

Kelas tektonik sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah

Tectonic class of Palu Koro Fault, Central Sulawesi

Supartoyo, Cecep Sulaiman, dan Deden Junaedi

Badan Geologi, Jln. Diponegoro No. 57, Bandung

ABSTRAK

Sesar Palu Koro terletak di sepanjang lembah Palu Koro yang membentang dari Teluk Palu ke arah tenggara. Sesar ini merupakan struktur geologi utama di Provinsi Sulawesi Tengah. Berdasarkan data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) terlihat dengan jelas adanya kelurusan sepanjang lembah Palu Koro yang berkaitan dengan keberadaan Sesar Palu Koro. Sebaran Sesar Palu Koro dapat dibagi menjadi tujuh segmen dengan urutan dari utara ke selatan adalah S6, S5, S4, S3, S2, S1, dan S0. Tulisan ini menganalisis kelas tektonik Sesar Palu Koro berdasarkan metode morfometri sinusitas muka pegunungan dan perbandingan lebar dan tinggi lembah. Morfometri merupakan pengukuran secara kuantitatif dari bentuk lahan yang meliputi lembah, muka pegunungan, luas daerah aliran sungai, tinggi, dan panjang sungai. Nilai parameter morfometri sinusitas muka pegunungan Sesar Palu Koro berkisar antara 1,0008 hingga 2,3367, sedangkan nilai perbandingan lebar dan tinggi lembah berkisar antara 0,03936 hingga 0,9732. Berdasarkan analisis morfometri menggunakan dua parameter tersebut terlihat bahwa semua segmen Sesar Palu Koro tergolong kelas tektonik tinggi dan menengah, dan pada segmen bagian selatan, yaitu segmen S0, S1, S2, dan S3 kelas tektoniknya cenderung lebih tinggi dibandingkan segmen pada bagian utara, yaitu S4, S5, dan S6.

Kata Kunci: morfometri, sinusitas muka pegunungan, perbandingan lebar dan tinggi lembah, kelas tektonik

ABSTRACT

Palu Koro Fault lies along Palu valley that stretches from the Gulf of Palu to the southeast. This fault is a major geologic structure in the Province of Central Sulawesi. Based on data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) lineament is clearly seen along the valley of Palu Koro which is related to the presence of Palu Koro Fault. The distribution of Palu Koro Fault can be divided into seven segments with sequence from north to south are S6, S5, S4, S3, S2, S1, and S0 respectively. This paper analyzes tectonic classes of Palu Koro Fault based on morphometry methods of mountain front sinuosity and ratio of valley floor width to valley depth. Morphometry is a quantitative measurement of the shape of landform including valley, mountain front, width of drainage basin, height and length of rivers. The parameter values of mountain sinuosity of Palu Koro Fault range between 1.0008 to 2.3367, and the values of ratio of valley floor width to valley depth range between 0.03936 to 0.9732. Based on morphometry analysis using the both parameters it can be seen that all segments of Palu Koro Fault are classified as high to middle tectonic classes, whereas in the southern part (segments S0, S1, S2, and S3) tend to have higher tectonic classes than in the north (segments S4, S5, and S6).

Keyword: *morphometry, mountain front sinuosity, ratio of valley floor width to valley height, tectonic class*

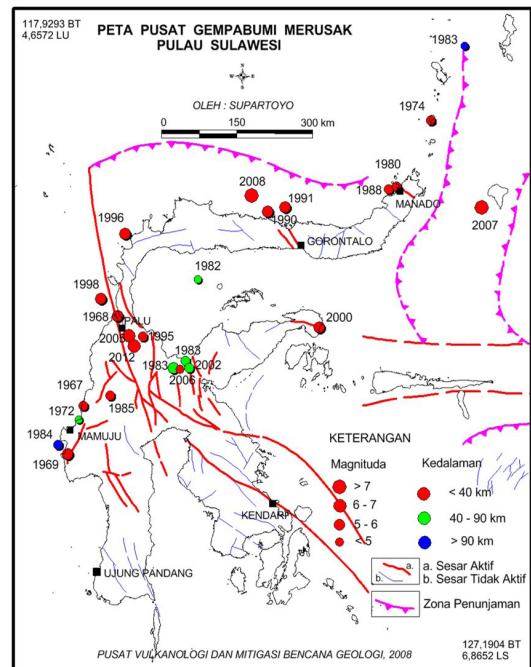
PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Laut Filipina (Hall, 2002). Pertemuan keempat lempeng tersebut mengakibatkan terbentuknya tatanan tektonik yang rumit. Di wilayah Indonesia bagian timur tatanan tektoniknya melibatkan lempeng utama, mikro kontinen, dan busur kepulauan. Daerah Sulawesi merupakan bagian dari wilayah Indonesia bagian timur yang memiliki tatanan tektonik rumit.

Daerah Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah rawan bencana gempa bumi di Indonesia (Supartoyo dan Surono, 2008), karena terletak dekat dengan sumber gempa bumi yang berada di darat dan di laut. Sebaran kejadian gempa bumi merusak Pulau Sulawesi ditampilkan pada Gambar 1. Sumber-sumber gempa bumi tersebut terbentuk akibat proses tektonik yang terjadi sebelumnya. Sumber gempa bumi di laut berasal dari penunjaman Sulawesi Utara yang terletak di sebelah utara Pulau Sulawesi, sedangkan sumber gempa bumi di darat bersumber dari beberapa sesar aktif di daratan Sulawesi Tengah, salah satunya adalah Sesar Palu Koro.

Sesar Palu Koro merupakan sesar utama di Pulau Sulawesi dan tergolong sebagai sesar aktif (Bellier *et al.*, 2001). Wilayah Sulawesi Tengah paling tidak telah mengalami 19 kali kejadian gempa bumi merusak (*destructive earthquake*) sejak tahun 1910 hingga 2013 (modifikasi dari Supartoyo dan Surono, 2008). Beberapa kejadian gempa bumi merusak tersebut pusat gempa buminya terletak di darat. Kejadian gempa



Gambar 1. Peta sebaran pusat gempa bumi merusak dan tahun kejadian di Pulau Sulawesi (modifikasi dari Supartoyo dan Surono, 2008).

bumi dengan pusat gempa bumi terletak di darat di sekitar lembah Palu Koro diperkirakan berkaitan dengan aktivitas Sesar Palu.

Tulisan ini akan membahas tentang kelas tektonik Sesar Palu Koro berdasarkan analisis morfometri. Hasil analisis morfometri ini akan diverifikasi dengan kenampakan morfotektonik dan pengamatan lapangan. Dengan mengetahui pada bagian mana atau segmen mana dari Sesar Palu Koro yang memiliki kelas tektonik yang lebih tinggi akan membantu untuk melakukan kegiatan mitigasi gempa bumi di sepanjang Zona Sesar Palu Koro. Kelas tektonik lebih tinggi memiliki kecenderungan potensi bahaya tektonik (kegempaan) lebih tinggi (El Hamdouni *et al.*, 2008; Dehbozorgi *et al.*, 2010).

