

KAJIAN KERAWANAN GEMPABUMI BERBASIS SIG DALAM UPAYA MITIGASI BENCANA STUDI KASUS KABUPATEN DAN KOTA SUKABUMI

Bambang Sunardi^{1,2}, Drajat Ngadmanto¹, Thomas Hardy¹, Pupung Susilanto¹, Boko Nurdyanto¹

¹ Puslitbang Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

² Magister Teknik Sipil Konsentrasi Manajemen Rekayasa Kegempaan UII, Yogyakarta

bambang.sunardi@bmgk.go.id / b.sunardi@gmail.com

ABSTRAK

Kajian tingkat kerawanan gempabumi untuk Kabupaten dan Kota Sukabumi telah dilakukan menggunakan metode yang berbasis pada sistem informasi geografis (SIG). Peta mikrozonasi tingkat kerawanan gempabumi dibuat berdasarkan analisis multikriteria memanfaatkan data-data pengukuran mikrotremor, kegempaan dan geologi. Analisis multikriteria yang dipergunakan adalah model pembobotan sederhana (*simple additive weight*). Data mikrotremor diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *digital portable seismograph* di 79 lokasi yang tersebar di Kabupaten dan Kota Sukabumi dengan durasi pengukuran masing-masing 30 menit pada interval sampling 100 Hz. Dari hasil analisis tingkat kerawanan gempabumi berdasarkan analisis multikriteria dengan metode *simple additive weight*, Kabupaten dan Kota Sukabumi dapat dibagi menjadi lima tingkat kerawanan gempabumi mulai dari tingkat kerawanan sangat rendah sampai tingkat kerawanan sangat tinggi. Hasil kajian tersaji dalam peta-peta tematik yang tersusun menjadi suatu sistem informasi kerawanan gempabumi. Sistem informasi ini terdiri dari peta tingkat kerawanan gempabumi yang dilengkapi dengan peta tematik parameter parameter penyusunnya yaitu peta geologi, peta nilai periode dominan, peta percepatan tanah maksimum dan peta nilai faktor amplifikasi. Dari peta tingkat kerawanan gempabumi Kabupaten dan Kota Sukabumi diketahui zona kerawanan gempabumi tinggi - sangat tinggi terkonsentrasi di sepanjang patahan cimandiri yang membentang dengan arah barat daya-timur laut.

Kata kunci : Kerawanan gempabumi, SIG, mikrozonasi, *simple additive weight*, mikrotremor.

Pendahuluan

Indonesia merupakan daerah kepulauan yang terletak pada batas pertemuan empat lempeng besar dunia yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng mikro Philipina. Pertemuan antar lempeng ini merupakan daerah sumber gempabumi. Lempeng Indo-Australia sebagai lempeng samudera bergerak kearah utara timur laut menyusup dibawah lempeng Eurasia sebagai lempeng kontinen. Pertemuan kedua lempeng ini ada di laut yang merupakan sumber gempa dangkal. Semakin ke utara semakin dalam penyusupannya sehingga sumber gempanya pun semakin ke utara semakin dalam. Sementara itu distribusi gempabumi yang terjadi di wilayah timur Indonesia merupakan produk tumbukan antara lempeng Pasifik dengan lempeng Eurasia maupun tumbukan antara lempeng Pasifik dengan lempeng Indo-Australia juga tumbukan antara lempeng Pasifik dengan lempeng Philipina. Dampak kondisi tektonik yang sedemikian inilah yang menjadikan Indonesia sangat rawan terhadap bencana gempabumi (Puslitbang BMKG, 2009). Besarnya potensi kegempaan di wilayah Indonesia ini tidak disertai dengan tingkat kesiap-siagaan masyarakat dan pemerintah dalam mengantisipasi potensi bencana tersebut yang berakibat pada besarnya jumlah korban jiwa dan kerusakan yang terjadi di daerah bencana.

