

Peranan geologi tata lingkungan dalam penataan ruang Kota Padang pasca Gempa Bumi 30 September 2009

Andiani, Alwin Darmawan, Indra Badri, dan Arief Kurniawan

Badan Geologi

Jln. Diponegoro 57 Bandung 40122

SARI

Gempa bumi Padang-Pariaman yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 berkekuatan 7,6 SR telah mengakibatkan korban jiwa dan harta benda di Kota Padang dan sekitarnya. Pasca kejadian gempa bumi, Kota Padang memasuki tahap rehabilitasi dan rekonstruksi yang diawali dengan penyusunan kembali rencana tata ruang wilayah tersebut. Penyusunan kembali rencana tata ruang wilayah kota Padang pasca gempa bumi merupakan tahap yang sangat menentukan karena tata ruang akan menentukan apakah wilayah ini menjadi semakin rentan atau semakin kuat ketahanannya di masa datang dalam menghadapi bencana yang sama. Meningkatnya ketahanan wilayah ini dapat tercapai bila unsur-unsur geologi lingkungan berupa kendala geologi dan sumber daya geologi diintegrasikan dalam rencana tata ruang wilayah. Analisis geologi lingkungan ditujukan untuk dapat memberikan informasi lingkungan geologi yang sesuai dengan penggunaan lahan untuk memperkecil dampak negatif yang diakibatkan oleh suatu pengembangan wilayah. Metoda yang digunakan untuk menunjang pemetaan geologi lingkungan yaitu berdasarkan pada analisis aspek geologi lingkungan seperti faktor kondisi fisik topografi, geologi, keairan, kebencanaan/proses geodinamika dan unsur lainnya yang terkait, seperti penggunaan lahan dan rencana tata ruang wilayah. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan tiga zona keleluasaan untuk pembangunan Kota Padang, yakni leluasa, cukup leluasa, dan agak leluasa. Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi terhadap tata ruang yang ada. Evaluasi terhadap tata ruang menunjukkan kawasan yang saat ini merupakan kawasan budi daya berada pada zona agak leluasa - leluasa, adapun kawasan lindung berada pada zona agak leluasa - cukup leluasa. Dengan demikian pengembangan kegiatan perdagangan, jasa dan industri di dalam kawasan budi daya harus mempertimbangkan masalah tanah lunak, sedangkan pengembangan kegiatan perdagangan, jasa, industri dan pemukiman di dalam kawasan lindung harus mempertimbangkan faktor keselamatan, dalam hal ini harus disesuaikan dengan aspek bencana geologi yang ada pada kawasan tersebut.

Kata kunci: gempa bumi, tata ruang, geologi lingkungan

ABSTRACT

Padang-Pariaman earthquake that occurred on September 30 th, 2009 measuring the magnitude of 7.6 in Richter Scale had resulted in loss of life and property in the city of Padang and the surrounding areas. Post-earthquake events, Padang entered the stage of rehabilitation and reconstruction that began with the rearrangement of spatial planning of the area. Rearrangement of the spatial planning of the city of Padang after the earthquake is a crucial stage because the layout will determine whether the vulnerability of the region is becoming less or even more resistant against the same disaster in the future. The increase of resistance of this region can be achieved if the elements of environmental geology in the form of geological constraints and geological resources are integrated in regional planning. Analysis of the environmental geology is intended to provide information of geological environment in accordance with the land use to minimize the negative impacts caused by regional development. Based on analysis results there are three zones of discretion for the development of Padang city namely spacious, fairly spacious, and rather spacious. This analysis result can be used as the basis to evaluate the existing spatial planning. Based on the evaluation of the spatial planning shows that the current area is a cultivation zone that lies in rather spacious to spacious zone, whereas the protected zone lies in rather spacious to fairly spacious zone. There by, the development of trade, services and industry in the area of cultivation should consider the problem of soft ground, while the development of trade, services, industry and residential agricultural region should not be considered the factor of safety, in this case, they must adapt to aspects of the geological hazards in the region.

Keywords: *earthquake, planning of the area, environmental geology*

PENDAHULUAN

Gempa bumi Padang-Pariaman yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 berkekuatan 7,6 SR dan berpusat di lepas pantai Sumatra Barat dengan kedalaman 71 km telah mengakibatkan korban jiwa dan harta benda di Kota Padang dan sekitarnya. Dampak kejadian gempa bumi ini adalah guncangan yang telah mengakibatkan kerusakan bangunan pada gedung gedung bertingkat dan rumah-rumah penduduk. Dampak lainnya, guncangan ini telah memicu kejadian gerakan tanah dan likuifaksi pada beberapa tempat, namun kejadian gempa bumi ini tidak menimbulkan tsunami.

Pasca kejadian gempa bumi, Kota Padang memasuki tahap rehabilitasi dan rekonstruksi. Tahap ini merupakan upaya untuk memulihkan kembali kota tersebut dengan melakukan pembangunan/perbaikan fisik bangunan atau gedung pada sarana/prasarana umum dan sosial milik kota yang rusak maupun bangunan perumahan milik masyarakat. Tahap rehabilitasi dan rekonstruksi biasanya diawali dengan penyusunan kembali rencana tata ruang wilayah tersebut. Penyusunan kembali rencana tata ruang wilayah Kota Padang pasca gempa bumi merupakan tahap yang sangat menentukan untuk pembangunan kota tersebut, karena tata ruang merupakan acuan untuk seluruh pembangunan fisik kota tersebut

di masa datang. Dengan demikian diharapkan rencana tata ruang wilayah yang baru dapat menginformasikan ketahanan wilayah pada masa yang akan datang dalam menghadapi bencana yang sama.

Meningkatnya ketahanan wilayah ini dapat tercapai jika unsur-unsur geologi lingkungan berupa kendala geologi dan sumber daya geologi diintegrasikan dalam rencana tata ruang wilayah dan dijadikan acuan pada saat proses penyusunan tata ruang serta dijadikan alat pengendali pembangunan fisik di wilayah ini. Alat pengendali ini tidak hanya digunakan untuk mengendalikan pembangunan saat ini saja, namun juga digunakan juga sebagai alat untuk mengendalikan pembangunan di masa datang. Oleh karena itu analisis geologi lingkungan ini ditujukan untuk dapat memberikan gambaran tingkat keleluasaan penggunaan lahan guna memperkecil dampak negatif yang akan diakibatkan oleh suatu pengembangan wilayah. Adapun lokasi penyelidikan secara geografi terletak pada $01^{\circ} 09'53''$ LU – $00^{\circ} 46' 44''$ LS dan $100^{\circ} 17'50''$ – $100^{\circ} 35' 00''$ BT atau secara administrasi termasuk dalam wilayah Kota Padang.

METODOLOGI

Pengertian Geologi Tata Lingkungan

Menurut Noor (2003), geologi tata lingkungan merupakan disiplin ilmu geologi yang mempelajari peranan geologi dalam berbagai lingkungan baik lingkungan alam, lingkungan binaan, maupun perencanaan lingkungan binaan. Keadaan lingkungan dikontrol kuat oleh kondisi rona awal geologi yang sangat

mempengaruhi pembangunan lingkungan geologi. Dengan demikian dalam menganalisis parameter geologi tata lingkungan dalam pengelolaan lingkungan dan penataan ruang akan mencakup aspek geologi sebagai kendala pembangunan dan aspek geologi sebagai sumber daya pembangunan.

