

Karakteristik Sedimen Sungai Matangnga (Hulu) dan Sungai Maloso (Hilir) Kabupaten Polewali Mandar Berdasarkan Analisis Granulometri

Herni Suryani^{1*}, Elvira Jamal¹, Yusman¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Jalan Prof. Dr. Baharuddin Lopa, SH, Talumung, Majene, 91412, Indonesia

*e-mail: herni.suryani@unsulbar.ac.id

(Received: 11 Mei 2025; Reviewed: 12 Mei 2025; Accepted: 15 Mei 2025)

Abstract

Sediment Characteristics of the Matangnga River (Upstream) and Maloso River (Downstream) in Polewali Mandar Regency Based on Granulometric Analysis. This study analyzes the sediment texture characteristics of the Matangnga River (upstream) and the Maloso River (downstream) in Polewali Mandar Regency, based on grain size statistical parameters. Eight sediment samples were analyzed using the graphical method of Folk & Ward (1957) to obtain statistical parameters (mean, sorting, skewness, and kurtosis), and the Visher (1969) approach to identify sediment transport mechanisms (traction, saltation, and suspension). Results show that upstream sediments are dominated by coarse grains, poorly to moderately sorted, with near-symmetrical to slightly fine-skewed distributions. These characteristics indicate rapid deposition resulting from flash floods transporting mixed materials from surrounding slopes. In contrast, downstream sediments are finer, better sorted, with negative skewness and leptokurtic distributions, reflecting deposition under low-energy flow conditions. Log-probability curves indicate a dominance of saltation in the upstream and suspension in the downstream segments. These findings highlight flow energy variations and depositional dynamics along the river. Technical recommendations include slope rehabilitation upstream and channel normalization downstream to support sustainable river management.

Keywords: Fluvial Sedimentation, Granulometric Analysis, Grain Size Statistics, Log-Probability

Abstrak

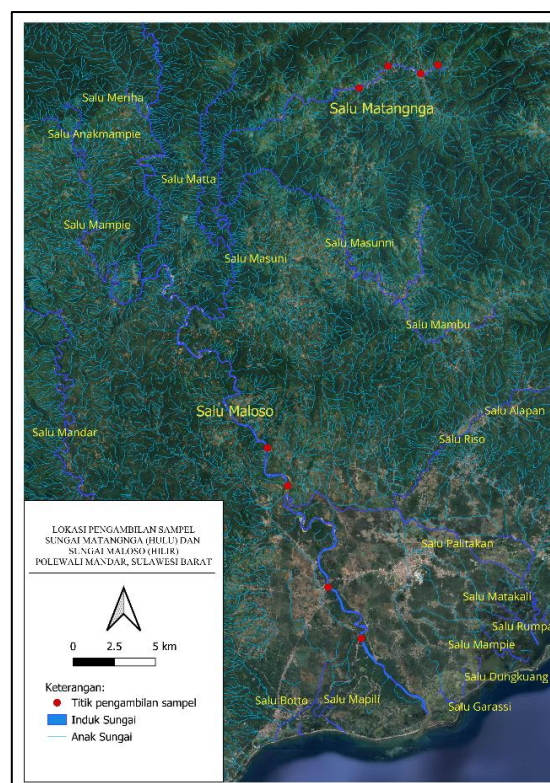
Penelitian ini menganalisis karakteristik tekstur sedimen di Sungai Matangnga (hulu) dan Sungai Maloso (hilir), Kabupaten Polewali Mandar, berdasarkan parameter statistik ukuran butir. Delapan sampel sedimen dianalisis menggunakan metode grafis Folk & Ward (1957) untuk memperoleh parameter statistik (mean, sortasi, skewness, kurtosis), serta pendekatan Visher (1969) untuk mengidentifikasi mekanisme pengangkutan sedimen (traksi, saltasi, suspensi). Hasil menunjukkan bahwa sedimen hulu didominasi butiran kasar, sortasi buruk hingga sedang, dan distribusi simetris hingga sedikit condong halus. Karakteristik ini mengindikasikan adanya pengendapan cepat akibat peristiwa banjir bandang yang membawa material campuran dari lereng. Di hilir, sedimen lebih halus, tersortasi lebih baik, dengan skewness negatif dan kurtosis leptokurtik, mencerminkan pengendapan dalam aliran tenang. Kurva log-probabilitas menunjukkan dominasi fraksi saltasi di hulu dan suspensi di hilir. Temuan ini menegaskan variasi energi aliran dan dinamika pengendapan sepanjang sungai. Rekomendasi teknis meliputi rehabilitasi lereng di hulu dan normalisasi saluran di hilir untuk pengelolaan sungai yang berkelanjutan.

Kata kunci: Sedimentasi Sungai, Analisis Granulometri, Statistik Ukuran Butir, Log-Probabilitas

PENDAHULUAN

Karakteristik sedimen sepanjang aliran sungai sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi energi aliran, sumber material, serta proses hidrodinamik yang bekerja di setiap segmen aliran (Pettijohn dkk., 1973). Secara umum, bagian hulu sungai dicirikan oleh energi aliran yang lebih tinggi sehingga cenderung mengendapkan sedimen berukuran kasar, sementara bagian hilir umumnya didominasi oleh sedimen halus akibat penurunan energi transportasi. Namun, dinamika sistem fluvial sering kali menghasilkan variasi yang kompleks, terlebih ketika terjadi gangguan seperti banjir bandang.

Kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat memiliki sistem sungai utama yang berperan dalam dinamika sedimentasi regional, salah satunya yaitu Sungai Matangnga (hulu) dan Sungai Maloso (hilir). Sungai Matangnga merupakan satu dari tujuh hulu sungai di Kabupaten Polewali Mandar yang secara administratif terletak di Kecamatan Matangnga, yang cukup sering mengalami kejadian banjir (Ramli, 2023). Sementara itu, Sungai Maloso merupakan sungai induk yang hulunya berasal dari Kecamatan Tubbi Taramanu. Sungai ini berperan sebagai saluran utama hilir yang menerima input sedimen dari berbagai anak sungai dan bermuara di Pantai Mappili (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel sedimen (titik merah) daerah penelitian

Studi mengenai karakteristik sedimen pada lingkungan sungai sangat penting dilakukan untuk memahami dinamika fluvial, perubahan morfologi, serta resiko bencana alam seperti banjir dan pendangkalan sungai. Metode yang paling umum digunakan untuk menganalisis karakteristik sedimen adalah analisis granulometri. Analisis granulometri digunakan sebagai metode kuantitatif untuk mengevaluasi ukuran butir sedimen, termasuk parameter statistik seperti *mean*, *sorting*, *skewness*, dan *kurtosis* yang dapat merepresentasikan proses transportasi dan pengendapan sedimen secara tidak langsung (Folk & Ward, 1957)

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa analisis statistik ukuran butir memberikan kontribusi penting dalam memahami dinamika transportasi dan pengendapan sedimen di berbagai lingkungan, seperti di lingkungan pesisir (Anggraini dkk., 2020; Ayodele & Madukwe, 2019; Muhandi dkk., 2023), sungai (Junaidi & Wigati, 2011; Wicitra dkk., 2024), maupun perairan tertutup (Nugroho & Basit, 2014). Khusus untuk lingkungan fluvial, Junaidi & Wigati (2011) mengatakan bahwa klasifikasi nilai kurtosis dan sortasi pada sedimen Sungai menunjukkan keragaman proses transportasi di sistem sungai alami. Wicitra dkk. (2024) mengemukakan bahwa variasi parameter statistik dari hulu ke hilir Sungai berkaitan erat dengan perbedaan bentuk lahan, geologi, dan kondisi hidrodinamika setempat.

Meskipun banyak penelitian sebelumnya telah membahas karakteristik sedimen di berbagai lingkungan fluvial menggunakan parameter statistik ukuran butir (Junaidi & Wigati, 2011; Wicitra dkk., 2024), masih sedikit yang mengintegrasikan dua pendekatan analisis statistik grafik Folk & Ward (1957) dan interpretasi log-probabilitas Visser (1969) secara bersamaan untuk mengidentifikasi mekanisme pengendapan pada sistem sungai tropis yang kompleks. Selain itu, studi yang memfokuskan pada dua segmen sungai yang berbeda secara geomorfologis, hulu dan hilir, dalam satu kerangka analisis integratif juga masih terbatas, khususnya di wilayah Sulawesi Barat yang rawan banjir bandang.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik statistik ukuran butir sedimen di Sungai Matangnga (hulu) dan Sungai Maloso (hilir) dan mekanisme pengendapan yang dominan di masing-masing lokasi, serta mengkaji implikasi hasil perbedaan karakteristik sedimen tersebut terhadap dinamika sedimentasi dan strategi pengelolaan aliran sungai.

METODE

Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi penelitian secara umum terbagi menjadi dua, yaitu bagian hulu (Sungai Matangnga) dan bagian hilir (Sungai Maloso). Sebanyak 8 sampel penelitian diambil dari kedua sungai, masing-masing yaitu 4 sampel dari Sungai Matangnga dan 4 sampel lainnya dari Sungai Maloso (Gambar 1). Sampel sedimen diambil pada endapan sedimen yang terakumulasi di tepi sungai (*point bar*) maupun di tengah badan sungai (*channel bar*).

Metode Penelitian

Metode analisa sedimen yang digunakan adalah analisis granulometri. Sampel sedimen yang telah diambil di lapangan terlebih dahulu dikeringkan untuk selanjutnya dianalisis menggunakan metode ayakan kering (*dry sieve analysis*) (Folk, 1980; Tucker, 1988). Proses ini menggunakan serangkaian ayakan standar (*mesh*) dengan interval ukuran butir mengikuti skala phi (ϕ) menurut klasifikasi *Udden-Wentworth* (Gambar 2), yaitu $\phi = -\log_2(d)$, dengan d adalah diameter butir dalam mm (Boggs, 2006; Folk, 1980; Pettijohn dkk., 1973). Data hasil ayakan kemudian diolah untuk menghasilkan histogram persen distribusi berat tertahan, kurva persen kumulatif lolos, dan kurva log-probabilitas.

