

**TINGKAT AKTIVITAS TEKTONIK SUB DAS KAWATUNA DI WILAYAH KOTA PALU,
PROVINSI SULAWESI TENGAH****Sukardan Tawil¹, Dwiki Rivaldy², Vijaya Isnaniawardhani¹, Andi. Rusdin¹,
Tutang Muhtar Kamaludin¹***Fakultas Teknik, Prodi Teknik Geologi, Universitas Tadulako**Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran**Email: tawil.sukardan@gmail.com***Abstrak**

Penelitian tentang aktivitas tektonik aktif di Sub DAS Kawatuna wilayah Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah. Tujuan penelitian untuk mengetahui tingkat aktivitas tektonik di Sub DAS Kawatuna. Metode yang digunakan meliputi metode perolehan dan analisis data. Metode perolehan dilakukan di studio dan lapangan. Analisis yang digunakan dalam penelitian adalah morfometri DAS dan morfotektonik. Parameter yang digunakan meliputi (R_b) , (D_d) , (Hc) (HI) , (BS) , (AF) , (SL) , (S_{mf}) dan $(V_f \text{ ratio})$. Berdasarkan nilai (R_b) dan (D_d) , menunjukkan adanya pengaruh aktivitas tektonik terhadap orde 1 sungai dan nilai kerapatan pengaliran tergolong kategori sedang dengan karakteristik alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, sehingga angkutan sedimen yang terangkut lebih besar. Dari gabungan parameter morfotektonik, nilai indeks aktivitas tektonik (IAT) di Sub DAS Kawatuna adalah 2.00, nilai tersebut tergolong dalam kelas aktivitas tektonik menengah. Di daerah ini, terbentuk daerah kipas aluvial muda yang luas. Di Wilayah Petobo yang merupakan daerah kipas aluvial muda, telah mengalami likuifaksi pada 28 September 2018. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, material yang berada di mahkota longsor di daerah likuifaksi Petobo tersusun oleh endapan pasir sangat halus dan endapan konglomerat yang tersusun oleh kerikil yang didominasi bongkahan granit secara bergradasi yang merupakan bagian dari kipas aluvial muda, akibatnya faktor tersebut sangat mendukung terjadinya peristiwa likuifaksi.

Kata Kunci : Sub DAS Kawatuna Morfometri DAS, Morfotektonik, Indeks Aktivitas Tektonik, Kipas Aluvial

Abstract

Research on active tectonic activity in the Kawatuna sub-watershed in the Palu City area, Central Sulawesi Province. The aim of the research is to determine the level of tectonic activity in the Kawatuna sub-watershed. The methods used include data acquisition and analysis methods. Acquisition methods are carried out in the studio and field. The analysis used in the research is watershed morphometry and morphotectonics. The parameters used include (R_b) , (D_d) , (Hc) (HI) , (BS) , (AF) , (SL) , (S_{mf}) and $(V_f \text{ ratio})$. Based on the values (R_b) and (D_d) , it shows that there is an influence of tectonic activity on the first order of the river and the flow density value is in the medium category with the characteristics of the river channel passing through rocks with softer resistance, so that the sediment transported is greater than combined morphotectonic parameters, the tectonic activity index (IAT) value in the Kawatuna sub-watershed is 2.00, this value is classified as medium tectonic activity class. In this area, a large area of young alluvial fan is formed. In the Petobo area, which is a young alluvial fan area, experienced liquefaction on September 28 2018. Based on the results of research conducted, the material in the landslide crown in the Petobo liquefaction area is composed of very fine sand deposits and conglomerate deposits composed of gravel which is dominated by granite chunks are graded which are part of a young alluvial fan, as a result this factor strongly supports the occurrence of liquefaction events.

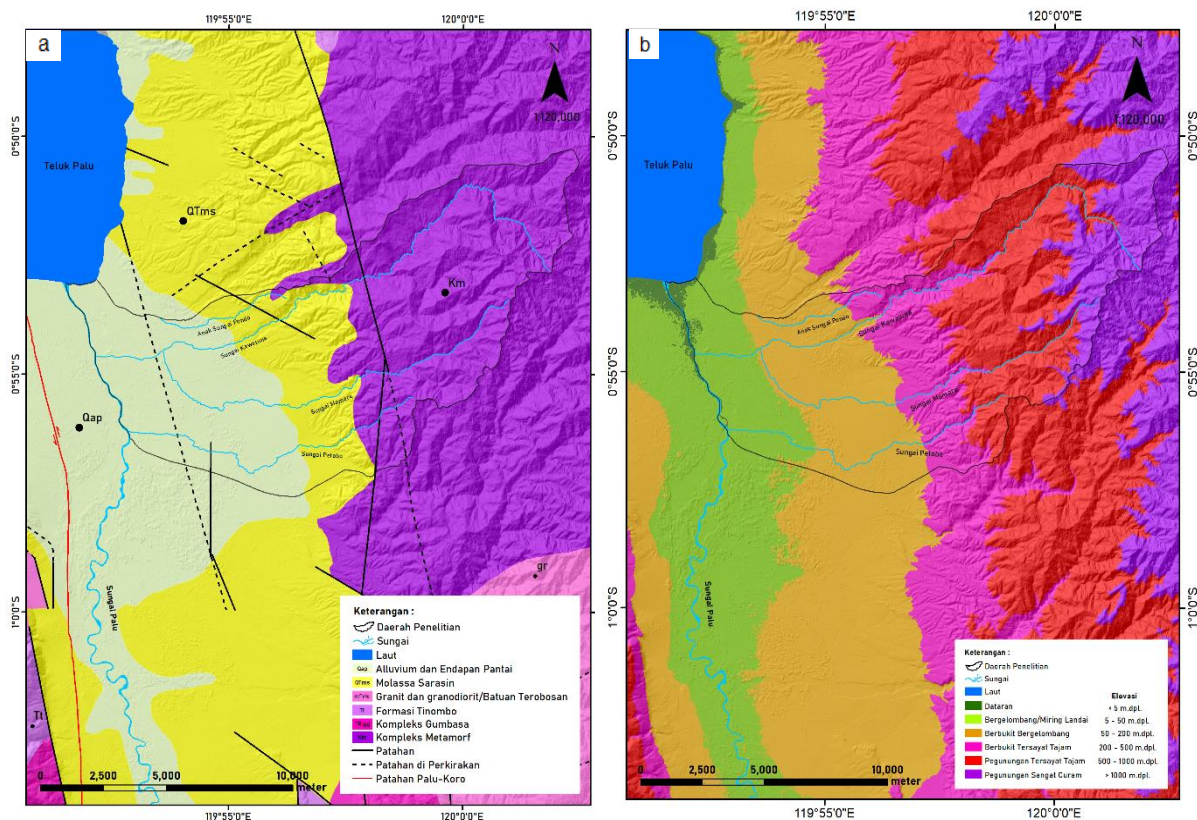
Keywords: Kawatuna Sub Watershed Watershed Morphometry, Morphotectonics, Tectonic Activity Index, Alluvial Fan

1. Pendahuluan

Berdasarkan aspek geodinamik, Pulau Sulawesi terletak dalam zona konvergen antara tiga lempeng besar yakni lempeng Benua Eurasia dibagian barat, lempeng Samudera Pasifik dibagian timur yang bergerak ke arah barat dengan kecepatan 7-13 cm per tahun, dan lempeng Hindia-Australia dibagian selatan bergerak ke utara dengan kecepatan 6-10 cm pertahun serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina dibagian utara (Katili, 1970; Hamilton, 1979; Sompotan, 2012; Suprpto, 2004; Watkinson dan Hall, 2017) saling membentuk pulau Sulawesi yang menyerupai bentuk “K” (Katili, 1978).

