



Analisis Perbandingan Transportasi Sedimen Menggunakan Metode Granulometri pada Sungai Damar Section Hulu dan Hilir Kabupaten Kendal

Annisa Puspa Wicitra, Khoirul Taufiqi*, Ranita Fitri Rianawati, Anita Galih Ringga Jayanti

Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro

Abstrak

Granulometri merupakan analisis untuk mengidentifikasi ukuran butiran dan hubungannya dengan proses sedimentasi. Penelitian ini dilakukan di aliran Sungai Damar, Kabupaten Kendal, dengan dua titik lokasi pengambilan sampel, yaitu di hulu (Kecamatan Sukorejo) dan hilir (Kecamatan Weleri). Keterdapatan endapan sedimen material vulkanik, material batuan karbonat pada Formasi Kerek, dan aluvial yang terdapat di sepanjang aliran Sungai Damar menjadi cukup menarik untuk mengetahui proses transportasi sedimen berdasarkan ukuran butiran yang tertransportasi. Metode yang digunakan adalah analisis granulometri cara grafis, untuk mendapatkan nilai sortasi, *Skewness*, dan *Kurtosis*. Hasil penelitian menunjukkan aliran Sungai Damar melalui beberapa formasi, seperti Formasi Kaligetas, Formasi Kerek, Formasi Damar, dan Endapan Aluvium. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai sortasi kedua sampel dengan sortasi sangat baik, nilai *Skewness* kedua sampel termasuk ke dalam *strongly coarse skewed*, sedangkan dari hasil *Kurtosis* pada bagian hulu termasuk *platykurtic*, sedangkan bagian hilir termasuk *very leptokurtic*. Dari hasil transportasi tersebut menunjukkan adanya faktor kontrol lain, seperti kondisi geologi, geomorfologi, dan hidrodinamika mempengaruhi proses transportasi sedimen di Sungai Damar. Formasi geologi pada bagian hulu tingkat erosi lebih tahan daripada bagian hilir. Geomorfologi mencakup bentuklahan struktural berbukit terjal di hulu dan landai di hilir. Hidrodinamika dengan pola aliran dendritik dan cabang sungai pendek yang mempengaruhi transportasi sedimen di wilayah tersebut. Pada bagian hulu, dominan traksi karena kemiringan lereng yang curam, sedangkan dominan saltasi di hilir karena kemiringan lereng yang lebih landai.

Kata kunci: Granulometri; transportasi sedimen; Sungai Damar.

Abstract

Granulometry is an analysis to identify grain size and its relationship with the sedimentation process. This research was conducted in the Damar River, Kendal Regency, with two sampling locations, namely upstream (Sukorejo District) and downstream (Weleri District). The presence of sedimentary deposits of volcanic material, carbonate rock material in the Kerek Formation, and alluvial along the Damar River flow is interesting enough to know the sediment transportation process based on the size of the transported grains. The method used is graphical granulometric analysis, to obtain the sorting value, Skewness, and Kurtosis. The results showed that the Damar River flowed through several formations, such as the Kaligetas Formation, Kerek Formation, Damar Formation, and Alluvium Deposition. From the calculation results, the sorting value of the two samples is obtained with very good sorting, the Skewness value of the two samples is included in the strongly coarse skewed, while from the Kurtosis results in the upstream part including platykurtic, while the downstream part includes very leptokurtic. The transportation results indicate that other control factors, such as geological conditions, geomorphology, and hydrodynamics affect the sediment transportation process in the Damar River. Geological formations in the upstream section are more resistant to erosion than the downstream section. Geomorphology includes steep hilly structural landforms upstream and gentle slopes downstream. Hydrodynamics with dendritic flow patterns and short river branches affect sediment transport in the area. In the upstream, traction is dominant due to the steep slope, while saltation is dominant in the downstream due to the more gentle slope.

Keywords: Granulometry; sediment transport; Damar River.

*Korespondensi: khoirultaufiqi1@gmail.com

Diajukan : 13 Mei 2024

Diterima : 26 September 2024

Diterbitkan : 24 Oktober 2024

PENDAHULUAN

Suatu sampel sedimen dapat menggambarkan asal-usul, proses pelapukan, erosi atau abrasi, serta proses transportasi dan pengendapan material sedimen (Folk, 1974). Secara umum, distribusi ukuran butiran sedimen didasarkan pada dua faktor utama yaitu ketersediaan sumber sedimen dan kondisi hidrodinamis selama transportasi dan deposisi sedimen (Folk, 1974).

Sungai Damar merupakan salah satu sungai yang terletak di sebelah barat Kabupaten Kendal. Sungai ini mengalir dari kaki Gunung Prau dan bermuara di Pantai Bara-bara, Kabupaten Kendal. Sungai Damar juga merupakan muara dari sungai-sungai lain yang lebih kecil yang berasal dari Gunung Prau, Gunung Jembangan dan Perbukitan Sekitar Gunung Prau. Sepanjang aliran sungai tersebut, diendapkan sedimen yang berasal dari material vulkanik Gunung Prau, Gunung Jembangan dan lapukan dari Perbukitan Gunung Prau dan Gunung Jembangan. Partikel-partikel endapan terbentuk melalui berbagai cara, termasuk gerakan material traksi, *suspended load* dan aliran debris (Thanden dkk., 1996). Karakteristik sedimen ditunjukkan oleh perubahan sifat fisik sedimen terutama tekstur sedimen dari hulu hingga hilir sungai. Meskipun pada umumnya dikenal bahwa tekstur batuan sedimen mengalami modifikasi seiring dengan proses perpindahan dan peningkatan jarak dari sumber asalnya, analisis rinci mengenai perubahan tersebut jarang dilakukan pada sistem sungai yang utuh dan berkelanjutan dari hulu sampai hilir (Sallami & Surjono, 2009).

Fokus pada penelitian ini yaitu bagian hulu (Sungai Damar bagian selatan) yang tersusun oleh Formasi Kaligetas dan bagian hilir (Sungai Damar bagian utara) yang tersusun oleh jenis litologi Aluvium dan berdekatan dengan Formasi Damar dan Formasi Kerek. Berdasarkan faktor kontrol seperti kondisi geologi, geomorfologi, dan hidrodinamika yang saling berperan dalam mengatur erosi, bentuklahan, dan pola aliran sungai yang menunjukkan dinamika transportasi sedimen yang aktif dan perlu diteliti pada daerah penelitian. Penelitian ini dilakukan untuk menunjukkan keterkaitan antara faktor, proses dan hasil sedimentasi yang dapat dilihat secara langsung di daerah penelitian. Hasil penelitian dapat diterapkan untuk menganalisis batuan sedimen yang diendapkan pada masa lampau. Hasil penelitian ini bisa dijadikan contoh ideal

dalam mengetahui karakter sedimen hasil sedimentasi di lingkungan pengendapan darat terutama pada sungai.

