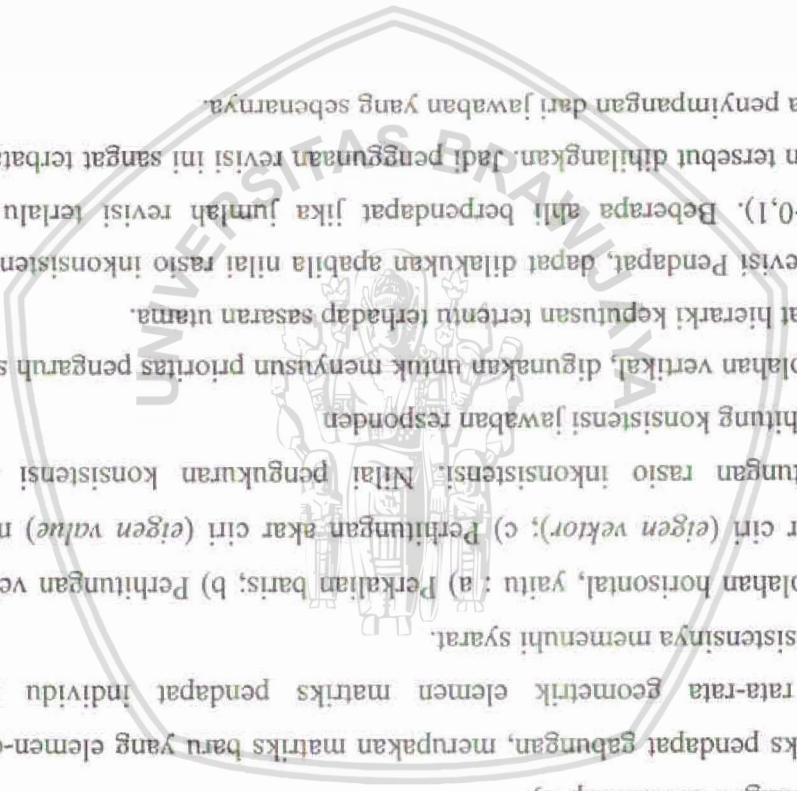
Dalam hal ini C_1, C_2, \dots, C_n adalah set elemen pada satu tingkat dalam hierarki. Kuantifikasi pendapat dari hasil perbandingan berpasangan membentuk matriks $n \times n$. Nilai a_{ij} merupakan nilai matriks pendapat hasil perbandingan yang mencerminkan nilai kepentingan C_i terhadap C_j .

5. Matriks pendapat gabungan, merupakan matriks baru yang elemen-elemennya berasal dari rata-rata geometrik elemen matriks pendapat individu yang nilai rasio inkonsistensinya memenuhi syarat.

6. Pengolahan horisontal, yaitu : a) Perkalian baris; b) Perhitungan vektor prioritas atau vektor ciri (*eigen vektor*); c) Perhitungan akar ciri (*eigen value*) maksimum, dan d) Perhitungan rasio inkonsistensi. Nilai pengukuran konsistensi diperlukan untuk menghitung konsistensi jawaban responden

7. Pengolahan vertikal, digunakan untuk menyusun prioritas pengaruh setiap elemen pada tingkat hierarki keputusan tertentu terhadap sasaran utama.

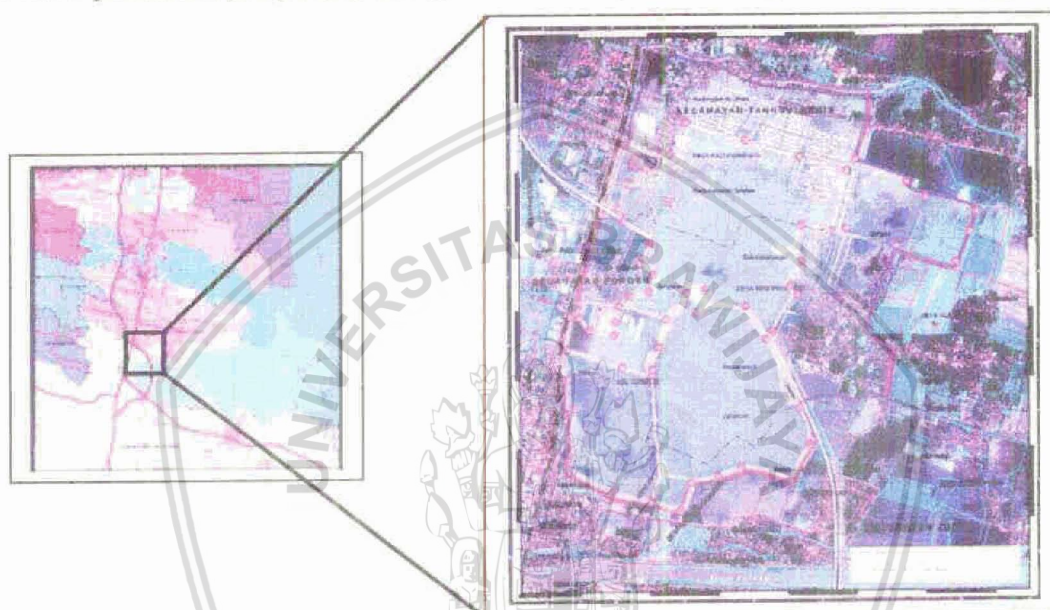
Revisi Pendapat, dapat dilakukan apabila nilai rasio inkonsistensi pendapat cukup tinggi ($>0,1$). Beberapa ahli berpendapat jika jumlah revisi terlalu besar, sebaiknya responden tersebut dihilangkan. Jadi penggunaan revisi ini sangat terbatas mengingat akan terjadinya penyimpangan dari jawaban yang sebenarnya.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Area Penelitian

Studi area dari penelitian ini adalah di Kabupaten Sidoarjo, terutama di Kecamatan Porong dan sekitarnya dimana terjadi luapan lumpur vulkanik. Kabupaten Sidoarjo sebagai bagian dari propinsi Jawa Timur terletak di sebelah selatan kota Surabaya, dengan luas wilayah darat 714,423 km² atau 71.424,25 ha. Secara geografis terletak pada koordinat 112° 5" – 112° 9" Bujur Timur dan 7° 3" – 7° 5" Lintang Selatan. Gambar 2 menunjukkan studi area penelitian yang meliputi tiga kecamatan yaitu Porong, Jabon dan Tanggulangin.



Gambar 2 Studi area penelitian

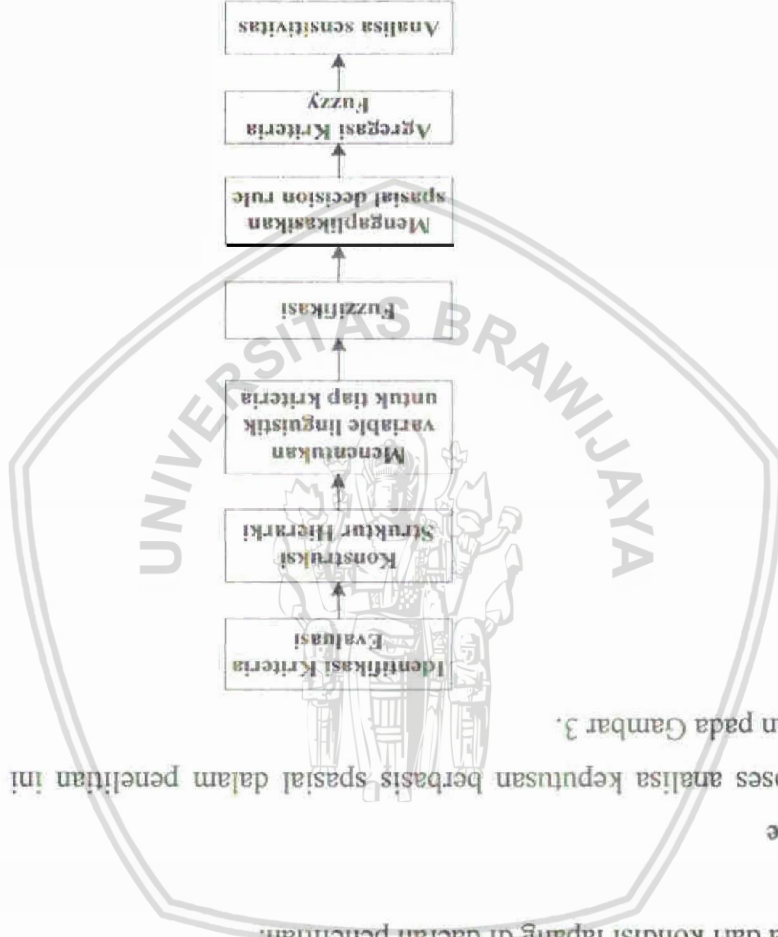
3.2 Data

Data yang digunakan dalam analisa multi kriteria berbasis spasial ini adalah data peta beserta informasi non spasial yang berkaitan dengan masing-masing peta yang meliputi:

- Data vektor
 - Peta administrasi
 - Peta penggunaan lahan
 - Peta area terdampak (BPLS)

Pada tahap pertama dilakukan identifikasi evaluasi yang akan digunakan sebagai kriteria dalam analisa. Langkah selanjutnya adalah menentukan konstruksi struktur hierarki

Gambar 3 Prosedur Penelitian



Proses analisa keputusan berbasis spasial dalam penelitian ini secara garis besar ditunjukkan pada Gambar 3.