Proses tektonik yang dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng benua maupun samudera tersebut dapat mengontrol dan mempengaruhi bentuk – bentuk bentang alam secara regional. Pada daerah yang lebih sempit, peran ini direfleksikan oleh struktur-struktur geologi yang dapat membentuk karakteristik geomorfologi yang unik, dikenal sebagai morfotektonik (Doomkamp, 1986). Selain pembentukan bentang alam tersebut, membuat daerah Lembah Palu dilintasi oleh jalur patahan aktif Palu-Koro (Katili, 1970; Simanjuntak dkk., 1991) dan membuat lembah ini terkena bencana mahadahsyat pada 28 September 2018 (Badan Geologi, 2018).

Untuk mengurangi dampak resiko yang ditimbulkan perlu dilakukan penelitian tentang studi tingkat aktivitas tektonik di Sub DAS Kawatuna menggunakan analisis morfometri DAS dan morfotektonik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil tentang zonasi tingkat aktivitas tektonik di Sub DAS Kawatuna. Berdasarkan kajian hal tersebut penelitian ini dapat mengetahui tingkat aktivitas tektonik dari kelas aktivitas tektonik sangat tinggi, kelas aktivitas tektonik tinggi, kelas aktivitas tektonik menengah dan kelas aktivitas tektonik rendah.



Gambar 1. (a) Peta Geologi Daerah Penelitian (Sukanto Dkk., 1973; Sukido Dkk.,1993) dan (b) Peta Morfologi Daerah Penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2008).

1.1. Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian berada di dalam wilayah peta geologi regional Lembar Palu dan peta geologi regional Lembar Pasangkayu (Sukamto dkk., 1973; Sukido dkk., 1993), yang terdiri dari wilayah dataran aluvium secara umum yang memanjang berarah relatif utara-selatan dan dibatasi oleh lereng dan punggung gunung yang merupakan Formasi Molassa Sarasin di daerah perbukitan, sebagian Batuan Intrusi disisi pegunungan dan Formasi Tinombo di daerah pegunungan. Daerah penelitian terletak di zona Sesar Palu-Koro yang merupakan salah satu daerah dengan proses geologi yang aktif. Sistem zona Sesar Palu-Koro merupakan patahan horizontal dengan pergerakan tipe *strike-slip fault* atau *transcurrent fault* (Katili J.A, 1970; Bellier dkk., 2001). Stratigrafi geologi regional daerah penelitian menurut (Sukamto dkk., 1973; Sukido dkk., 1993) tersusun oleh Formasi Tinombo (Tt), Granit dan granodiorit (gr)/Batuan Terobosan (Tpkg), Molassa Sarasin (QTms) dan Alluvium dan endapan Pantai (Qap).

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan meliputi metode perolehan dan analisis data. Metode perolehan dilakukan di studio dan lapangan. Beragam ekstraksi data studio diperoleh dari Citra DEMNAS. Data studio yang diperoleh diantaranya peta geologi regional lembar Palu (Sukamto dkk., 1973), Citra DEMNAS resolusi 8.5 m (Badan Informasi Geospasial, 2008), *shapefile* sungai 50_K, *shapefile* batas DAS Palu, *Shapefile* batas Sub DAS Palu (BPDAS Palu-Poso, 2011) dan data lapangan berupa data susunan lapisan batuan di daerah penelitian. Analisis data yang digunakan meliputi analisis morfometri DAS dan analisis morfotektonik.

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di dalam daerah aliran sungai (DAS) Palu bagian hulu. Secara spesifik daerah penelitian berada di Sub DAS Kawatuna dan Sub DAS Sombe Lewara (BPDAS Palu-Poso, 2011). Secara geografis daerah penelitian terletak di koordinat 119°50'22.73"BT - 0°56'23.20"S (Sub DAS Sombe Lewara) dan di koordinat 119°56'4.38"BT - 0°53'52.31"S (Sub DAS Kawatuna). Daerah penelitian secara administratif terletak di Wilayah Kota Palu meliputi Kecamatan Palu Selatan, sebagian Wilayah Kecamatan Mantikulore, Palu Timur, dan Wilayah Kabupaten Sigi meliputi sebagai Wilayah Kecamatan Sigibiromaru, Provinsi Sulawesi Tengah. Total luas area penelitian sekitar 131.81 km²

2.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan selama penelitian sebagai berikut:

1. Kompas geologi,
2. GPS (*Global Positioning System*)
3. Kamera digital

Bahan yang digunakan untuk penelitian sebagai berikut:

1. DEMNAS (Badan Informasi Geospasial, 2008)
2. Peta rupa bumi lembar Palu 1 : 50.000 (BAKOSURTANAL, 1991)
3. Peta geologi regional lembar Palu skala 1 : 250.000 dan peta geologi regional lembar Pasangkayu skala 1 : 250.000 (Sukamto dkk., 1973; Sukido dkk., 1993).
4. *Shapafile* Sungai 50_K, *Shapefile* batas DAS Palu dan *Shapefile* batas Sub-DAS Palu (BPDAS Palu-Poso, 2011).

2.3. Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data mencakup pengumpulan data studio dan lapangan. Pengumpulan data studio yang diperoleh diantaranya; data geologi regional, data topografi (DEMNAS) (Badan Informasi Geospasial, 2008), *shapefile* sungai DAS Palu 50_K, *shapefile* batas DAS Palu, dan *shapefile* batas Sub DAS Palu (BPDAS Palu-Poso, 2011), sedangkan pengumpulan data lapangan berupa data lapisan batuan yang didapatkan dari survei atau tinjauan langsung ke daerah penelitian.

2.4. Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Tahap pengolahan dan analisis data melibatkan berbagai macam pengolahan, diantaranya berasal dari data morfometri DAS dan morfotektonik. Tahap pengolahan data dilakukan di dalam *software Arcgis 10.3* dan *Globalmapper 10*.

2.5. Tahap Interpretasi Data

Tahap interpretasi data menggunakan analisis morfometri DAS dan analisis morfotektonik, yang kemudian dikombinasikan, sehingga dapat menginterpretasi tingkat aktivitas tektonik di daerah penelitian. Tahap interpretasi zonasi tingkat aktivitas tektonik menggunakan analisis morfotektonik berdasarkan klasifikasi (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010) dan analisis morfometri DAS digunakan untuk mengetahui orde sungai yang dipengaruhi oleh gejala deformasi akibat aktivitas tektonik (Verstappen, 1983 dalam Van Zuidam, 1985), digunakan untuk mengetahui indeks kerapatan sungai atau peristiwa sedimentasi yang terjadi pada aliran sungai akibat aktivitas tektonik (Soewarno, 1991). Data lapangan berupa lapisan batuan dilakukan untuk mengetahui susunan batuan di daerah sedimen atau kipas aluvial.