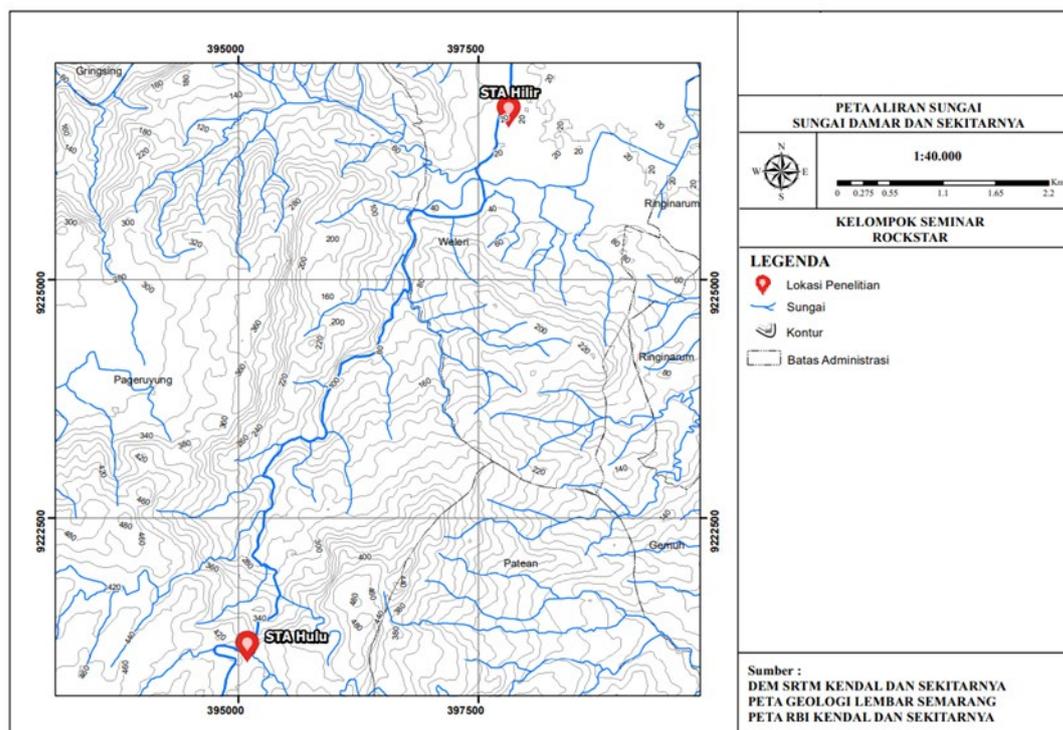
Penelitian tentang granulometri yang menggunakan metode grafis sebelumnya pernah dilakukan salah satunya oleh Hidayat & Rozamuri (2016), yang menggunakan sampel sedimen dari endapan delta dan laut. Sedangkan pada penelitian ini, sampel yang digunakan diambil dari endapan sungai yang berupa material vulkanik, batugamping pada Formasi Kerek, dan aluvial pada formasi aluvium. Selain itu penelitian granulometri pada daerah Sungai Damar juga belum pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perbandingan transportasi sedimen Sungai Damar section hulu dan hilir menggunakan metode granulometri.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada dua lokasi yang berbeda namun tetap pada satu aliran sungai yang sama, yaitu Sungai Damar (Gambar-1). Sungai Damar merupakan salah satu sungai yang mengalir pada bagian barat Kabupaten Kendal. Lokasi pertama terletak pada titik koordinat 110°3'008" BT dan 7°27'12" LS yang merupakan daerah hulu pada lokasi penelitian yang berada pada Kecamatan Pageruyung, Kabupaten Kendal. Sedangkan lokasi kedua terletak pada titik koordinat 110°4'490" BT dan 6°59'668" LS serta merupakan bagian hilir dari lokasi penelitian yang berada pada Kelurahan Sidomukti, Kecamatan Weleri, Kabupaten Kendal. Jarak antara kedua lokasi memiliki jarak aliran 8 km.

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode granulometri dengan metode grafis. Metode granulometri memungkinkan pengukuran yang terperinci dari distribusi ukuran partikel, yang penting dalam menentukan karakteristik tekstur sedimen. Metode ini menggunakan pendekatan grafis untuk menganalisis distribusi ukuran butir, yang memberikan pemahaman yang lebih baik tentang dinamika aliran dan cara transportasi sedimen. Granulometri dapat dilakukan dengan cepat dan efektif, terutama menggunakan sistem sand sieve, yang mengukur ukuran maksimal butiran dan berguna untuk sampel batuan sedimen klastik.



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

Metode grafis menyediakan representasi visual dari distribusi ukuran butir, yang memungkinkan pengamatan langsung terhadap pola dan tren yang mungkin tidak mudah terlihat melalui metode matematis. Metode grafis memungkinkan analisis kompleksitas tekstur sedimen yang lebih baik, seperti *Sortasi*, *Skewness*, dan *Kurtosis*, yang dapat memberikan informasi lebih mendalam tentang proses sedimentasi.

Pengolahan Data

Pengambilan data sedimen dilakukan pada tanggal 1 September 2023. Lokasi penelitian terbagi menjadi dua titik, yaitu satu titik di bagian hulu dan satu titik di hilir Sungai Damar (Gambar-1). Objek yang diteliti berupa endapan pasir yang terdapat pada morfologi gosong pasir (*point bar*). Hal ini dikarenakan dataran gosong pasir terbentuk secara langsung oleh endapan sedimen yang terangkut pada aliran sungai. Secara keseluruhan, sampel sedimen yang diambil berjumlah 2 kg dari masing-masing titik penelitian sebesar 1 kg.

Sampel pasir yang diambil berasal dari endapan *point bar* yang telah digali terlebih dahulu sedalam 20 cm. Kemudian sampel tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering. Sampel pasir yang telah kering

lalu ditimbang, dengan berat setiap titik penelitian sebesar 1 kg. Sampel yang sudah ditimbang kemudian diayak dengan *wire mesh* #10 (2 mm), #20 (0.85 mm), #40 (0.425 mm), #70 (0.212 mm), dan #120 (0.125 mm). Pemilihan ukuran *aperture wire mesh* tersebut bertujuan untuk mengetahui sebaran ukuran butir sedimen. Proses pengayakan dilakukan dengan menggunakan bantuan mesin pengayak mekanik.

Hasil pengayakan pada tiap ayakan ditimbang sebagai data untuk perhitungan nilai *Sortasi*, *Skewness*, dan *Kurtosis* dengan rumus metode grafis.

$$\text{Sortasi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} - \frac{\phi_{95} - \phi_{5}}{6,6}$$

$$\text{Skewness} = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} - \frac{\phi_{5} + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{(\phi_{95} - \phi_{5})}$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{\phi_{95} + \phi_{5}}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Metode ini sangat umum digunakan yang mana menggunakan bantuan kertas semi-log atau nilai logaritma dari masing-masing skala tersebut. Kemudian besaran nilai *Sortasi*, *Skewness*, dan *Kurtosis* digolongkan menurut klasifikasi Folk & Ward (1957) yang dapat dilihat masing-masing pada Tabel 1-3.

Tabel 1. Klasifikasi derajat *sorting* (Folk & Ward, 1957)

| <i>Sorting Coefficient</i> | <i>Characterization</i> |
|----------------------------|--------------------------------|
| < 0.35 | <i>Very well sorted</i> |
| 0.35 – 0.50 | <i>Well sorted</i> |
| 0.50 – 0.71 | <i>Moderately well sorted</i> |
| 0.71 – 1.00 | <i>Moderately sorted</i> |
| 1.00 – 2.00 | <i>Poorly sorted</i> |
| 2.00 – 4.00 | <i>Very poorly sorted</i> |
| > 4.00 | <i>Extremely poorly sorted</i> |

Tabel-2. Klasifikasi nilai-nilai *skewness* (Folk & Ward, 1957)

| <i>Skewness Value</i> | <i>Description</i> |
|-----------------------|-------------------------------|
| +0.10 - -0.10 | <i>Nearly symmetrical</i> |
| -0.10 - -0.30 | <i>Coarse-skewed</i> |
| -0.30 - -1.00 | <i>Strongly coarse-skewed</i> |

Tabel-3. Klasifikasi nilai-nilai kurtosis (Folk & Ward, 1957)

| <i>Value</i> | <i>Classification</i> |
|--------------|-----------------------|
| >1.00 | <i>leptokurtic</i> |
| 1.00 | kurva normal |
| <1.00 | <i>platykurtic</i> |

Ketersediaan endapan sedimen material vulkanik, endapan sedimen batuan karbonat pada Formasi Kerek, dan aluvial pada formasi aluvium yang terdapat di sepanjang aliran Sungai Damar menjadi cukup menarik untuk mengetahui persebaran distribusi ukuran butir, faktor yang

mempengaruhi geologi, geomorfologi dan hidrodinamik pada daerah Sungai Damar. Analisis granulometri dilakukan untuk mengetahui perubahan mekanisme sedimentasi endapan di daerah penelitian menggunakan metode grafis. Parameter yang digunakan adalah komposisi material sedimen, ukuran butir, sortasi, *Skewness*, dan *Kurtosis* untuk menginterpretasi mekanisme sedimentasi pasir dan tingkat resistensi butiran sedimen terhadap proses-proses eksogen seperti pelapukan erosi dan abrasi dari proses transportasi dan endapan pada Sungai Damar *Section* Hulu dan Hilir.