Tataan Tektonik Daerah Sulawesi Tengah

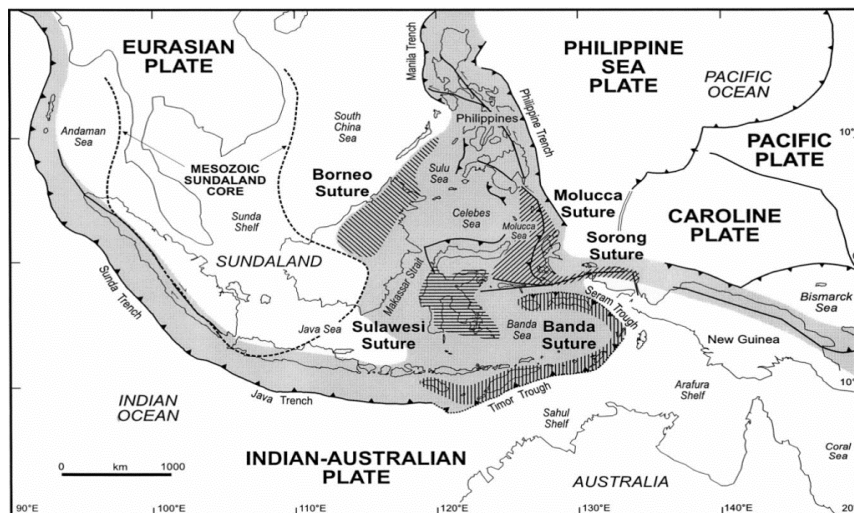
Pulau Sulawesi terbentuk dari proses tektonik yang rumit, sehingga memberikan bentuk kenampakan seperti sekarang. Beberapa peneliti telah mengemukakan pendapatnya tentang pembentukan Pulau Sulawesi antara lain Soekamto (1975), Hamilton (1979), Hall dan Wilson (2000). Hall dan Wilson (2000) menggunakan istilah *suture* untuk menggambarkan kerumitan tektonik yang terjadi di Indonesia, termasuk di Pulau Sulawesi, dan mengidentifikasi adanya lima *suture* di Indonesia, yaitu *Suture* Sulawesi, Maluku, Sorong, Banda, dan Kalimantan (Gambar 2).

Menurut Hall dan Wilson (2000) *suture* Sulawesi terbentuk akibat proses tumbukan antara kontinen dan kontinen (Paparan Sunda dan Australia) yang merupakan daerah akresi yang sangat kompleks, tersusun oleh fragmen ofiolit, busur kepulauan dan kontinen. Pembentukan

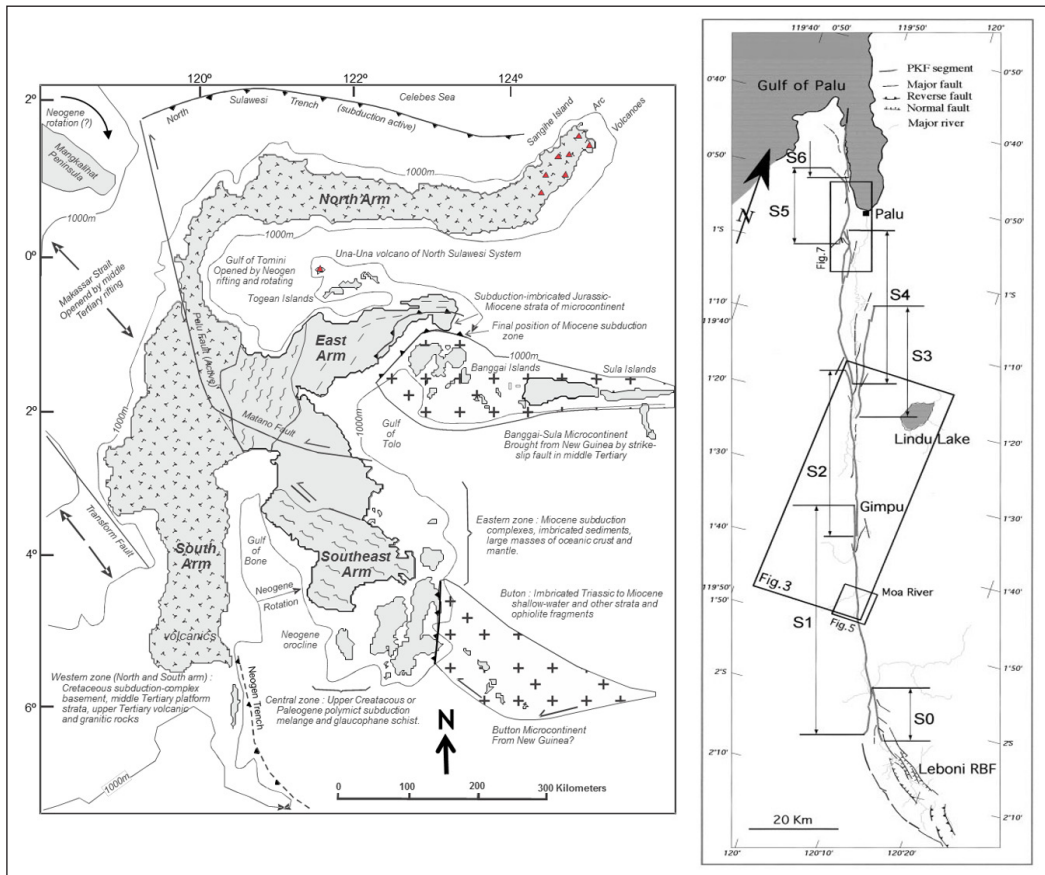
suture Sulawesi diperkirakan terjadi pada Kala Oligosen Akhir dan berlanjut hingga Miosen Awal. Hingga saat ini diperkirakan deformasi tersebut masih berlangsung. Hamilton (1979) berdasarkan perbedaan litologi membagi Pulau Sulawesi menjadi empat mandala (*province*) tektonik yaitu Lengan Utara (*North Arm*), Lengan Selatan (*South Arm*), Lengan Timur (*East Arm*), dan Lengan Tenggara (*Southeast Arm*) (Gambar 3).

Metodologi

Metode yang dipergunakan untuk menganalisis kelas tektonik Sesar Palu Koro adalah morfometri. Peneliti sebelumnya, yaitu Bellier *et al.* (2001) belum melakukan pembagian kelas tektonik pada Sesar Palu Koro. Morfometri didefinisikan sebagai pengukuran kuantitatif bentuk bentang lahan (*landscape*) menyangkut karakteristik ukuran, elevasi (maksimum, mini-



Gambar 2. Lima *suture* (garis hitam diarsir) yang terdapat di Indonesia akibat dinamika tektonik yang terjadi (Hall dan Wilson, 2000). Daerah warna abu-abu merupakan daerah pertemuan antara Lempeng Eurasia, India-Australia, Pasifik, dan Filipina.