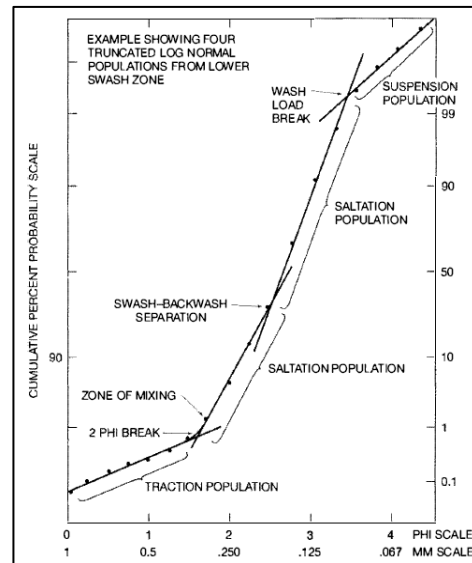
Perhitungan parameter statistik distribusi ukuran butir berupa pendekatan grafis yang dikembangkan oleh Folk dan Ward (1957), yaitu dengan memanfaatkan nilai-nilai persentil seperti ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} , ϕ_{84} , dan ϕ_{95} untuk menghitung parameter-parameter statistik utama, yaitu ukuran butir rata-rata (*mean*), derajat sortasi (*sorting*), kemencengan distribusi (*skewness*), dan keruncingan distribusi (*kurtosis*) dalam satuan phi (ϕ) (lihat Tabel 1 dan 2).

Pemilihan metode grafis Folk & Ward (1957) didasarkan pada kemampuannya dalam menyederhanakan distribusi ukuran butir menjadi empat parameter statistik utama (*mean*, *sortasi*, *skewness*, dan *kurtosis*) yang secara kuantitatif dapat mewakili kondisi energi dan proses transportasi sedimen. Sementara itu, pendekatan log-probabilitas dari Visser (1969) memberikan dimensi tambahan dalam interpretasi, karena memungkinkan pemisahan komponen fraksi transportasi (*traksi*, *saltasi*, *suspensi*) secara visual dari kurva ukuran butir (Gambar 3). Keunggulan dari pendekatan Visser terletak pada kemampuannya mengidentifikasi multimodalitas, yang mencerminkan adanya lebih dari satu mekanisme pengangkutan atau *episode deposisional*. Kombinasi kedua metode ini memberikan analisis yang saling melengkapi dimana satu menyoroti karakter statistik, dan yang lain menekankan proses sedimentologis, khususnya untuk interpretasi sistem fluvial yang dinamis dan beragam (Miall, 2010; Reineck & Singh, 1980).

Table 3-2. Terminology and class intervals for grade scales

	U.S. Standard sieve mesh	Millimeters	Phi (ϕ) units	Wentworth size class
GRAVEL	Use wire squares	4096	-12	Boulder
		1024	-10	
		256	-8	Cobble
		64	-6	
		16	-4	Pebble
	5	4	-2	
	6	3.36	-1.75	Granule
	7	2.83	-1.5	
	8	2.38	-1.25	
	10	2.00	-1.0	
SAND	12	1.68	-0.75	Very coarse sand
	14	1.41	-0.5	
	16	1.19	-0.25	
	18	1.00	0.0	
	20	0.84	0.25	Coarse sand
	25	0.71	0.5	
	30	0.59	0.75	
	35	0.50	1.0	
	40	0.42	1.25	Medium sand
	45	0.35	1.5	
	50	0.30	1.75	
	60	0.25	2.0	
	70	0.210	2.25	Fine sand
	80	0.177	2.5	
	100	0.149	2.75	
	120	0.125	3.0	
	140	0.105	3.25	Very fine sand
	170	0.088	3.5	
	200	0.074	3.75	
	230	0.0625	4.0	
SILT	270	0.053	4.25	Coarse silt
	325	0.044	4.5	
		0.037	4.75	
		0.031	5.0	Medium silt
		0.0156	6.0	
		0.0078	7.0	Fine silt
MUD	Use pipette or hydrometer	0.0039	8.0	Very fine silt
		0.0020	9.0	Clay
		0.00098	10.0	
		0.00049	11.0	
		0.00024	12.0	
		0.00012	13.0	
		0.00006	14.0	

Gambar 2. Klasifikasi Ukuran Butir Wenworth, 1922 (Boggs, 2006; Folk, 1980; Pettijohn dkk., 1973)



Gambar 3. Diagram Log-probabilitas Visher (1969)

Tabel 1. Rumus parameter statistik metode grafis menurut Folk & Ward (1957)

Nilai	Rumus Metode Grafis
Graphic Mean (M_z)	$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (1)$
Inclusive Graphic Standard Deviation (σ_I)	$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (2)$
Inclusive Graphic Skewness (Sk_I)	$Sk_I = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (3)$
Kurtosis (K_G)	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (4)$