3.3 Metode

selanjutnya dari kondisi lapang di daerah penelitian. yang dilakukan merupakan kegiatan *ground ceck* untuk mengetahui perkembangan yang diambil mulai bulan November 2007 sampai Maret 2008. Sedangkan kegiatan lapang sama dengan penelitian sebelumnya (Dewi, 2008), dimana data merupakan data sekunder Dampak dari bencana ini sangat dinamis. Data yang digunakan pada penelitian ini Lingkungan-Bandung. Data-data yang terscubut terhimpun di BPLS – Surabaya.

Data lapang yang digunakan berupa data sekunder hasil survey yang dilakukan oleh beberapa instansi seperti BPLS (Badan Pelaksana Lumpur Sidoarjo), ITB (Institut Teknologi Bandung), Tim HSE (Health and Safety Environment), Departemen Geologi

Peta dari masing-masing kriteria yang meliputi peta subsidence, peta dampak gas metan, peta dampak gas hidrogen sulfida, peta dampak gas karbon dioksida, peta area luapan lumpur dan peta kualitas air.

dari kriteria terhadap alternative/tingkat bencana. Pada tahap ketiga ditentukan variable linguistik dari masing-masing kriteria. Variable ini kemudian digunakan sebagai acuan dalam proses fuzzifikasi kriteria pada tahap keempat. Pada tahap kelima dilakukan pembobotan kriteria dengan mengaplikasikan spasial *decision rule*. Setelah itu dilakukan agregasi kriteria fuzzy untuk mendapatkan peta bencana. Pada tahap akhir akan dilakukan analisa sensitivitas untuk melihat efek perubahan derajat keanggotaan dari tiap kriteria pada kelas kerawanan yang dihasilkan. Rincian kegiatan dari proses ini dijelaskan dalam subbab berikut.

3.4 Identifikasi Kriteria Analisa

Kriteria yang digunakan adalah dampak yang bisa dilihat dari permukaan yang mengacu pada penelitian terdahulu (Dewi, 2008) yaitu subsidence, gelembung gas, area luapan lumpur dan kualitas air. Kriteria ini kemudian akan digunakan sebagai input dari model. Berikut adalah penjelasan singkat dari masing-masing kriteria (untuk penjelasan lebih lengkap dapat dilihat pada Dewi, 2008).

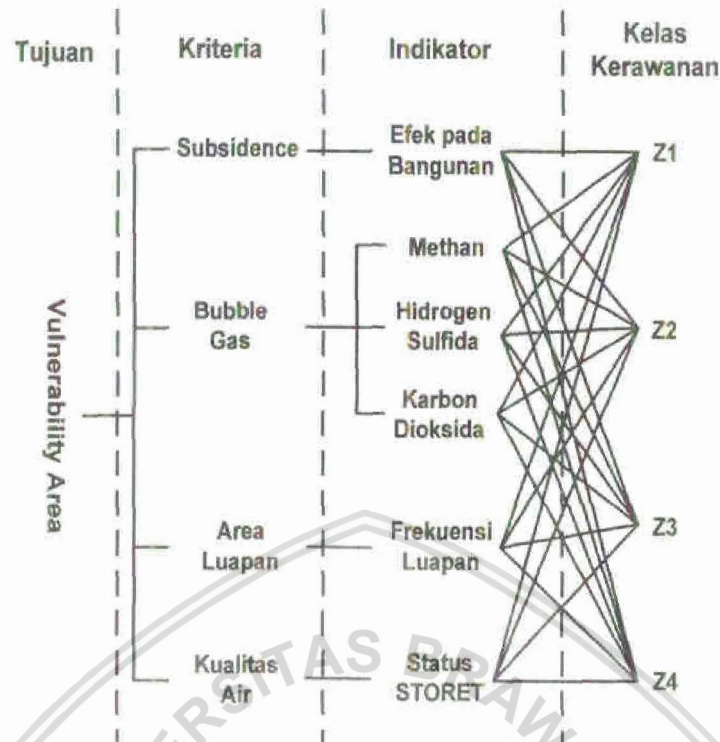
1. Subsidence atau penurunan permukaan tanah. Kriteria ini dikarakterisasi berdasarkan level dari dampak terhadap struktur bangunan.
2. Bubble gas yang muncul pada area-area tertentu. Kriteria ini dikarakterisasikan berdasarkan efek gas yang terkandung dalam bubble terhadap manusia. Kriteria gas yang digunakan meliputi hidrogen sulfida (H_2S), Metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2).
3. Area luapan lumpur. Kriteria ini dikarakterisasikan berdasarkan frekuensi suatu area pernah terendam luapan Lumpur.
4. Kualitas air permukaan. Kriteria ini dikarakterisasikan berdasarkan status STORET. STORET (STORage and RETrieval) adalah database yang dikembangkan oleh EPA (Environmental Protection Agency) untuk mengetahui kualitas air. Metode ini diadopsi karena juga digunakan oleh Kementrian Lingkungan (Keputusan Menteri Lingkungan No.115/2003). Pada penelitian ini, status kualitas air hanya berdasarkan standar nilai fisik dan kimia.

3.5 Konstruksi Struktur Hierarki dari Kriteria

Relasi antara tujuan dan atribut dalam MCDA dapat digambarkan dalam sebuah struktur hirarki (Malczewski, 1999). Pada level tertinggi dapat dibedakan tujuan,



sedangkan pada level yang lebih rendah dapat didekomposisi atribut-atributnya. Struktur hierarki dari kriteria ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Struktur hierarki dari kriteria

Alternatif pada penelitian ini adalah dalam konteks kelas kerawanan. Kelas kerawanan dibagi dalam 4 kelas yaitu kelas kerawanan tinggi (Z1), kelas kerawanan menengah (Z2), kelas kerawanan rendah (Z3) dan tidak rawan (Z4). Adapun klasifikasi kriteria relatif terhadap kelas kerawanan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Klasifikasi nilai kriteria relatif terhadap kelas kerawanan (Sumber: Dewi, 2008)

Karakteristik	Kelas Kerawanan			
	Z1	Z2	Z3	Z4
Subsidence (lebar crack dalam mm)	5 - 15	1 - 5	< 1	Tidak ada crack
Bubble gas				
♦ Methan (% LEL)	> 14	5.3 - 14	0.1 - < 5.3	< 0.1
♦ H ₂ S (PPM)	> 30	> 10 - 30	> 0.13 - 10	≤ 0.13
♦ CO ₂ (% Volume)	> 10	2 - 10	0.1 - < 2	< 0.1
Area luapan (frekuensi)	> 2	1-2	0	0
Kualitas air (Storet)	< -30	(-11) s/d (-30)	(-1) s/d (-10)	0

3.6 Menentukan Variable Linguistik Tiap Kriteria

Jumlah kelas linguistik dari masing-masing kriteria mengacu pada standar internasional yang telah dipakai dalam penelitian sebelumnya oleh Dewi (2008). Tabel 3 menunjukkan deskripsi variabel linguistik dari masing-masing kriteria. Dari tabel terlihat adanya nilai yang saling berinterseksi antara satu kelas dengan kelas yang berdekatan pada tiap kriteria.