Gambar 3. Gambar kiri merupakan tataan tektonik Pulau Sulawesi (Hamilton, 1979), gambar kanan merupakan pembagian segmentasi Sesar Palu Koro (Bellier *et al.*, 2001).

mum atau rata-rata), dan lereng (Keller dan Pinter, 1996). Pengukuran kuantitatif mengikuti kaidah geomorfologi sebagai objek dengan membandingkan bentuk lahan (*landform*) dan menghitung parameter secara langsung yang bertujuan untuk identifikasi karakteristik dan tingkatan aktivitas tektonik suatu wilayah. Parameter untuk menghitung secara langsung meliputi luas, panjang, elevasi unsur morfologi disebut indeks geomorfik. Beberapa indeks geomorfik telah dipergunakan sebagai dasar kajian penting untuk mengidentifikasi deformasi tek-

tonik dan kelas tektonik suatu daerah. Indeks geomorfik tersebut ada yang perhitungannya menggunakan Daerah Aliran Sungai (DAS) maupun sub DAS, dan yang tidak menggunakan DAS. Beberapa indeks geomorfik yang menggunakan DAS maupun sub DAS yaitu: kurva hypsometric (*hypsometric curve*) dan hypsometric integral, asimetri daerah aliran sungai (*drainage basin asymmetry*), indeks gradien panjang sungai (*stream length – gradient index*), dan indeks daerah aliran sungai (*drainage basin indices*). Adapun yang tidak meng-

gunakan DAS atau sub DAS adalah sinusitas muka pegunungan (*mountain front sinuosity*), dan perbandingan lebar dan tinggi lembah (*ratio of valley floor width to valley height*). Indeks geomorfik tersebut sering dipergunakan untuk studi tektonik aktif (Keller dan Pinter, 1996).

Pada penelitian ini dipergunakan analisis indeks geomorfik yang perhitungannya tidak menggunakan DAS atau sub DAS, yaitu sinusitas muka pegunungan (*mountain front sinuosity*), dan perbandingan lebar dan tinggi lembah (*ratio of valley floor width to valley height*). Hal ini disebabkan karena sebaran sebaran Sesar Palu Koro sudah jelas, dan bukan untuk menganalisis suatu kawasan.

Sinusitas muka pegunungan diberi simbol Smf merupakan rangkaian pegunungan yang terdapat pada bagian depan atau muka yang menghadap ke daerah dataran. Muka pegunungan tersebut merupakan kumpulan kenampakan bentang alam yang terdiri dari gawir, sungai yang mengikis gawir tersebut dan bentuk lahan baru. Muka pegunungan pada umumnya merupakan bidang sesar atau zona sesar dan dapat terbentuk pada semua jenis sesar, yaitu sesar naik, normal, dan mendatar. Pada zona muka pegunungan dapat menghasilkan bentuk lahan baru, seperti yang terdapat di daerah metropolitan Los Angeles pada bagian selatan California, dan bentuk lahan yang terbentuk pada muka pegunungan berupa perbukitan faset segitiga, perbukitan *piedmont junction*, dan *piedmont foreland* (Bull, 2007).

Nilai Smf dihitung dengan membandingkan panjang lekukan sepanjang muka pegunungan terhadap jarak lurus pada zona muka pegunungan dengan mengambil titik tertentu (Keller dan Pinter, 1996). Data panjang lekukan dan lurus

sepanjang muka pegunungan dapat diamati dengan data citra, foto udara, dan peta topografi. Persamaan untuk menghitung muka pegunungan (Smf) adalah:

$$Smf = Lmf / Ls.(1)$$

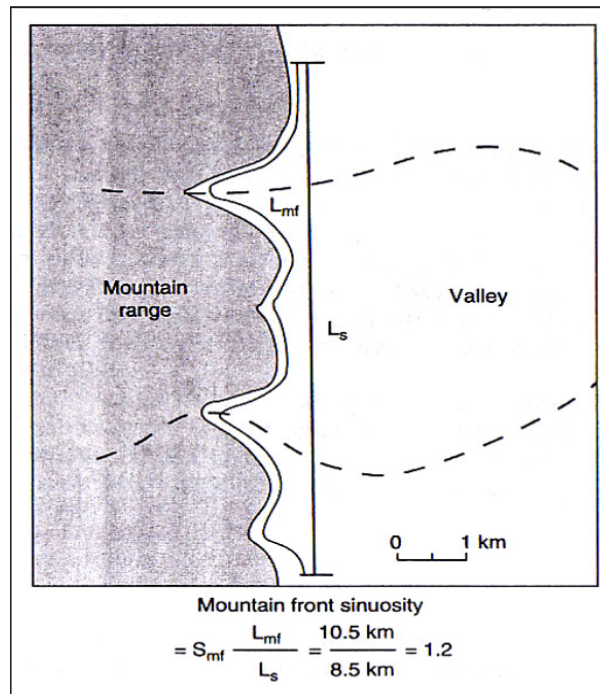
Lmf adalah panjang lekukan muka pegunungan pada bagian bagian bawah, sedangkan Ls adalah panjang secara lurus muka pegunungan. Gambar 4 menjelaskan metode perhitungan Smf .

Perbandingan lebar dan tinggi lembah diberi simbol Vf merupakan nilai perbandingan antara lebar dan tinggi lembah pada suatu daerah. Nilai Vf dihitung dengan persamaan:

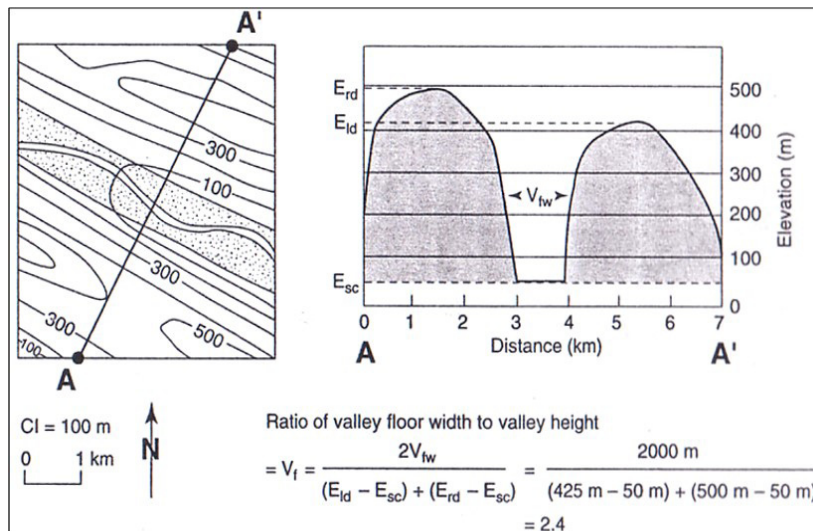
$$Vf = 2 Vfw / (Eld - Esc) + (Erd - Esc)(2)$$

Vfw adalah lebar dasar lembah, Eld dan Erd adalah elevasi bagian kiri dan kanan lembah, Esc adalah elevasi dasar lembah. Gambar 5 menampilkan metode perhitungan Vf .