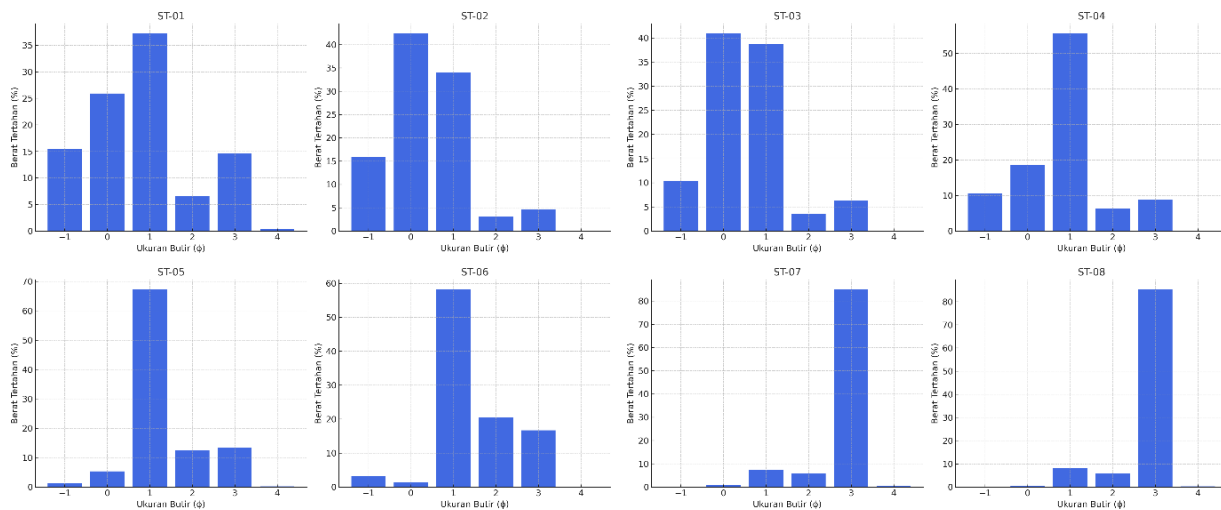
Tabel 2. Nilai dan Klasifikasi Nilai Sortasi, Skewness, dan Kurtosis menurut Folk & Ward (1957)

Sorting	Skewness	Kurtosis
$<0.35\phi$	$> +0.30$	<0.67
$0.35 - 0.50\phi$	$+0.30$ to $+0.10$	$0.67 - 0.90$
$0.50 - 0.71\phi$	$+0.10$ to -0.10	$0.90 - 1.11$
$0.71 - 1.00\phi$	-0.10 to -0.30	$1.11 - 1.50$
$1.00 - 2.00\phi$	< -0.30	$1.50 - 3.00$
$2.00 - 4.00\phi$		>3.00
$>4.00\phi$		

HASIL DAN PEMBAHASAN

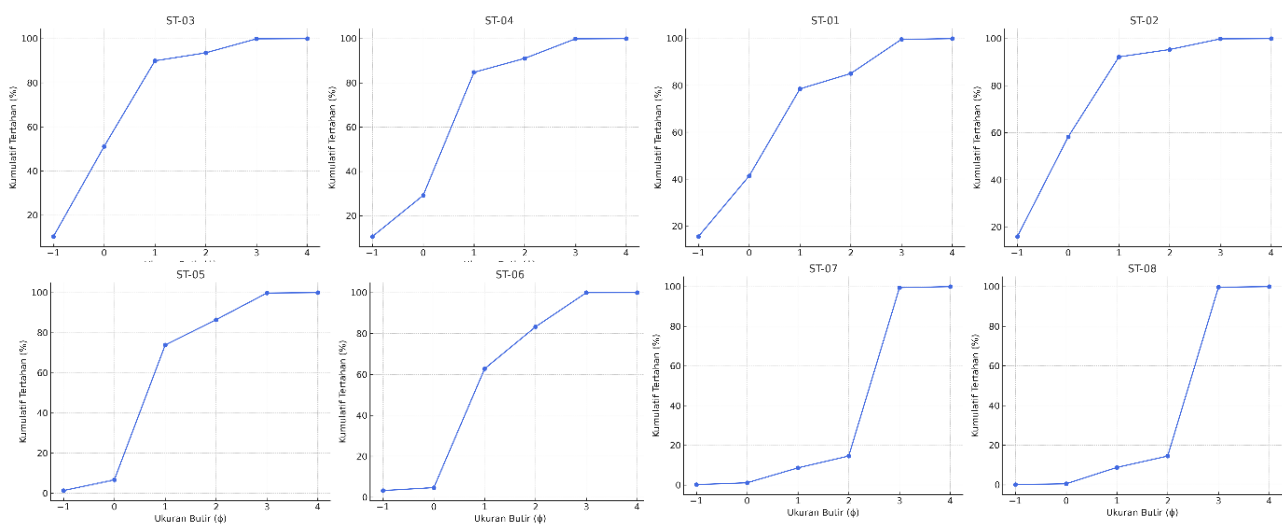
Analisis Ukuran Butir Berdasarkan Parameter Statistik

Berdasarkan analisis histogram dari delapan sampel pengamatan, daerah penelitian menunjukkan variasi distribusi ukuran butir yang signifikan. Sampel ST-01 hingga ST-06 didominasi oleh butiran kasar, dengan puncak distribusi pada rentang ukuran 0 hingga 1 ϕ . Sebaliknya, sampel ST-07 dan ST-08 menunjukkan karakteristik material yang berbeda, yaitu dominasi butiran halus dengan puncak distribusi pada 3 ϕ yaitu sekitar 80%. Perbedaan ini kemungkinan dipengaruhi oleh variasi lingkungan pengendapan atau sumber material yang berbeda.