3. Hasil dan Pembahasan

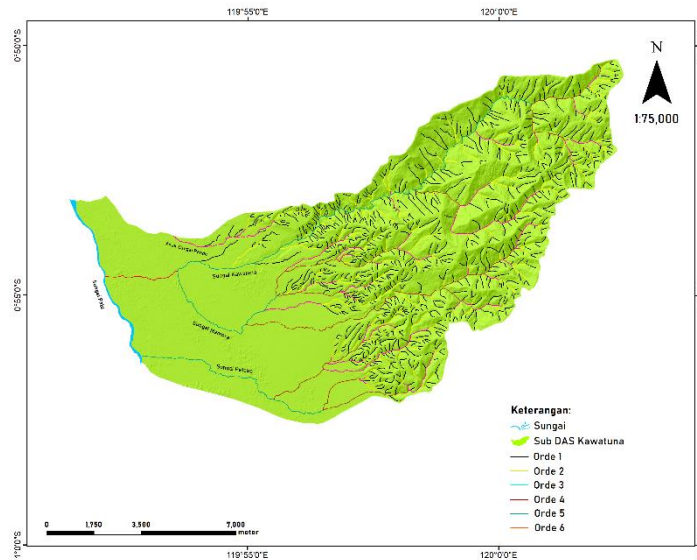
Tahap interpretasi tingkat aktivitas tektonik menggunakan analisis morfotektonik untuk mengetahui zonasi tingkat aktivitas tektonik berdasarkan klasifikasi (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010). Analisis morfometri DAS menggunakan parameter rasio cabang sungai (R_b) digunakan untuk mengetahui orde sungai yang dipengaruhi oleh gejala deformasi akibat aktivitas tektonik (Verstappen, 1983 dalam Van Zuidam, 1985) dan kerapatan pengaliran (D_d) digunakan untuk mengetahui proses sedimentasi yang terjadi pada aliran sungai akibat aktivitas tektonik (Soewarno, 1991).

3.1. Rasio Cabang Sungai (R_b)

Analisis rasio cabang sungai (*bifurcation ratio*) diperlukan beberapa parameter diantaranya pembagian orde sungai dan banyak segmen di setiap orde di Sub DAS Kawatuna. Untuk menganalisis nilai rasio cabang sungai dilakukan pengukuran di daerah Sungai Pondo, Sungai Kawatuna dan Sungai Petobo berdasarkan persamaan (1.1) dan pembagian orde sungai menurut Strahler (1952).

$$R_b = \frac{Nu}{Nu+1} \quad (1.1)$$

Dimana: R_b = Indeks rasio cabang sungai, Nu = Jumlah alur sungai orde ke-u, $Nu + 1$ = Jumlah alur sungai orde ke u+1



Gambar 2. Peta Rasio Cabang Sungai (R_b)

Dari hasil perhitungan nilai (R_b) di Sub DAS Kawatuna didapatkan nilai 5.19, hal tersebut mengindikasikan pada orde 1 Anak Sungai Pondo, Sungai Kawatuna, Sungai Mamara dan Sungai Petobo mengindikasikan telah mengalami deformasi akibat pengaruh aktivitas tektonik.

3.2. Kerapatan pengaliran (D_d)

D_d menggambarkan kerapatan setiap segmen sungai dalam suatu DAS. Nilai D_d tidak hanya mencerminkan keadaan geologi saja, tapi juga menggambarkan parameter iklim, geomorfologi, vegetasi dan kekuatan batuan serta tanah terhadap erosi yang bekerja pada daerah tersebut (Jarved, 2009). Untuk menganalisis nilai D_d dilakukan pengukuran di daerah Anak Sungai Pondo, Sungai Kawatuna, Sungai Mamara dan Sungai Petobo berdasarkan persamaan (1.2) dan menentukan klasifikasi nilai D_d menurut (Soewarno, 1991).

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (1.2)$$

Dimana: D_d = Indeks kerapatan sungai (km/km²), $\sum L$ = Panjang sungai total (km), A = Luas DAS (km²)

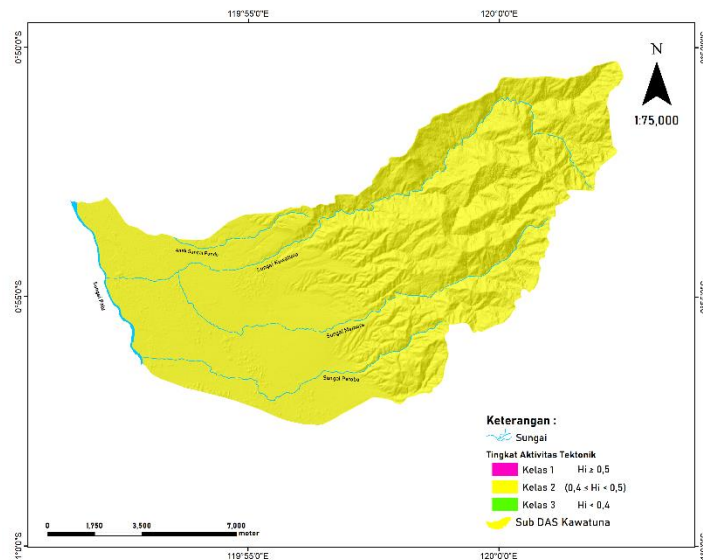
Berdasarkan hasil pengukuran nilai (D_d) dapat diketahui Sub DAS Kawatuna memiliki nilai 3.40. Nilai tersebut tergolong kategori sedang dengan karakteristik alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, sehingga angkutan sedimen yang terangkut lebih besar.

3.3. Hipsometri Integral (HI)

HI umumnya mendefinisikan distribusi elevasi dari area tanah tertentu, terutama DAS. Hipsometrik integral adalah daerah yang terletak pada bagian kurva hipsometrik. Pengukuran nilai (HI) berdasarkan persamaan (Keller dan Pinter, 1987, 1996).

$$HI = \frac{(\text{Tinggi Rata-rata}) - (\text{Tinggi Minimum})}{(\text{Tinggi Maksimum}) - (\text{Tinggi Minimum})} \quad (1.3)$$

Berdasarkan klasifikasi tingkat aktivitas tektonik nilai hipsometrik integral (HI) (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010) pembagian kelas tektonik terdiri dari kelas 1 $HI \geq 0.5$, kelas 2 ($0.4 \leq HI < 0.5$), kelas 3 $HI < 0.4$. Dari hasil pengukuran di daerah penelitian, nilai hipsometrik integral (HI) adalah 0.487. Dari nilai tersebut diketahui bahwa umumnya daerah ini menunjukkan tingkat aktivitas tektonik kelas 2.