Nilai Vf tinggi berasosiasi dengan kecepatan pengangkatan rendah, sehingga sungai akan memotong secara luas pada dasar lembah dan bentuk lembah akan semakin melebar. Bentuk lembah akan cenderung berbentuk huruf U. Nilai Vf rendah akan merefleksikan lembah dalam, lembah berbentuk huruf V, dan mencerminkan penambahan aktivitas sungai, hal ini berasosiasi dengan kecepatan pengangkatan. Metode ini juga telah diterapkan untuk menganalisis tektonik aktif di zona Sesar Garlock daerah California berdasarkan perhitungan nilai Vf berkisar antara 0,05 – 47, dan nilai Vf rendah dijumpai pada lembah bagian utara zona Sesar Garlock yang diasumsikan bahwa aktivitas tektoniknya lebih aktif dibanding daerah lainnya (Keller dan Pinter, 1996).



Gambar 4. Ilustrasi metode perhitungan sinusitas muka pegunungan/ S_{mf} dari kenampakan atas (Keller dan Pinter, 1996).



Gambar 5. Metode perhitungan perbandingan lebar dan tinggi lembah (Keller dan Pinter, 1996).

Beberapa peneliti telah mengusulkan klasifikasi indeks geomorfik untuk membuat klasifikasi kelas tektonik, yaitu sinusitas muka pegunungan (Smf) dan perbandingan antara lebar dan tinggi lembah (Vf) (Bull dan McFadden, 1977; Rockwell *et al.*, 1985, dan Silva *et al.*, 2003 dalam El Hamdouni *et al.*, 2008). Resume klasifikasi kelas tektonik berdasarkan para peneliti tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Hasil analisis morfometri tersebut akan diverifikasi dengan kenampakan morfotektonik.

Berdasarkan hasil analisis morfometri akan diperoleh kelas tektonik. Masing-masing kelas tektonik tersebut akan dianalisis kenampakan morfotektoniknya. Pada kajian morfotektonik keberadaan data citra mutlak diperlukan, terutama yang mempunyai resolusi tinggi. Data citra tersebut akan membantu untuk menganalisis bentuk lahan.

Berdasarkan genetiknya morfologi pada permukaan bumi dapat dibagi menjadi dua, yaitu morfologi tektonik primer dan morfologi tek-

Tabel 1. Perbandingan antara indeks geomorfik untuk klasifikasi kelas tektonik pada kajian di daerah Spanyol Selatan dan di USA dari beberapa peneliti, yaitu Bull dan McFadden, 1977; Rockwell dkk., 1985, dan Silva dkk., 2003 (El Hamdouni dkk., 2008).

	Bull and McFadden (1977)	Rockwell et al. (1985)	Silva et al. (2003)	Present study
<i>Class 1</i>	$Smf : 1.2 - 1.6$ $Vf : 0.055 - 0.5$ <i>Unentrenched alluvial fans. Elongated drainage basins with narrow valley floors and steep hillslopes even in soft materials.</i>	$Uplift rate : > 0.4 - 0.5 \text{ m/ka}$ $Smf < 1.4$ $Vf < 1$	$Smf < 1.53$ $Vf < 0.60$	$Smf < 1.1$ $Vf < 0.5$ <i>SL : High anomalous values</i> $(Af-50) > 15$ $Bs > 4$
<i>Class 2</i>	$Smf : 1.8 - 3.4$ $Vf : 0.5 - 3.6$ <i>Entrenched alluvial fans. Large drainage basin that are more circular than class 1.</i>	$Uplift rate : 0.5 - 0.05 \text{ m/ka}$ $Smf > 1.4$ $Vf > 1$	$Smf : 1.8 - 2.3$ $Vf : 0.3 - 0.8$	$Smf : 1.1 - 1.5$ $Vf : 0.5 - 1$ <i>SL : Low anomalous values</i> $(Af-50) : 7 - 15$ $Bs : 4 - 3$
<i>Class 3</i>	$Smf : 2 - 7$ $Vf : 2 - 47$ <i>Pedimented fronts and embayments. Steep hillslopes only on resistant rock types and few large integrated stream system in the mountains.</i>	$Uplift rate : < 0.05 \text{ m/ka}$ $Smf > 1.4$ $Vf > 1$	$Smf : 2.8 - 3.5$ $Vf : 0.8 - 1.2$	$Smf > 1.5$ $Vf > 1$ <i>SL : No anomalies</i> $(Af-50) < 7$ $Bs < 3$

tonik sekunder (Stewart dan Hancock, 1994). Morfologi tektonik primer adalah bentuk morfologi langsung dari hasil pergerakan pada permukaan bumi, seperti longoran, gawir sesar, likuifaksi, pergeseran tanah, dan lain-lain. Sedangkan morfologi tektonik sekunder adalah suatu fenomena geomorfologi yang telah diubah, diawetkan atau dimodifikasi oleh aktivitas tektonik berikutnya. Bentuk topografi yang telah mengalami perpindahan/pergerakan dapat terlihat dan teramati melalui data citra atau foto udara yang memberikan kenampakan morfotektonik berupa pola aliran sungai, perpindahan perbukitan, pembelokan sungai, kelurusan, gawir sesar, kenampakan teras sungai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Morfotektonik

Keberadaan Sesar Palu Koro dapat diamati berdasarkan kenampakan citra *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) resolusi 90 m dan peta topografi berupa adanya kelurusan morfologi sepanjang lembah Palu – Koro. Kelurusan tersebut dapat diamati dengan jelas berupa lekukan antara perbukitan, lembah dan lekukan pada zona peralihan antara perbukitan dan dataran. Daerah yang memperlihatkan adanya kelurusan yang terletak diantara lekukan perbukitan dan dataran tersebut dikenal sebagai muka pegunungan (*mountain front*) dan pada umumnya merupakan suatu zona sesar (Bull, 2007). Zona muka pegunungan tersebut membentang sepanjang lembah Palu – Koro. Berdasarkan analisis kelurusan menggunakan data citra SRTM terlihat bahwa kelurusan utama di daerah penyelidikan terdapat di Lembah Palu - Koro yang berarah utara - barat laut dan selatan

- tenggara (Gambar 6). Kelurusan ini membentuk lembah yang diapit oleh gawir pada bagian barat dan timur. Di lembah Palu bagian utara kenampakan gawir bagian barat lebih lurus dibandingkan bagian timur yang telah berkelok.

Arah kelurusan ini dominan terdapat di daerah penyelidikan. Kelurusan lainnya berarah barat - timur dan utara - selatan. Pada bagian tenggara Zona Sesar Palu Koro di sekitar Teluk Bone kelurusan tersebut berarah utara - barat laut dan selatan - tenggara, barat laut - tenggara, timur laut - barat daya. Arah kelurusan utara - barat laut dan selatan - tenggara masih terlihat dominan di daerah ini.