Fenomena alam gempabumi sampai saat ini belum bisa diprediksi tempat maupun waktu kejadiannya secara tepat. Bahaya gempabumi tidak bisa dihindarkan namun dampaknya dapat dikurangi melalui kegiatan pengkajian karakteristik gempabumi di suatu wilayah yang nantinya diaplikasikan dalam pemilihan metode dan kebijakan penanganan risiko bencana. Kawasan pemukiman yang berdekatan dengan sumber gempabumi merupakan kawasan yang sangat rawan gempabumi, oleh karena itu perlu diupayakan langkah-langkah strategis untuk melindungi masyarakat dengan tindakan dan mitigasi bencana yang merupakan upaya untuk mengurangi atau memperkecil dampak kerugian atau kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh bencana (Bakornas PBP, 2002)..

Untuk meminimalisasi dampak bencana, upaya mitigasi perlu dilakukan secara dini dan optimal. Upaya mitigasi dapat dilakukan dengan penelitian ilmu kebumihantaran yang makin intensif, pemasangan jaringan pemantau yang representatif dan mutakhir, pembuatan sistem informasi kerawanan kegempaan serta diseminasi informasi. Upaya mitigasi dan pencegahan bencana sebagai bagian dari pengelolaan bencana merupakan bagian yang penting untuk menekan kerugian akibat bencana. Pengurangan tingkat risiko dari suatu ancaman bencana dapat dilakukan secara fisik maupun non-fisik melalui penekanan tingkat ancaman atau pengurangan kerentanan. Ada tiga langkah upaya yang dapat dilakukan dalam mengurangi dampak bencana, yaitu: Memahami kerawanan (ancaman) bencana suatu wilayah, memahami kerentanan wilayah dan melakukan upaya tindak lanjut misalnya dengan membangun sistem peringatan dini (*early warning system*), peta kerawanan bencana dan lain-lain.

Perkembangan teknologi informasi, baik perangkat keras maupun lunak salah satunya SIG (Sistem Informasi Geografis) dapat menjadi solusi dari berbagai permasalahan yang menyangkut keruangan. Teknologi SIG mengintegrasikan operasi basis data dan analisis statistik dengan visualisasi yang unik serta analisis spasial yang ditawarkan melalui bentuk peta digital. Kemampuan tersebutlah yang membedakan SIG dengan Sistem Informasi lain, sehingga membuat SIG lebih bermanfaat dalam memberikan informasi yang mendekati kondisi dunia nyata, memprediksi suatu hasil, dan untuk perencanaan strategis. Demikian juga dalam menyimpulkan tingkatan kerawanan kerawanan gempabumi telah dimanfaatkan SIG untuk menghasilkan peta tematik (*thematic map*) dan peta akhir (*final map*) berupa peta tingkat kerawanan kerawanan gempabumi. Sistem informasi kerawanan kerawanan gempabumi ini sebagai upaya untuk memberikan kontribusi dalam mengurangi dampak dan kerugian yang diakibatkan oleh gempabumi.

Kajian ini dilakukan untuk memberikan informasi tingkat kerawanan gempabumi Kabupaten dan Kota Sukabumi dengan menggunakan analisis multikriteria meliputi kondisi geologi yang mencakup zona sesar dan kelompok batuan, nilai percepatan getaran tanah maksimum, nilai periode dominan tanah dan nilai faktor amplifikasi. Dari beberapa kriteria tersebut diharapkan didapat peta tingkat kerawanan gempabumi sehingga dapat dipergunakan sebagai salah satu upaya mitigasi bencana gempabumi. Pada daerah dengan tingkat kerawanan gempabumi yang tinggi tentunya disarankan untuk mendirikan bangunan-bangunan dengan struktur tahan gempa agar bila terjadi gempabumi akan dapat meminimalisir jumlah korban.