Aspek geologi sebagai kendala pembangunan terkait dengan bahaya geologi seperti gempa bumi, tsunami, likuifaksi, gerakan tanah, dan gunung api; sedangkan geologi sebagai pendukung pembangunan terkait dengan sumber daya geologi mencakup keberadaan air tanah, bentuk morfologi, serta daya dukung tanah/batuan untuk pondasi bangunan. Kedua komponen geologi tersebut perlu disajikan secara menyeluruh agar para perencana wilayah maupun pengambil kebijakan baik di tingkat pusat maupun di tingkat daerah dapat memahami gambaran fisik wilayahnya secara keseluruhan, dengan demikian tujuan untuk mengurangi dan menyelesaikan masalah lingkungan dan penataan ruang dapat tercapai.

Analisis Kuantitatif

Analisis geologi lingkungan sebagai informasi awal bagi para perencana penataan ruang, pengelolaan lingkungan, dan pengambil kebijakan, maka dapat diwujudkan dalam tingkat keleluasaan suatu wilayah untuk dikembangkan, baik sebagai kawasan pemukiman, industri, jasa, dan perdagangan (Oktariadi, 2006). Tingkat keleluasaan yang merupakan zonasi pengembangan wilayah perkotaan menggambarkan tingkat kesulitan dalam pengorganisasian ruang untuk alokasi kegiatan maupun pemilihan jenis penggunaan lahan. Berdasarkan

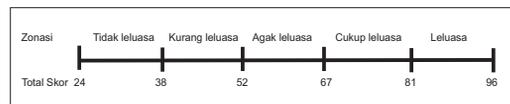
tingkat keleluasaan tersebut dapat dilakukan evaluasi penggunaan lahan. Hasil evaluasi ini berupa rekomendasi penggunaan lahan. Gambaran tingkat keleluasaan dan rekomendasi penggunaan lahan dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan maupun untuk mengevaluasi rencana tata ruang wilayah.

Analisis kuantitatif dilakukan dengan cara memberi nilai (bobot) pada setiap parameter bahaya geologi dan sumber daya geologi. Besarnya nilai ditentukan berdasarkan tingkat kepentingan suatu parameter terhadap pembangunan perkotaan, dalam hal ini kepentingan untuk alokasi kegiatan dengan jenis penggunaan lahan pemukiman, industri, perdagangan, dan jasa. Semakin penting suatu parameter untuk pembangunan perkotaan maka bobotnya akan semakin besar, sebaliknya semakin kurang penting suatu parameter dalam pembangunan maka bobotnya semakin kecil. Dalam mengintegrasikan informasi bahaya geologi dan sumber daya geologi dilakukan melalui analisis kuantitatif dan tumpang susun dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Nilai bobot setiap komponen satuan kelas geologi lingkungan perkotaan ditentukan sesuai tingkat kepentingan pengembangan wilayah yang dimaksud. Dalam hal ini untuk kepentingan pengembangan wilayah perkotaan. Penentuan nilai bobot dilakukan secara *judgment* yang melibatkan 10 ahli geologi lingkungan yang bekerja di Pusat Lingkungan Geologi, Badan Geologi pada tahun 2006. Adapun masing-masing besarnya nilai (bobot) setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Zonasi Pengembangan Wilayah Perkotaan

Zonasi Pengembangan wilayah perkotaan merupakan hasil analisis komponen geologi lingkungan yang ditentukan berdasarkan total nilai. Berdasarkan penjumlahan seluruh nilai parameter geologi lingkungan akan diperoleh nilai tertinggi dan nilai terendah. Berdasarkan kisaran nilai tertinggi dan nilai terendah ditentukan 5 zonasi pengembangan wilayah perkotaan/tingkat keleluasaan untuk pengembangan perkotaan, yakni leluasa, cukup leluasa, agak leluasa, kurang leluasa, dan tidak leluasa. Adapun klasifikasi Zona Pengembangan Wilayah Kota Berdasarkan Total Skor Komponen Geologi Lingkungan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rank klasifikasi zona pengembangan wilayah.

- Zona Leluasa adalah daerah yang memiliki sumber daya geologi yang tinggi dan faktor kendala geologi yang rendah, mudah mengorganisasikan ruang kegiatan maupun pemilihan jenis penggunaan lahan, tidak memerlukan rekayasa teknologi tinggi sehingga biaya pembangunannya relatif rendah.
- Zona Cukup Leluasa adalah daerah yang memiliki sumber daya geologi yang agak tinggi dan terdapat kendala geologi yang agak rendah, agak mudah dalam pengorganisasian ruang kegiatan maupun pemilihan jenis penggunaan lahan, namun perlu adanya rekayasa teknologi yang

Tabel 1. Komponen Satuan Kelas yang Dinilai untuk Perkotaan

Komponen Sumber Daya Geologi											
No.	Komponen	Kisaran	Nilai	Kelas	Nilai	Bobot	Skor				
1	Air tanah a. Zona Konservasi (pengambilan air tanah)	Daerah aman	4	P O T	Baik	4	3	12			
		Daerah rawan (termasuk daerah imbuhan)	2								
		Daerah kritis dan rusak	1								
	b. Produktifitas akuifer	Tinggi (> 3 lt/dt)	4	E N S I	Sedang	3		9			
		Sedang (1 - 3 lt/dt)	3								
		Rendah (0,5 - 1 lt/dt)	2								
		Sangat rendah (< 0,5 lt/dt)	1								
	c. Kedalaman air tanah	Dangkal (0 – 50 m)	4		Buruk	2		6			
		Agak dalam (50 – 100 m)	3								
		Dalam (100 – 200 m)	2								
Sangat dalam (> 200 m)		1									
d. Kesesuaian/kelayakan sebagai air minum	Air tanah dangkal sesuai untuk air sampai setempat tercemar atau setempat tidak sesuai untuk air minum. Air tanah dalam sesuai untuk air minum.	4		Sangat buruk	1		3				
	Air tanah dangkal tidak sesuai untuk air baku. Air tanah dalam sesuai untuk air minum.	3									
	Air tanah dangkal dan air tanah dalam setempat tidak sesuai untuk air minum.	2									
	Air tanah dangkal tidak sesuai untuk air minum. Air tanah dalam setempat tidak sesuai sampai seluruhnya tidak sesuai untuk air minum.	1									
2	Kemiringan lereng	1) Datar (0 – 5%)		Baik	4	4	16				
		2) Landai (5 – 10%)		Sedang	3				12		
		3) Terjal (10 – 15%)		Buruk	2					8	
		4) Sangat Terjal (>15%)		Sangat Buruk	1						4
3	Tanah/batuan	NSPT (Pemboran)	kg/cm ² (Sondir)	ton/m ² (Qall)	Jenis material permukaan						
		Keras	> 50	> 150	> 21,6	- Batuan	Baik	4	5		
		Sedang	Kedalaman hingga 5 m	30 – 50	60 -150	7,2 - 21,6	- Tanah residu (>2m)	Sedang		3	
							- Pasir & kerikil (≥ 5m)				
		Lunak	10 - 30	20 – 60	3,6 - 7,2	- Lanau, pasir, dan kerikil (<5m).	Buruk	2	10		
- Lempung											
Sangat lunak	< 10	< 20	< 3,6	- Lumpur, lempung organik dan gambut	Sangat Buruk	1	5				

Sambungan Tabel 1.....