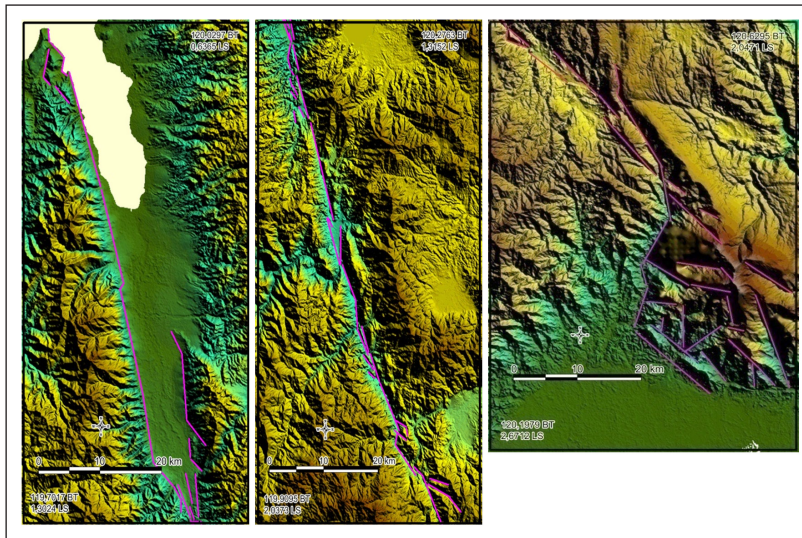
Analisis Morfometri

Perhitungan paramater Smf dan Vf dihitung menggunakan peta topografi skala 1 : 50.000 yang diterbitkan oleh Bakosurtanal (sekarang Badan Informasi Geospasial). Gambar 7 berikut ini menampilkan peta topografi lembar Palu.

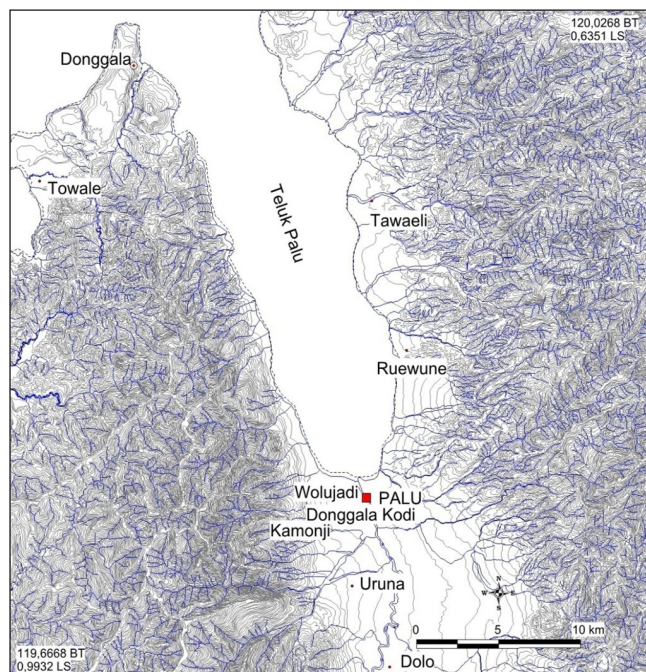
Sinusitas Muka Pegunungan

Perhitungan Smf dapat dilakukan pada segmen S1, S2, S3, S4, S5, dan S6, sedangkan pada segmen S0 tidak dapat dilakukan, karena tidak terbentuk zona muka pegunungan. Zona sesar yang terbentuk pada segmen S0 merupakan perbukitan.

Nilai Smf dihitung sebanyak 36 lokasi. Berdasarkan hasil perhitungan, sebaran nilai Smf di daerah penyelidikan berkisar antara 1,0008 hingga 2,3367. Sebaran nilai Smf pada segmen S1, S2, S3, S4, S5, dan S6 ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Kelurusan di sepanjang lembah Palu – Koro (garis warna merah muda), mulai dari Teluk Palu hingga Teluk Bone berdasarkan analisis data citra SRTM. Arah kelurusan dominan utara - barat laut dan selatan – tenggara.



Gambar 7. Peta topografi dan jaringan sungai bersumber dari peta rupa bumi lembar Palu yang diterbitkan oleh BIG. Peta tersebut dipergunakan untuk menghitung parameter S_{mf} dan V_f .

Tabel 2. Hasil perhitungan Smf pada Zona Sesar Palu Koro

No.	Lmf (km)	Ls (km)	Smf	Segmen	No.	Lmf(km)	Ls (km)	Smf	Segmen
1	8,338	4,991	1,6706	S6	19	4,874	4,835	1,0081	S4
2	6,559	2,807	2,3367	S6	20	8,224	7,912	1,0394	S4
3	2,096	1,894	1,1067	S6	21	10,51	8,165	1,2872	S4
4	3,111	3,029	1,0271	S6	22	5,893	5,787	1,0183	S3
5	1,868	1,060	1,7623	S6	23	5,3	4,523	1,1718	S3
6	3,180	2,695	1,1800	S6	24	5,909	4,938	1,1966	S3
7	2,575	2,213	1,1636	S6	25	5,512	5,225	1,0549	S3
8	3,002	2,818	1,0653	S6	26	5,684	5,281	1,0763	S3
9	3,054	2,685	1,1374	S5	27	2,855	2,515	1,1352	S3
10	5,453	5,095	1,0703	S5	28	3,167	2,670	1,1861	S2
11	3,710	3,238	1,1458	S5	29	3,408	3,267	1,0432	S2
12	3,048	2,841	1,0729	S5	30	2,791	2,612	1,0685	S2
13	1,999	1,899	1,0527	S5	31	2,555	2,399	1,0650	S2
14	1,275	1,183	1,0778	S4	32	5,353	5,315	1,0071	S2
15	2,629	2,372	1,1083	S4	33	2,582	2,58	1,0008	S1
16	3,754	3,715	1,0105	S4	34	1,120	1,066	1,0507	S1
17	5,208	4,955	1,0511	S4	35	3,085	3,014	1,0236	S1
18	7,458	7,304	1,0211	S4	36	3,678	3,581	1,0271	S1

Nilai Smf kecil (berkisar satu) akan membentuk muka pegunungan berbentuk lurus, linier, dan sedikit atau bahkan tanpa adanya lekukan. Nilai Smf besar (lebih besar dari satu setengah) akan terdapat banyak lekukan sepanjang muka pegunungan akibat proses erosi yang dominan setelah proses pembentukan sesar. Batuan yang terdapat di sepanjang Zona Sesar Palu Koro didominasi oleh Granit dan sebagian endapan aluvial (Soekamto, 1975; Sukido *et al.*, 1993), pada segmen S6 merupakan batuan gunung api berumur Tersier (Soekamto *et al.*, 1973), dan pada segmen S5 sebagian merupakan Formasi Tinombo (Soekamto *et al.*, 1973) berupa serpih, batu pasir, konglomerat, batuan vulkanik, batu gamping, rijang, filit, batu sabak, dan kuarsit. Dengan adanya batuan yang dominan