Gambar 4. Histogram persen berat tertahan sedimen stasiun pengamatan.

Selanjutnya, untuk menghitung parameter statistik tekstur sedimen digunakan kurva kumulatif ukuran butir (Gambar 5) untuk menentukan nilai-nilai persentil ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} , ϕ_{84} , dan ϕ_{95} yang ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai persentil yang telah diperoleh lalu dimasukkan ke dalam rumus metode grafis Folk dan Ward (1957) (lihat Tabel 1) untuk memperoleh nilai *mean*, *sorting*, *skewness*, dan *kurtosis*. Hasil perhitungan parameter statistik ukuran butir (Tabel 4) kemudian diinterpretasi secara kuantitatif terhadap karakteristik sedimen dan lingkungan pengendapannya.



Gambar 5. Kurva frekuensi kumulatif stasiun pengamatan.

Tabel 3. Hasil perhitungan persentil berdasarkan kurva frekuensi kumulatif

Persentil	ST-01	ST-02	ST-03	ST-04	ST-05	ST-06	ST-07	ST-08
ø5	-1.676	-1.684	-1.513	-1.527	-0.310	0.006	0.518	0.545
ø16	-0.978	-0.996	-0.860	-0.708	0.139	0.195	2.016	2.018
ø25	-0.630	-0.784	-0.640	-0.224	0.273	0.350	2.122	2.123
ø50	0.233	-0.194	-0.028	0.375	0.645	0.780	2.417	2.417
ø75	0.905	0.493	0.615	0.824	1.090	1.596	2.711	2.710
ø84	1.835	0.758	0.847	0.986	1.804	2.044	2.817	2.816
ø95	2.679	1.885	2.228	2.446	2.645	2.716	3.453	3.635

Tabel 4. Hasil perhitungan analisa ukuran butir beserta interpretasinya

Sampel	Mean	Interpretasi	Sortasi	Interpretasi	Skewness	Interpretasi	Kurtosis	Interpretasi
ST-01	0.36	<i>Coarse grained</i>	1.36	<i>Poorly sorted</i>	0.13	<i>Fine skewed</i>	1.16	<i>Leptokurtic</i>
ST-02	-0.14	<i>Very coarse grained</i>	0.98	<i>Moderately sorted</i>	0.13	<i>Fine skewed</i>	1.15	<i>Leptokurtic</i>
ST-03	-0.01	<i>Very coarse grained</i>	0.99	<i>Moderately sorted</i>	0.12	<i>Fine skewed</i>	1.22	<i>Mesokurtic</i>
ST-04	0.22	<i>Coarse grained</i>	1.03	<i>Poorly sorted</i>	-0.12	<i>Near symmetrical</i>	1.55	<i>Very leptokurtic</i>
ST-05	0.86	<i>Coarse grained</i>	0.86	<i>Moderately sorted</i>	0.37	<i>Strongly fine skewed</i>	1.48	<i>Leptokurtic</i>
ST-06	1.01	<i>Coarse grained</i>	0.87	<i>Moderately sorted</i>	0.40	<i>Strongly fine skewed</i>	0.89	<i>Platykurtic</i>
ST-07	2.42	<i>Fine grained</i>	0.57	<i>Moderately well sorted</i>	-0.28	<i>Coarsed skewed</i>	1.69	<i>Very leptokurtic</i>
ST-08	2.42	<i>Fine grained</i>	0.56	<i>Moderately well sorted</i>	-0.28	<i>Coarsed skewed</i>	1.68	<i>Very leptokurtic</i>

Interpretasi Karakteristik Sedimen Berdasarkan Parameter Statistik

1. Mean (Ukuran butir rata-rata)

Nilai *mean* memberikan informasi mengenai energi lingkungan pengendapan. Berdasarkan data, terdapat perbedaan mencolok antara nilai *mean* di bagian hulu (ST-01 hingga ST-04) dengan bagian hilir (ST-05 hingga ST-08). Pada bagian hulu, ST-02 dan ST-03 memiliki nilai *mean* negatif (-0,14 dan -0,01) yang merupakan dominasi butiran kasar. Kondisi ini menunjukkan bahwa material kasar lebih dominan di daerah hulu, umumnya disebabkan oleh kekuatan arus yang lebih tinggi atau suplai material kasar dari lereng sekitar sungai. Sebaliknya, di bagian hilir (ST-05 hingga ST-08), nilai *mean* positif dan semakin tinggi (2,42) yang menunjukkan dominasi butiran halus. Hal ini mencerminkan proses pengendapan yang lebih stabil, dimana energi arus berkurang sehingga butiran halus mendominasi.