Komponen Bahaya Geologi									
No	Komponen	Kisaran		Kelas	Nilai	Bobot	Skor		
		MMI	∞	Richter					
1.	Gempa bumi	I, II,III,IV,V	< 0,05 g	< 5	Baik	4	16		
		VI,VII	0,05 - 0,15g	5 - 6	Sedang	3	12		
		VIII	0,15 - 0,30g	6 - 6,5	Buruk	2	8		
		IX,X,XI,XII	> 0,30g	> 6,5	Sangat Buruk	1	4		
2.	Potensi Gerakan tanah	Sangat rendah		Baik	4	4	16		
		Rendah		Sedang	3		12		
		Menengah		Buruk	1		4		
3.	Gunung api	Aman		Baik	4	2	8		
		Kawasan Rawan Bencana I		Sedang	3		6		
		Kawasan Rawan Bencana II		Buruk	1		2		
4.	Tsunami (Potensi Landaan)	Ketinggian tempat		Tinggi landaan					
		Tidak Berpotensi		Tidak Berpotensi		Baik	4	2	8
		5 – 15 m		0 - 2 m		Sedang	3		6
		2 – 5 m		2 - 5 m		Buruk	2		4
		0 – 2 m		5 - 15 m		Sangat Buruk	1		2

agak memadai dan biaya pembangunan agak rendah.

- Zona Agak Leluasa adalah daerah yang memiliki sumber daya geologi dan kendala geologi menengah, cukup mudah dalam pengorganisasian ruang kegiatan maupun pemilihan jenis penggunaan lahan, perlu adanya rekayasa teknologi yang agak memadai dan biaya pembangunan sedang.
- Zona Kurang Leluasa adalah daerah dengan kondisi fisik lahan yang memadai untuk dikembangkan serta adanya faktor pembatas atau kendala geologi lingkungan cukup tinggi. Dengan demikian

kurang leluasa dalam melakukan pengorganisasian ruang untuk penggunaan lahan/pengembangan wilayah dan pemilihan jenis penggunaan lahan dengan biaya pembangunan yang agak mahal.

- Zona Tidak Leluasa adalah daerah dengan kondisi fisik lahan yang memiliki sumber daya geologi tidak memadai untuk dikembangkan serta adanya faktor pembatas atau kendala geologi lingkungan tinggi. Dengan demikian tidak leluasa dalam melakukan pengorganisasian ruang untuk penggunaan lahan/pengembangan wilayah dan pemilihan jenis penggunaan lahan dengan biaya pembangunan agak mahal.

KONDISI GEOLOGI LINGKUNGAN

Morfologi dan Kemiringan Lereng

Berdasarkan analisis kemiringan lereng daerah penyelidikan terdiri dari satuan morfologi dataran dengan kemiringan lereng < 5%, satuan morfologi bergelombang dengan kemiringan lereng 0 - 5%, satuan morfologi perbukitan berelief halus dengan kemiringan lereng 5 – 10%, satuan morfologi perbukitan berelief sedang dengan kemiringan lereng 10 - 15%, satuan morfologi perbukitan berelief kasar dengan kemiringan lereng 10 - >15%.

Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Padang (Kastowo dr., 1994), Lembar Solok (Silitonga dan Kastowo, 1995), Lembar Painan (Rosidi dr., 2011) susunan batuan daerah penyelidikan secara berturut-turut dari tua – muda sebagai berikut: anggota batu gamping, batuan gunung api Oligo Miosen, Batu gamping Perem, Ultrabasa, tuf kristal yang telah mengeras, aliran yang tak teruraikan, kipas alluvium, dan aluvium. Secara regional, pada daerah studi terdapat struktur geologi yang penting berupa sesar besar yang melintasi Pulau Sumatra dari Aceh (di utara) hingga Lampung di bagian selatan Pulau Sumatra yang dikenal sebagai Sesar Semangko. Struktur tersebut diduga aktif dan terpengaruh oleh aktivitas tumbukan Lempeng Australia dan Lempeng Eurasia.

Sifat Keteknikan Tanah dan Batuan

Berdasarkan Peta Geologi Teknik Kota Padang dan Kabupaten Padang Pariaman, Su-

matra Barat, Skala 1 : 100.000 (Ediwan dr., 2009) Kota Padang terdiri atas 8 satuan tanah dan batuan, yakni satuan lanau lempungan - lempung lanauan (endapan rawa, sangat lunak – lunak, ketebalan berkisar 1,50 - 5,00 m); satuan pasir (endapan pantai dan pematang pantai, ketebalannya berkisar 1,50 - 6,80 m lama); satuan pasir lempungan lanauan, pasir kerikilan-bongkah (tebalnya berkisar 1,00 - 4,50 m, nilai tekanan konus 4 - 20 kg/cm²); satuan lempung pasiran - lanau pasiran (ketebalannya berkisar 2,00 - 4,00 m, konsistensinya lunak - agak teguh); satuan lempung pasiran - pasir lempungan (ketebalannya 1,50 - 6,00 m, konsistensi lunak – teguh); satuan endapan lahar (kompak dan di sebagian tempat mudah hancur); satuan breksi tuf (bersifat keras dan kompak); satuan granit (bersifat sangat keras dan kompak); satuan batu gamping (bersifat keras, pejal, dan sebagian berongga).

Air Tanah

Berdasarkan Peta Hidrogeologi Lembar Padang (Arief dan Ruchijat, 1990) daerah penyelidikan termasuk dalam akuifer produktivitas sedang - tinggi, dengan debit sekitar 5 liter/detik serta daerah dengan air tanah langka. Air tanah bebas berada pada kedalaman 3 – 12 m, sedangkan kedalaman muka air tanah tertekan 75 – 125 m. Kualitas air tanah umumnya cukup baik - baik untuk bahan baku air minum. Pada saat terjadinya gempa di Kota Padang ada indikasi perubahan kualitas air tanah bebas dari jernih menjadi keruh dan beberapa sumur penduduk menunjukkan pengeringan.

Kendala Geologi

Kendala geologi yang terdapat pada daerah penyelidikan meliputi:

Gempa Bumi

Daerah Sumatra Barat dan sekitarnya termasuk daerah rawan gempa bumi Indonesia merusak. Berdasarkan asal usul kejadiannya gempa bumi dapat dibagi menjadi dua bagian, yakni gempa bumi yang berasal dari aktivitas tunjaman Lempeng Samudra Hindia-Australia di sebelah barat Sumatra yang berinteraksi dengan Lempeng Benua-Eurasia dan gempa bumi yang berasal dari aktivitas gerak sesar aktif mendatar Sumatra. Jejak rekam gempa bumi merusak yang pernah terjadi akibat interaksi kedua lempeng tersebut di atas di antaranya adalah Gempa bumi Sumatra Barat tahun 1822, Gempa bumi Siri Sori diikuti dengan tsunami tahun 1904, Gempa bumi Padang tahun 1835, 1981, dan 1991. Gempa bumi tunjaman tersebut terjadi di dasar laut Samudra Hindia dengan kekuatan $> 6,5$ SR dapat memicu terjadinya gelombang tsunami yang mengancam pantai barat Sumatra. Adapun gempa bumi sesar aktif Sumatra pernah terjadi pada tahun 1926, 1943, 1977, 2004, dan 2007.