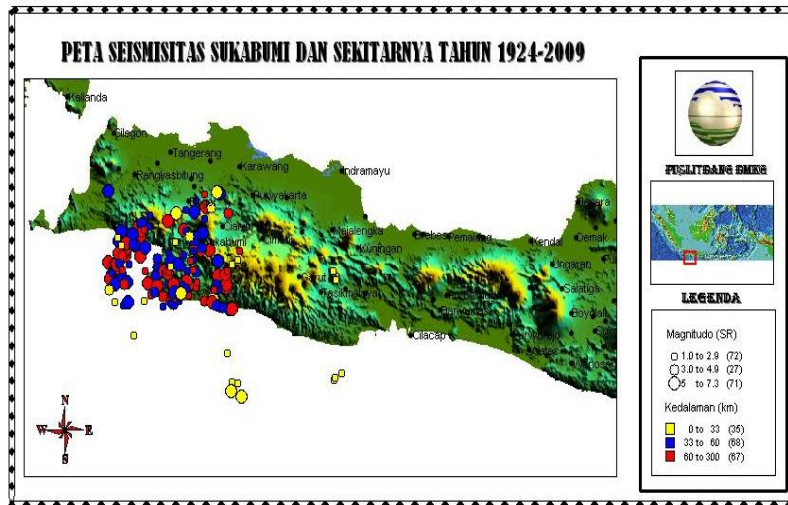
Tatanan Tektonik dan Kegempaan

Tektonik Jawa didominasi oleh tunjaman ke utara lempeng Australia di bawah lempeng Sunda yang relatif diam dan diperkirakan kecepatan pergerakannya 6 cm/th dengan arah mendekati normal terhadap palung. Lempeng Australia menunjam dengan kedalaman 100-200 km dibawah pulau Jawa dan 600 km di utara Jawa. Akibat tunjaman tersebut terbentuk struktur-struktur geologi regional di wilayah daratan Jawa. Struktur tersebut dapat diamati di daratan Jawa bagian barat hingga Jawa bagian timur, di antaranya Sesar Banten, Sesar Cimandiri, Sesar Citarik, Sesar Baribis, Sesar Citanduy, Sesar Bumiayu, Sesar Kebumen – Semarang - Jepara, Sesar Lasem, Sesar Rawapening, Sesar Opak, Sesar Pacitan, Sesar Wonogiri, Sesar Pasuruan, dan Sesar Jember (Soehaimi, 2008). Konsekuensi lain dari tunjaman lempeng tersebut adalah mengakibatkan kegempaan yang tinggi dan lebih dari 20 gunung api aktif di zona ini.

Kondisi geologi Sukabumi berhubungan erat dengan kondisi geologi Jawa Barat bagian selatan pada umumnya. Tumbukan lempeng Indo-Australia dan Eurasia di bagian selatan Jawa mengakibatkan timbulnya sesar aktif Cimandiri. Sesar Cimandiri adalah sesar aktif yang terdapat di Sukabumi Selatan. Sesar yang memanjang Barat-Timur ini belum sepenuhnya diketahui karakternya. Dari penelitian di lapangan disimpulkan bahwa Sesar Cimandiri dapat dibagi menjadi 5 segmen mulai dari Pelabuhan Ratu sampai Gandasoli. Kelima segmen sesar Cimandiri tersebut adalah segmen sesar Cimandiri Pelabuhan Ratu – Citarik, Citarik – Cadasmalang, Ciceureum – Cirampo, Cirampo – Pangleseran dan Pangleseran – Gandasoli. Sesar ini dipotong oleh beberapa sesar lain yang cukup besar seperti sesar Citarik, sesar Cicareuh dan sesar Cicatih (Eddy Z. Gaffar, 2006).

Potensi kegempaan di Sukabumi tergolong cukup besar. Catatan gempabumi yang ada menunjukkan gempabumi dengan magnitude lebih dari 4 SR sering terjadi di Sukabumi dan menimbulkan cukup banyak kerusakan. Gempabumi yang pernah terjadi antara lain pada tahun 1900, 2 November 1962 (5.4 RS), 10 Februari 1982 (5.5 RS), 12 Juli 2000 (5.1 RS). Tahun 2006 juga terjadi beberapa gempa dengan kekuatan sedang di daerah ini. Episentris gempabumi terletak di zona sesar

Cimandiri yang mengindikasikan sesar Cimandiri sebagai sesar aktif (Heru, S.N., 2004). Catatan-catatan kegempaan di daerah sesar Cimandiri tersebut memberikan fakta bahwa potensi kegempaan di daerah ini cukup besar. Dengan demikian potensi bencana di daerah ini pun akan besar pula.



Gambar 1. Kegempaan Sukabumi dan sekitarnya 1924-2009 (sumber: katalog USGS).