Gambar 2. Peta Tingkat Aktivitas Tektonik Hipsometrik Integral (HI)

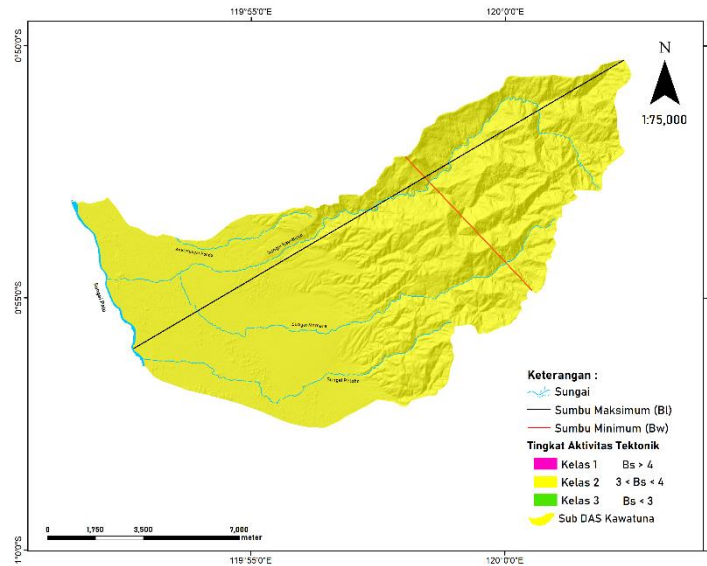
3.4. Indeks Daerah Aliran Sungai (BS)

BS adalah perbandingan antara sumbu panjang/*basin length* (BI) atau panjang DAS yang diukur dari titik tertinggi dengan sumbu lebar/*basin width* (Bw) atau lebar DAS yang diukur dari yang terlebar (Dehbozorgi dkk., 2010). Pengukuran (BS) di daerah penelitian dihitung berdasarkan persamaan Bull dan McFadden (1977).

$$BS = \frac{BI}{Bw} \quad (1.4)$$

Dimana: BS = Indeks daerah aliran sungai (km^2), BI = Sumbu panjang (km), Bw = Sumbu lebar (km).

Menurut klasifikasi (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010) tingkat aktivitas tektonik (BS) terbagi menjadi 3 yaitu kelas 1 $BS \geq 4$, kelas 2 ($3 \leq BS < 4$), kelas 3 $BS \leq 3$. Nilai tingkat kelas tektonik aktif di daerah penelitian berdasarkan nilai (BS) adalah 3.28, yang tergolong dalam tingkat aktivitas tektonik kelas 2.



Gambar 3. Peta Tingkat Aktivitas Tektonik Indeks Daerah Aliran Sungai (BS)

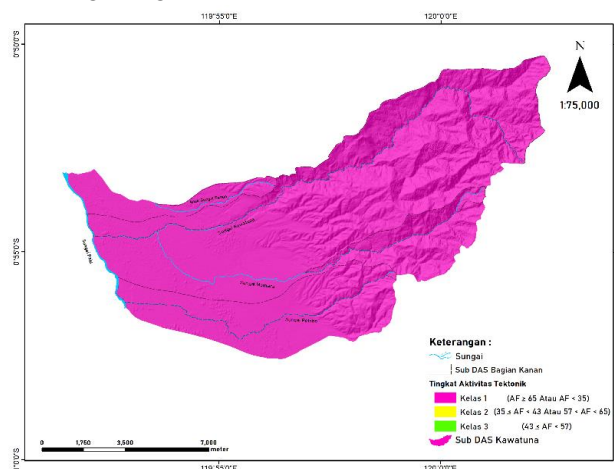
3.5. Faktor Asimetri Daerah Aliran Sungai (AF)

AF merupakan salah satu analisis kuantitatif *drainage basin* untuk mendeteksi kemiringan tektonik (*tectonic tilting*) baik pada skala *drainage basin* kecil maupun luas (Keller dan Pinter, 1996). Asimetri daerah aliran sungai (AF) adalah perbandingan antara luas DAS/Sub DAS pada salah satu bagian kanan luas DAS/Sub DAS secara keseluruhan. Pengukuran (AF) di daerah penelitian dilakukan di anak sungai Pondo, Sungai Kawatuna, Sungai Mamara dan sungai Petobo. Kemudian hasil tersebut dihitung berdasarkan persamaan (Keller dan Pinter, 1987, 1996).

$$AF = \left(\frac{Ar}{At}\right) \times 100 \tag{1.5}$$

Dimana: *AF* = Faktor asimetri, *Ar* = Luas area bagian kanan DAS (aliran air menuju ke-hilir) (km²), *At* = Luas daerah aliran sungai (km²)

Pembagian kelas aktivitas tektonik berdasarkan nilai AF dibagi menjadi 3 kelas (El Hamdouni dkk., 2007 dalam Dehbozorgi dkk 2010) yang terdiri dari kelas 1 (Nilai $AF \geq 65$ atau $AF < 35$), kelas 2 ($35 \leq AF < 43$ atau $57 \leq AF < 65$), dan kelas 3, ($43 \leq AF < 57$). Berdasarkan hasil pengukuran, nilai (AF) di daerah penelitian adalah 32.91. Berdasarkan nilai tersebut tingkat aktivitas tektonik di daerah penelitian tergolong dalam kelas 1.



Gambar 4. Peta Tingkat Tektonik Faktor Asimetri Daerah Aliran Sungai (AF)

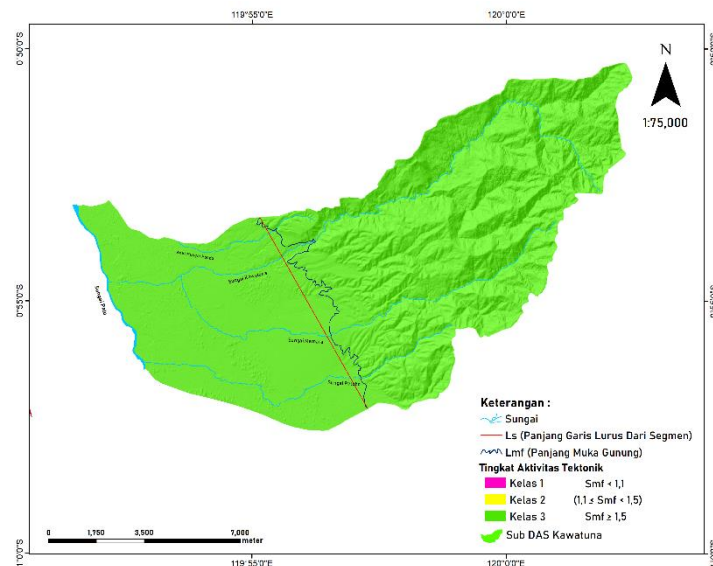
3.6. Sinusitas Muka Gunung (S_{mf})

S_{mf} merupakan suatu indeks yang mencerminkan keseimbangan antara gaya/kekuatan erosi yang mempunyai kecenderungan memotong sepanjang lekukan muka pegunungan dan kekuatan tektonik yang menghasilkan secara langsung muka pegunungan dan bertepatan dengan zona patahan aktif yang mencerminkan tektonik aktif (Keller dan Pinter, 1996). Dari hasil pengukuran panjang permukaan muka gunung (L_{mf}) dan panjang lurus muka gunung (L_s), di Sub DAS Sombe Lewara berdasarkan batas antara muka gunung dan kipas aluvial (Bellier, 2001) dan di dukung data topografi (DEMNAS), didapatkan nilai (S_{mf}) dengan menggunakan persamaan (Bull dan McFadden, 1977, dalam Doornkamp, 1986).