Menurut informasi BMKG, Gempa bumi Padang-Pariaman yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 berkekuatan 7,6 SR dan kedalaman 71 Km merupakan gempa bumi tektonik yang bersumber dari aktivitas tunjaman pada bidang sentuh Lempeng Samudra Hindia-Australia dan Lempeng Benua Eropa-Asia (Eurasia) dan disebut sebagai gempa bumi pada zona antara lempeng tek-

tonik (*Interface Plate Boundary Earthquake*). Menurut Kertapati dr. (2010) berdasarkan perhitungan percepatan gempa untuk periode ulang 100 tahun, Kota Padang dan sekitarnya berkisar 0,3 g - 0,6 g.

Likuifaksi

Berdasarkan Peta Zona Likuifaksi Kota Padang dan Kabupaten Padang Pariaman (Ediwan dr., 2009) potensi terjadinya likuifaksi terdapat pada lapisan pasir halus pada Satuan Pasir yang terbentuk dari endapan pantai, pematang pantai, pematang sungai dan gosong-gosong (*sand dunes*) sungai. Berdasarkan peta tersebut lapisan pasir halus (Satuan Pasir) yang berpotensi terjadi likuifaksi pada kedalaman $>1,00 - 6,00$ m. Daerah yang berpotensi terjadi likuifaksi tinggi, karena lapisan tanah pasir pada zona tersebut mempunyai percepatan kritis $(a) 20 > 0,30$ g, dengan muka air tanah yang dangkal, maka apabila lapisan tanah tersebut menerima getaran gempa dengan percepatan (z) minimum $> 0,10$ g, pada zona tersebut berpotensi terjadi likuifaksi. Pemunculan likuifaksi umumnya berasosiasi dengan retakan-retakan tanah. Jejak pemunculan likuifaksi dan arah retakan terlihat pada beberapa tempat di kota Padang.

Zona Kerentanan Gerakan Tanah

Berdasarkan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Kota Padang Skala 1:100.000 (Djadja dan Purnomo, 2009) daerah penyelidikan dikelaskan menjadi 4 zona kerentanan gerakan tanah, yakni kerentanan gerakan tanah sangat rendah, kerentanan gerakan tanah rendah, kerentanan gerakan tanah menengah, dan kerentanan gerakan tanah tinggi. Daerah

dengan potensi gerakan tanah tinggi pada umumnya terdapat pada perbukitan sebelah timur Kota Padang.

Tsunami

Kawasan rawan tsunami menggambarkan tingkat kemudahan suatu wilayah untuk terlanda tsunami. Tingkat kemudahan ini didasarkan pada besarnya intensitas gempa dengan energi yang cukup untuk dapat mematahkan permukaan dasar laut, serta bentuk morfologi pantai. Berdasarkan Peta Kawasan Rawan Bencana Tsunami (Yudhicara dr., 2011), daerah penyelidikan termasuk dalam kawasan rawan bencana tsunami tinggi – rendah, yakni wilayah di sepanjang pesisir pantai dengan ketinggian 5 – 9 m di atas permukaan laut yang berpotensi terkena landaan gelombang tsunami.

HASIL ANALISIS

Peringkat Keleluasaan Pemanfaatan Ruang

Berdasarkan hasil tumpang susun peta tematik (Gambar 2), masing-masing parameter yang

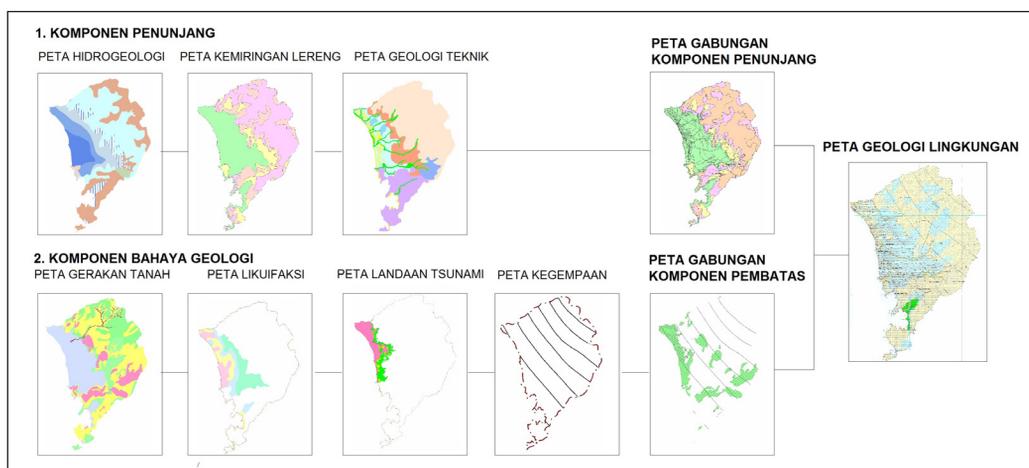
telah diberi nilai dan bobot, wilayah Kota Padang dapat dibagi ke dalam beberapa zona pengembangan wilayah dengan penjelasan sebagai berikut (Gambar 3):

Zona Leluasa

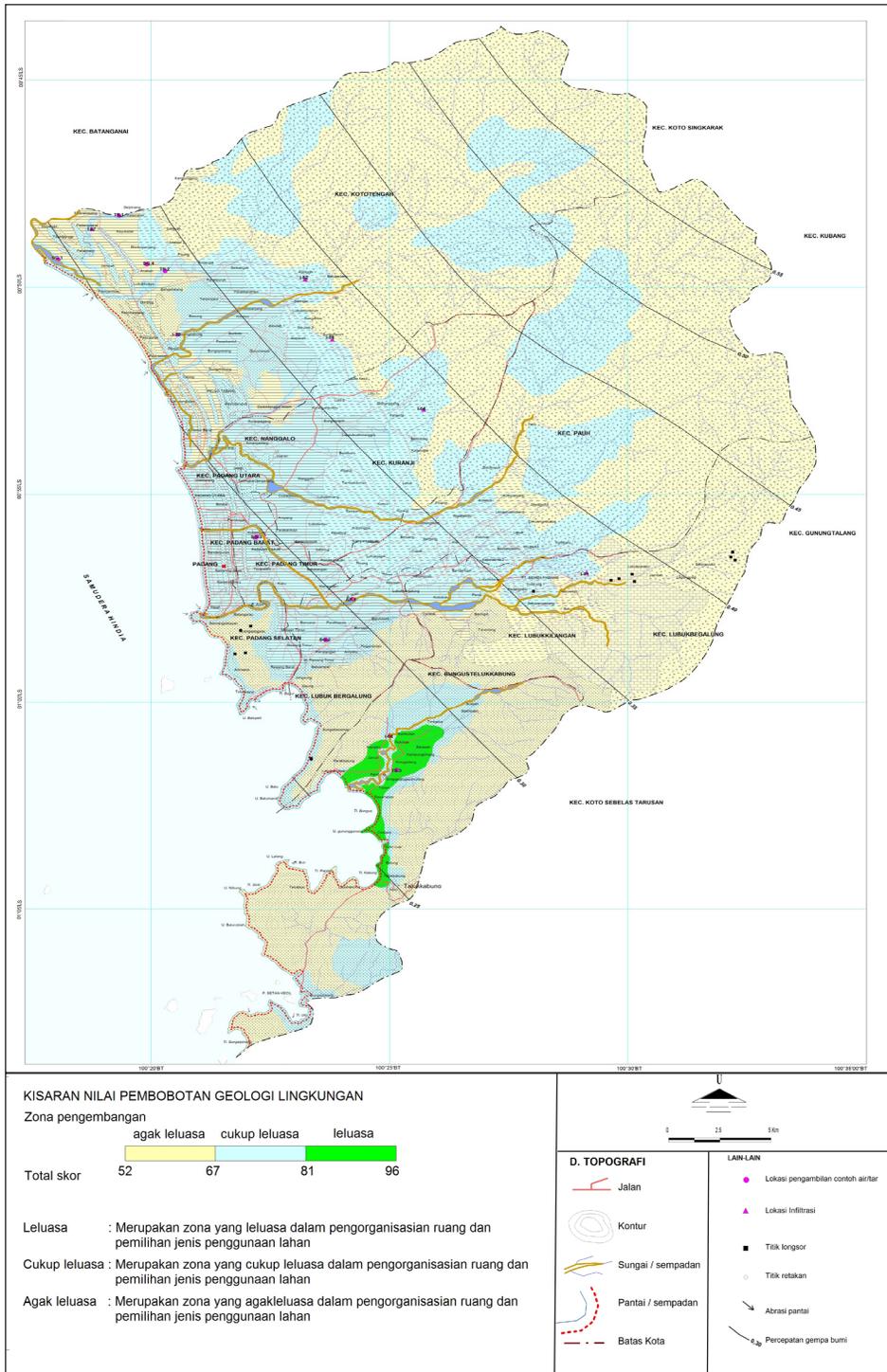
Wilayah Kota Padang yang termasuk zona leluasa tersebar sekitar Teluk Bungus, Ujung Gununggunung, dan Teluk Kabung. Di sekitar Teluk Bungus sebarannya menjorok sampai sekitar wilayah Kotoluar.