2. Sortasi (Derajat pemisahan ukuran butir)

Sortasi mencerminkan homogenitas ukuran butir. Nilai sortasi yang lebih rendah menunjukkan pemisahan yang lebih baik, sedangkan nilai yang lebih tinggi menunjukkan campuran ukuran butir. Pada bagian hulu (ST-01 hingga ST-04), nilai sortasi bervariasi, dengan ST-01 memiliki sortasi terburuk (1,36), yang tergolong sangat buruk (*poorly sorted*). Kondisi ini mengindikasikan adanya pengendapan cepat dari material campuran, kemungkinan besar selama peristiwa banjir bandang. ST-02 hingga ST-04 memiliki nilai sortasi yang sedikit lebih baik (0,98–1,03), namun tetap menunjukkan kondisi pemisahan yang kurang sempurna, yang menunjukkan bahwa fraksi kasar dan halus terendapkan bersamaan. Sebaliknya, di bagian hilir (ST-05 hingga ST-08), sortasi menjadi jauh lebih baik (0,56–0,87), menunjukkan proses pengendapan yang lebih tenang dan stabil.

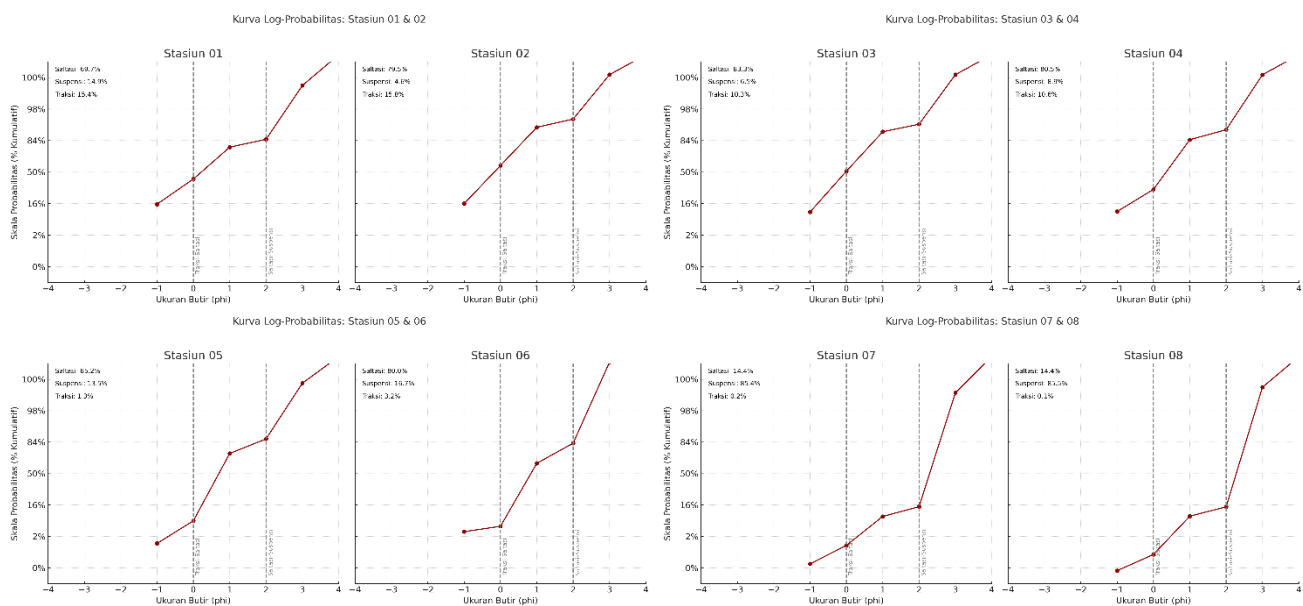
3. Skewness (Kemencengan distribusi)

Skewness menunjukkan asimetri distribusi ukuran butir. Nilai positif menunjukkan dominasi butiran halus (*fine-skewed*), sedangkan nilai negatif menunjukkan dominasi butiran kasar (*coarse-skewed*). Pada bagian hulu, ST-01 hingga ST-03 menunjukkan skewness positif (0,12–0,13) yang menunjukkan dominasi fraksi halus dalam distribusi. Namun, ST-04 menunjukkan skewness negatif (-0,12) yang mengindikasikan adanya dominasi fraksi kasar. Skewness negatif ini pada ST-04 mungkin disebabkan oleh material kasar yang terbawa selama banjir yang menggeser distribusi ke arah ukuran butir yang lebih besar. Di bagian hilir, ST-05 hingga ST-08 menunjukkan skewness negatif (-0,28) yang menunjukkan dominasi material kasar. Namun, dominasi ini lebih stabil karena energi aliran lebih rendah dan material halus terendapkan dengan lebih baik.