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \quad (1.6)$$

Dimana: S_{mf} = Sinusitas muka gunung, L_{mf} = Panjang permukaan muka gunung (km), L_s = Panjang lurus muka gunung (km)

Menurut (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010) membagi klasifikasi kelas tektonik berdasarkan nilai (S_{mf}), yaitu kelas 1 (S_{mf} bernilai < 1.1), kelas 2 (S_{mf} bernilai 1.1-1.5) dan kelas 3 (S_{mf} bernilai ≥ 1.5). Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat aktivitas tektonik di daerah penelitian memiliki nilai 1.86 yang tergolong dalam kelas 3.



Gambar 5. Peta Tingkat Tektonik Sinusitas Muka Gunung (S_{mf})

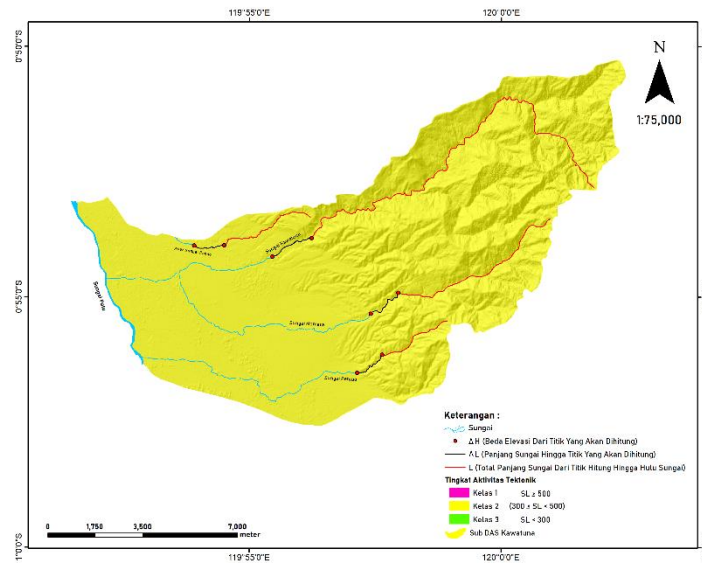
3.7. Indeks Gradient Panjang Sungai (SL)

SL sangat sensitif untuk perubahan lereng lembah. Tingkatan sensitivitas nilai SL ini dapat digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara tektonik aktif, resistensi batuan dan topografi. Nilai SL dapat digunakan untuk identifikasi tektonik aktif saat sekarang. Pengukuran nilai indeks gradien panjang sungai (SL) di Sub DAS Sombe Lewara, didapatkan dari pengukuran dua (2) sungai yaitu di sungai Daengguni dan sungai Lewara. Kemudian hasil dari pengukuran tersebut dihitung berdasarkan persamaan (Keller dan Pinter, 1987, 1996).

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \times L \quad (1.7)$$

Dimana: SL = Indeks gradien panjang sungai (m), ΔH = Beda elevasi dari titik yang akan dihitung (m), ΔL = Panjang sungai hingga titik yang akan dihitung (m), L = Total panjang sungai dari titik hitung hingga hulu sungai (m).

Kelas aktivitas tektonik berdasarkan nilai SL dibagi menjadi 3 kelas yaitu kelas 1 $SL = 500$, kelas 2 ($300 = SL < 500$) dan kelas 3 $SL < 300$ (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010). Dari hasil yang pengukuran (SL) di daerah penelitian didapatkan nilai 367.39. Nilai tersebut tergolong dalam tingkat aktivitas tektonik kelas 2.



Gambar 6. Peta Tingkat Tektonik Indeks Gradien Panjang Sungai (SL) di Daerah Penelitian.

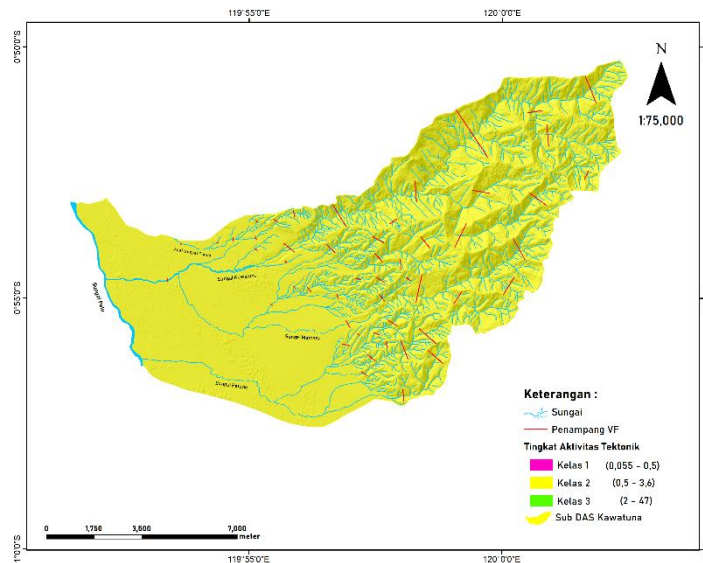
3.8. Rasio Lebar Lembah dan Tinggi Lembah (V_f Ratio)

V_f ratio merupakan analisis dari tingkat pengangkatan di suatu daerah penelitian berdasarkan perbandingan lebar dasar lembah dengan tinggi lembah. Nilai V_f ratio yang tinggi berhubungan dengan lebar, dasar lembah yang datar, dan nilai V_f ratio yang rendah berhubungan dengan pengangkatan aktif dengan bentuk lembah-V. Dari hasil pengukuran penampang V_f ratio di Sub DAS Sombe Lewara, kemudian di ukur berdasarkan persamaan Bull dan McFadden (1977).

$$V_f = 2V_f w / (Eld - Esc) + (Erd - Esc) \tag{1.8}$$

Dimana: V_f = Perbandingan lebar dasar lembah dan tinggi lembah, $V_f w$ = Lebar dasar lembah (m), Eld = Ketinggian bagian kanan lembah (m), Esc = Ketinggian bagian kiri lembah (m), Esc = Elevasi dasar lembah (m).

Menurut Bull dan McFadden (1977), nilai V_f ratio yang berkisar 0.055 – 0.5 merupakan kelas tektonik aktif tinggi (Kelas 1). Nilai V_f ratio berkisar berkisar antara 0.5 – 3.6 menunjukkan aktivitas tektonik yang sedang atau kurang aktif (Kelas 2), sedangkan nilai V_f ratio berkisar antara 2 – 47 menunjukkan tektonik tidak aktif (Kelas 3). Berdasarkan hasil pengukuran, nilai V_f ratio di daerah penelitian didapatkan nilai 2.14. Tingkat aktivitas tektonik yang berada di daerah ini tergolong dalam aktivitas tektonik kelas 2.