HASIL

Dari hasil pengambilan sampel dan pengolahan berupa pengayakan dan pemisahan berdasarkan ukuran butir sampel yang dihasilkan, diperoleh data ukuran dan berat yang direkap pada Tabel 4 dan Tabel 5.

a. Hulu

Berdasarkan hasil ayakan yang telah dilakukan, didapatkan pada bagian hulu daerah penelitian didominasi oleh sedimen berbutir kerikil, diikuti dengan jenis butir pasir sangat kasar, yang ditunjukkan pada Tabel 4.

b. Hilir

Berdasarkan hasil ayakan yang telah dilakukan, didapatkan pada bagian hilir daerah penelitian didominasi oleh sedimen pasir sangat kasar hingga pasir sedang, yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel-4. Hasil Perhitungan Metode Grafis Section Hulu

| # | Jenis Butir | Diameter (mm) | Phi | Nilai Tengah | Berat (gr) | Frekuensi (%) | %Berat Kumulatif |
|-----|--------------------|---------------|-----|--------------|------------|---------------|------------------|
| <10 | | 4 | -2 | | | | |
| | Kerikil | 3 | | -1.5 | 560 | 56 | 56 |
| 10 | | 2 | -1 | | | | |
| | Pasir Sangat Kasar | 1 | | -0.5 | 260 | 26 | 82 |
| 20 | | 0.85 | 0 | | | | |
| | Pasir Kasar | 0.5 | | 0.5 | 65 | 6.5 | 88.5 |
| 70 | | 0.425 | 1 | | | | |
| | Pasir Sedang | 0.25 | | 1.5 | 45 | 4.5 | 93 |
| 80 | | 0.212 | 2 | | | | |
| | Pasir Halus | 0.1875 | | 2.5 | 40 | 4 | 97 |
| 100 | | 0.125 | 3 | | | | |
| | Pasir Sangat Halus | 0.0938 | | 3.5 | 30 | 3 | 100 |
| 120 | | 0.0625 | 4 | | | | |
| | | | | | 1000 | 100 | 100 |

Tabel 5. Hasil Perhitungan Metode Grafis Section Hilir

| # | Jenis Butir | Diameter (mm) | Phi | Nilai Tengah | Berat (gr) | Frekuensi (%) | %Berat Kumulatif |
|-----|--------------------|---------------|-----|--------------|------------|---------------|------------------|
| <10 | | 4 | -2 | | | | |
| | Kerikil | 3 | | -1.5 | 170 | 17 | 17 |
| 10 | | 2 | -1 | | | | |
| | Pasir Sangat Kasar | 1 | | -0.5 | 220 | 22 | 39 |
| 20 | | 0.85 | 0 | | | | |
| | Pasir Kasar | 0.5 | | 0.5 | 320 | 32 | 71 |
| 70 | | 0.425 | 1 | | | | |
| | Pasir Sedang | 0.25 | | 1.5 | 200 | 20 | 91 |
| 80 | | 0.212 | 2 | | | | |
| | Pasir Halus | 0.1875 | | 2.5 | 50 | 5 | 96 |
| 100 | | 0.125 | 3 | | | | |
| | Pasir Sangat Halus | 0.0938 | | 3.5 | 40 | 4 | 100 |
| 120 | | 0.0625 | 4 | | | | |
| | | | | | 1000 | 100 | 100 |

Berdasarkan pada hasil ayakan pada bagian hulu dan hilir daerah penelitian terjadi perubahan ukuran butir sedimen yang mendominasi, dimana pada daerah hilir memiliki dominasi ukuran butir yang lebih halus dibandingkan dengan daerah hulu.

Selanjutnya dilakukan analisis granulometri dengan melakukan plotting % kumulatif dan diameter dari ukuran butir pada lembar semi log, yang masing-masing lokasi dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3, dilanjutkan dengan perhitungan nilai sortasi, *Skewness*, dan *Kurtosis*.

Pada bagian hulu daerah penelitian didapatkan kurva kumulatif yang menukik pada ukuran diameter butir 2 mm, hal ini menunjukkan bahwa jenis butir kerikil mendominasi sedimen yang ada di bagian hulu. Pada bagian hilir didapatkan kurva kumulatif yang relatif landai dengan terjadi kenaikan yang cukup signifikan pada diameter butir 0,25 mm dan 0,5 mm yang menunjukkan pada daerah ini didominasi oleh sedimen dengan jenis butir pasir sedang hingga pasir kasar.

Sortasi

1. Hulu

$$\begin{aligned}
 S_o &= \frac{\phi_{84}-\phi_{16}}{4} - \frac{\phi_{95}-\phi_5}{6,6} \\
 &= \frac{0,35-(-3,18)}{4} - \frac{2,473-(-3,29)}{6,6} \\
 &= \frac{3,53}{4} - \frac{5,763}{6,6} \\
 &= 0,0093 \text{ (Very Well Sorted)}
 \end{aligned}$$

2. Hilir

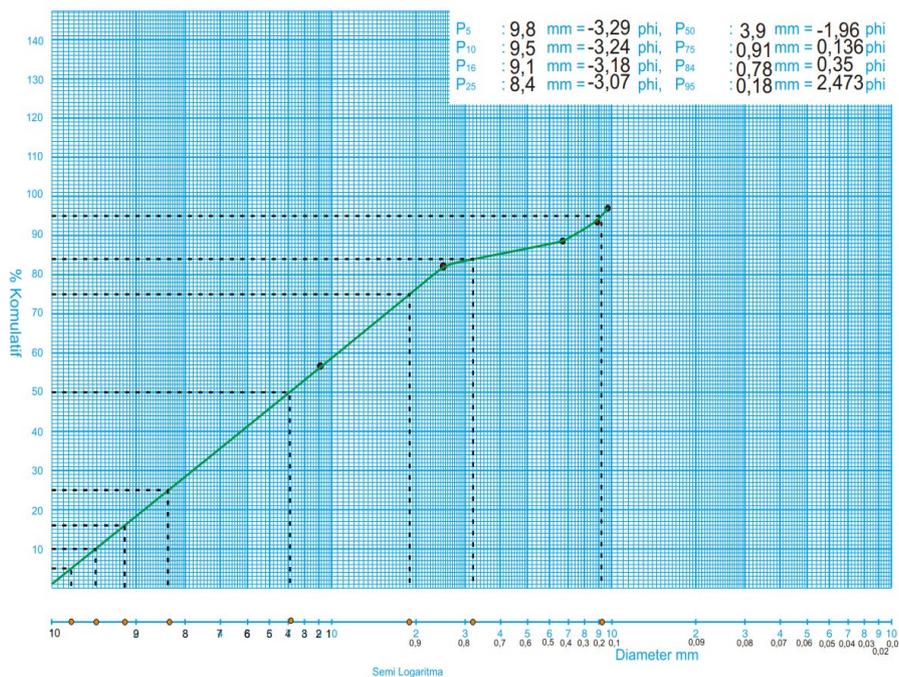
$$\begin{aligned}
 S_o &= \frac{\phi_{84}-\phi_{16}}{4} - \frac{\phi_{95}-\phi_5}{6,6} \\
 &= \frac{1,785-(-1,58)}{4} - \frac{2,473-(-3,18)}{6,6} \\
 &= \frac{3,365}{4} - \frac{5,653}{6,6} \\
 &= -0,0152 \text{ (Very Well Sorted)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa bagian hulu memiliki nilai sortasi 0,0093, sedangkan bagian hilirnya memiliki nilai sortasi -0,0152, sehingga diklasifikasikan *well sorted*. Walaupun kelas sortasi sama, tetapi nilai sortasi di bagian hilir memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian hulu. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian hilir memiliki sortasi yang lebih baik dengan butiran sedimen yang lebih seragam dibandingkan dengan pada bagian hulu karena adanya proses transportasi sedimen menuju ke hilir sehingga ukuran butir lebih seragam.