Data Dan Metodologi

Data

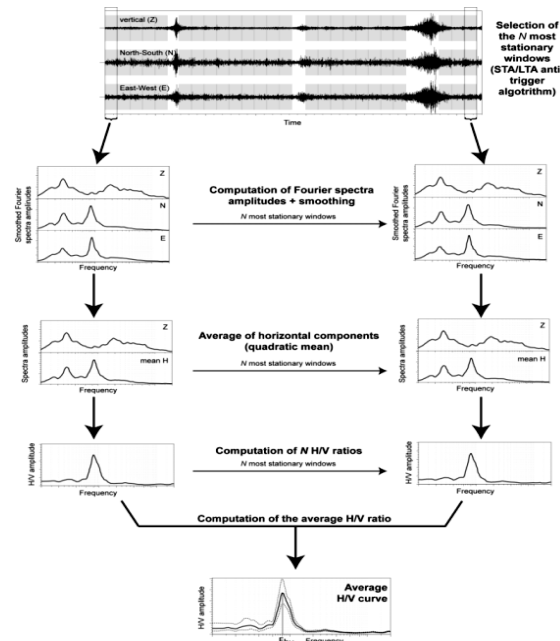
Data yang digunakan dalam penelitian adalah data mikrotremor, geologi, kegempaan serta data-data kependudukan. Data mikrotremor diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan *digital portable seismograph* di 79 lokasi yang tersebar di Kabupaten dan Kota Sukabumi dengan durasi pengukuran masing-masing 30 menit pada interval sampling 100 Hz. Dari data mikrotremor selanjutnya dapat ditentukan nilai frekuensi / periode dominan dan faktor amplifikasi untuk masing-masing titik pengukuran. Nilai percepatan tanah maksimum secara empiris dapat ditentukan berdasarkan metode Kannai dengan input data periode dominan serta data-data historis kegempaan yang pernah terjadi pada radius 300 km dari Kabupaten dan Kota Sukabumi. Sementara dari peta geologi akan didapat data kelompok batuan dan zona sesar. Data-data diatas akan digunakan dalam analisis untuk mendapatkan peta kerawanan gempabumi di Kabupaten dan Kota Sukabumi.

Metode HVSR

Metode HVSR awalnya diperkenalkan oleh Nogoshi and Igarashi (1971) kemudian diperkenalkan secara meluas oleh Nakamura (1989) sehingga metode ini biasa dikenal juga dengan teknik Nakamura. Metode HVSR didasarkan pada perbandingan spektral amplitudo komponen horisontal terhadap komponen vertikal (Nakamura, 1989). Perbandingan spektral antara komponen horisontal dan komponen vertikal dapat dihitung dengan persamaan :

$$\frac{A_{east}}{A_{north}} \text{ and } \frac{A_{east}}{A_{vertical}}$$

dimana A_{east} , A_{north} and $A_{vertical}$ berturut-turut adalah spektral amplitudo komponen EW, NS dan komponen V.



Gambar 2. Deskripsi komputasi metode HVSR (Nakamura, 1989).

Metode Kannai

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah merupakan gangguan yang perlu dikaji untuk setiap gempa bumi, kemudian dipilih percepatan getaran tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk dipetakan agar bisa memberikan pengertian tentang efek paling parah yang pernah dialami suatu lokasi (Edwiza, 2008).

Pengukuran percepatan tanah maksimum bisa dilakukan dengan *strong ground motion seismograph* atau *accelerograph* yang dipasang pada lokasi yang ingin dicari nilai percepatan tanah maksimumnya. Estimasi percepatan tanah maksimum juga bisa dilakukan dengan perhitungan secara empiris. Percepatan tanah permukaan di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) di tempat tersebut (Kannai, 1966). Sifat-sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode dominan tanah (*predominant period*) dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik. Periode getaran seismik dan periode dominan tanah akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*). Sedangkan perbedaan respon seismik pada *base rock* dengan respon seismik pada *ground surface* akan menentukan faktor perbesaran. Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, Kannai memformulasikan sebuah rumus empiris percepatan tanah pada permukaan yang dirumuskan sebagai berikut (Kannai dalam Brotopuspito dkk., 2006) :

$$\text{---}$$

Dengan α , T_g , M dan R masing-masing adalah percepatan getaran tanah titik pengukuran (gal), periode dominan tanah titik pengukuran(s), magnitudo gempa (Skala Richter) serta jarak hiposenter (km). $a_1 = 5$, $a_2 = 0.61$, — dan —.