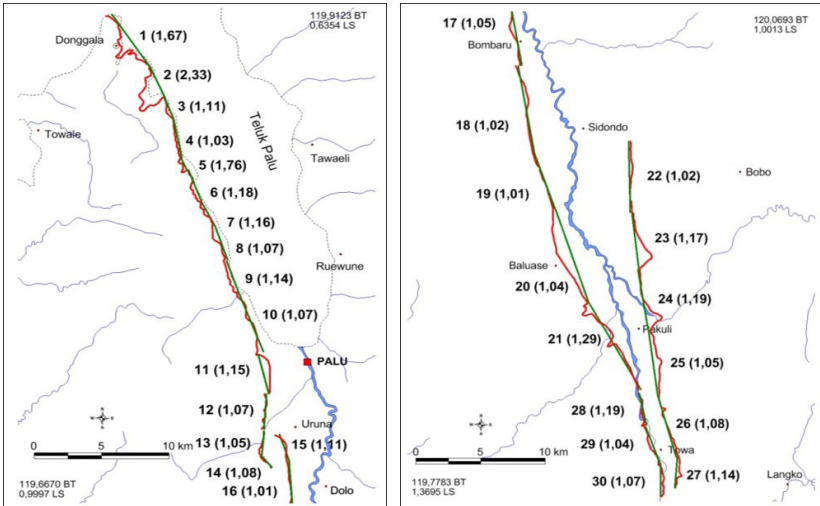
tersebut berupa granit dan sebagian kecil lainnya berupa batuan gunung api berumur Tersier dan Formasi Tinombo, serta adanya nilai Smf yang berbeda-beda, maka dapat disimpulkan bahwa nilai Smf yang terbentuk di daerah penelitian bukan didominasi oleh akibat pengaruh erosi dan resistensi batuan, tetapi lebih dominan diakibatkan oleh pengaruh tektonik.

Nilai Smf rendah atau kecil berkaitan dengan tektonik aktif yang tercermin oleh bentuk muka pegunungan lurus dengan sedikit atau bahkan tanpa adanya lekukan. Nilai Smf tinggi atau besar menggambarkan proses erosi yang dominan setelah terhentinya proses tektonik yang tercermin pada muka pegunungan dengan banyak lekukan atau kelokan. Peta selengkap-

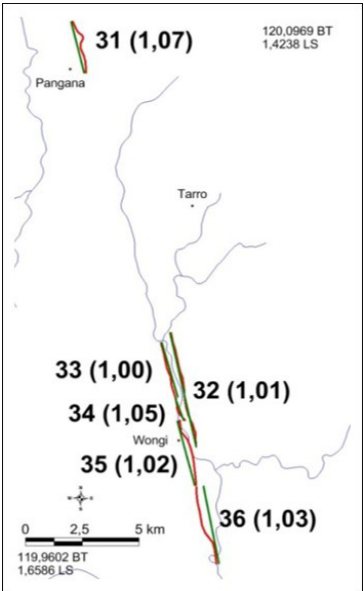
nya yang memperlihatkan hasil analisis Smf dan lokasi perhitungan Smf ditampilkan pada Gambar 8 dan 9.

Perbandingan Lebar dan Tinggi Lembah

Perhitungan nilai Vf dapat dilakukan pada segmen S0, S1, S2, S3, S4, dan S5, sedangkan



Gambar 8. Lokasi dan hasil perhitungan nilai Smf nomor 1 hingga 16 (gambar kiri), dan nomor 17 hingga 30 (gambar kanan). Angka dalam kurung merupakan nilai Smf.



Gambar 9. Lokasi dan hasil perhitungan nilai Smf nomor 31 hingga 36. Angka dalam kurung merupakan nilai Smf.

pada segmen S6 tidak dapat dilakukan, karena lembahnya merupakan Teluk Palu yang membentang berarah utara – barat laut dan selatan – tenggara. Disamping itu nilai Vf pada segmen S6 ini diperkirakan besar. Nilai Vf dihitung sebanyak 25 lokasi. Berdasarkan hasil perhitungan, sebaran nilai Vf di daerah penyelidikan berkisar antara 0,03936 hingga 0,9732. Sebaran nilai Vf pada masing-masing segmen Sesar Palu Koro tercantum pada Tabel 3.

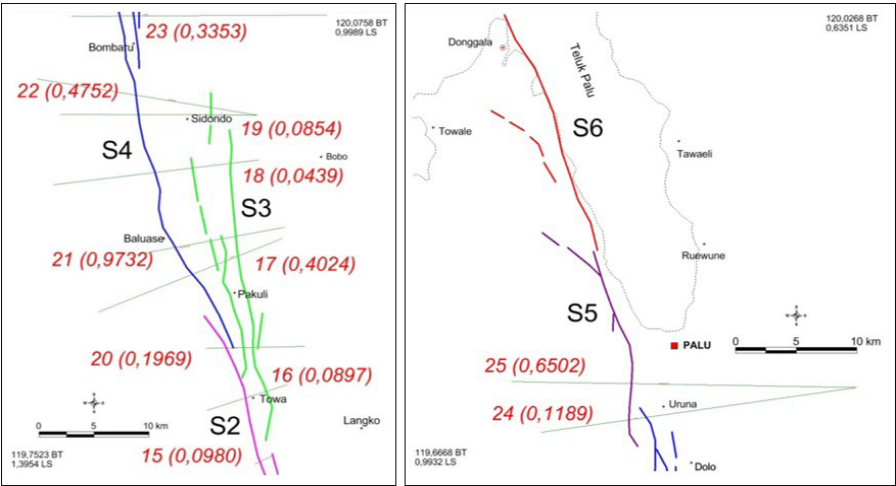
Pada umumnya nilai Vf di sepanjang Zona Sesar Palu Koro kecil, yaitu kurang dari setengah. Nilai Vf kecil akan mencerminkan bentuk lembah dalam, curam, berbentuk huruf V, dan berasosiasi dengan aktivitas tektonik. Batuan yang terdapat di sepanjang Zona Sesar Palu Koro didominasi oleh Granit dan sebagian endapan aluvial (Soekamto, 1975; Sukido *et al.*, 1993). Batuan pada segmen S6 merupakan batuan gunung api berumur Tersier (Soekamto *et al.*,