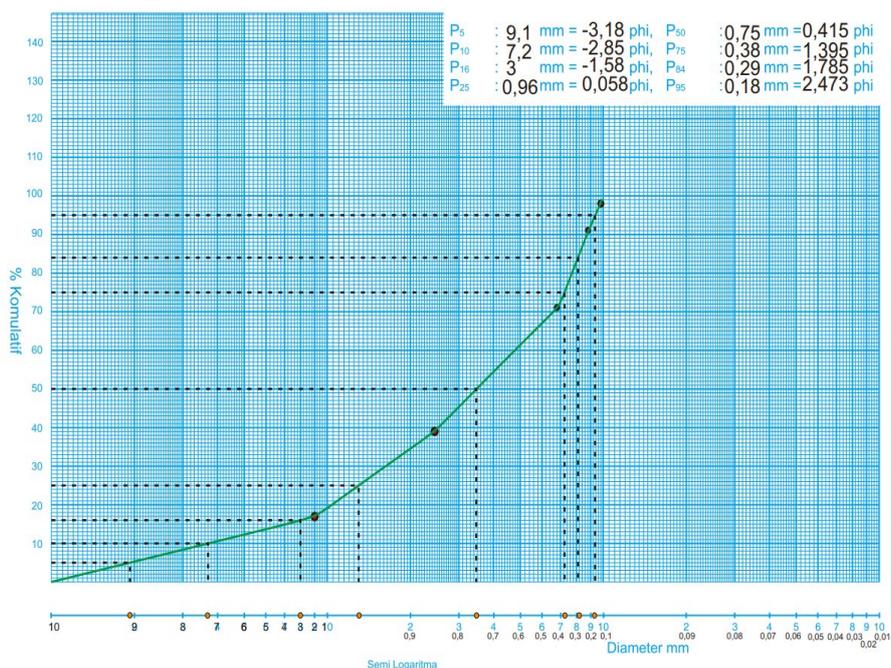
Skewness

1. Hulu

$$\begin{aligned}
 S_k &= \frac{\phi_{16}+\phi_{84}-2\phi_{50}}{2(\phi_{84}-\phi_{16})} - \frac{\phi_5+\phi_{95}-2\phi_{50}}{2(\phi_{95}-\phi_5)} \\
 &= \frac{-3,18+0,35-2(-1,96)}{2(0,35-(-3,18))} - \frac{(-3,29)+2,473-2(-1,96)}{2(2,473-(-3,29))} \\
 &= \frac{1,09}{7,06} - \frac{3,103}{5,763} \\
 &= -0,38 \text{ (Strongly Coarse Skewed)}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. Kurva % Berat Kumulatif Metode Grafis Section Hulu



Gambar 3. Kurva % Berat Kumulatif Metode Grafis Section Hilir

2. Hilir

$$\begin{aligned}
 Sk &= \frac{\emptyset_{16} + \emptyset_{84} - 2\emptyset_{50}}{2(\emptyset_{84} - \emptyset_{16})} - \frac{\emptyset_5 + \emptyset_{95} - 2\emptyset_{50}}{(\emptyset_{95} - \emptyset_5)} \\
 &= \frac{-1,58 + 1,785 - 2(0,415)}{2(1,785 - (-1,58))} - \frac{(-3,18) + 2,473 - 2(0,415)}{2,473 - (-3,18)} \\
 &= \frac{-0,625}{6,73} - \frac{1,537}{5,653} \\
 &= -0,36 \text{ (Strongly Coarse Skewed)}
 \end{aligned}$$

Analisa selanjutnya adalah terkait *Skewness*. Pada hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode grafis, didapatkan hasil pada bagian hulu memiliki nilai *Skewness* -0,38, sedangkan pada bagian hilir memiliki nilai *Skewness* -0,36. Berdasarkan klasifikasi menurut Folk dan Ward (1957) kedua sampel diketahui berada pada klasifikasi *strongly coarse skewed*.

Namun dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, bagian hilir memiliki nilai *skewness* yang lebih kecil dibandingkan dengan bagian hulu. Menurut Sukandarrumidi (2019) menyatakan bahwa apabila dalam suatu distribusi ukuran butir berlebihan partikel kasar, maka arah kurvanya kemencengan (*skewness*) bernilai negatif. Berdasarkan analisis tersebut diketahui bahwa pada lokasi penelitian tersusun atas material sedimen dengan ukuran partikel kasar yang sangat mendominasi. Namun, pada bagian hilir menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan pada bagian hulu, yang menunjukkan bahwa pada bagian hilir tersusun atas partikel yang sedikit lebih halus dibandingkan dengan bagian hulu.

Kurtosis

1. Hulu

$$\begin{aligned} Sk &= \frac{\sigma_{95} + \sigma_5}{2,44 (\sigma_{75} - \sigma_{25})} \\ &= \frac{2,473 - (-3,29)}{2,44 (0,136 - (-3,07))} \\ &= \frac{5,763}{7,82264} \\ &= 0,73 \text{ (platykurtic)} \end{aligned}$$

2. Hilir

$$\begin{aligned} Sk &= \frac{\sigma_{95} + \sigma_5}{2,44 (\sigma_{75} - \sigma_{25})} \\ &= \frac{2,473 - (-3,18)}{2,44 (1,395 - 0,058)} \\ &= \frac{5,653}{3,26228} \\ &= 1,73 \text{ (very platykurtic)} \end{aligned}$$

Analisa yang terakhir yaitu *Kurtosis* yang menunjukkan pemilahan bagian tengah dengan bagian tepi kurva. Bagian tengah kurva merupakan nilai *mean* yang menunjukkan distribusi butir berukuran pasir sedang hingga pasir sangat kasar. Dari hasil perhitungan menggunakan metode grafis, pada sampel hulu didapatkan hasil nilai *kurtosis* 0,73. Berdasarkan klasifikasi menurut Folk & Ward (1957), sampel hulu termasuk ke dalam *platykurtic*.

Klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa pada daerah hulu memiliki distribusi nilai yang tidak berada pada nilai *mean* karena persebarannya didominasi oleh kerikil dan pasir sangat kasar, sehingga kurva yang dihasilkan lebih datar.

Sedangkan pada bagian hilir didapatkan nilai *kurtosis* sebesar 1,73 dan termasuk ke dalam klasifikasi *very leptokurtic*. Klasifikasi tersebut menunjukkan bahwa distribusi nilai berada pada

persebaran nilai rerata, yang menunjukkan dominasi distribusi butir berukuran sedang hingga kasar.

Berdasarkan perbedaan nilai dan klasifikasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada daerah hulu didominasi oleh ukuran butir kerikil dan pasir sangat kasar, sedangkan pada bagian hilir terjadi perubahan ukuran butir yang mendominasi, yaitu oleh ukuran butir pasir sedang hingga pasir sangat kasar dengan nilai tertingginya berada pada pasir kasar. Hal itu menggambarkan kondisi lapangan dimana pada bagian hilir mulai terjadi perubahan dominasi ukuran butir material sedimen yang menyusunnya.