4. Kurtosis (Keruncingan distribusi)

Kurtosis menggambarkan puncak atau penyebaran distribusi ukuran butir. Kurtosis menunjukkan tingkat keruncingan atau kepuncakan distribusi ukuran butir. Nilai > 1 menunjukkan distribusi yang lebih runcing (*leptokurtic*), sedangkan nilai < 1 menunjukkan distribusi yang lebih landai (*platykurtic*). Di bagian hulu, ST-04 memiliki nilai kurtosis tertinggi (1,55) yang menunjukkan distribusi yang sangat runcing. Hal ini mengindikasikan dominasi satu fraksi ukuran butir dengan sedikit fraksi minor. Peningkatan kurtosis ini kemungkinan besar merupakan hasil dari sedimentasi singkat, dimana material dominan dengan ukuran tertentu terendapkan dengan cepat. Di bagian hilir, ST-05 hingga ST-08 memiliki kurtosis yang lebih rendah, namun tetap runcing (1,48–1,69). Hal ini menunjukkan bahwa sedimen terdistribusi lebih baik, namun masih dipengaruhi oleh fraksi utama yang mendominasi.

Interpretasi Mekanika Sedimentasi Berdasarkan Kurva Log-Probabilitas



Gambar 8. Kurva log-probabilitas memperlihatkan batas fraksi traksi, saltasi, dan suspensi tiap stasiun pengamatan

Analisis kurva log-probabilitas metode Visher (1969) memuat identifikasi fraksi transportasi melalui kemiringan dan bentuk segmen kurva, serta distribusi ukuran butir relatif terhadap sumbu phi. Selain proporsi fraksi, multimodalitas pada kurva log-probabilitas menjadi indikator penting dalam interpretasi. Multimodalitas mengacu pada keberadaan lebih dari satu kemiringan garis lurus pada grafik log-probabilitas, yang menandakan keberadaan lebih dari satu populasi ukuran butir atau lebih dari satu mekanisme pengangkutan yang bekerja secara bersamaan (Visher, 1969).

Secara umum, kurva log-probabilitas pada ST-01 hingga ST-06 memperlihatkan pola multimodal dengan tiga segmen lurus yang mencerminkan masing-masing fraksi: traksi (di ujung kasar), saltasi (di tengah), dan suspensi (di ujung halus). Pola ini

menunjukkan bahwa ketiga mekanisme pengendapan bekerja bersama-sama dalam sistem sungai tersebut. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh variasi musiman debit atau heterogenitas morfologi sungai. Kurva multimodal umumnya muncul akibat fluktuasi energi aliran atau proses sedimentasi yang kompleks, seperti penggabungan antara aliran utama dan aliran banjir, atau interaksi antara arus traksi dan limpasan permukaan. Di sisi lain, ST-07 dan ST-08 cenderung menunjukkan pola unimodal yang panjang dan landai di bagian halus grafik yang mengindikasikan dominasi tunggal oleh suspensi (Visser, 1969).

Sebagian besar stasiun pengamatan (ST-01 hingga ST-06) menunjukkan dominasi fraksi saltasi, yaitu berkisar antara 69,70% hingga 85,20%. Dominasi ini mencerminkan proses pengangkutan sedimen oleh aliran sedang hingga cukup kuat, dimana butiran sedimen bergerak dalam lompatan (*saltation*) di sepanjang dasar sungai. Pada beberapa lokasi seperti ST-02 dan ST-03, fraksi traksi muncul secara signifikan (18,80% dan 10,30%) yang menandakan bahwa sedimen kasar masih diangkut sebagai *bedload*. Kondisi ini mencerminkan lingkungan aliran berenergi kuat yang merupakan khas dari saluran utama sungai (Boggs, 2006; Reineck & Singh, 1980).

Implikasi dari dominasi fraksi ini adalah kemungkinan terjadinya migrasi endapan dasar (*bedforms*) seperti *ripples* atau *dunes* yang dapat menyebabkan perubahan morfologi dasar sungai secara berkala. Selain itu, sedimen hasil saltasi lebih mudah berpindah saat debit meningkat, sehingga daerah dengan dominasi fraksi ini berpotensi mengalami penggerusan atau penimbunan yang cepat saat musim hujan atau saat terjadi banjir bandang. Sebaliknya, nilai traksi rendah terlihat pada ST-05 dan ST-06 ($< 3,5\%$) disertai peningkatan suspensi hingga 16,70%. Kondisi ini menunjukkan adanya penurunan energi aliran, kemungkinan mencerminkan zona transisi antara saluran utama dan dataran banjir (*floodplain*) (Nichols, 2009).

Stasiun ST-07 dan ST-08 memperlihatkan pola distribusi yang berbeda, yaitu dominasi fraksi suspensi yang sangat tinggi hingga $>85\%$ dan nilai traksi yang hampir tidak ada ($<0,3\%$). Distribusi unimodal yang dominan di bagian hilir (ST-07 dan ST-08) mencerminkan kestabilan lingkungan pengendapan dengan energi aliran yang rendah, seperti daerah *floodplain* atau mendekati muara (Miall, 2010). Kondisi ini memungkinkan hanya satu fraksi dominan yang mengendap, yakni partikel halus dalam suspensi. Ketidadaan fraksi traksi dan kemiringan tunggal pada kurva log-probabilitas menunjukkan bahwa tidak terjadi fluktuasi energi signifikan yang dapat mengangkut butiran kasar hingga lokasi tersebut. Fenomena ini juga mengindikasikan bahwa segmentasi energi telah menyaring sedimen kasar lebih awal di sepanjang lintasan sungai.