Tabel 3 Deskripsi variabel linguistik dari tiap kriteria

Kriteria	Variable Linguistik	Domain Nilai	Kriteria	Variable Linguistik	Domain Nilai
Subsidence	Rendah	(0; 0; 0.5)	Gas Karbon Dioksida (CO ₂)	Rendah	(0; 0; 1)
	Sedang	(0 ; 1; 2)		Sedang	(0.1; 1.5; 3)
	Tinggi	(1; 3.5; 6)		Tinggi	(2; 7; 12)
	Sangat Tinggi	(4; 5; 5)		Sangat Tinggi	(8; 10; 10)
Gas Methan (CH ₄)	Rendah	(0; 0; 1)	Frekuensi Luapan	Rendah	(0; 0; 0)
	Sedang	(0.1; 4; 8)		Sedang	(0; 0; 1)
	Tinggi	(4; 10; 16)		Tinggi	(1; 2; 3)
	Sangat Tinggi	(11; 14; 14)		Sangat Tinggi	(1; 3; 3)
Gas Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Rendah	(0; 0; 1)	Kualitas Air	Memenuhi	(0; 0; -2)
	Sedang	(0.13; 8; 16)		Rendah	(-1; -8; -15)
	Tinggi	(8; 20; 32)		Tinggi	(-10; -22; -34)
	Sangat Tinggi	(25; 30; 30)		Sangat Tinggi	(-26; -30; -30)

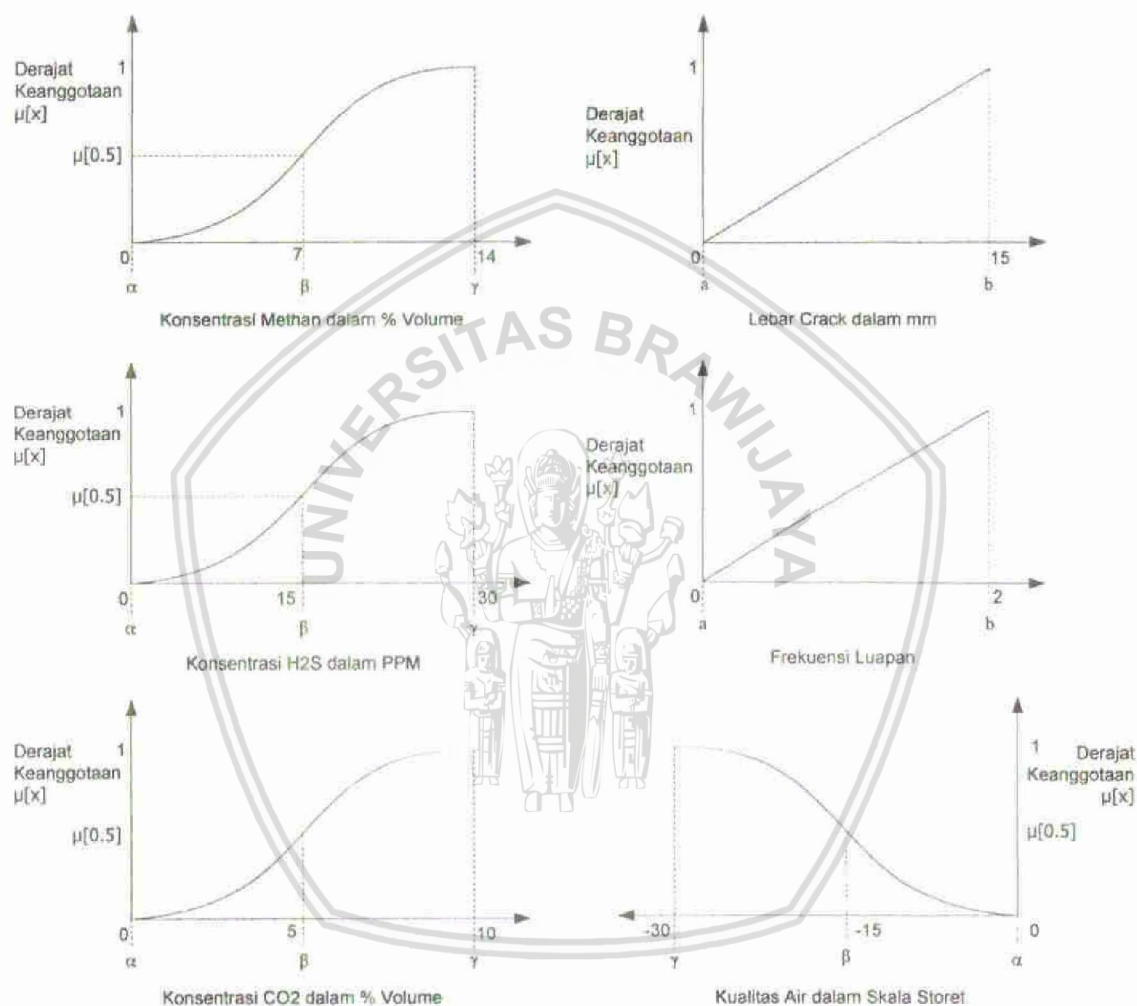
3.7 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi digunakan untuk proses standarisasi dari tiap kriteria evaluasi karena tiap kriteria memiliki skala pengukuran yang berbeda (Tabel 2). Proses fuzzifikasi dilakukan dengan mentranslasikan nilai dari masing-masing kriteria kedalam himpunan fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan tertentu. Logika fuzzy menawarkan fungsi keanggotaan yang bervariasi dibandingkan dengan pendekatan yang lain (Burrough 1989, Jiang and Eastman 2000, Zeng and Zhou 2001).

Bentuk dari fungsi keanggotaan merepresentasikan derajat *vagueness* dari range tiap kriteria. Berdasarkan plot data survey, pada penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan sigmoid naik untuk kriteria bubble gas (methan, hidrogen sulfida dan arbon dioksida) dan untuk kualitas air digunakan fungsi keanggotaan sigmoid turun. Sedangkan untuk frekuensi luapan dan subsidence digunakan fungsi linier naik. Fungsi keanggotaan

sigmoid naik dan linear naik menandakan bahwa semakin tinggi nilai kriteria, maka semakin tinggi dampaknya terhadap kelas kerawanan. Sedangkan fungsi keanggotaan sigmoid turun menunjukkan bahwa semakin rendah nilai kriteria, maka semakin tinggi dampaknya terhadap kelas kerawanan. Gambar 5 menunjukkan skema fungsi keanggotaan untuk tiap-tiap kriteria.

Pada penelitian ini digunakan satu variabel linguistik untuk tiap kriteria untuk menyatakan bahwa semakin tinggi nilai dari masing-masing kriteria maka semakin tinggi pula derajat keanggotaan dari tiap kriteria.



Gambar 5 Skema fungsi keanggotaan tiap kriteria

3.8 Mengaplikasikan Spasial *Decision Rule*

Langkah selanjutnya setelah dilakukan proses fuzzifikasi pada kriteria evaluasi adalah mengaplikasikan spasial *decision rule* mengacu pada kriteria. Pada tahap ini diperlukan proses pembobotan dari masing-masing kriteria untuk mengetahui seberapa

besar pengaruh tiap kriteria terhadap tingkat kerawanan. Kriteria yang sudah difuzzifikasi dilakukan proses pembobotan dengan menggunakan AHP.

3.9 Agregasi Kriteria

Kriteria kemudian di agregasi dengan menggunakan metode *fuzzy additive weighting*. Hasil dari proses ini kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai dari kelas kerawanan.

3.10 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas dilakukan untuk melihat efek perubahan derajat keanggotaan dari tiap kriteria pada kelas kerawanan yang dihasilkan.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Program

Implementasi untuk persiapan data peta dan proses analisa spasial dari penelitian ini menggunakan perangkat lunak Arc View 3.3. Untuk proses fuzzifikasi kriteria dengan menggunakan *script Avenue* ArcView dan untuk perhitungan bobot dengan AHP digunakan Delphi 7 karena dalam *Avenue* tidak mendukung pemrosesan data dengan struktur *array*. Potongan program dari proses fuzzifikasi kriteria dengan menggunakan *script Avenue* ditunjukkan pada *Source code 1*.

```
// membaca table atribut dari theme yang aktif
for each aTheme in TheView.GetActiveThemes
  _TheVTab = aTheme.GetFtab
end

//menambahkan field untuk menyimpan hasil perhitungan fuzzy
_TheVTab.SetEditable(TRUE)
if ( _TheVTab.FindField(ObjField+"Fuzzy") = nil)
  LS_Field = Field.Make(ObjField+"Fuzzy" FIELD DOUBLE, 6,3)
  _TheVTab.AddFields({LS_Field})
end

FZ = _TheVTab.FindField(ObjField+"Fuzzy")

//deklarasi variable alpa, beta dan gama untuk proses fuzzifikasi
counts = _TheVTab.FindField(ObjField)
aAlpha = proc.FindByname("TxAlpha").getText
bAlpha = aAlpha.AsNumber
aBeta = proc.FindByname("TxBeta").getText
bBeta = aBeta.AsNumber
aGama = proc.FindByname("TxGama").getText
bGama = aGama.AsNumber

_TheVTab.StartEditingWithRecovery

//perhitungan alpha cut untuk fungsi keanggotaan sigmoid naik
If (naik.IsSelected) then
  for each rec in _TheVTab
    x = _TheVTab.returnvalue(counts, rec)
    cx = 0
    if ( x < bAlpha ) then
      =0
    elseif (( x >= bAlpha ) and ( x <= bBeta )) then
      cx = 2* (((x - bAlpha)/(bGama -bAlpha))*((x - bAlpha)/(bGama - bAlpha)))
    elseif (( x >= bBeta) and ( x <= bGama )) then
      cx = 1 - 2* (((bGama -x)/(bGama -bAlpha))*((bGama -x)/(bGama -
      bAlpha)))
    else
      cx = 1
    end
    _TheVTab.SetValue(FZ, rec,cx)
  end
end
```