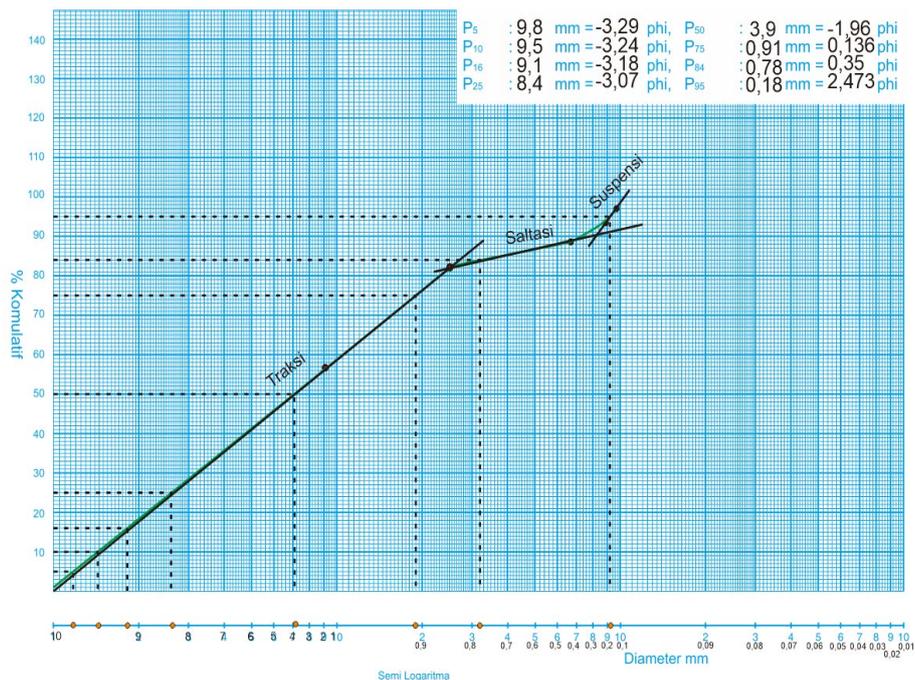
Menurut Visher (1965), ada tiga cara menentukan proses transportasi sedimen yaitu traksi untuk butiran kerikil, saltasi untuk butiran pasir sangat kasar, pasir kasar dan pasir sedang, dan suspensi untuk butiran pasir halus dan pasir sangat halus.

Berdasarkan kurva kumulatif metode grafis pada bagian hulu (Gambar 4) persentase traksi sebesar 56%, nilai persentase saltasi sebesar 37%, dan nilai persentase suspensi sebesar 7%, sedangkan pada bagian hilir persentase traksi sebesar 17%, persentase saltasi sebesar 74%, dan persentase suspensi sebesar 9% yang ditunjukkan pada Gambar 5.

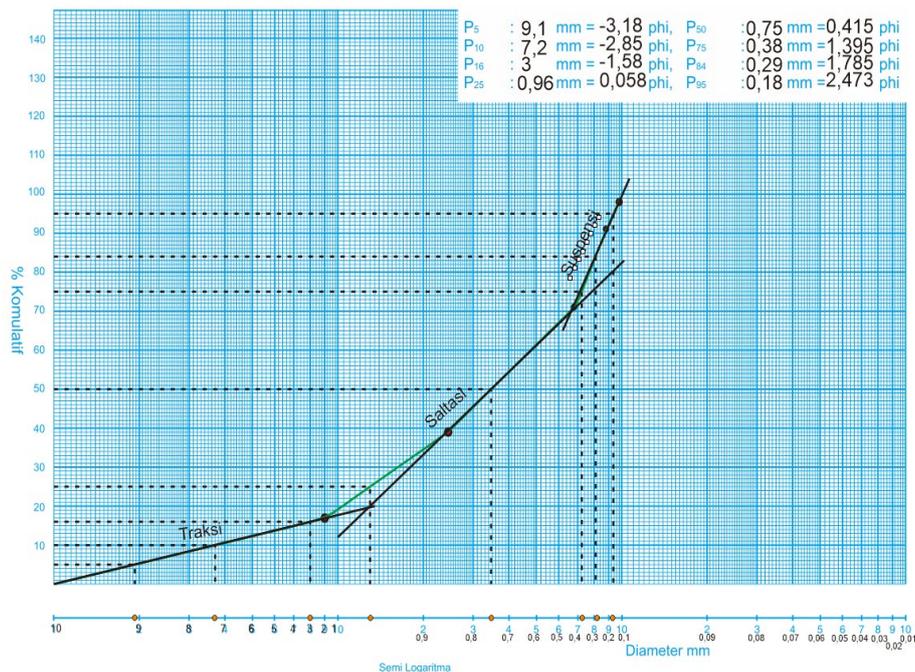
Dari grafik hubungan antara distribusi ukuran partikel sedimen dan distribusi pergerakan sedimentasi, dapat disimpulkan bahwa geomorfologi dipengaruhi proses fluvial yang paling kuat terhadap sedimentasi di Sungai Damar adalah melalui proses aliran sungai. Hal ini terlihat dari banyaknya partikel yang terbawa oleh aliran sungai dalam bentuk saltasi dan traksi, sementara partikel yang terbawa dalam suspensi hanya sedikit yaitu kurang dari 10%. Dominasi saltasi dan traksi ini diinterpretasikan oleh kecepatan aliran sungai yang cukup besar sehingga dapat membawa material sedimen menuju hilir dalam jumlah yang besar. Kondisi ini sejalan yang dikemukakan oleh Visher (1969) dalam Reineck & Singh (1975), yang menggambarkan lingkungan sedimentasi yang dipengaruhi oleh aliran sungai.

PEMBAHASAN

Interpretasi mekanisme sedimentasi yang terjadi pada endapan sedimen didasarkan pada hasil analisis ukuran butir. Menurut Wilcock dkk. (2009), partikel sedimen yang berukuran kurang



Gambar 4. Kurva Kumulatif Metode Grafis Proses Sedimentasi Section Hulu



Gambar 5. Kurva Kumulatif Metode Grafis Proses Sedimentasi Section Hilir

dari 1/8 mm akan bergerak dengan cara suspensi, partikel yang lebih besar dari 8 mm akan bergerak dengan cara *bed load*, dan partikel yang memiliki ukuran butir diantara kedua rentang tersebut akan bergerak melalui suspensi dan *bed load*, tergantung dari kekuatan arus sungai.

Hasil analisis menunjukkan bahwa di hulu didominasi oleh ukuran butir kerikil sementara di hilir sebagian besar tersusun atas ukuran butir

pasir kasar. Keterkaitan antara hasil analisis granulometri dengan klasifikasi Wilcock, dkk (2009) mengenai jenis transportasi sedimen berdasarkan ukuran butirnya, dapat diketahui bahwa di hulu dan di hilir, endapan yang terbentuk pada morfologi *point bar* Sungai Damar terendapkan melalui mekanisme transportasi secara *bed load* yang merupakan kombinasi antara *rolling*, *sliding* dan *saltation*,

akan tetapi terdapat juga mekanisme transportasi berupa *suspension* pada sebagian kecil partikel sedimen yang berukuran sangat halus.

Berdasarkan data persentase berat ukuran butir dan tren kurva menggunakan metode grafis, kedua titik pengamatan telah menunjukkan perbedaan dominansi ukuran butir yang signifikan. Di hulu, sebaran ukuran butir terbanyak dijumpai pada kerikil sementara di hilir, ukuran butir dominan berada pada pasir kasar. Dalam analisis ini diketahui bahwa objek pengamatan pada kedua titik penelitian tidak memiliki banyak perbedaan yang signifikan (Gambar-6; Gambar-7; Gambar-8; Gambar-9).