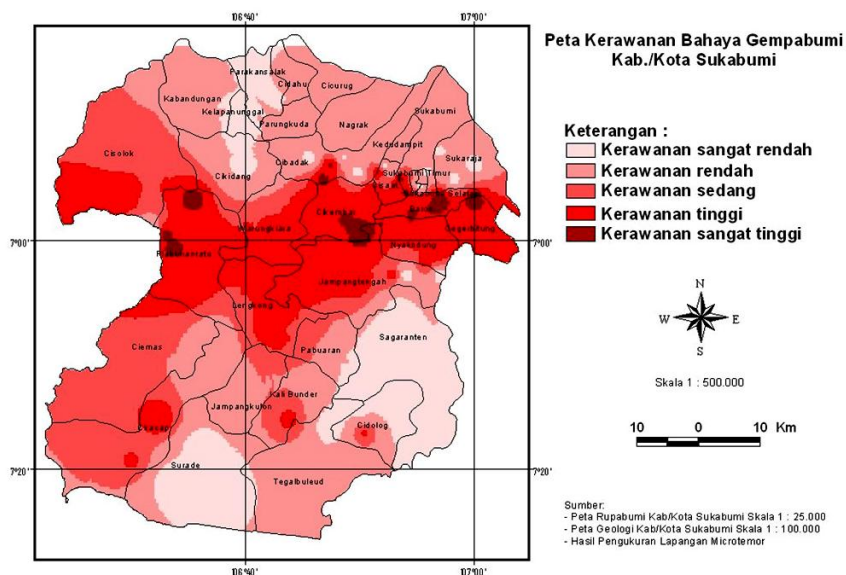
Metode SAW

Analisis tingkat kerawanan gempa bumi di Kabupaten dan Kota Sukabumi dilakukan dengan menggunakan analisis keputusan multikriteria. Pada analisis multikriteria seringkali objek yang satu berbenturan dengan objek yang lainnya (seperti satu objek memperbaiki dan objek yang lain mungkin memperburuk). Analisis dimensional dapat membantu para pembuat keputusan agar dapat mengambil keputusan yang lebih baik pada kondisi tersebut (Malczewski, 1999 dalam Setiawan, 2009). Analisis keputusan multikriteria spasial dapat dipikirkan sebagai proses yang menggabungkan

dilengkapi dengan peta tematik parameter-parameter penyusunnya yaitu peta geologi, peta nilai periode dominan, peta percepatan tanah maksimum dan peta nilai faktor amplifikasi.

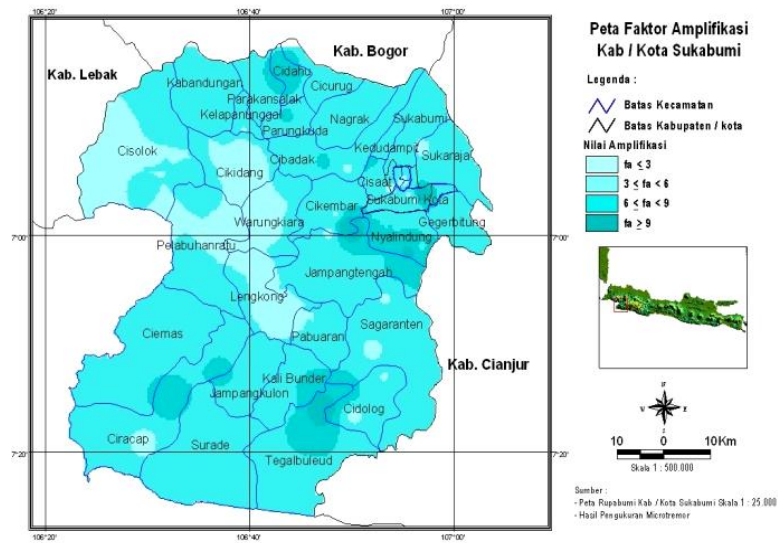
Tumpang-susun (*overlay*) dari peta-peta nilai periode dominan, nilai faktor amplifikasi, nilai PGA, zona sesar dan kelompok batuan ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan pembobotan yang telah dilakukan diperoleh peta hasil akhir tingkat kerawanan gempa bumi Kabupaten dan Kota Sukabumi. Peta ini merupakan hasil akhir dari analisis multikriteria dengan metode SAW yang ditampilkan dalam gradasi warna sesuai dengan skor total pembobotan dari penjumlahan masing-masing atribut/kriteria penyusun. Skor total yang didapat adalah dari 0.5 – 1.7 yang kemudian dibagi dalam 5 macam klasifikasi tingkat kerawanan gempa bumi. Kerawanan sangat rendah (skor total pembobotan 0.5 – 0.7, Kerawanan rendah (skor total pembobotan >0.7 – 1), Kerawanan sedang (skor total pembobotan >1 – 1.2), Kerawanan tinggi (skor total pembobotan >1.2 – 1.4), Kerawanan sangat tinggi (skor total pembobotan >1.4 – 1.7).