Source code 1. Potongan program proses fuzzifikasi kriteria

Gambar 6 Kotak dialog fuzzifikasi kriteria

Proses standarisasi menggunakan fuzzy diawali dengan membaca table atribut dari peta. Kemudian dilanjutkan dengan proses menambahkan *field* untuk menyimpan hasil standarisasi dengan fuzzy. Setelah itu, dihitung nilai *alpha cut* untuk tiap *record* dari *field* sesuai dengan fungsi keanggotaan yang dipilih. Tampilan kotak dialog proses fuzzifikasi kriteria ditunjukkan pada Gambar 6.

Source code 1 Potongan program proses fuzzifikasi kriteria (lanjutan)

```

//perhitungan alpha cut untuk fungsi keanggotaan sigmoid turun
if (turun.IsSelected) then
for each rec in _TheVTab
x = _TheVTab.returnValue(counts,rec)
if ( x < bAlpha ) then
cx = 0
else
cx = 1
endif (( x >= bAlpha ) and ( x <= bBeta )) then
cx = 1 - ( 2 * ((bGamma - x)/(bGamma - bAlpha)) * ((bGamma - x)/(bGamma - bAlpha)))
else
cx = 2 * ((x - bAlpha)/(bGamma - bAlpha)) * ((x - bAlpha)/(bGamma - bAlpha))
endif (( x >= bBeta ) and ( x <= bGamma )) then
cx = 2 * ((x - bAlpha)/(bGamma - bAlpha)) * ((x - bAlpha)/(bGamma - bAlpha))
else
cx = 0
endif
end
end
end
end
end
end

//perhitungan alpha cut untuk fungsi keanggotaan linter naik
if (linter.IsSelected) then
for each rec in _TheVTab
x = _TheVTab.returnValue(counts,rec)
if ( x < bAlpha ) then
cx = 0
else
cx = 1
endif (( x >= bAlpha ) and ( x <= bGamma )) then
cx = (x - bAlpha)/(bGamma - bAlpha)
endif
endif
end
end
end
end
end
end

```

Sedangkan *listing* program dari proses pembobotan kriteria dengan AHP ditunjukkan pada *Source code 2*.

```

//proses perkalian baris
k := strtoint(combobox1.Text);
edit1.Text := inttostr(k);

for a := 0 to k-1 do
  for b := 0 to k-1 do
    sum1[b] := sum1[b] + strtfloat(stringgrid1.Cells[b+1,a+1]);
  for a := 0 to k - 1 do
    for b := 0 to k - 1 do
      tab1[b,a] := strtfloat(stringgrid1.Cells[b+1,a+1])/sum1[b];

//Perhitungan vektor prioritas

for a := 0 to k-1 do
  for b := 0 to k-1 do
    sum2[b] := sum2[b] + tab1[a,b];

for a := 0 to k - 1 do
  avgl[a] := sum2[a]/k;

//Perhitungan akar ciri
for a := 0 to k-1 do
  for b := 0 to k-1 do
    tab2[b,a] := (strtfloat(stringgrid1.Cells[b+1,a+1])*avgl[b];

for a := 0 to k-1 do
  for b := 0 to k-1 do
    rowtot[b] := rowtot[b] + tab2[a,b];

for a := 0 to k-1 do
  for b := 0 to k-1 do
    begin
      If b=a then
        rowtot2[b] := rowtot[b]/tab2[b,a];
      end;

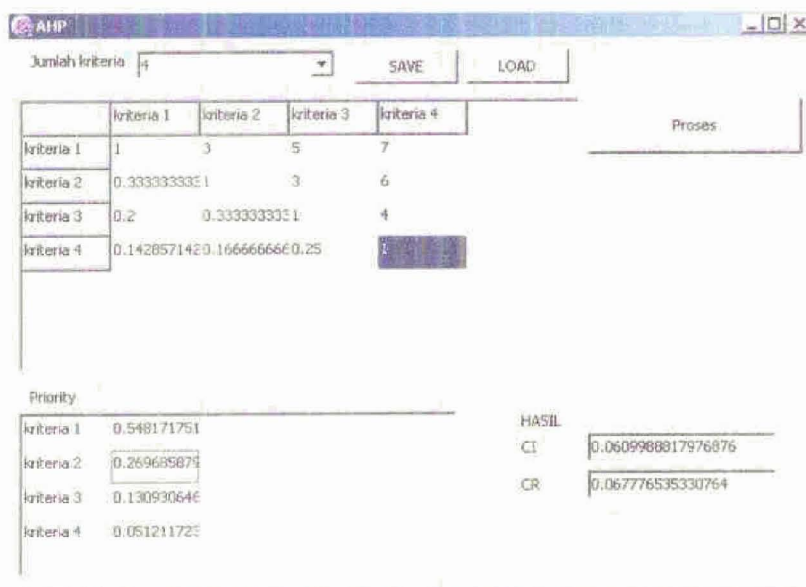
for a := 0 to k - 1 do
  g := rowtot2[a] + g;

//Perhitungan rasio inkonsistensi
p := g/k;
e := (p-k)/(k-1);
edit1.Text := floattostr(e);
r := e/(ri[k-1]);
edit2.Text := floattostr(r);
(strtfloat(stringgrid1.Cells[b+1,a+1])*avgl[b];

```

Source code 2 Potongan program penghitungan bobot dengan AHP

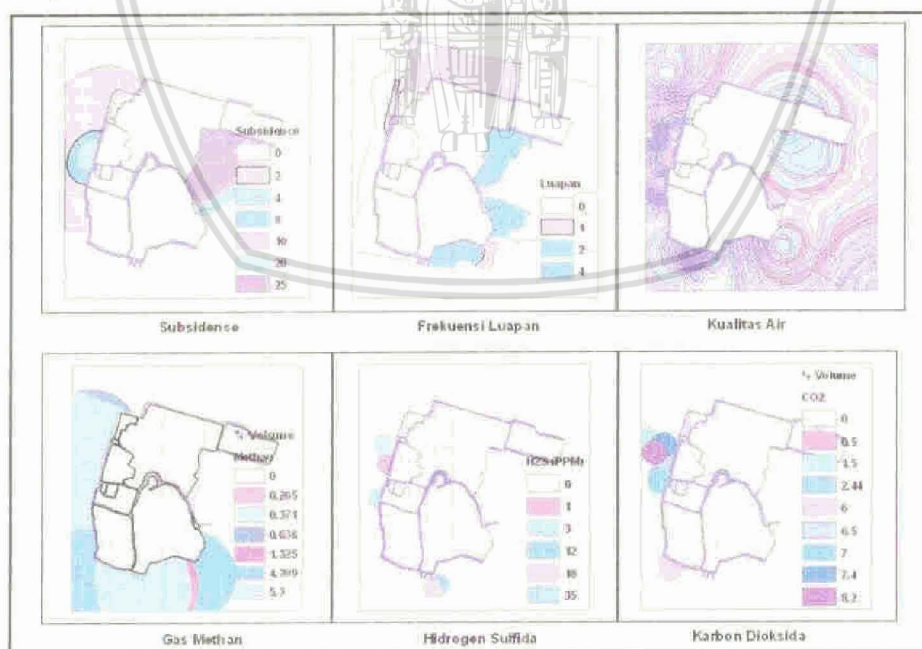
Proses diawali dengan pembacaan matrik perbandingan berpasangan yang dimasukkan *rarer*. Kemudian dilanjutkan dengan proses perkalian baris, perhitungan vektor prioritas atau vektor ciri (*eigen vektor*), perhitungan akar ciri (*eigen value*) maksimum, dan perhitungan rasio inkonsistensi. Tampilan kotak dialog proses penghitungan bobot kriteria ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Kotak dialog penghitungan bobot kriteria