Nilai sortasi yang dihasilkan juga cenderung tidak merepresentasikan kondisi sebenarnya. Kondisi tersebut dapat terjadi karena proses pengambilan sampel di daerah hilir tidak dekat dengan muara karena kondisi yang tidak memungkinkan (Gambar-8; Gambar-9). Di daerah muara, sungai telah dinormalisasi dan seluruhnya telah mengalami pembetonan, serta ketidakhadiran morfologi *point bar* di sekitar muara. Kemiripan kondisi partikel sedimen di hulu dan hilir disebabkan oleh faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi kondisi transportasi dan sedimentasi.

Geologi

Ditinjau dari faktor geologi, sepanjang aliran Sungai Damar dari titik pengamatan hulu dan hilir telah melewati beberapa formasi batuan yang berbeda, yaitu Formasi Kaligetas, Formasi Kerek, Formasi Damar, dan Aluvium yang distribusinya dapat dilihat pada Gambar 10. Keragaman formasi batuan akan mempengaruhi komposisi sedimen yang terbawa oleh arus sungai pada aliran Sungai Damar karena setiap litologi memiliki tingkat erosi yang berbeda-beda. Semakin tua umur suatu litologi, semakin rendah tingkat erosinya dan semakin resisten karena letaknya yang berada lebih dalam sehingga lebih terhindar dari pelapukan (Boggs, 2009). Titik pengamatan di hilir terletak pada litologi Aluvium dan cenderung memiliki jarak yang lebih dekat dengan Formasi Damar dibanding dari titik pengamatan hulu. Diinterpretasikan bahwa sebagian besar sedimen yang diendapkan di hilir banyak mendapat pengaruh dari Formasi Damar. Selain itu, keberadaan sesar utama yang memotong sungai juga menyebabkan permukaan batuan yang

tererosi lebih luas sehingga juga menambah suplai sedimen baru. Kondisi serupa juga ditemui pada penelitian oleh Javanbakht, dkk (2022) yang menyatakan bahwa semakin ke hilir, partikel sedimen halus semakin berkurang sementara partikel berukuran kasar semakin meningkat,



Gambar-6. Lokasi pengambilan sampel di hulu



Gambar-7. Kondisi lapangan daerah hulu



Gambar-8. Lokasi pengambilan sampel di hilir



Gambar 9. Kondisi lapangan daerah hilir

yang mana dipengaruhi oleh kehadiran struktur kekar yang memotong sungai di sepanjang lereng yang curam.

Batuan yang lebih homogen cenderung menghasilkan sedimen dengan sortasi yang lebih baik karena butiran memiliki ukuran yang lebih seragam. Batuan yang lebih tahan terhadap erosi cenderung menghasilkan sedimen dengan sortasi yang lebih baik karena butiran yang tererosi memiliki ukuran yang seragam. Sebaliknya, batuan yang mudah tererosi cenderung menghasilkan sedimen dengan sortasi yang kurang baik karena terdapat variasi ukuran butiran yang lebih besar. Pada nilai *skewness*, nilai negatif mengindikasikan keberadaan partikel kasar yang mendominasi distribusi ukuran butir. Pada bagian hulu, nilai *kurtosis* menunjukkan kurva yang lebih datar (*platykurtic*), yang mengindikasikan dominasi butiran sedimen kasar seperti kerikil dan pasir sangat kasar. Hal ini mungkin disebabkan oleh erosi batuan yang lebih aktif di daerah hulu, yang menghasilkan sedimen yang lebih kasar. Di bagian hilir, nilai *kurtosis* yang lebih tinggi (*very leptokurtic*) menunjukkan distribusi butir yang lebih terkonsentrasi di sekitar nilai mean, yang dapat disebabkan oleh suplai sedimen yang berasal dari formasi batuan yang berbeda, seperti Formasi Damar yang mengandung butiran sedimen yang lebih halus.

Pada bagian hulu proses sedimentasi yang dominan adalah traksi. Traksi dapat terjadi ketika material piroklastik bergerak di sepanjang dasar Sungai Damar bagian hulu, sedangkan pada bagian hilir proses sedimentasi yang dominan adalah saltasi. Saltasi dapat terjadi pada partikel berukuran pasir sangat kasar sampai sedang.

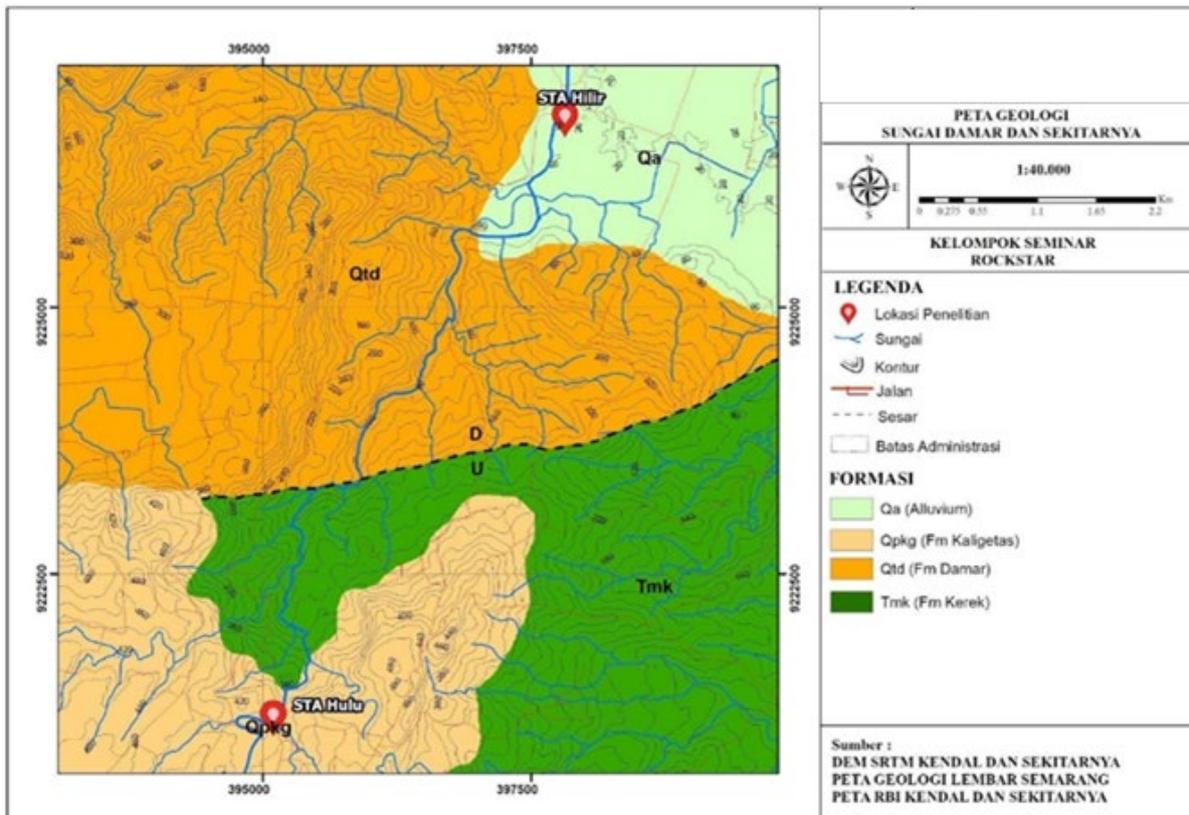
Proses saltasi dapat terlibat dalam transportasi awal material ini sebelum akhirnya mengendap dan membentuk lapisan batuan.