Dari kontur peta tingkat kerawanan gempa bumi tersebut terlihat bahwa tidak ada daerah Sukabumi yang benar-benar aman. Hanya sedikit yaitu sebagian Kecamatan Parakansalak, sebagian Kecamatan Kelapanunggal, sebagian Kecamatan Surade dan sebagian Kecamatan Sagaranten. Sedangkan daerah lain tampak merupakan daerah dengan kerawanan rendah sampai tinggi, bahkan beberapa tempat masuk kategori kerawanan sangat tinggi. Di bagian tengah Sukabumi yaitu Kecamatan Pelabuhanratu, Warungkiara, Cibadak, Cikembar, Lengkong, Jampang Tengah, Nyalindung, Gegerbitung dan Kota Sukabumi merupakan daerah dengan tingkat kerawanan yang tinggi, sedangkan sebagian Kecamatan Pelabuhanratu, Cibadak, Cikembar dan Kota Sukabumi masuk ke dalam tingkatan kerawanan sangat tinggi. Hal ini disebabkan karena daerah-daerah ini masuk dalam zona sesar Cimandiri yang merupakan salah satu sesar aktif di Jawa Barat. Untuk daerah-daerah lain seperti Kecamatan Kabandungan, Nagrak, Cicurug, Ciemas, Jampangkulon dan Tegalbuleud merupakan daerah-daerah dengan tingkat kerawanan yang ringan sampai sedang.



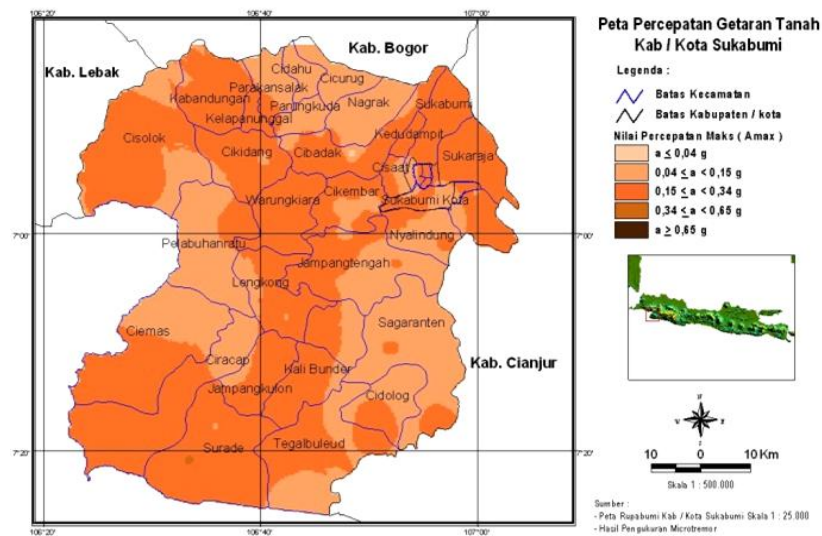
Gambar 5. Peta tingkat kerawanan gempa bumi Kabupaten dan Kota Sukabumi.

Tingkat kerawanan gempa bumi Kabupaten dan Kota Sukabumi secara kuantitatif maupun kualitatif juga terlihat dari peta-peta tematik penyusunnya. Secara kualitatif terlihat bahwa di Kabupaten dan Kota Sukabumi terdapat zona sesar Cimandiri, yang secara historis telah beberapa kali menjadi sumber dari gempa bumi yang terjadi di daerah tersebut. Demikian pula dengan kondisi geologi yang berkenaan dengan kelompok batuan penyusunnya, terlihat bahwa sebagian Sukabumi tersusun dari endapan laut (sedimen) yang lunak dan lepas sehingga akan berbahaya bila terjadi gempa bumi (Gambar 6). Secara kuantitatif nilai-nilai besaran masing-masing kriteria yang terukur di Kabupaten dan Kota Sukabumi seperti ditunjukkan dalam Gambar 7-9.