Gambar 7. Peta Tingkat Aktivitas Tektonik Rasio Lebar Dan Tinggi Lembah (V_f Ratio)

4. Pembahasan

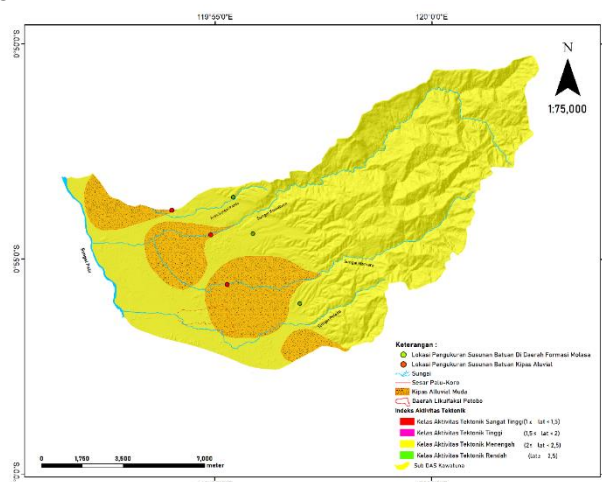
4.1. Indeks Tektonik Aktif (IAT)

Indeks aktivitas tektonik daerah penelitian berdasarkan nilai IAT dari enam parameter yaitu hiposimetrik integral (HI), faktor asimetri daerah aliran sungai (AF), indeks gradien panjang sungai (SL), indeks daerah aliran sungai (BS), sinusitas muka gunung (S_{mf}) dan perbandingan lebar dasar lembah dan tinggi lembah (V_f ratio), mengacu pada (El Hamdouni dkk., 2007; Dehbozorgi dkk., 2010). Penilaian indeks dibagi menjadi empat kelas untuk menentukan tingkat tektonik aktif: 1-sangat tinggi ($1.0 \leq IAT < 1.5$); 2-tinggi ($1.5 \leq IAT < 2.0$); 3-sedang ($2.0 \leq IAT < 2.5$); dan 4-rendah ($2.5 \leq IAT$).

$$IAT = \frac{S}{N} \tag{1.9}$$

Dimana: S = Parameter indeks, N = Total parameter indeks

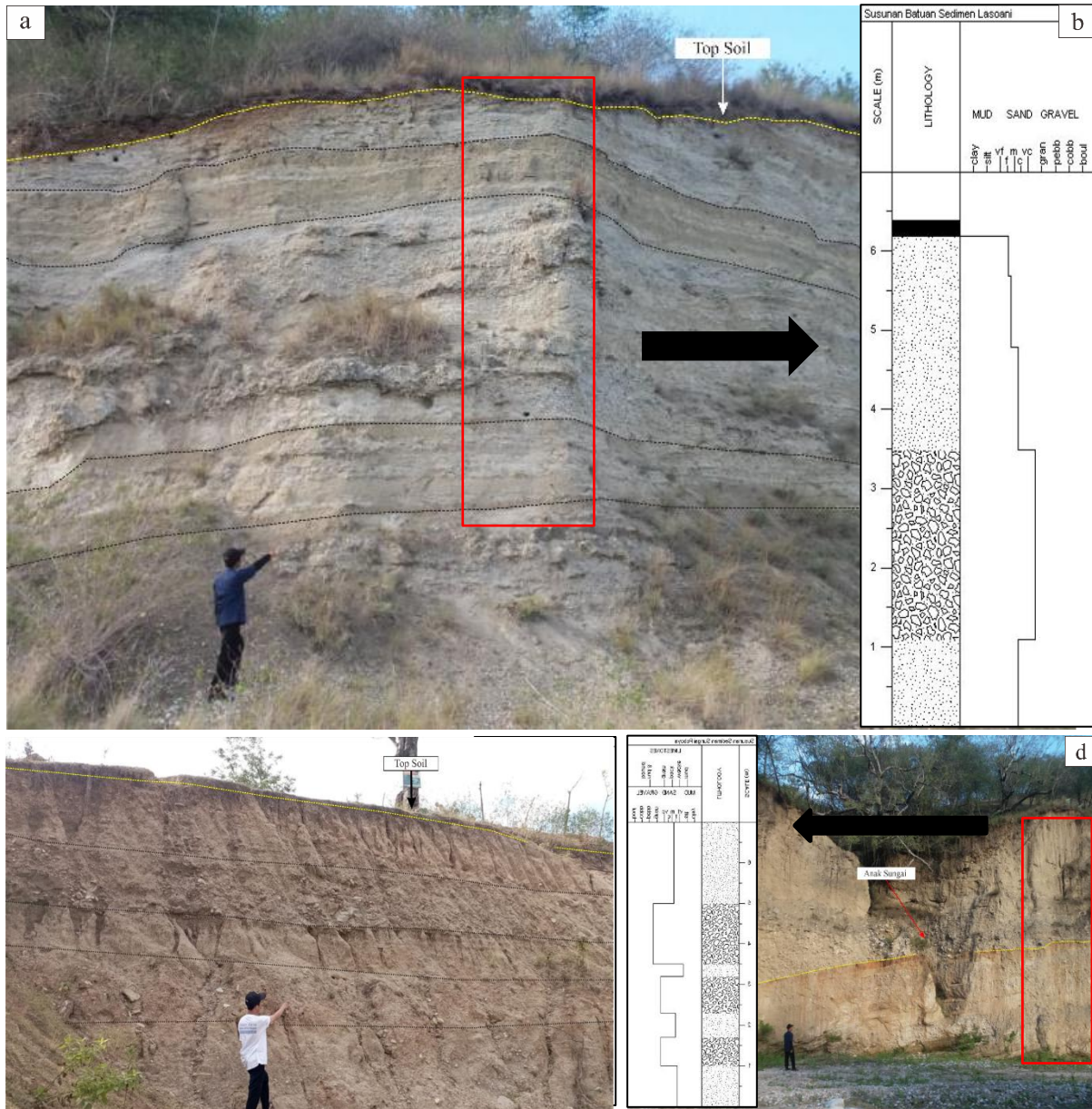
Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis gabungan dari parameter HI , AF , SL , BS , dan V_f ratio, nilai indeks tektonik aktif di Sub DAS Sombe Lewara adalah 2.00. Nilai tersebut tergolong dalam kelas aktivitas tektonik menengah.



Gambar 8. Peta Indeks Aktivitas Tektonik (IAT) Daerah Penelitian Dan Bentuk Kipas Aluvial Berdasarkan (Mason *et al.*, 2021)

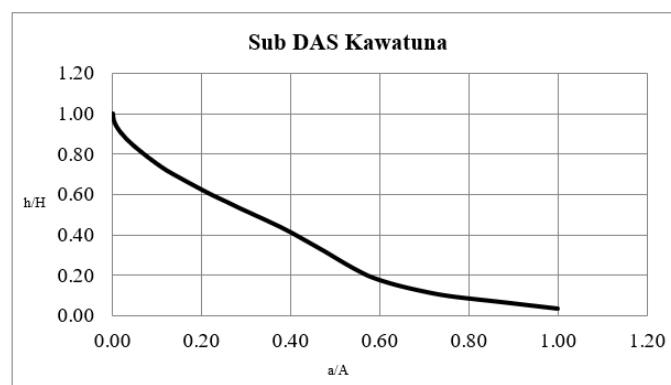
4.2. Endapan Batuan Sedimen

Susunan endapan batuan sedimen ini tergolong dalam formasi molasa dalam peta geologi lembar Palu (Sukamto dkk., 1973). Lapisan endapan batuan sedimen di daerah ini tersusun oleh endapan batupasir dan konglomerat yang di dominasi oleh fragmen granit, kuarsit, philit dan sekis.