Zona leluasa ini termasuk wilayah pedataran dengan kemiringan lereng 0 - 5%, memiliki potensi air tanah cukup melimpah dan potensi tinggi terhadap bahaya tsunami.

Berdasarkan kondisi geologi tekniknya, zona leluasa ini tersusun oleh satuan lanau lempungan-lempung lanauan, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan litologinya berupa endapan rawa yang dibentuk oleh lanau lempungan hingga lempung lanauan, nilai tekanan konusnya < 13 kg/cm² dan setempat pada sisipan pasir lanauan atau pada kedalaman > 3 m tekanan konus mencapai 15 - 25 kg/cm².



Gambar 2. Proses analisis tumpang susun geologi lingkungan Kota Padang.



Gambar 3. Peta Geologi Lingkungan Kota Padang.

Zona Cukup leluasa

Wilayah Kota Padang yang termasuk zona cukup leluasa ini tersebar terutama di bagian barat kota atau sebagian besar tersebar di sepanjang pantai.

Zona cukup leluasa ini pada umumnya termasuk wilayah pedataran kemiringan lereng 0-5%, air tanah cukup melimpah.

Berdasarkan kondisi geologi tekniknya, zona ini tersusun oleh beberapa satuan, di antaranya:

- Satuan pedataran lanau lempungan-lempung lanauan, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan litologinya berupa endapan rawa yang dibentuk oleh lanau lempungan hingga lempung lanauan, nilai tekanan konusnya < 13 kg/cm² dan setempat pada sisipan pasir lanauan atau pada kedalaman > 3 m tekanan konus mencapai 15 -25 kg/cm².
- Satuan pedataran lempung pasiran dan pasir lempungan, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan nilai tekanan konus 8 - 35 kg/cm² dan setempat pada kedalaman > 3 m dapat mencapai > 125 kg/cm², relatif aman dari bahaya geologi baik tsunami, likuifaksi maupun gerakan tanah. Pengecualiannya di daerah yang berelevasi tinggi satuan ini rawan terhadap terjadinya bencana gerakan tanah.
- Satuan pedataran lempung pasiran - lanau pasiran, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan nilai tekanan konus 3 - 11 kg/cm² dan setempat-setempat pada sisipan lapisan pasir tekanan konus mencapai 30 kg/cm², merupakan daerah potensi tinggi tsunami dan likuifaksi.

- Satuan perbukitan lahar, memiliki kemiringan lereng agak landai (5%) sampai dengan sangat terjal (>15%), merupakan daerah air tanah langka pada bagian timur sedangkan di bagian barat masih memiliki potensi air tanah setempat berarti namun kurang dimanfaatkan karena kedudukan akuifernya yang dalam, sebagian satuan ini termasuk dalam zona kerentanan gerakan tanah tinggi.

Zona Agak Leluasa

Wilayah Kota Padang yang termasuk zona agak leluasa ini tersebar di bagian utara, timur, selatan. Secara topografi melingkari pusat Kota Padang.

Zona agak leluasa ini pada umumnya termasuk wilayah pedataran bergelombang dengan kemiringan lereng 0 - 5%, namun pada beberapa lokasi mencapai 15%, termasuk dalam produktivitas akuifer air tanah sedang sampai tinggi.

Berdasarkan kondisi geologi tekniknya, zona ini tersusun oleh beberapa satuan, diantaranya:

- Satuan pedataran lempung pasiran dan pasir lempungan, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan nilai tekanan konus 8 - 35 kg/cm² dan setempat pada kedalaman > 3 m dapat mencapai > 125 kg/cm², relatif aman dari bahaya geologi baik tsunami, likuifaksi maupun gerakan tanah. Pengecualiannya di daerah yang berelevasi tinggi satuan ini rawan terhadap terjadinya bencana gerakan tanah.
- Satuan pedataran lempung pasiran - lanau pasiran, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan nilai tekanan konus 3 - 11 kg/cm².

cm² dan setempat-setempat pada sisipan lapisan pasir tekanan konus mencapai 30 kg/cm², merupakan daerah potensi tinggi tsunami dan likuifaksi.

- Satuan Pedataran Pasir, memiliki kemiringan lereng 0 – 5% dengan nilai tekanan konus 4 - 30 kg/cm² dan pada kedalaman > 3,00 m nilai tekanan konus mencapai 50 - > 150 kg/cm², merupakan daerah potensi tinggi terhadap terjadinya likuifaksi.
- Satuan perbukitan batu gamping, kemiringan lerengnya bervariasi mulai dari 5% sampai dengan >15%, sebagian satuan ini merupakan daerah dengan air tanah langka, tetapi setempat masih memiliki potensi air tanah, sebagian besar dari satuan ini berpotensi tinggi terhadap terjadinya gerakan tanah.
- Satuan perbukitan breksi tufa, memiliki kemiringan lereng bervariasi dari landai sampai sangat terjal (>15%), umumnya merupakan daerah air tanah langka tetapi di beberapa tempat masih dapat dijumpai akuifer dengan produktivitas sedang, merupakan daerah berpotensi tinggi terjadi gerakan tanah.
- Satuan perbukitan lahar, memiliki kemiringan lereng agak landai (5%) sampai dengan sangat terjal (>15%), merupakan daerah air tanah langka pada bagian timur sedangkan di bagian barat masih memiliki potensi air tanah setempat berarti, namun kurang dimanfaatkan karena kedudukan akifernya yang dalam, sebagian satuan ini termasuk dalam zona kerentanan gerakan tanah tinggi.