Tabel 3. Hasil perhitungan Vf pada Zona Sesar Palu Koro

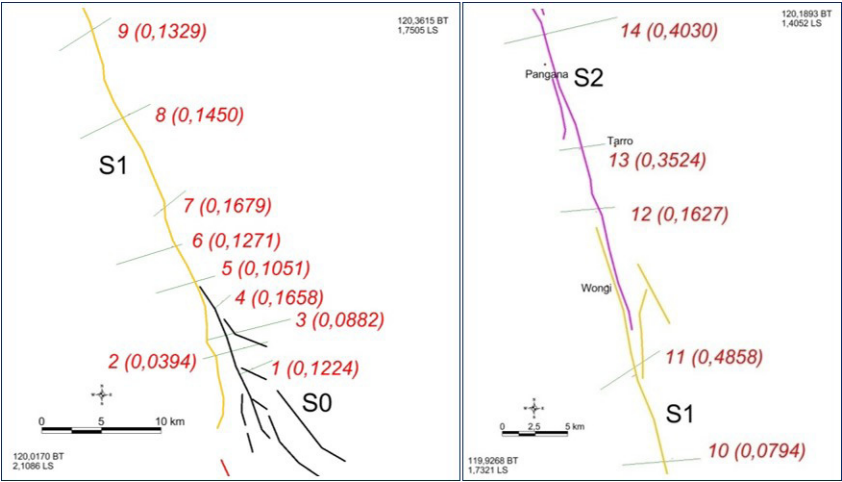
No.	Vfw (m)	2 Vfw	Eld (m)	Esc (m)	Erd (m)	(Eld-Esc)+(Erd-Esc)	Vf	Segmen
1	70,1	140,2	1285	825	150	1145	0,122445415	S0
2	30,9	61,8	1485	800	1685	1570	0,039363057	S0
3	79,0	158,0	1655	775	1685	1790	0,088268156	S0
4	40,2	80,4	980	750	1005	485	0,165773196	S0
5	70,4	140,8	1055	700	1685	1340	0,105074627	S1
6	103,9	207,8	980	650	1955	1635	0,127094801	S1
7	92,8	185,6	1030	625	1105	1105	0,167963801	S1
8	127,6	255,2	1080	525	1730	1760	0,145	S1
9	65,8	131,6	1030	550	1060	990	0,132929293	S1
10	61,9	123,8	1105	450	1355	1560	0,079358974	S1
11	300,0	600,0	1030	425	1055	1235	0,48582996	S1
12	78,1	156,2	830	525	1180	960	0,162708333	S2
13	133,9	267,8	1055	700	1105	760	0,352368421	S2
14	268,0	536,0	780	600	1750	1330	0,403007519	S2
15	29,9	59,8	630	350	680	610	0,098032787	S2
16	58,5	117,0	825	225	930	1305	0,089655172	S2
17	509,0	1018,0	1300	100	1430	2530	0,402371542	S3
18	62,5	125,0	950	75	2050	2850	0,043859649	S3
19	129,2	258,4	875	75	2300	3025	0,08521488	S3
20	148,2	296,4	700	175	1155	1505	0,196943522	S4
21	1000,0	2000,0	875	75	1330	2055	0,97323601	S4
22	689,0	1378,0	875	50	2125	2900	0,475172414	S4
23	436,0	872,0	1100	25	1550	2600	0,335384615	S4
24	144,2	288,4	1050	150	1675	2425	0,118927835	S5
25	790,0	1580,0	1055	50	1475	2430	0,650205761	S5

1973), dan pada segmen S5 sebagian merupakan Formasi Tinombo (Soekamto *et al.*, 1973) berupa serpih, batu pasir, konglomerat, batuan vulkanik, batu gamping, rijang, flit, batu sabak, dan kuarsit. Dengan adanya variasi batuan tersebut dan nilai Vf yang berbeda-beda, maka dapat disimpulkan bahwa nilai Vf yang terben-

tuk di daerah penelitian bukan didominasi oleh akibat pengaruh erosi dan resistensi batuan, tetapi lebih dominan diakibatkan oleh pengaruh tektonik. Peta selengkapnnya yang memperlihatkan lokasi dan hasil perhitungan Vf ditampilkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Peta lokasi dan hasil perhitungan nilai Vf nomor 24 dan 25 (gambar kiri), dan nomor 15 hingga 23 (gambar kanan). Angka dalam kurung merupakan nilai Vf.



Gambar 11. Peta lokasi dan hasil perhitungan nilai Vf nomor 10 hingga 14 (gambar kiri), dan nomor 1 hingga 9 (gambar kanan). Angka dalam kurung merupakan nilai Vf.

DISKUSI

Indeks geomorfik Smf dan Vf diaplikasikan pada lokasi daerah penelitian, yaitu Sesar Palu Koro. El Hamdouni *et al.* (2008) dan Dehbozorgi *et al.* (2010) telah membuat klasifikasi atau pembagian kelas tektonik berdasarkan parameter Smf dan Vf menjadi tiga kelas, yaitu:

Kelas tektonik parameter Smf:

- Kelas 1 ($Smf < 1,1$)
- Kelas 2 ($1,1 \leq Smf < 1,5$)
- Kelas 3 ($Smf \geq 1,5$)

Kelas tektonik parameter Vf:

- Kelas 1 ($Vf \leq 0,5$)
- Kelas 2 ($0,5 \leq Vf < 1$)
- Kelas 3 ($Vf \geq 1$)

Kelas 1 memperlihatkan potensi bahaya akibat proses tektonik (gempa bumi) tinggi. Kelas 2 potensi bahaya gempa bumi menengah, sedangkan kelas 3 potensi bahaya gempa bumi rendah. Berdasarkan pembagian kelas tektonik di atas, maka dapat dibuat pembagian kelas tektonik Sesar Palu Koro untuk masing-masing segmen berdasarkan parameter Smf dan Vf sebagai berikut.

Kelas tektonik berdasarkan parameter Smf:

- Segmen S1 nilai Smf berkisar 1,0008 - 1,0507 (kelas 1).
- Segmen S2 nilai Smf berkisar 1,0071 - 1,1861 (kelas 1 hingga 2).
- Segmen S3 nilai Smf berkisar 1,0183 - 1,1966 (kelas 1 hingga 2).
- Segmen S4 nilai Smf berkisar 1,0081 - 1,2872 (kelas 1 hingga 2).
- Segmen S5 nilai Smf berkisar 1,0527 - 1,1458 (kelas 1 hingga 2)
- Segmen S6 nilai Smf berkisar 1,0271 -

2,3367 (kelas 1 hingga 3)

Kelas tektonik berdasarkan parameter Vf:

- Segmen S0 nilai Vf berkisar 0,0394 - 0,1658 (kelas 1)
- Segmen S1 nilai Vf berkisar 0,0794 - 0,4858 (kelas 1)
- Segmen S2 nilai Vf berkisar 0,0897 - 0,4030 (kelas 1)
- Segmen S3 nilai Vf berkisar 0,0439 - 0,4024 (kelas 1)
- Segmen S4 nilai Vf berkisar 0,1969 - 0,9732 (kelas 1 hingga 2)
- Segmen S5 nilai Vf berkisar 0,1189 - 0,6502 (kelas 1 hingga 2)

Berdasarkan parameter Smf terlihat bahwa kelas tektonik Sesar Palu Koro untuk segmen S1 merupakan kelas tektonik tinggi, segmen S2, S3, S4, dan S5 merupakan kelas tektonik tinggi hingga menengah, dan segmen S6 merupakan kelas tektonik tinggi hingga rendah. Parameter morfometri Vf memperlihatkan bahwa kelas tektonik Sesar Palu Koro untuk segmen S0, S1, S2, dan S3 merupakan kelas tektonik tinggi, sedangkan segmen S4 dan S5 merupakan kelas tektonik tinggi hingga menengah. Kelas tektonik tinggi memberikan kenampakan lapangan berupa gawir sesar membentuk muka pegunungan lurus dengan sedikit lekukan, perbukitan linier lurus dengan sedikit lekukan, dan lembah curam berbentuk huruf V.