4.2 Peta Analisa

Peta kriteria yang digunakan dalam analisa dipersiapkan dengan menggunakan analisa spasial dari ArcView yang meliputi proses pembuatan *buffer*, pemotongan peta dengan peta dasar (*clip*), penggabungan dua/lebih peta (*union*), interseksi dua/lebih peta (*intersection*). Khusus untuk peta kualitas air digunakan interpolasi *Inverse Distance Weighted (IDW)* selain proses-proses yang disebutkan diatas. Penjelasan lebih lengkap mengenai proses pembuatan peta analisa ini dapat dilihat pada Dewi,2008. Adapun peta kriteria ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Peta kriteria

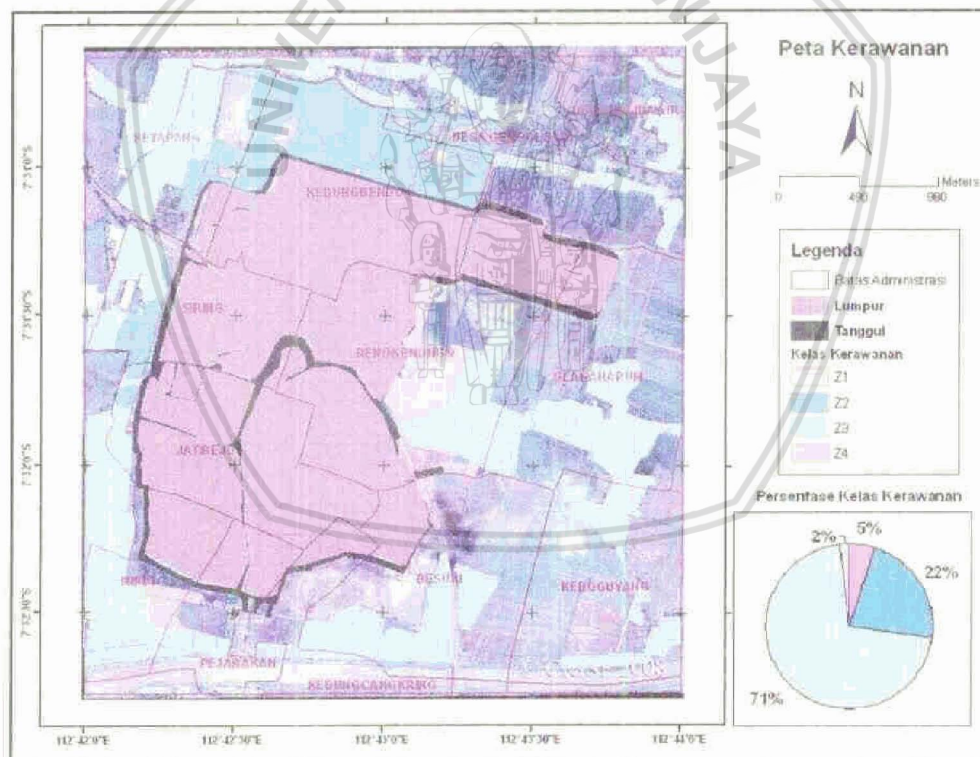


Peta analisa ini memiliki atribut berupa nilai dari masing-masing kriteria sesuai dengan data yang diperoleh dari BPLS. Nilai atribut inilah yang kemudian akan digunakan sebagai *input* dalam standarisasi kriteria dengan *fuzzy*.

4.3 Peta Kelas Kerawanan

Setelah masing-masing kriteria distandarisasi dengan menggunakan *fuzzy*, langkah selanjutnya adalah dilakukan pembobotan tiap kriteria sehingga didapatkan nilai *fuzzy weighted* untuk tiap kriteria. Bobot dari tiap kriteria secara berturut-turut adalah \$412 untuk luapan lumpur; 0,293 untuk kualitas air; 0,108 untuk *subsidence*; 0,119 untuk gas metan; 0,049 untuk gas hidrogen sulfida dan 0,02 untuk gas karbondiksida

Proses dilanjutkan dengan agregasi kriteria dengan *fuzzy additive weighting*. Setelah didapatkan nilai kerawanan, kemudian dilakukan pengelompokan kelas dengan menggunakan metode *equal interval* dimana tiap kelas memiliki *range* nilai yang sama. Kemudian kelas kerawanan ini di *overlay* dengan peta pemukiman untuk mengetahui daerah pemukiman yang rawan terhadap bencana. Peta kelas kerawanan bencana hasil analisa spasial ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Peta kelas kerawanan bencana

Dari peta diatas terlihat bahwa hampir sebagian besar daerah pemukiman dikategorikan memiliki kelas kerawanan rendah (Z3) yaitu sekitar 71% area. Urutan kedua

adalah daerah dengan kerawanan sedang (Z2) dengan luas sekitar 27% dari total area pemukiman. Sedangkan kelas kerawanan tinggi (Z1) dan daerah tidak rawan secara berturut-turut hanya menempati luasan 5% dan 2% dari total area pemukiman.

Dari hasil diatas terlihat bahwa daerah dengan kelas kerawanan tinggi sebagian besar menempati area yang sering terjadi luapan lumpur, nilai *subsidence* yang tinggi dan memiliki polusi air yang cukup tinggi. Hal ini ditambah lagi dengan bobot dari ketiga faktor tersebut yang juga tinggi sehingga daerah ini memiliki tingkat kerawanan yang tinggi.

Untuk daerah dengan tingkat kerawanan sedang berada pada area yang tingkat luapan lumpurnya sedang, kualitas air buruk dan nilai *subsidence* kecil. Meskipun daerah tersebut dominan dengan pengaruh gas tetapi karena nilai bobot dari gas tidak begitu besar sehingga tidak cukup signifikan.

Sedangkan untuk daerah dengan tingkat kerawanan rendah dan tidak rawan menempati daerah dengan frekuensi luapan lumpur rendah sampai sedang, nilai *subsidence* rendah, kualitas air sedang dan pengaruh gas dari rendah sampai tinggi.

Disini terlihat bahwa kriteria yang digunakan dalam analisa sangat mempengaruhi hasil kelas kerawanan. Selain itu, nilai bobot dari tiap kriteria juga sangat mempengaruhi hasil. Semakin tinggi derajat keanggotaan dari kriteria dan semakin tinggi bobot dari kriteria tersebut akan menghasilkan kelas kerawanan yang semakin tinggi.

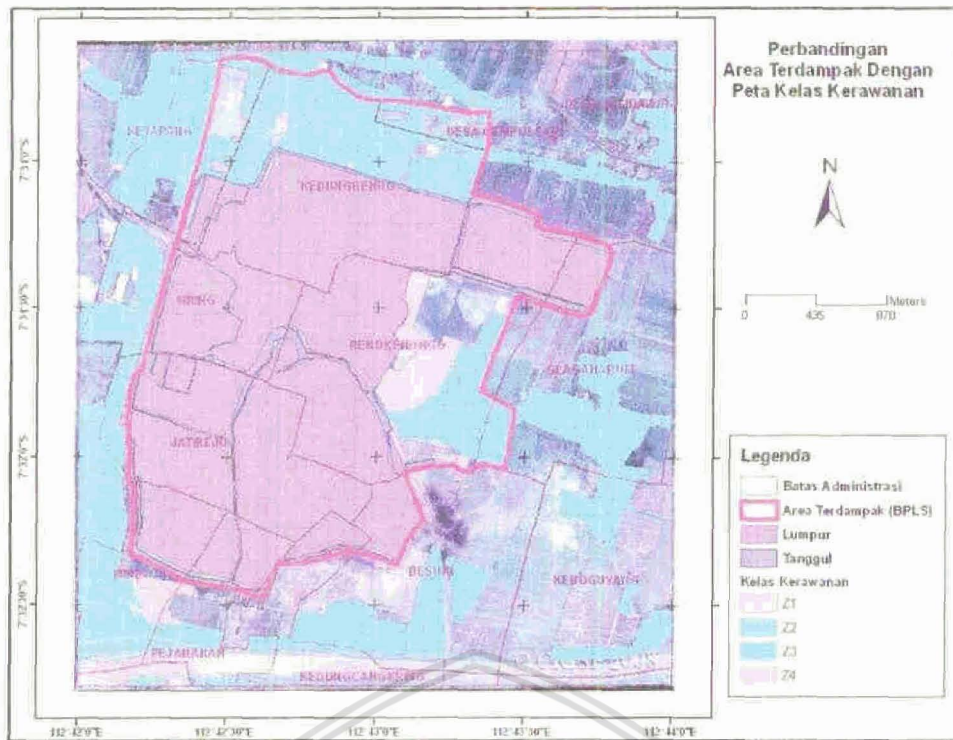
4.4 Perbandingan Peta Kelas Kerawanan Dengan Peta Terdampak (BPLS)

Pada penelitian ini dibandingkan kelas kerawanan yang dihasilkan dari proses analisa spasial dengan peta terdampak (dari BPLS). Gambar 10 menunjukkan *overlay* dari peta kelas kerawanan dengan peta terdampak.