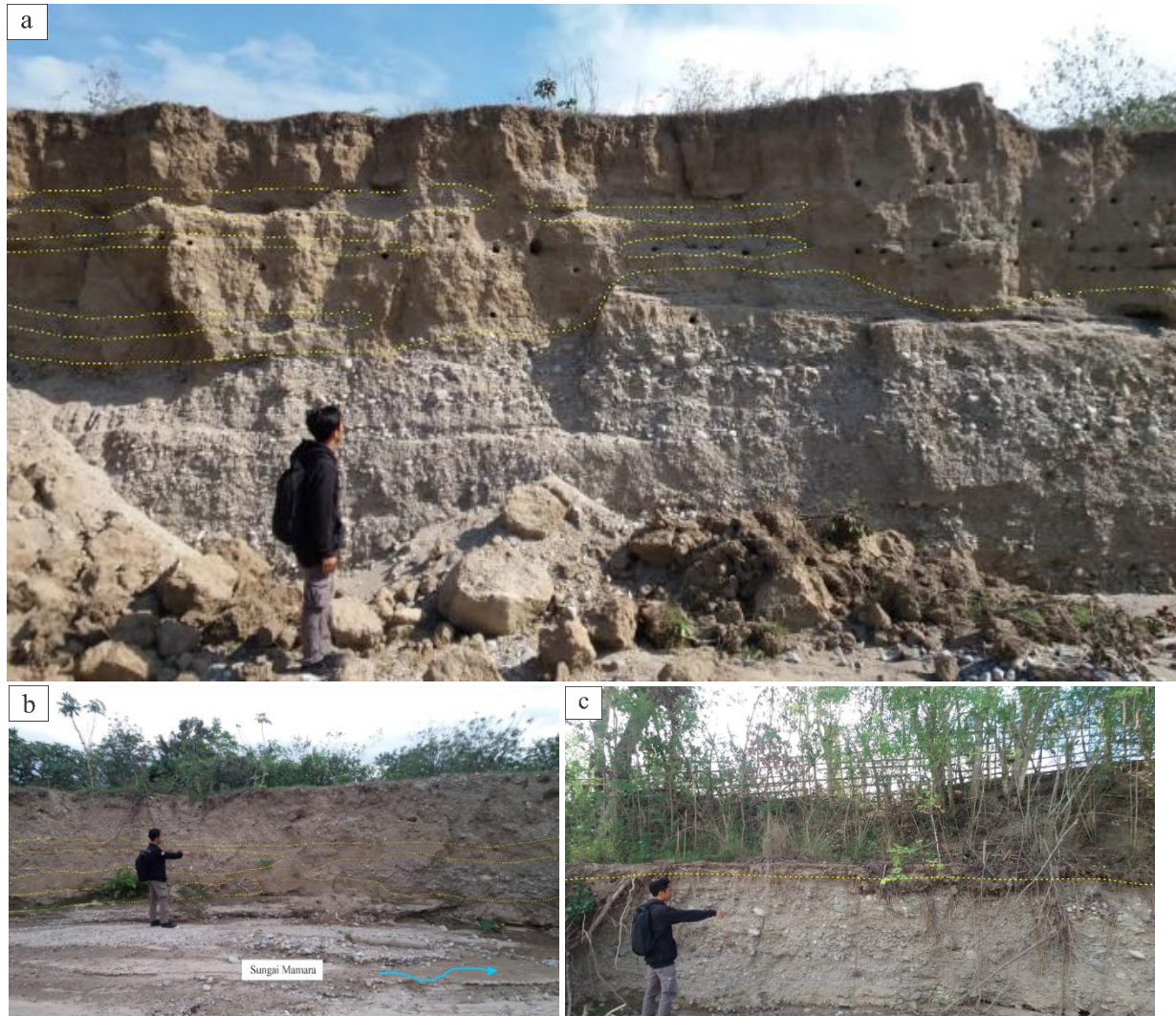


Gambar 9. (a), (b) Susunan Lapisan Batuan Sedimen Di Daerah Perbukitan Lasoani, (c) Susunan Lapisan Batuan Sedimen Di Daerah TPA Kawatuna, (d) Susunan Endapan Sedimen Sungai Kawatuna, (e), (f) Susunan Lapisan Batuan Sedimen di Daerah Perbukitan Petobo.



Gambar 10. Bentuk Kurva Hipsometrik (Hc) di Sub DAS Kawatuna

Bentuk kurva hipsometrik (H_c) di daerah ini menunjukkan pola stadium menengah yang mencerminkan topografi relief halus dan proses erosi sangat dominan dibandingkan tektonik. Berdasarkan pengukuran endapan sedimen di daerah sungai Pondo, lapisan batuan di daerah ini tersusun oleh endapan batuan sedimen yang terdiri dari susunan batupasir sangat halus, lanau dan endapan konglomerat yang di dominasi oleh fragmen batuan beku granit dan sebagian sekis dan di daerah sungai Mamara tersusun oleh pasir sangat halus dan endapan konglomerat yang di dominasi fragmen batuan beku granit dan batuan metamorf sekis yang mempunyai ciri struktur sedimen melidah dan tergolong dalam endapan kipas aluvial muda menurut (Mason *et al.*, 2021) dengan ukuran 3 meter sedimen dangkal di permukaan dan berumur sekitar 1000-2000 tahun yang lalu (Kiyota *et al.*, 2020).



Gambar 11. (a) Pengukuran Susunan Batuan Sedimen di Daerah Sungai Pondo, (b) Susunan Batuan Sedimen Di Daerah Sungai Mamara dan (c) Susunan Batuan Sedimen di Sungai Kawatuna

Berdasarkan nilai tingkat aktivitas tektonik (IAT) di Sub DAS Kawatuna daerah ini memiliki tingkat aktivitas menengah. Aktivitas tektonik daerah ini membentuk bentang alam kipas aluvial yang luas dibandingkan kipas aluvial yang terbentuk di daerah Sub DAS Sombe Lewara. Menurut (Widyaningrum, 2012; BADAN GEOLOGI, 2018) morfologi perbukitan berupa morfologi bergelombang lemah sampai bergelombang kuat merupakan wilayah kipas aluvial. Bentuk morfologinya berupa perbukitan berelief halus dengan kemiringan lereng 5-15 %, morfologi ini meluas di wilayah Palu Timur, Palu Utara, membatasi antara wilayah morfologi dataran dengan morfologi pegunungan. Berdasarkan pengukuran lapangan di daerah perbukitan Lasoani, sungai Pondo, TPA Kawatuna, Perbukitan Petobo, sungai Mamara dan di sungai Kawatuna memiliki karakter endapan kipas aluvial yang berbeda. Kipas aluvial sekitar sungai Kawatuna, perbukitan Lasoani, dan TPA Kawatuna tersusun oleh endapan sedimen pasir dan konglomerat dengan fragmen dominan granit, sekis dan kuarsit. wilayah perbukitan Petobo tersusun oleh endapan sedimen pasir halus sampai sangat halus dan pasir sangat kasar sampai gravel dengan fragmen dominan sekis, philit dan sedikit granit sedangkan di daerah sungai Pondo dan sungai Mamara tersusun oleh endapan batuan sedimen yang terdiri dari susunan batupasir sangat halus, lanau dan endapan konglomerat yang di dominasi oleh fragmen batuan

beku granit dan sebagian sekis yang mempunyai ciri struktur sedimen melidah. Aktivitas tektonik di daerah ini dikategorikan menengah. Di daerah ini, Wilayah Petobo mengalami likuifaksi pada 28 September 2018. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa material yang berada di mahkota longsor likuifaksi Petobo tersusun oleh endapan pasir sangat halus dan sampai endapan konglomerat kerikil yang di dominasi bongkahan granit secara bergradasi yang merupakan bagian dari kipas aluvial muda, hal tersebut sangat baik untuk mendukung proses penyerapan airtanah, akibatnya faktor tersebut sangat mendukung terjadinya peristiwa likuifaksi.