Evaluasi Penggunaan Lahan

Evaluasi penggunaan lahan dilakukan dengan cara membandingkan karakteristik geologi lingkungan yang tercermin dari tingkat keluasaannya dengan penggunaan lahan saat ini atau dengan Rencana Tata Ruang Wilayah yang ada serta peraturan/perundangan yang berlaku. Untuk keperluan evaluasi ini digunakan Rancangan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang 2008 – 2028, Pemerintah Kota Padang serta Pasal 52 ayat 5 Peraturan Pemerintah No 26 tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional yang menjelaskan Kawasan Lindung Geologi. Hasil evaluasi berupa saran/rekomendasi penggunaan lahan yang berguna untuk meningkatkan kualitas pemanfaatan ruang di masa datang (Gambar 4).

Kawasan Budi Daya

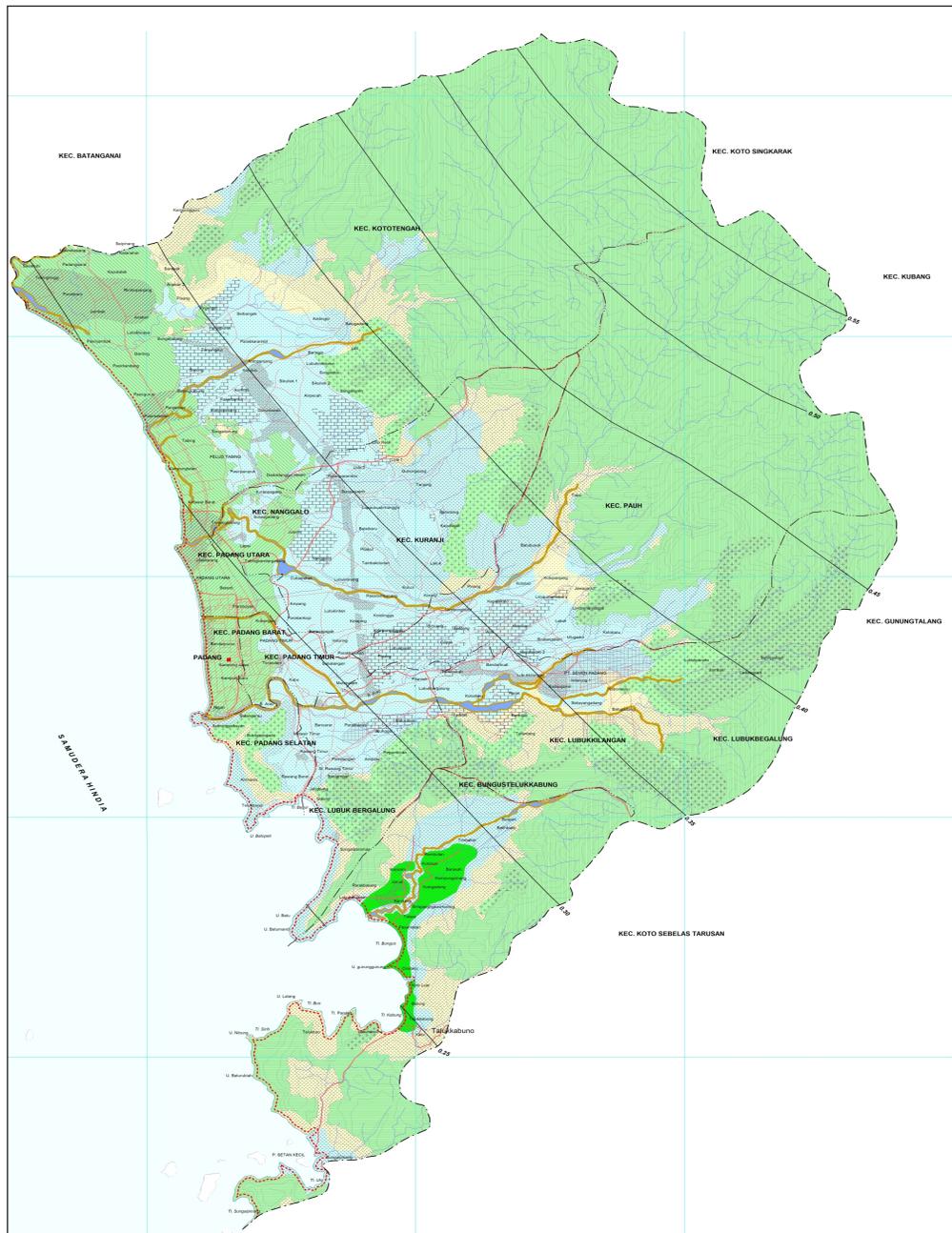
Di dalam Rancangan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang 2008-2028, penggunaan lahan wilayah ini secara umum terbagi menjadi 5 kelompok, yaitu pemukiman, industri, perdagangan dan jasa, sawah, dan hutan. Kondisi fisik dasar pada jenis penggunaan lahan tersebut dari hasil analisis geologi lingkungan memiliki tingkat keluasaan tertentu untuk perkembangan perkotaan. Berdasarkan nilai tersebut ditentukan upaya/saran yang perlu dilakukan apabila jenis penggunaan lahan yang telah ditentukan tetap akan dipertahankan.

Rekomendasi penggunaan lahan berdasarkan aspek geologi lingkungan pada kawasan budi daya untuk Kota Padang sebagai berikut:

- Kawasan Pemukiman, berada pada area dengan skor 53 - 81 yang berarti merupakan daerah agak leluasa sampai cukup leluasa untuk dikembangkan sebagai kegiatan perkotaan. Kontribusi terbesar dari skor tersebut karena wilayah ini berada pada morfologi relatif datar serta ketersediaan sumber daya air tanah yang cukup melimpah serta tidak ada kendala geologi yang berarti. Dengan demikian arahan untuk kegiatan pemukiman telah sesuai dengan kondisi lahannya.
- Kawasan Industri, berada pada area dengan skor 53 - 73 yang berarti merupakan daerah agak leluasa sampai cukup leluasa untuk dikembangkan untuk kegiatan perkotaan. Kontribusi terbesar dari skor tersebut karena wilayah ini memiliki potensi sumber daya air tanah cukup melimpah. Arahan sebagai kegiatan industri telah sesuai dengan kondisi lahannya, namun demikian pembangunan infrastruktur dan bangunan pada kawasan ini perlu memperhatikan percepatan gempa, dan pemotongan lereng untuk keperluan pembangunan perlu memperhatikan kestabilan lereng.
- Kawasan Perdagangan dan Jasa, berada pada area dengan skor 61 - 85 yang berarti merupakan daerah agak leluasa sampai leluasa untuk dikembangkan sebagai kegiatan perkotaan. Kontribusi terbesar dari skor tersebut karena wilayah ini memiliki potensi sumber daya air tanah cukup melimpah serta berada pada morfologi relatif datar. Dengan demikian arahan untuk kegiatan perdagangan dan jasa telah sesuai dengan kondisi lahannya, namun demikian pembangunan pada kawasan ini perlu memperhatikan permasalahan tanah lunak (likuifaksi dan *settlement*) dan percepatan gempa.
- Kawasan Sawah, berada pada area dengan skor 58 - 81 yang berarti merupakan daerah agak leluasa sampai cukup leluasa untuk dikembangkan sebagai kegiatan perkotaan. Dengan tingkat kekeluasaan tersebut, area sawah ini dapat dicadangkan untuk kegiatan pemukiman, perdagangan dan jasa di masa datang. Untuk kepentingan jenis penggunaan lahan perdagangan, dan jasa perlu memperhatikan masalah tanah lunak.
- Kawasan Hutan, berada pada area dengan skor 53 - 85 yang berarti merupakan daerah agak leluasa sampai leluasa untuk dikembangkan sebagai kegiatan perkotaan. Namun penggunaan lahan jenis ini agar tetap dipertahankan di masa yang akan datang, karena dapat berfungsi sebagai hutan kota serta sebagai *buffer* yakni mencegah agar pembangunan fisik tidak dilakukan pada area dengan kerentanan gerakan tanah menengah - tinggi.