Dari hasil analisa terlihat bahwa daerah pemukiman di dalam area terdampak berada dalam kategori kerawanan tinggi, sedang dan rendah. Hal ini berbeda dengan area terdampak dari BPLS yang mana tidak ada penggolongan kelas kerawanan. Sebagain besar area terdampak adalah area yang tergenang oleh luapan lumpur.

Dari gambar juga terlihat bahwa diluar area terdampak terdapat area dengan kelas kerawanan rendah (sebagian besar) dan sedang. Daerah diluar area terdampak ini seharusnya mendapatkan perlakuan khusus karena terkena dampak bencana tetapi berada diluar area terdampak. Selain itu perlu disiapkan kegiatan mitigasi untuk daerah kerawanan diluar area taerdampak.





Gambar 10 Overlay peta kelas kerawanan dengan area terdampak (BPLS)

4.5 Analisa Sensitivitas

Analisa sensitifitas digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan derajat keanggotaan dari kriteria terhadap kelas kerawanan. Untuk analisa sensitivitas, dilakukan uji coba pada nilai batas bawah, batas tengah atau batas atas (untuk mewakili derajat keanggotaan rendah, sedang dan tinggi) pada masing-masing kriteria.

Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan luas masing-masing zona kerawanan pada nilai batas bawah, batas tengah dan batas atas dari tiap kriteria. Pada batas bawah, zona Z1 menempati 4,94% total luas, Z2 menempati 22,18% area, Z3 dengan 52,25% dari total area. Pada batas tengah, zona Z1 mencakup luasan 7,5% area, Z2 seluas 23,46%, Z3 dengan 68,78% area dan Z4 hanya menempati 0,22% dari total area. Sedangkan pada batas atas, zona Z1 menempati luasan 18,16% area, Z2 mencakup 33,86% area, Z3 dengan 47,76% luasan dan Z4 dengan luas hanya sekitar 0,23% dari total area.

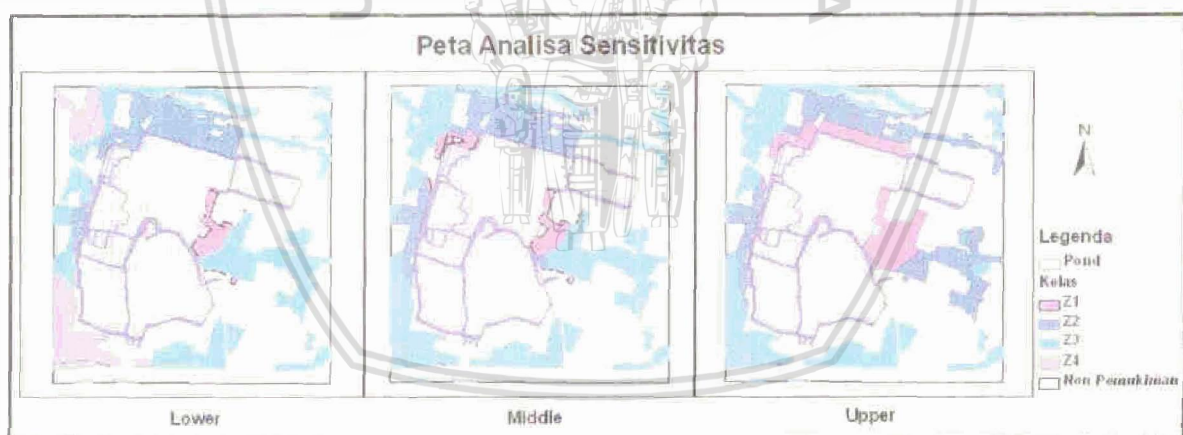
Tabel 4 Hasil perhitungan luas pada batas atas, tengah dan bawah

Batas Bawah			Batas Tengah			Batas Atas		
Kelas	Luas (m ²)	% Luas	Kelas	Luas (m ²)	% Luas	Kelas	Luas (m ²)	% Luas
Z1	196.528	4,94	Z1	299.801	7,54	Z1	722.305	18,16
Z2	882.251	22,18	Z2	933.274	23,46	Z2	1.346.846	33,86
Z3	2.078.818	52,25	Z3	2.735.689	68,78	Z3	1.899.612	47,76
Z4	820.678	20,63	Z4	8.918	0,22	Z4	9.044	0,23

Dari tabel tersebut juga terlihat bahwa urutan persentase luas (dari tinggi ke rendah) adalah sama pada batas tengah dan batas atas. Zona kerawan rendah (Z3) menempati luas tertinggi, diikuti dengan zona kerawanana sedang, zona kerawan tinggi dan terakhir zona aman/tidak rawan. Sedangkan pada batas bawah, zona aman menempati urutan ketiga dan urutan terakhir adalah zona kerawan tinggi. Dari kondisi ini dapat diartikan semakin tinggi derajat keanggotaan, *ranking* atau urutan kelas kerawan semakin mendekati stabil dan semakin rendah derajat keanggotaan, maka terdapat perubahan urutan kelas kerawan.

Namun demikian, jika dilihat dari luas dari masing-masing zona kerawan pada ketiga batas terdapat perbedaan luas pada tiap zona. Untuk zona Z1 dan Z2, luas pada batas bawah dan tengah berbeda tidak terlalu jauh. Sedangkan pada zona Z4 luas pada batas tengah dan atas juga hampir sama. Akan tetapi untuk zona Z3 besar luasannya berubah-ubah dengan perbedaan yang cukup besar. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa zona Z1 dan Z2 tidak begitu sensitif untuk nilai dari batas bawah sampai tengah, zona Z4 tidak begitu sensitif untuk nilai dari batas tengah sampai batas atas. Sedangkan Z3 sangat sensitif terhadap perubahan nilai kriteria.

Gambar 11 menunjukkan peta kelas kerawan pada ketiga nilai batas diatas. Dari gambar terlihat perubahan luasan masing-masing kelas kerawan dan cakupan dari tiap area.



Gambar 11 Tampilan peta hasil analisa sensitivitas

4.6 Perbandingan Kelas Kerawan Menggunakan Beberapa Metode

Pada penelitian ini dibandingkan kelas kerawan yang dihasilkan dari proses analisa spasial menggunakan *AHP*, *Fuzzy-AHP* (pada *confidence level* 100%) dan logika *Fuzzy*. Dimana analisa dengan menggunakan *AHP* dan *Fuzzy-AHP* mengacu pada hasil yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Dewi, 2008).

Tabel 5 Perbandingan persentase luas dengan AHP, Fuzzy-AHP dan Logika Fuzzy

Kelas	% Luas (AHP)	% Luas (Fuzzy-AHP)	% Luas (Logika Fuzzy)
Z1	4.7	10.9	4.98
Z2	2.0	25.0	22.14
Z3	72.6	49.6	71.11
Z4	20.6	14.4	1.77