Gambar 8. Peta faktor amplifikasi Kabupaten dan Kota Sukabumi.

Nilai PGA yang berhubungan dengan tingkat potensi kerusakan di Kabupaten dan Kota Sukabumi mempunyai nilai dominan antara 0,04 – 0,34 g yang menunjukkan potensi kerusakan sedang, namun ada beberapa tempat mencapai PGA di atas 0,65 g yang berarti mempunyai tingkat potensi kerusakan yang sangat hebat.

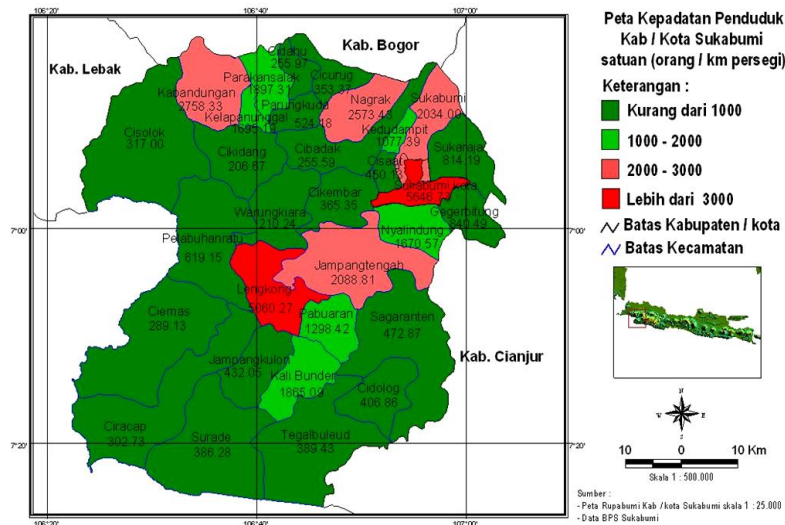


Gambar 9. Peta percepatan getaran tanah Kabupaten dan Kota Sukabumi.

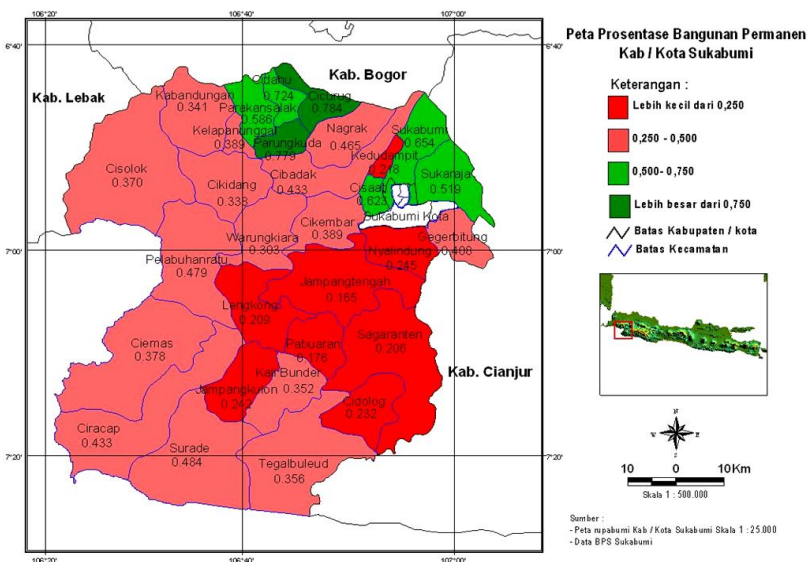
Dari peta tingkat kerawanan gempabumi Kabupaten dan Kota Sukabumi nampak bahwa zona sesar memberi kontribusi yang cukup signifikan dibanding kriteria yang lain walaupun secara perhitungan diberi bobot yang sama. Daerah yang memiliki tingkat kerawanan gempabumi tinggi terdapat pada kecamatan Pelabuhanratu, bergerak ke timur, melalui kecamatan Lengkong, Kec. Warungkiara, Kec. Jampang Tengah, Kec. Nyalindung, Kec. Baros, Kec. Cisaat, Kec. Gegerbitung, dan Kec. Sukabumi. Jika dilihat pada peta geologi pada (Gambar 6) daerah-daerah tersebut merupakan zona sesar Cimandiri dan sesar-sesar ikutannya. Dalam catatan sejarah tercatat bahwa ada beberapa gempa merusak yang terjadi akibat pergerakan zona sesar ini antara lain gempabumi Gandasoli tahun 1982 dan gempabumi Cibadak tahun 2000.