Geomorfologi

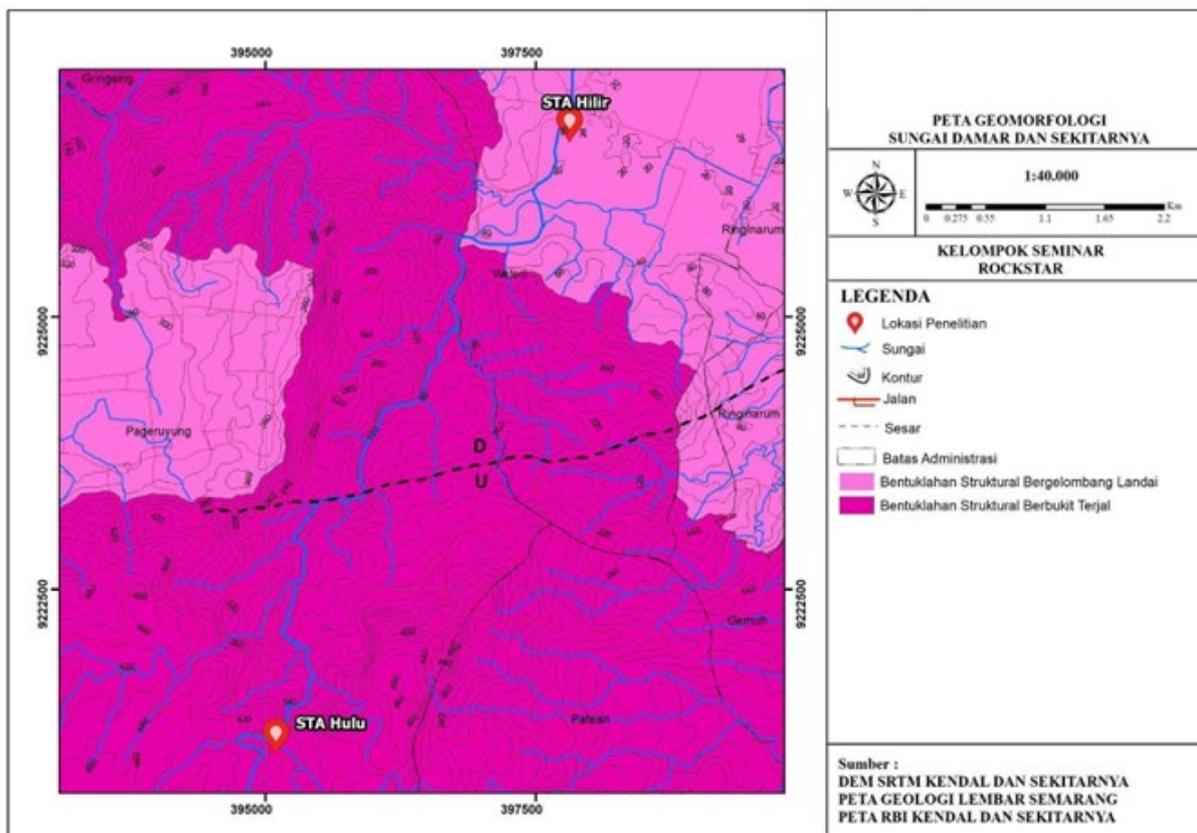
Berdasarkan kondisi geomorfologi, hulu Sungai Damar dikelilingi oleh bentuklahan struktural dengan kelerengan bergelombang landai hingga berbukit terjal, yang areanya dipetakan pada Gambar 11. Kondisi tersebut mampu mempengaruhi tingkat erosi batuan sekitar sungai sehingga suplai sedimen yang terbawa menjadi semakin banyak. Namun kemudian melandai drastis ketika berada di hulu, yang mana dapat mempengaruhi proses transportasi seperti perubahan arus secara tiba-tiba sehingga di hilir masih banyak dijumpai ukuran butir sedimen kasar.

Kelerengan yang curam di daerah hulu dapat menghasilkan sortasi yang kurang baik karena aliran sungai yang lebih bergejolak, serta menghasilkan sedimen yang lebih kasar. Di sisi lain, daerah hilir yang landai cenderung memiliki sortasi yang lebih baik karena aliran sungai yang lebih stabil. Pada bagian hulu dengan bentuklahan struktural yang bergelombang landai hingga berbukit terjal memberikan suplai sedimen yang lebih beragam dalam ukuran butir. Hal ini dapat menciptakan distribusi ukuran butir yang lebih beragam dan menyebabkan nilai *skewness* yang lebih tinggi. Bentuklahan bagian hulu memberikan kondisi yang mendukung transportasi butiran kasar seperti kerikil dan pasir sangat kasar, yang tercermin dalam klasifikasi *kurtosis platykurtic*. Bentuklahan bagian hilir menyebabkan perubahan proses transportasi yang menghasilkan distribusi butir yang lebih seragam, terutama dengan klasifikasi *kurtosis very leptokurtic*.

Pada bentuklahan berbukit terjal, traksi dapat menyebabkan erosi yang signifikan karena gaya gravitasi yang bekerja pada material lereng yang curam. Traksi sering terjadi di lingkungan fluvial, di mana kecepatan aliran sungai yang cukup besar dapat menyebabkan partikel sedimen bergulung atau bergeser di dasar sungai. Hal ini dapat mengakibatkan transportasi partikel batuan ke daerah yang lebih landai. Sementara itu, pada bentuklahan bergelombang landai, traksi lebih sedikit dan dominan saltasi yang mempengaruhi morfologi karena kemiringan lereng yang lebih landai mengurangi potensi erosi.



Gambar 10. Peta Geologi Daerah Penelitian



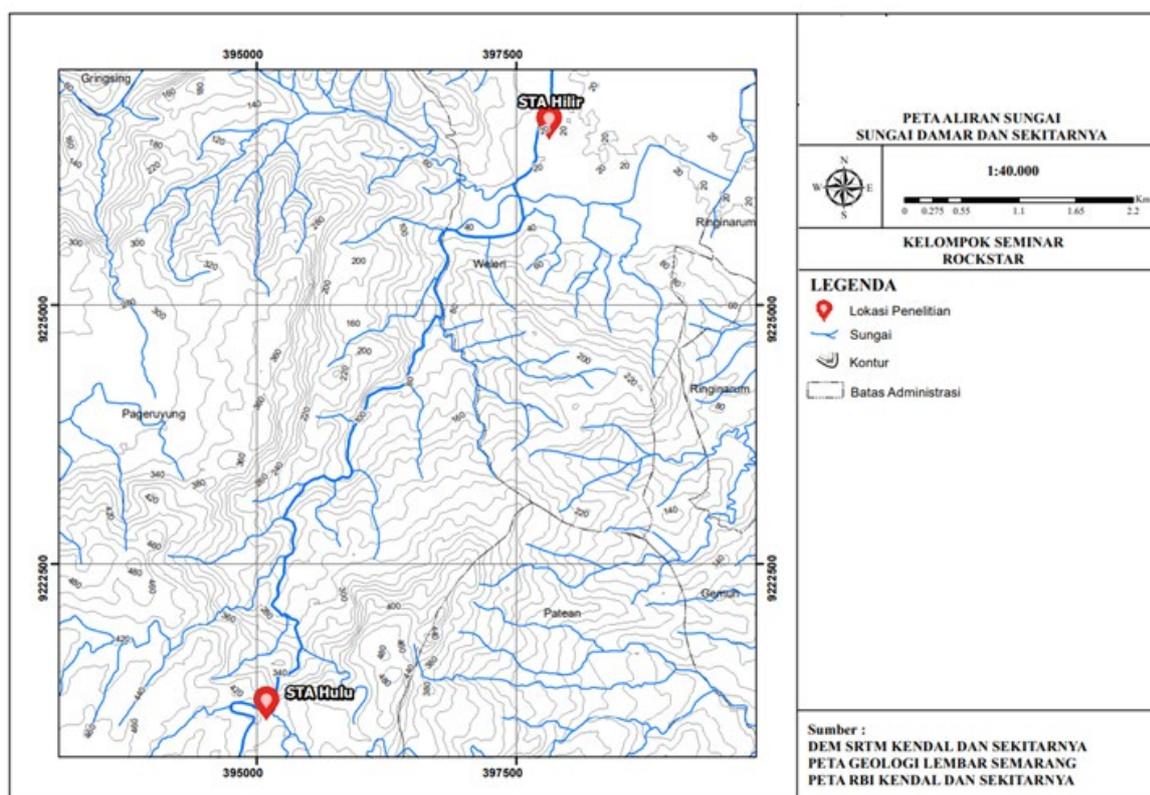
Gambar 11. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Proses transportasi