Tabel 5 menunjukkan perbandingan persentase luas dari tiap kelas kerawanan menggunakan *AHP*, *Fuzzy-AHP* dan logika *Fuzzy*. Dari tabel terlihat bahwa dengan menggunakan metode yang berbeda akan menghasilkan persentase luasan yang berbeda untuk tiap kelas kerawanan. Disamping itu juga terlihat bahwa urutan kelas dari ketiga metode berbeda satu dengan yang lain. Namun demikian, jika kita perhatikan persentase luasan antara metode *AHP* dan logika *Fuzzy* hampir sama tetapi menempati kelas kerawanan yang berbeda. Hal ini karena antara kedua metode ini menggunakan nilai pembobotan kriteria yang sama yaitu *AHP* dan nilai kriteria yang dievaluasi berada pada angka yang sama. Sedangkan pada *Fuzzy-AHP* keseluruhan nilai kriteria dan bobotnya menggunakan *judgement* dari pakar/pembuat keputusan. Untuk mengetahui metode yang paling efektif, sampai saat ini belum ada pembandingan yang bisa digunakan sebagai acuan untuk validasi. Salah satu cara yang bisa digunakan sebagai acuan untuk validasi adalah dengan menggunakan *judgement* dari pakar yang terkait langsung dengan penanganan bencana ini (BPLS).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses dan analisa hasil yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini menerapkan fuzzy dalam proses analisa multi kriteria untuk melakukan standarisasi kriteria yang memiliki satuan yang berbeda-beda. Perhitungan nilai derajat keanggotaan dengan menggunakan fungsi *sigmoid* naik untuk kriteria gas metan, gas hidrogen sulfida dan gas karbon dioksida; fungsi *sigmoid* turun untuk kriteria kualitas air; dan fungsi linier naik untuk kriteria *subsidence* dan luapan lumpur. Sedangkan untuk analisa sensitifitas, digunakan nilai kriteria pada batas bawah, batas tengah dan batas atas.
2. Derajat keanggotaan yang diperoleh kemudian diaplikasikan pada data spasial untuk mendapatkan peta kerawanan bencana. Berdasarkan hasil analisa spasial diketahui bahwa sekitar 71% area dikategorikan kelas kerawanan rendah (Z3), daerah dengan kelas kerawanan sedang (Z2) mencakup luas sekitar 27%, kelas kerawanan tinggi (Z1) dan daerah tidak rawan secara berturut-turut hanya menempati luasan 5% dan 2% dari total area pemukiman. Dari hasil *overlay* peta kerawanan ini dengan peta terdampak dapat diketahui bahwa terdapat daerah diluar daerah terdampak yang termasuk dalam kelas kerawanan sedang dan rendah.
3. Berdasarkan analisa sensitifitas pada batas atas, batas tengah dan batas bawah juga diketahui bahwa zona Z1 dan Z2 tidak begitu sensitif untuk nilai dari batas bawah sampai tengah, zona Z4 tidak begitu sensitif untuk nilai dari batas tengah sampai batas atas, sedangkan Z3 sangat sensitif terhadap perubahan nilai kriteria.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dilakukan analisa spasial pada derajat keanggotaan yang lain untuk memperkaya hasil analisa data.
2. Dilakukan proses standarisasi dan agregasi menggunakan metode fuzzy yang lain seperti *Ordered Weighted Averaging* (OWA) sehingga dapat dilakukan perbandingan untuk mengetahui metode yang paling efektif dalam penentuan kelas kerawanan.

3. Dalam penelitian ini, proses spasial dilakukan secara manual dengan menggunakan fasilitas yang ada di ArcView dan memakan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu dalam pengembangannya, perlu dibuat aplikasi spasial yang menggunakan metode analisa multi kriteria dengan sehingga dapat mempercepat proses analisa spasial mengingat proses ini adalah bagian utama untuk menghasilkan area kerawanan bencana.



DAFTAR PUSTAKA

- Awad, Adnan. 2006. *Overview of Risk Factors Associated with Disposal of Sidoarjo Mud at Sea*. Report prepared for UNDP & Ministry of Environment Jakarta, Indonesia
- Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS). 2007. *Laporan Timnas Penanggulangan Semburan Lumpur Sidoarjo 2007*. Media Center Semburan lumpur, Sidoarjo.
- Burrough, P.A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press.
- Dewi, Candra. 2008. *Spatial Multi Criteria Analysis for Detecting Mud Volcano Vulnerable Area in Sidoarjo Regency, East Java Province*. Master Thesis, SEAMEO-Biotrop, IPB, Bogor.
- Kuswandari. 2004. *Assessment of Different Methods for Measuring the Sustainability of Forest management*. MSc Thesis. ITC, The Netherlands.
- Malczewski, Jacek. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Pohl, Christine. 2007. *Lapindo Brantas and The Mud Volcano Sidoarjo, Indonesia: A Background Paper Prepared for Friends of The Earth International And Friends of The Earth Europe*. Friends of the Earth International and Friends of the Earth Europe.
- Rashed, Tarek and John Weeks. 2003. *Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards Through Spatial Multicriteria Analysis Of Urban Areas*. International Journal Geographic Information Science. Taylor & Francis.
- Rumbudi, Djunaedi R. and Wawan H. 2007. *Penyelidikan Tatanan Air Tanah Kabupaten Sidoarjo dan Sekitarnya Terkait Terjadinya Semburan Lumpur*. Badan Geologi, Pusat Lingkungan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- United Nations Disaster Assessment and Coordination (UN). 2006. *Environmental Assessment Hot Mud Flow East Java, Indonesia*. Final Technical Report. UNEP/OCHA Environment Unit. Switzerland. <http://ochaonline.un.org/ochaunep>. Diakses pada Januari 2009.
- USGS. 2000. *Volcano Hazard-Assessment Techniques*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, USA. <http://volcanoes.usgs.gov/About/What/Assess/index.html>. Diakses pada Januari 2009.

Widodo, Amien. 2008. *Usulan Pemetaan Kawasan Berisiko di sekitar Tanggul Lumpur Lapindo*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Zischg, A, S. Fuchs and J. Atotter. 2005. *Uncertainties And Fuzziness In Analyzing Risk Related To Natural Hazard: A Case Study In The Ortles Alps, South Tyrol, Italy*. Department of Geography, University of Innsbruck, Austria.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : Biodata Tim Peneliti

BIODATA KETUA PENELITI

Nama : Candra Dewi, S.Kom, M.Sc.
 Tempat/Tanggal Lahir : Tulungagung, 14 Nopember 1977
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Bidang Keahlian : Multimedia, Sistem Informasi Geografis
 Mata Kuliah yang Diasuh : Pemrograman Berorientasi Obyek, Algoritma dan Struktur Data 2, Sistem Informasi Geografis, Jaringan Syaraf Tiruan, Logika Fuzzy, Sistem Pakar

Pendidikan

No	Tempat P	Kota/Negara	Thn Lulus	Bidang Studi
1	Sarjana, ITS	Surabaya/Indonesia	2001	Teknik Informatika
2	Master, SEAMEO-Biotrop-IPB	Bogor/Indonesia	2008	IT For Natural Resource Management

Penelitian yang sedang dilakukan :


No	Judul Penelitian	Ketua Peneliti/ Anggota	Sumber Dana	Tahun
1	-	-	-	-

Pengalaman penelitian yang relevan dengan proposal penelitian yang diajukan :

No	Judul Penelitian	Ketua Peneliti/ Anggota	Sumber Dana	Tahun
1	Pemanfaatan Analisa Data Geografik untuk Memprediksi Besarnya Erosi di Daerah Aliran Sungai	Ketua Peneliti	Mandiri	2001
2	Penentuan Area Hujan Menggunakan Poligon Thiessen dan Interpolasi Inverse Distance Weighted	Ketua Peneliti	DPP/SPP	2006
3	Spatial Multi Criteria Analysis for Detecting Mud Volcano Vulnerable Area In Sidoarjo Regency, East Java Province	Ketua Peneliti	Mandiri	2008

Biodata ini dibuat dengan sebenarnya.

Malang, 26 Nopember 2009


 Candra Dewi, S.Kom, M.Sc
 NIP. 19771114 200312 2 001

BIODATA ANGGOTA PENELITI

Nama lengkap : Bayu Rahayudi, MT, MM
 Tempat/Tanggal Lahir : Malang, 12 Juli 1974
 Jenis Kelamin : Laki-laki
 Bidang Keahlian : Grafika Komputer, Sistem Informasi Geografis
 Mata Kuliah yang diajarkan : Grafika Komputer, Organisasi dan Arsitektur Komputer

Pendidikan

No	Tempat Pendidikan	Kota	Tahun Lulus	Bidang Studi
1	Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	Surabaya	1999	Teknik Elektro
2	Magister, Universitas Brawijaya	Malang	2004	Manajemen
3	Magister, Institut Teknologi Bandung	Bandung	2006	Teknik Elektro

Penelitian yang sedang dilakukan :


No	Judul Penelitian	Ketua Peneliti/ Anggota	Sumber Dana	Tahun
1	-	-	-	-

Pengalaman penelitian yang relevan dengan proposal penelitian yang diajukan :

No	Judul Penelitian	Ketua Peneliti/ Anggota	Sumber Dana	Tahun
1	Visualisasi dan Pemetaan Data Kedalaman Air pada Bendungan/Waduk	Ketua	DPP/SPP	2007
2	Rekonstruksi Gambar 3 Dimensi dari 3 Buah Citra 2 Dimensi	Ketua	DPP/SPP	2008

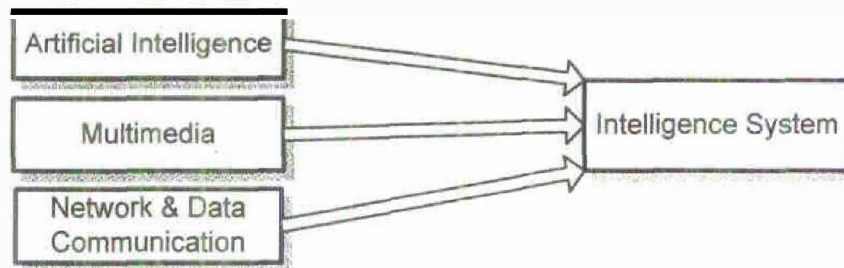
Bid* ini dibuat &&an sebenarnya.