Sistem informasi ini juga dilengkapi dengan peta kerentanan (*vulnerability maps*) terdiri dari peta kepadatan penduduk per kecamatan dan peta prosentase bangunan permanen per kecamatan (Gambar 10-11). Peta kerentanan yang ditunjukkan oleh peta kepadatan penduduk dan peta prosentase bangunan permanen dapat dipergunakan untuk analisa risiko suatu daerah apabila terjadi

gempabumi. Secara teori risiko merupakan fungsi dari bahaya, kerentanan dan kapasitas, sehingga faktor bahaya kerentanan dan kapasitas sama-sama memberi sumbangan pada analisis risiko kebencanaan.



Gambar 10. Peta kepadatan penduduk Kabupaten dan Kota Sukabumi (Data BPS, 2009).



Gambar 11. Peta prosentase bangunan permanen Kabupaten dan Kota Sukabumi (Data BPS,2009).

Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis multikriteria dengan metode SAW Kabupaten dan Kota Sukabumi terbagi menjadi lima tingkat kerawanan gempabumi dari tingkat kerawanan sangat rendah sampai tingkat kerawanan sangat tinggi.
2. Daerah – daerah dengan tingkat kerawanan sangat tinggi meliputi sebagian Kecamatan Pelabuhanratu, Cibadak, Cikembar dan Kota Sukabumi.
3. Daerah – daerah dengan tingkat kerawanan tinggi meliputi Kecamatan Warungkiara, Kec. Cibadak, Kec. Cikembar, Kec. Lengkong, Kec. Jampang Tengah, Kec. Nyalindung, Kec. Gegerbitung dan Kota Sukabumi.
4. Dari peta tingkat kerawanan gempabumi Kabupaten dan Kota Sukabumi nampak bahwa zona kerawanan gempabumi tinggi - sangat tinggi terkonsentrasi di sepanjang patahan cimandiri yang membentang dengan arah barat daya-timur laut.

Referensi

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukabumi, 2009, Kabupaten Sukabumi dalam Angka 2009, Sukabumi.
- Bakornas PBP, 2002, Arahan Kebijakan Mitigasi Bencana Perkotaan.
- Brotopuspito K.S., Prasetya T, Widigdo FM, 2006, Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943-2006, Jurnal Geofisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Eddy Z. Gaffar, 2006, Deformasi Kerak Bumi Segmen-Segmen Sesar Cimandiri, Prosiding Seminar Geoteknologi Peluang dan Peran Ilmu Kebumihan Dalam Pembangunan Berkelanjutan, Geotek LIPI.
- Edwiza Daz dan Sri Novita, 2008, Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metoda Kannai, Repository Universitas Andalas, Padang.
- Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation, 62 pages, April 2005.
- Heru S.N., 2004, Kajian Patahan Cimandiri Terhadap Aktivitas Kegempaan Di Sukabumi dan Sekitarnya, Serat Antisipasi Kejadian Di Masa yang Akan Datang.
- <http://www.usgs.gov>
- Nakamura, Y. 1989, A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly report Railway Technical Research Institute.
- Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Report of the Railway Technical Research Institue 30 (1), 25-30.
- Nogoshi M. and Igarashi T. (1971) On the amplitude characteristics of microtremor (part 2) (in Japanese with english abstract). Journal of seismological Society of Japan, 24, 26-40.
- Puslitbang BMKG, 2009, Modul Analisis Prediktabilitas dan Pengembangan Model Gempabumi dan Tsunami, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Setiawan J.H., 2008, Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya, Thesis Magister ITB, Bandung.
- Soehaimi, A., 2008, Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa, Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 3 No. 4 Desember 2008: 227-240.