KESIMPULAN

Bagian hulu sungai menunjukkan anomali yang kuat dalam parameter statistiknya, terutama ST-01 dan ST-04. ST-01 memiliki sortasi yang sangat buruk (1,36) dan *mean* positif (0,36) yang mengindikasikan pengendapan cepat dari material campuran. Kondisi ini sangat mungkin terjadi pada saat banjir, dimana material dari lereng atau dasar sungai terbawa oleh arus kuat dan terendapkan dengan cepat tanpa proses pemisahan ukuran butir yang sempurna. ST-04 memiliki nilai *skewness* negatif (-0,12) dan kurtosis yang sangat tinggi (1,55) yang menunjukkan dominasi material kasar dengan distribusi yang sangat runcing. Hal ini mengindikasikan pengendapan dari satu fraksi utama (butiran kasar) dengan sedikit fraksi minor. Kondisi ini menguatkan interpretasi bahwa daerah hulu sungai cukup sering mengalami banjir bandang yang membawa material campuran dari lereng atau tebing sungai, menyebabkan distribusi ukuran butir yang tidak stabil dan menunjukkan karakteristik multimodal. Energi aliran yang tinggi pada saat banjir memungkinkan material kasar dan halus terendapkan bersama, tanpa seleksi hidraulik yang jelas.

Berdasarkan hasil analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa segmen hulu rawan pengendapan material kasar akibat banjir bandang, sementara segmen hilir mengalami akumulasi material halus. Adapun rekomendasi strategi pengendalian sungai yang dapat diusulkan adalah daerah hulu perlu direhabilitasi dengan vegetasi dan penguatan lereng untuk mengurangi suplai sedimen kasar yang dapat mempercepat sedimentasi dan memperburuk erosi tebing sungai. Untuk daerah hilir sungai, perlu normalisasi berkala untuk mencegah pendangkalan alur sungai yang dapat memicu genangan. Selain itu, pemetaan zona akumulasi suspensi dapat digunakan untuk pengembangan lahan dengan memperhatikan risiko sedimentasi tinggi. Pemantauan periodik karakter sedimen dapat menjadi dasar perencanaan teknis pengelolaan DAS (Daerah Aliran Sungai) secara berkelanjutan.

REFERENSI

- Anggraini, R. R., Yanuhar, U., & Risjani, Y. (2020). Characteristic Of Sediment At Lekok Coastal Waters, Pasuruan Regency, East Java. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 235–246. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i1.28705>
- Ayodele, O. S., & Madukwe, H. Y. (2019). Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria. *International Journal of Geosciences*, 10(03), 295–316. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.103017>
- Boggs Jr., S. (2006) Principles of Sedimentology and Stratigraphy. 4th Edition, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, 662 p.
- Folk, R. L., & Ward, W. C. (1957). Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1), 3–26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Junaidi, & Wigati, R. (2011). Analisis Parameter Statistik Butiran Sedimen Dasar Pada Sungai Alamiah (Studi Kasus Sungai Krasak Yogyakarta). *Wahana TEKNIK SIPIL*, 16, 46–57.
- Miall, A. D. (2010). *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer.
- Muhardi, M., Zulfian, Z., Adriat, R., Nurrahman, Y. A., Sofiana, M. S. J., & Risiko, R. (2023). Analisis Sebaran Sedimen Dasar Di Perairan Pesisir Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat. *Jurnal Geologi Kelautan*, 21(1). <https://doi.org/10.32693/jgk.21.1.2023.820>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Nugroho, S. H., & Basit, A. (2014). Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir Di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1), 229–240. http://itk.fpik.ipb.ac.id/ej_itkt61
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1973). Sand and Sandstone. Dalam *Sand and Sandstone*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9974-6>
- Ramli, F. (2023, Mei 8). *BREAKING NEWS: Sungai Matangnga Polman Meluap, Satu Rumah Hanyut*. Tribun-sulbar.com. <https://sulbar.tribunnews.com/2023/05/08/breaking-news-sungai-matangnga-polman-meluap-satu-rumah-hanyut>
- Reineck, H. E., & Singh, I. B. (1980). *Depositional Sedimentary Environments* (2nd ed.). Springer-Verlag.
- Visher, G. S. (1969). Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39(3), 1074–1106. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- Wicitra, A. P., Taufiqi, K., Rianawati, R. F., & Jayanti, A. G. R. (2024). Analisis Perbandingan Transportasi Sedimen Menggunakan Metode Granulometri pada Sungai Damar Section Hulu dan Hilir Kabupaten Kendal. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 7(1), 62–74. <https://doi.org/10.14710/jgt.7.1.2024.62-74>