Malang, 26 Nopember 2009


 Bayu Rahayudi, MT, MM
 NIP. 19740712 200604 1 001

LAMPIRAN 2 : Road Map Penelitian Program Studi Ilmu Komputer (2009 – 2012)

Sesuai dengan visi Program Studi (PS) Ilmu Komputer, yaitu “menjadi pusat pengembangan pendidikan dan penelitian ilmu komputer pada bidang sistem cerdas” maka ranah (*domain*) penelitian diarahkan untuk mendukung pengembangan sistem cerdas (*intelligencesystem*).



Ranah penelitian PS Ilmu komputer adalah:

1. **Artificial intelligence (AI)**, menyangkut penerapan dan pengembangan algoritma untuk mew tugas-tugas yang membutuhkan perilaku cerdas. Termasuk contohnya adalah pengendalian, perencanaan dan penjadwalan produksi, kemampuan untuk menjawab diagnosa dan pertanyaan pelanggan, serta pengenalan tulisan tangan, suara dan wajah. Penerapan AI pada data berukuran besar diarahkan pada pengembangan teknik *data mining* dan *text mining* yang berguna pada manajemen pengetahuan (*knowledge management*) dan ekstrasi informasi. Semua topik penelitian pada ranah ini memusatkan perhatian pada penyediaan solusi masalah kehidupan yang nyata.
2. **Multimedia**, menyangkut penggunaan komputer untuk menyajikan dan menggabungkan teks, suara, gambar, animasi dan video dengan alat bantu (*tool*). Penelitian yang dilakukan meliputi pemrosesan citra digital (kompresi, perbaikan/*enhancement*, restorasi, penyisipan *watermark*), pemrosesan suara (kompresi, penghilangan *noise*, penyisipan *watermark*). Digabungkan dengan algoritma pada artificial intelligence maka topik penelitian bisa diperluas pada bioinformatika untuk pengenalan pola (*pattern recognition*). Dengan menggunakan database dapat dibentuk *spatial database* yang digunakan dalam pengembangan sistem informasi geografis (*geographic information system / GIS*) untuk manajemen sumber daya alam (*natural resources management*).
3. **Network & Data Communication**, menyangkut proses pengiriman dan penerimaan data/informasi dari dua atau lebih device (alat, seperti komputer/laptop/printer/dan alat

komunikasi lain) yang terhubung dalam sebuah jaringan. Baik lokal maupun yang luas, seperti internet. Dalam ranah ini dikembangkan algoritma penjadwalan, kompresi dan *routing* yang efisien untuk pengiriman data.

Artificial intelligence (AI)

Periode	(1) Sain	(2) Produk	(3) Proses	(4) Utilisasi
2009-2012	Mengembangkan model untuk masalah optimasi	Tersedianya software yang tepat untuk masalah optimasi	Meningkatkan efisiensi waktu optimasi	Penyelesaian masalah nyata dengan teknik optimasi

Multimedia

Periode	(1) Sain	(2) Produk	(3) Proses	(4) Utilisasi
2009-2012	Mengembangkan algoritma kompresi citra	Tersedianya software kompresi citra	Meningkatkan rasio kompresi komputasi kompresi	Pengembangan software kompresi citra yang layak jual
	Mengembangkan model database dan aplikasi spatial	Tersedianya software pemrosesan data spatial	Efisiensi waktu pemrosesan data	Penerapan model pada pengembangan GIS

Network & Data Communication

Periode	(1) Sain	(2) Produk	(3) Proses	(4) Utilisasi
2009-2012	Mengembangkan algoritma pengiriman data	Tersedianya algoritma yang efisien untuk pengiriman data	Meningkatkan waktu pengiriman data	Aplikasi algoritma pada jaringan nyata

LAMPIRAN 3 : Konsentrasi Gas dari Bubble

No	No. Bubble	Tanggal Aktif	CH4 (%LEL)	H2S (PPM)	CO2(% Vol)
1	1	29 Mei 2006	7	23	
2	36	28 Nov 2006	100		
3	50	7 Jan 2007	25	12	
4	61	4 April 2007	83	0	6.0
5	65	15 Mei 2007	3	0	
6	66		27	0	
7	68	29 Mei 2007	100	35	
8	71	3 Sep 2007	2	0	
9	72	8 Nov 2007	100	18	
10	73	11 Nov 2007	100	3	7.4
11	74	26 Nov 2007	100	0	
12	75	11 Jan 2008	5	0	
13	76	12 Jan 2008	100	0	8.2
14	77	21 Jan 2008	12	0	
15	78	23 Jan 2008	100	0	7.0
16	79	28 Jan 2008	100	1	2.4
17	80	7 Feb 2008	0	0	6.5
18	81	8 Feb 2008	100	0	1.5
19	82	8 Feb 2008	100	0	
20	83		100	0	0.5

LAMPIRAN 4 : Data Sifat Fisik dan Kimiawi Air

No	ID Titik	Lokasi	Sifat Fisik			Sifat Kimia									
			Kekeruhan (NTU)	Warna (TCU)	TDS	pH	CaCO3 (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Na (mg/l)	NH4 (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)
Standard Limit (Menteri Kesehatan No. 907/MENKES/SK/VII/2002)			5	15	1000	6,5-8,5	500	0.3	0.1	200	1.5	250	250	3	50
1	SG28	Bp. Gufron, Ds.Kalidawir, Tglangin	0	3	1404	7.43	704.2	0	0.31	114	5	383.6	20.2	0	0.3
2	SG30	Bp.Rojih,Ds. Sentul, Tglangin	2	0	2688	7.28	1355.7	0	0	388	2.5	1356.2	89.6	0	1.4
3	SG32	B.Suryati, Renokenongo, Porong	3	0	1700	7.14	1291.7	1.2	0.16	100	2.1	724.1	72.9	0.01	0.4
4	SG34	Bp. Safi'l, Besuki, Porong	8	0	1116	7.27	331.4	0	0	300	1.7	313.1	44.6	0.01	0.2
5	SG36	Pabrik Krupuk Bp.Hasan, Pejarakan, Jabon	2	0	588	7.45	305	0	0	102	0.3	65.8	18.7	0	0.1
6	SG39	B.Sri, Gedang, Porong	3	5	496	7.37	316.3	2.28	0.61	72	0.6	62.2	74.9	0	0.1
7	SG41	Pos Jaga Pintu KA Siring	3	0	5720	6.96	2397	2.52	5.2	1420	14	3718.3	35.5	0.02	2
8	SG43	PT Candi Oksigen, Siring	1	0	1448	7.42	293.7	0.96	2.3	420	2	571.4	31.7	0	0.1
9	SG44	Bp.Suprayitno, Ketapang, Tgangan	2	10	472	7.61	224.5	0	0	68	0.5	57.1	36.4	0	0.1
10	SG46	Bp.Abd Wahid, Beringin, Pamotan	2	0	1164	7.42	327.6	0	0	250	10	244.6	77.8	0.01	1.1
11	SB35	PT Jatim Autocom, Wonoayu	5	25	564	8.48	17.5	0.4	0	232	0.5	52.1	13.6	0.01	2.2
12	SB50	Semburan, Jatirejo	0	0	3096	7.26	382.2	0	0	1208	0	1321	295	0	0.2
13	AB116	Siring	400	12	8440	6.61	2108.9	21.08	0.17	3000	4.4	5623.4	205.5	0.02	0.4
15	AB117	Mindi	36	10	356	7.6	210.9	4.8	0	48	1.1	88.5	22.2	0	0.3
14	AL31	Inside Pond	0	15	22100	7.58	8661.7	22.08	0	5600	180	15656	151.6	0.5	0.1
16	AL40	Titik tanggul 46	0	10	16120	7.7	2628.6	0	0	6800	170	13307.6	80	0.03	10

LAMPIRAN 5 : Skala Perbandingan Berpasangan dari Kriteria

1100138

Kriteria	Subsidence	Bubble	Frekuensi Luapan	Kualitas Air
Subsidence	0.111	0.091	0.143	0.087
Bubble	0.222	0.182	0.214	0.130
Frekuensi Luapan	0.333	0.364	0.429	0.522
Kualitas Air	0.333	0.364	0.214	0.261

Bubble	Methan	Hidrogen Sulfida	Karbon Dioksida
Methan	0.652	0.692	0.556
Hidrogen Sulfida	0.217	0.231	0.333
Karbon Dioksida	0.130	0.077	0.111