Berdasarkan peta pola pengaliran daerah penelitian, aliran Sungai Damar memiliki pola aliran dendritik (Gambar 12). Pada alirannya terdapat banyak cabang anak sungai yang memiliki aliran yang pendek dan relatif dekat dengan sumber material yang tererosi dan mengalir pada aliran Sungai Damar menyebabkan pada daerah hilir sungai utama mendapat suplai sedimen baru dengan ukuran material sedimen yang relatif masih kasar. Adanya pertemuan dua arus sungai juga dapat menyebabkan perubahan arus di aliran sungai utama. Hal tersebut mampu memberikan pengaruh besar terhadap proses transport dan sedimentasi sehingga hasil analisis tidak sejalan dengan prinsip sedimentasi secara umum. Proses ini dapat dipengaruhi oleh kecepatan aliran sungai yang lebih rendah di hilir, yang memungkinkan untuk pengendapan butiran yang lebih seragam dibandingkan di hulu. Meskipun kedua bagian (hulu dan hilir) termasuk dalam klasifikasi "Strongly Coarse Skewed", bagian hilir memiliki nilai *Skewness* yang sedikit lebih rendah daripada bagian hulu. Pada bagian hilir, terdapat sedikit lebih banyak partikel yang halus dibandingkan dengan bagian hulu, yang dapat

diatribusikan kepada proses transportasi yang lebih lambat di bagian hilir. Bagian hulu memiliki *kurtosis* yang termasuk ke dalam klasifikasi (*platykurtic*), menunjukkan distribusi yang cenderung lebih datar dan didominasi oleh butiran kasar. Di sisi lain, bagian hilir memiliki *kurtosis* yang termasuk ke dalam klasifikasi (*very leptokurtic*), menunjukkan distribusi yang lebih tajam di sekitar nilai rata-rata, yang menunjukkan adanya perubahan dominasi ukuran butir menjadi lebih halus.

Pada bagian hulu proses sedimentasi yang dominan adalah traksi. Traksi dapat terjadi ketika resistensi batuan terhadap erosi sangat berpengaruh pada proses pembentukan alur-alur sungai, dimana batuan yang tidak resisten cenderung mudah tererosi dan membentuk alur-alur sungai yang lebih rapat. Sedangkan, pada bagian hilir saltasi dapat mempengaruhi bentuk dan struktur saluran sungai dengan cara mengangkut dan menyetorkan sedimen di sepanjang aliran sungai. Partikel yang diangkut cenderung menetap di tempat-tempat di mana kecepatan aliran berkurang, seperti di belokan sungai pada bagian hilir.



Gambar 12. Peta Pola Pengaliran Daerah Penelitian

KESIMPULAN

Endapan sedimen di lokasi penelitian memiliki nilai sortasi bagian hulu memiliki nilai 0,0093, sedangkan pada bagian hilir memiliki nilai -0,0152 yang keduanya termasuk *very well sorted*. Nilai *skewness* pada bagian hulu memiliki nilai -0,38, sedangkan pada bagian hilir memiliki nilai -0,36 yang keduanya termasuk *strongly coarse skewed*. Nilai *kurtosis* pada bagian hulu memiliki nilai 0,73 yang termasuk ke dalam kelompok *platykurtic*, sedangkan pada bagian hilir memiliki nilai 1,73 yang termasuk ke dalam kelompok *very leptokurtic*. Pada proses transportasi yang terjadi pada bagian hulu adalah dominan traksi disebabkan kemiringan sungai lebih curam dan aliran air memiliki energi yang cukup untuk menggerakkan partikel besar, sedangkan pada bagian hilir adalah dominan saltasi disebabkan kemiringan sungai lebih landai dan partikel yang lebih ringan dapat diangkat dan dijatuhkan dalam pola melompat oleh aliran yang lebih tenang. Hasil analisis tidak sesuai dengan prinsip sedimentasi disebabkan terdapat faktor-faktor eksternal, seperti perubahan cuaca, curah hujan, dan aktivitas manusia yang dapat memengaruhi proses sedimentasi di sungai. Tanah longsor, aktivitas pertanian, atau perubahan penggunaan lahan di sekitar sungai dapat mengubah karakteristik aliran sungai dan distribusi sedimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing Seminar Capstone 2023 yang selalu memotivasi dan membimbing kami mulai dari awal hingga akhir proyek seminar. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada staf Laboratorium Sumberdaya Energi Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro yang membantu dalam pelaksanaan dan perizinan kegiatan analisis granulometri.

DAFTAR PUSTAKA

Boggs Jr., S. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks Second Edition*. New York: Cambridge University Press.

Folk, R.L. dan Ward, W.C. (1957). Brazos River bar, a study in significance of grainsize parameters. *Journal of Sedimentary Research*, 27(1), hal.3-26. DOI: doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D

Folk, R.L. (1974), *Petrology Of Sedimentary Rocks*. Texas: Hemphill Publishing Company.

Hidayat, R. dan Rozamuri, M.F. (2016). Comparison of Grain-Size Profile and Depositional Process in Mandeh and Nyalo Bar, Mandeh Bay, West Sumatera, Indonesia. *Journal of Applied Geology*, 1(1), hal.36-42. DOI : 10.22146/jag.26958

Javanbakht, M., Beheshtipur, M.R., Farimani, S.R. (2022). Factors affecting average grain size changes in rivers of a catchment area (Ardak catchment area, northeast Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 448. DOI: doi.org/10.1007/s12517-021-08512-2

Reineck, H.E dan Singh, I.B. (1975). *Depositional Sedimentary Environments*. New York : Springer Berlin Heidelberg

Sallami, P.F. dan Sarjono, S.S. (2009). Karakteristik Tekstur Sedimen Berdasarkan Analisis Granulometri dan Morfologi Butir Pasi Sepanjang Sungai Progo di Daerah Kalibawang-Pantai Trisik, DIY. Dalam: Setijadji, L.D., Wipolo, W., Hendratno, A (edt). *International Conference on Earth Science and Technology. Proceedings of The National Seminar on Earth Science Education and Research: Celebrating The 50th Anniversary Department of Geological Engineering Gajah Mada University and The Internasional Seminar on Geology of The Southern Mountains of Java: Celebrating The 25th Anniversary Field Campus "Prof. Soeroso Notohadiprawiro"*. Vol.1. hal.77-82.

Sukandarrumidi. (2019). *Geologi Minyak Dan Gas Bumi (Cetakan 3)*. Yogyakarta: UGM press.

Thanden, R.E., Sumadirdja, H., Richards, P.W., Sutisna, K., Amin, T.C. (1996). *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang. Jawa skala, 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi

Wilcock, P.R., Pitlick, J., Cui., Y. (2009). *Sediment Transport Primer Astimating Bed-Material Transport in Gravel-bed Rivers*. Colorado: United States Department of Agriculture.

Visher, G. (1965). Fluvial processes as interpreted from Ancient and Recent Fluvial Deposits. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 48(4).