Kawasan Lindung

Di dalam Rancangan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang 2008-2028, kawasan lindung pada wilayah ini meliputi kawasan hutan lindung dan kawasan hutan suaka alam dan wisata. Berdasarkan Pasal 52 ayat 5 Peraturan Pemerintah nomor 26 tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional menjelaskan Kawasan Lindung Geologi



Gambar 4. Peta Evaluasi Rencana Tata Ruang berdasarkan aspek Geologi Lingkungan.

Lanjutan Gambar 4

B. KAWASAN LINDUNG					
SIMBOL	JENIS KAWASAN LINDUNG	PENGUNAAN LAHAN	KELELUASAAN	REKOMENDASI	
1	Cagar Alam	Hutan	55 - 77 Agak leluasa - cukup leluasa	Tetap dipertahankan sebagai kawasan lindung	
2	Hutan Lindung	Hutan	53 - 80 Agak leluasa - cukup leluasa	Tetap dipertahankan sebagai kawasan lindung	
3	KAWASAN LINDUNG GEOLOGI	PENGUNAAN LAHAN YANG TERANCAM	KELELUASAAN	FAKTOR GEOLOGI YANG HARUS DIPERTIMBANGKAN	REKOMENDASI
a	Tsunami Tinggi	Seluruh wilayah pesisir yang merupakan area terbangun dan tidak terbangun di pusat kota	53 - 77 Agak leluasa - cukup leluasa	Pembangunan pada wilayah pesisir perlu memperhatikan ketinggian landaan tsunami hingga elevasi 5 m diatas permukaan air laut, morfologi pantai (bentuk teluk, muara sungai)	<ul style="list-style-type: none"> - Pembangunan di sepanjang pantai barat dikendalikan dan diarahkan ke bagian timur. - Di wilayah pusat kota hingga sepanjang pantai barat perlu dibangun bangunan panggung untuk evakuasi. Bangunan panggung tersebut bagian bawah dikosongkan, tiang pancang dibuat kuat kokoh, sedangkan bagian atas digunakan untuk menampung orang banyak. - Di sepanjang pantai dibuat tanggul urugan batu dan pemecah gelombang - Kawasan yang terletak di sepanjang pesisir pantai dan sungai utama perlu mempertimbangkan : <ul style="list-style-type: none"> * Sempadan sungai dan pantai di gunakan untuk mengantisipasi ketinggian landaan tsunami + 5m. * Jalur evakuasi ke arah berbukitan dan tempat evakuasi berupa bangunan tinggi dengan ketinggian > 5m.
b	Likuifaksi Tinggi	Pemukiman, bangunan komersial dan infrastruktur Beberapa muncul pada area terbuka	64 - 81 Agak leluasa - cukup leluasa	Nilai percepatan gempa terhitung (0,25-0,35 g) menjadi dasar perancangan pondasi bangunan. Untuk bangunan ringan hingga bangunan berat dan bangunan vital, perlu memperhatikan kondisi tanah pondasi dan kedalaman muka air tanah.	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk mengurangi ancaman likuifaksi pada bangunan ringan / berat maupun vital, dapat dengan cara : <ul style="list-style-type: none"> - Memilih konstruksi bangunan yang tahan likuifaksi - Injeksi semen kedalam lapisan tanah yang dianggap perlu untuk menambah kekuatan lapisan tanah di sekitar pondasi. - Membangun dengan standar teknik sipil dan sesuai dengan karakteristik ancaman.
c	Gerakan Tanah Tinggi	Pemukiman, infrastruktur, pertanian dan hutan	53 - 77 Agak leluasa - cukup leluasa	Pemotongan lereng untuk pembuatan jalan, pemukiman dan bangunan lainnya harus mempertimbangkan faktor sifat fisik tanah/ batuan dan faktor sudut lereng kritis.	Pembangunan pemukiman di daerah lereng berbukitan dibagian timur kota Padang, harus mempertimbangkan kelerengan (untuk lereng > 15%) dan sudut lereng kritis
d	Percepatan Gempa Bumi	Seluruh wilayah yang merupakan area terbangun dan tidak terbangun		Nilai Percepatan gempa terhitung sebesar 0,25 - 0,60 g, untuk periode ulang 100 tahun menjadi dasar perancangan bangunan	<ul style="list-style-type: none"> - Pembangunan fisik kota perlu memperhatikan kejadian gempa yang dapat mengancam bangunan. - Pembuatan bangunan untuk prasarana umum (termasuk bangunan untuk evakuasi) dan bangunan vital harus dirancang dengan bangunan tahan gempa. - Pembangunan wilayah kota (terutama ke arah timur dari pusat kota) perlu menggunakan bangunan tahan gempa yang bersifat tradisional dengan memanfaatkan bahan baku lokal (rumah panggung bambu dll) - Untuk pembangunan kawasan industri perlu mempertimbangkan kondisi geologi dan nilai percepatan gempa.

merupakan bagian dari kawasan lindung nasional. Salah satu jenis kawasan lindung geologi yang terkait dengan kondisi

Kota Padang adalah kawasan rawan bencana geologi. Kawasan ini belum secara eksplisit dibahas dalam Rancangan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang 2008-2028. Oleh karena itu salah satu hasil dari penyelidikan ini adalah mengusulkan perlu adanya alokasi lahan untuk Kawasan Lindung Geologi.

- Kawasan Hutan Lindung dan Kawasan Hutan Suaka Alam dan Wisata

Jenis kawasan lindung yang sudah terakomodasi dengan jelas dalam Rancangan Rencana Tata Ruang Wilayah 2008-2028 Kota Padang adalah Kawasan Hutan Lindung dan Kawasan Hutan Suaka Alam dan Wisata. Alokasi kawasan lindung ini menempati area yang cukup luas dan sebaik-

nya tetap dipertahankan sebagai kawasan lindung.

- Kawasan Lindung Geologi

Salah satu tujuan dari ditetapkannya Kawasan Lindung Geologi (dengan jenis kawasan rawan bencana geologi) dalam rencana tata ruang wilayah adalah untuk mencegah hilangnya korban jiwa dan harta benda sebagai akibat dari kejadian bahaya geologi. Bahaya geologi di sini meliputi gempa bumi, tsunami, likuifaksi, dan gerakan tanah.