Kelas tektonik tinggi hingga menengah memberikan kenampakan lapangan berupa gawir sesar membentuk muka pegunungan lurus dengan adanya lekukan (Gambar 12), perbukitan linier dengan adanya lekukan, dan lembah curam berbentuk huruf V (Gambar 13). Sementara itu teramati adanya depresi/

sagpond pada segmen S3 di Desa Bekubekulu, Kecamatan Palolo, Kabupaten Sigi. Kekar tarik dan kekar gerus pada batuan lava terdapat pada segmen S5 di Desa Kamonji, Kelurahan Palu Barat, Kota Palu (Gambar 14). Endapan sungai yang terpotong dan membentuk gawir sesar teramati di Kelurahan Donggala Kodi. Mata air panas teramati di dua lokasi, yaitu pada segmen S4 di Desa Mantikole, Kecamatan Dolo Barat, Kabupaten Sigi (Gambar 15), dan pada segmen



Gambar 14. Kenampakan kekar gerus pada batuan lava tersingkap di Kecamatan Palu Barat, Kota Palu. Kekar gerus ini merupakan struktur penyerta pada Sesar Palu Koro.



Gambar 12. Gawir sesar berarah N 330°E yang terdapat pada zona muka pegunungan di Kampung Kabunena, Desa Wolujadi, Kota Palu.



Gambar 15. Mata air panas muncul pada zona muka pegunungan di Desa Mantikole, Kecamatan Dolo Barat, Kabupaten Sigi.



Gambar 13. Morfologi perbukitan linier berarah utara – barat laut dan selatan – tenggara yang mencerminkan keberadaan Sesar Palu Koro di Teluk Palu.

S2 di Desa Namo, Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi. Pada segmen S2 ini terlihat adanya perbukitan linier yang membentuk lereng terjal dan tersusun oleh batuan granit yang telah mengalami pelapukan. Hal ini mengakibatkan potensi tinggi terjadi gerakan tanah. Berdasarkan pengamatan lapangan terlihat adanya beberapa gawir gerakan tanah dalam dimensi besar. Daerah yang berpotensi terjadi gerakan

tanah pada segmen S2 ini adalah Desa Namo, Salua (Gambar 16), dan Bolapapu, Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi. Di Desa Bolapapu terlihat adanya jejak terjadinya gerakan tanah yang diikuti oleh banjir bandang yang terjadi pada tahun 2012 (Gambar 17). Apabila terjadi gerakan tanah maka akan memutuskan jalan penghubung antar desa di Kecamatan Kulawi.



Gambar 16. Gerakan tanah dimensi besar di Desa Salua, Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi. Gerakan tanah ini mengancam jalan yang menghubungkan antar desa di Kecamatan Kulawi.



Gambar 17. Jejak banjir bandang yang terjadi pada tahun 2012 di Desa Bolapapu, Kecamatan Kulawi, Kabupaten Sigi. Pada latar belakang terlihat gawir Sesar Palu Koro berarah NNW – SSE.

Kelas tektonik menengah memberikan kenampakan lapangan berupa gawir sesar membentuk muka pegunungan dengan banyak lekukan, perbukitan linier dengan banyak lekukan, dan lembah yang tererosi lanjut dan cenderung berbentuk huruf U. Kelas tektonik ini terdapat pada bagian utara dari Sesar Palu Koro. Berdasarkan data kejadian gempa bumi merusak terlihat adanya aktivitas pada kelas tektonik tinggi hingga menengah. Kejadian gempa bumi merusak yang terjadi pada tahun 2005 dan 2012 di Sesar Palu Koro Segmen S3, sedangkan tahun 2009 terjadi di Sesar Palu Koro Segmen S4. Kejadian gempa bumi merusak ini merefleksikan aktivitas tektonik kelas tinggi hingga menengah pada Sesar Palu Koro.

KESIMPULAN

Parameter morfometri Smf dan Vf dapat dipergunakan untuk analisis kelas tektonik pada Sesar Palu Koro. Hal ini juga mencerminkan bentuk morfotektonik. Nilai Smf Sesar Palu Koro berkisar antara 1,0008 hingga 2,3367 dan dominan $< 1,2$. Nilai Smf kecil ini merefleksikan bentuk lahan berupa gawir sesar membentuk muka pegunungan lurus dengan sedikit lekukan dan perbukitan linier lurus dengan sedikit lekukan. Nilai Vf Sesar Palu Koro berkisar antara 0,03936 hingga 0,9732 dan dominan $< 0,2$ yang merefleksikan bentuk lahan berupa lembah curam dan berbentuk huruf V.

Berdasarkan analisis kedua parameter morfometri tersebut terlihat bahwa semua segmen Sesar Palu Koro tergolong kelas tektonik tinggi, dan terlihat bahwa pada segmen bagian selatan yaitu segmen S0, S1, S2, dan S3 kelas tektoniknya cenderung lebih tinggi dibandingkan pada segmen bagian utara, yaitu segmen S4, S5, dan S6.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Dr. Gede Suantika dan Dr. Sri Hidayati, dari badan geologi atas persetujuannya terhadap kegiatan lapangan pada penyelidikan ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Rustan Effendi dari Fakultas MIPA Universitas Tadulako atas diskusi dan masukannya mengenai sebaran Sesar Palu Koro

ACUAN

- Bellier, O., Sbrier, M., Beaudouin, T., Villeneuve, M., Braucher, R., Bourles, D., Siame, L., Putranto, E., dan Pratomo, I., 2001, *High Slip Rate for a Low Seismicity along the Palu Koro Active Fault in Central Sulawesi (Indonesia)*, Blackwell Science Ltd., Terra Nova, 13, 463 – 470.
- Bull, W.B., 2007, *Tectonic Geomorphology of Mountain: a New Approach for Paleoseimology*, Blackwell Publishing: 316 pp.
- Dehbozorgi, M., Poukermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, A., dan Hosseiniasi, A., 2010, Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in The Sarvestan Area, Central Zagros, Iran, *Geomorphology* 03284, 1 – 13.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., dan Keller, E.A., 2008, Assesment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain), *Journal of Geomorphology* 96 (2008), 150 – 173.
- Hall, R., 2002, Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer Based Reconstruction, Model and Animation, *Journal of Asian Earth Science* (20) 2002, 353 – 431.
- Hall, R. dan Wilson, M.E.J., 2000: Neogene sutures in eastern Indonesia, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 18, hal. 781-808.
- Hamilton, W., 1979, *Tectonic of Indonesia Region, Geological Survey Professional Paper*, United States Government Printing Office, Washington.
- Keller, E.A. dan Pinter, N., 1996, *Active Tectonic Earthquake, Uplift and Landscape*, Prentice hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458: 338 pp.
- Simandjuntak, T.O., Surono, dan Supandjono, J.B., 1997, *Peta Geologi Lembar Poso, Skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Soekamto, RAB., 1975, *Peta Geologi Indonesia Lembar Ujung Pandang, Skala 1 : 1.000.000*, Direktorat Geologi, Bandung.
- Soekamto, RAB., Sumadirdja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S., dan Sudana, D., 1973, *Peta Geologi Lembar Palu, Skala 1 : 250.000*, Sulawesi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sukido, Sukarna, D., dan Sutisna, K., 1993, *Peta Geologi Lembar Pasangkayu, Skala 1 : 250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Supartoyo dan Surono, 2008, *Katalog Gempa bumi Merusak di Indonesia Tahun 1629 – 2007*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- Stewart, I.S., dan Hancock, P.L., 1994, Neotectonics In P. L. Hancock (Ed.), *Continental Deformation*, Pergamon Press, Oxford, 370 – 409.