5. Kesimpulan

1. Nilai R_b di daerah penelitian adalah 5.19, hal tersebut mengindikasikan pada orde 1 Anak Sungai Pondo, Sungai Kawatuna, Sungai Mamara dan Sungai Petobo mengindikasikan telah mengalami deformasi akibat pengaruh aktivitas tektonik.
2. Nilai D_d memiliki nilai 3.40. Nilai tersebut tergolong kategori sedang dengan karakteristik alur sungai yang melewati batuan dengan resistensi yang lebih lunak, sehingga angkutan sedimen yang terangkut lebih besar
3. Nilai H_I di daerah penelitian adalah 0.487. Nilai tersebut menunjukkan tingkat aktivitas tektonik kelas 2.
4. Nilai B_S di daerah penelitian adalah 3.28, yang tergolong dalam tingkat aktivitas tektonik kelas 2.
5. Nilai A_F di daerah penelitian adalah 32.91. Nilai tersebut tingkat aktivitas tektonik di daerah penelitian tergolong dalam kelas 1.
6. Nilai S_L di daerah penelitian adalah 367.39. Nilai tersebut tergolong dalamn tingkat aktivitas tektonik kelas 2.
7. Nilai S_{mf} di daerah penelitian adalah 1.86. Nilai tersebut tergolong dalamn tingkat aktivitas tektonik kelas 3.
8. Nilai V_f ratio di daerah penelitian adalah 2.14. Nilai tersebut tergolong dalam tingkat aktivitas tektonik kelas 2.
9. Berdasarkan gabungan nilai dari parameter (H_I), (B_S), (A_F), (S_L), dan (V_f ratio), dapat diinterpretasikan bahwa nilai (IAT) di daerah penelitian adalah 2.00. Nilai tersebut tergolong dalam kelas aktivitas tektonik menengah.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Dosen Program Studi Teknik Geologi Universitas Tadulako yang memberikan saran dan masukan dalam penulisan karya ilmiah ini dan teman-teman di Organisasi Wallacea Research Organization khususnya Roland pribadi ahmad, Arthur Batti dan teman-teman Teknik geologi Tadulako, Moh. Aliansyah Dian dan Ijal yang telah bersedia membantu selama pengumpulan data.

Daftar Pustaka

- Badan Geologi, 2018. *Di Balik Pesona Palu*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Alamat: Jl. Diponegoro No. 57 Bandung 40122, Bandung.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., 2010. *Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran*. *Geomorphology* 121, 329–341.
- Bull, W.B., L.D. McFadden., 1977. *Tectonic Geomorphology North And South Of The Garlock Fault, California*. *Geomorphology in arid regions: Proc. Eighth Annual Geomorphology Symposium, State Univerisity New York, Binghamton*, p.115-138.
- BIG (Badan Informasi Geospasial), 2008. *Digital Elevation Model (DEM) Resolusi 8.5 Meter*. Jakarta, Indonesia.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), 2019. *Laporan Situasi Gempabumi Mw 7,4 &*

- Tsunami Sulawesi Tengah*.
 BPDAS Palu-Poso (Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai), 2011. *Peta wilayah DAS Palu Bagian Tengah dan Hilir*.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., 2010. *Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran*. *Geomorphology* 121, 329–341.
- Bellier, O., Siame, L., Beaudouin, T., Villeneuve, M., Braucher, R., 2001. *High slip rate for a low seismicity along the Palu-Koro active fault in Central Sulawesi (Indonesia)*. *Terra Nov.* 13, 463–470. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2001.00382.x>
- Doornkamp, J.C., 1986. *Geomorphological approaches to the study of neotectonics*. *J. - Geol. Soc.* 143, 335–342. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.143.2.0335>
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008. *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)*. *Geomorphology* 96, 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Katili, J.A., 1970. *Large transcurrent faults in Southeast Asia with special reference to Indonesia*. *Geol. Rundschau* 59, 581–600. <https://doi.org/10.1007/BF01823809>
- Katili, J.A., 1978. *Past And Present Geotectonic Position Of Sulawesi, Indonesia* 45, 289–322
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996. *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape, Edition Se. ed, Environmental & Engineering Geoscience*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, United States Of America. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.iii.3.463>
- Keller, E.A., Pinter, N., 1987. *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape*, Eos, Transactions American Geophysical Union. Prentice-Hall , Inc, New Jersey, United States Of America. <https://doi.org/10.1029/eo068i012p00164-02>
- Kumar, N., Dumka, R.K., Mohan, K., Chopra, S., 2022. *Relative active tectonics evaluation using geomorphic and drainage indices, in Dadra and Nagar Haveli, western India*. *Geod. Geodyn.* 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2022.01.001>
- Kiyota, T. *et al.* (2020) ‘Overview of long-distance flow-slide caused by the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia’, *Soils and Foundations*, 60(3), pp. 722–735. doi:10.1016/j.sandf.2020.03.015.
- Mason, H.B. *et al.* (2021) ‘East Palu Valley flowslides induced by the 2018 MW 7.5 Palu-Donggala earthquake’, *Geomorphology*, 373, p. 107482. doi:10.1016/j.geomorph.2020.107482.
- Noor, D., 2010. *Geomorfologi, Edisi I*. Program Studi Teknik Geologi - Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Bogor.
- Soewarno.1991. *Hidrologi: Pengukuran Dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*.Bandung: Nova.
- Sompotan, A.F., 2012. *Struktur Geologi Sulawesi*, Perpustakaan Sains Kebumian Institut Teknologi Bandung. Bandung. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33335-4_197877
- Stewart, I.S., Hancock, P.L., 1994. *Continental deformation*. *Choice Rev. Online* 32, 32-0317-32–0317. <https://doi.org/10.5860/choice.32-0317>
- Sukamto, R., sumardirdja, h., suptandar, t., hardjoprawiro, s., sudana, D., 1973. *Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi 1 : 250.000 (Peta Geologi Tinjau Indonesia)*.
- Sukido, Sukarna, D., Sutisna, K., 1993. *Peta Geologi Lembar Pasangkayu, Sulawesi 1:250.000 (Peta Geologi Tinjau Indonesia)*.
- Tawil, S., 2019. *Index Of Active Tectonics In Buol Watershed, Buol Regency, Central Sulawesi Province* 12, 103–115.
- Van Hinsbergen, D.J.J., 2011. *Short Note on the Use of Neotectonic and Palaeotectonic Nomenclature*. *Turkish J. Earth Sci.* 20, 161–165. <https://doi.org/10.3906/yer-1002-15>
- Van Zuidam, R.A., 1985. *Aerial Photo – Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Smith Publisher, The Hague, ITC.