Model perlindungan di dalam kawasan ini berbeda dengan model perlindungan umumnya. Di dalam kawasan ini pembangunan masih dapat dilakukan tetapi harus tetap memperhatikan faktor keamanan yang sangat terkait dengan jenis bahaya geologinya. Kawasan lindung geologi khususnya kawasan rawan

bencana geologi di wilayah Kota Padang meliputi:

a. Kawasan Rawan Gempa Bumi

Kejadian gempa bumi mengancam seluruh wilayah Kota Padang, baik yang merupakan area terbuka maupun terbangun. Berdasarkan perhitungan percepatan gempa untuk perioda ulang 100 tahun menunjukkan nilai sebesar 0,25 - 0,35 g. Oleh karena itu perlu adanya peraturan bangunan (*Building Code*), seperti pengembangan pemukiman (terutama ke arah timur) perlu menggunakan bangunan tahan gempa yang bersifat tradisional, sedangkan untuk bangunan berat perlu mempertimbangkan percepatan gempa.

b. Kawasan Rawan Bahaya Tsunami Tinggi

Ancaman bahaya tsunami meliputi seluruh wilayah pesisir yang merupakan area terbangun dan tidak terbangun di pusat kota. Pembangunan pada wilayah pesisir perlu memperhatikan faktor ketinggian landaan tsunami, yakni elevasi hingga < 5 m di atas permukaan laut, morfologi pantai (bentuk teluk, muara sungai, serta topografi dataran yang sejajar garis pantai). Rekomendasi terkait dengan kawasan ini adalah:

- Daerah terbangun sepanjang pantai barat dikendalikan dan diarahkan ke bagian timur.
- Di wilayah pusat kota hingga sepanjang pantai barat perlu dibangun panggung untuk evakuasi. Pada bagian bawah bangunan ini dikosongkan, tiang pancang dibuat kuat/kokoh, sedangkan bagian atas diguna-

kan untuk menampung orang banyak.

- Wilayah sepanjang pantai dibuat tanggul urugan batu dan pemecah gelombang.
- Kawasan yang terletak di sepanjang pesisir pantai dan sungai utama perlu mempertimbangkan sempadan sungai dan pantai. Hal ini di gunakan untuk mengantisipasi ketinggian landaan tsunami < 5 m di atas permukaan laut.

Jalur evakuasi ke arah perbukitan dan tempat evakuasi berupa bangunan tinggi dengan ketinggian > 5 m di atas permukaan air laut.

c. Kawasan Berpotensi Likuifaksi Tinggi

Ancaman bahaya likuifaksi tinggi terutama pada daerah dengan endapan pasir lanau yang saat ini telah diisi oleh kegiatan perdagangan dan jasa. Saran pembangunan untuk jenis bangunan berat/ringan pada daerah bahaya seperti ini adalah:

- Memilih konstruksi bangunan yang tahan likuifaksi.
- Injeksi semen ke dalam lapisan tanah (yang dianggap perlu) untuk menambah kekuatan lapisan tanah di sekitar pondasi.
- Membangun sesuai standar teknik sipil dan sesuai dengan karakteristik ancaman.

d. Kawasan Rawan Bahaya Gerakan Tanah Tinggi

Ancaman bahaya gerakan tanah tinggi umumnya di bagian timur kota pada daerah perbukitan yang saat sebagian meru-

pakan daerah pemukiman, pertanian, dan hutan. Pembangunan pemukiman pada daerah ini perlu mempertimbangkan daerah dengan lereng terjal ($< 15\%$) dan sudut lereng kritis.

KESIMPULAN

1. Hasil analisis sebaran bahan permukaan, daerah studi terbagi dalam enam satuan, yakni: pedataran lanau lempungan, lempung lanauan, pedataran lempung pasir - pasir lempungan, pedataran lempung pasir - lanau asiran, pedataran pasir, perbukitan batu gamping, perbukitan breksi tufa, dan perbukitan lahar.
2. Tingkat keluasannya untuk pembangunan perkotaan (industri, pemukiman, perdagangan, dan jasa) nilai daerah studi berkisar 53 - 81, yakni agak leluasa - leluasa, dengan sebaran sebagai berikut: pedataran lanau lempungan - lempung lanauan 64 - 76 (agak leluasa cukup leluasa); pedataran lempung pasir - pasir lempungan 53 - 78 (agak leluasa - cukup leluasa); pedataran lempung pasir - lanau pasir 54 - 78 (agak leluasa - cukup leluasa); pedataran pasir 55 - 85 (agak leluasa - leluasa); perbukitan batu gamping 53 - 73 (agak leluasa - cukup leluasa), perbukitan breksi tufa 55 - 85 (agak leluasa - leluasa) dan perbukitan lahar 55 - 81 (agak leluasa - cukup leluasa).
3. Hasil evaluasi terhadap tata ruang menunjukkan kawasan yang saat ini merupakan kawasan budi daya berada pada zona agak

leluasa - leluasa, adapun kawasan lindung berada pada zona agak leluasa - cukup leluasa. Dengan demikian pengembangan kegiatan perdagangan, jasa dan industri di dalam kawasan budi daya harus mempertimbangkan masalah tanah lunak, sedangkan pengembangan kegiatan perdagangan, jasa, industri dan pemukiman di dalam kawasan lindung harus mempertimbangkan faktor keselamatan, dalam hal ini harus disesuaikan dengan aspek bencana geologi yang ada pada kawasan tersebut.

SARAN

1. Penataan ruang Kota Padang perlu memperhatikan dan mempertimbangkan kondisi fisik (geologi) dan lingkungan yang ada, utamanya perlu mempertimbangkan kemungkinan kejadian gempa bumi beserta bahaya ikutannya, seperti tsunami, likuifaksi, dan gerakan tanah.
2. Pada daerah dengan ancaman bahaya geologi perlu ditetapkan sebagai kawasan lindung geologi. Berdasarkan Rancangan Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Padang 2008-2028 kawasan ini diarahkan peruntukannya sebagai kawasan pemukiman, perdagangan dan jasa. Untuk dapat mengakomodasi peruntukan tersebut, maka perlu disusun pengaturan pembangunan (*building code*), sehingga semua jenis bentuk pembangunan fisik di dalam kawasan ini harus didasarkan pada peraturan tersebut.

ACUAN

Arief, S., dan Ruchijat, S., 1990, Peta Hidrogeologi Indonesia Skala 1:250.0000 Lembar Padang, Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, Bandung.

Djadja dan Purnomo, H., 2009, Peta Kerentanan Gerakan Tanah Wilayah Padang dan Sekitarnya, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.

Ediwan, E.S., Wahyono, dan Hartanto, 2009, Peta Potensi Likuifaksi Kota Padang dan sekitarnya, pusat Lingkungan Geologi-Badan Geologi.

Kastowo, Gerhard, W., Leo, S., Gafoer, S., dan Amin, T. C., 1994, Peta Geologi Lembar Padang, Sumatra Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Kertapati, E.K., Ungkap, L.B., Saputra, S.E.A., Andiani, Wahyono, Oktariadi, O., Suantika, G., Supartoyo, Andreastuti, S.D., dan Yudhicara. 2010, Peta percepatan puncak di batuan dasar wilayah gempa bumi Indonesia untuk perioda ulang gempa 500 tahun atau 10% kemungkinan terjadi dalam

50 tahun. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Noor, J., 2003, Geologi lingkungan, Penerbit Yogyakarta.

Oktariadi, O., 2006, Profil geologi lingkungan Jabodetabekpunjur Pusat Lingkungan Geologi - Badan Geologi. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Rosidi, H.M.D., Tjokrosopoetro, S., Pendowo, B., Gafoer, S., dan Suharsono, 2011, Peta Geologi Indonesia Lembar Painan dan Bagian Timur Lembar Muara Siberut Skala 1:250.000, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi.

Silitonga, P.H., dan Kastowo, 1995, Peta Painan dan sebagian Lembar Muara Geologi Indonesia Lembar Solok Skala Siberut, Direktorat Geologi Tata 1:250.000, Pusat Survei Geologi - Badan Geologi, Bandung.

Yudhicara, 2011, Kaitan antara karakteristik pantai Sumatra Barat dengan potensi kerawanan tsunami, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi - Badan Geologi, Bandung.