

Identifikasi *Recent Ripple* Di Muara Sungai Opak, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Indra Gunawan*¹⁾, Nabila Zafira Damayanti¹⁾, Ella Dwi Astuti¹⁾, Yeni Febrianti¹⁾,
Tegar Bagaskoro Rachmatullah P.P.¹⁾, Ari Napas Hutabarat¹⁾

¹⁾Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

*indragun824@gmail.com

Abstrak - *Ripple* dapat terbentuk dari berbagai faktor, yaitu angin, gelombang, arus, hingga pengaruh pasang surut. Daerah penelitian terletak di Muara Sungai Opak, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan koordinat X: 421331 dan Y: 9114347. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan *ripple* dan dominasi dari faktor yang mempengaruhi *ripple* pada muara Sungai Opak berdasarkan hasil perhitungan parameter indeks *ripple*. Penelitian ini dimulai dari studi literatur untuk mengetahui dasar teori yang kuat. Data yang dikumpulkan meliputi *wavelength* (L), *lee side length* (LL), *stoss side length* (LS), *maximum wavelength* (Lmax), *minimum wavelength* (Lmin), *mean wavelength* (L), *height* (H), *curved crestline length* (CC), dan *deviation from straight line* (d) serta *azimuth* yang digunakan untuk mengetahui arah umum *ripple*. Kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh masing-masing parameter indeks *ripple* berupa nilai RI (*Ripple index*), PI1 (*Parallelism Index 1*), PI2 (*Parallelism Index 2*), SI (*Straightness Index*), RSI (*Ripple Symmetrical Index*), CI (*Continuity Index*). Berdasarkan perhitungan data didapat hasil *Ripple Index* berkisar antara 0-20, *Ripple symmetrical index* berkisar antara 1-4, *Parallelism index 1* berkisar antara 0-3, *Parallelism index 2* berkisar antara 0-1, *Straightness index* berkisar antara 0-1,6. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa *ripple* terpengaruh oleh gelombang laut dan arus Sungai Opak.

Kata Kunci: Arus, Gelombang, *Ripple*, *Ripple Index*, Sungai Opak

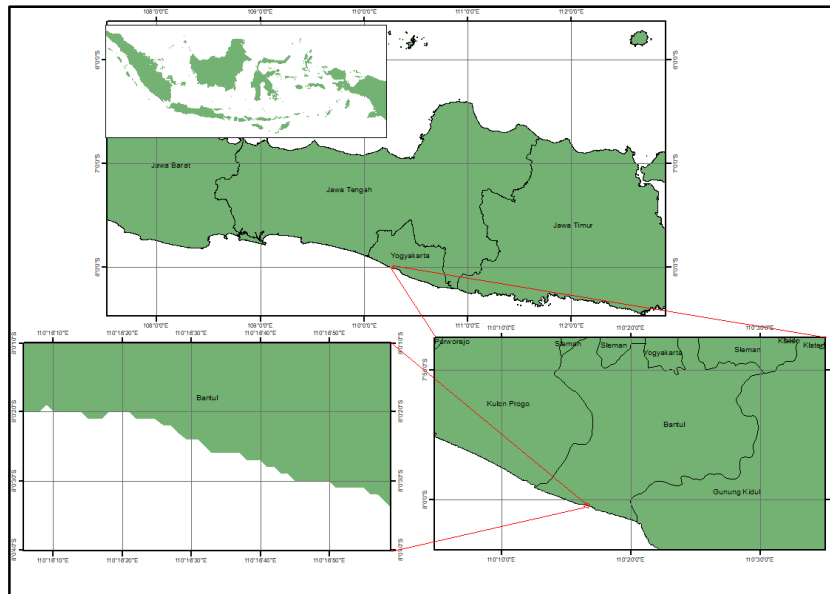
Abstract - *Ripple* can be formed from various factors, namely wind, waves, currents, and tidal influences. The research area is located at the mouth of the Opak River, Kretek District, Bantul Regency, Yogyakarta Special Region with coordinates X: 421331 and Y: 9114347. This study aims to determine the factors that affect the formation of *ripple* and the dominance of factors that affect *ripple* at the mouth of the Opak River based on the calculation of the *ripple index* parameter. This research begins with a literature study to find strong theoretical basis. The data collected include *wavelength* (L), *lee side length* (LL), *stoss side length* (LS), *maximum wavelength* (Lmax), *minimum wavelength* (Lmin), *mean wavelength* (L), *height* (H), *curved crestline length* (CC), and *deviation from straight line* (d) and *azimuth* used to determine the general direction of the *ripple*. Then the calculation is carried out to obtain each *ripple index* parameter in the form of RI (*Ripple index*), PI1 (*Parallelism Index 1*), PI2 (*Parallelism Index 2*), SI (*Straightness Index*), RSI (*Ripple Symmetrical Index*), CI (*Continuity Index*) values. Based on data calculations, the results of the *Ripple Index* range from 0-20, *Ripple symmetrical index* ranges from 1-4, *Parallelism index 1* ranges from 0-3, *Parallelism index 2* ranges from 0-1, *Straightness index* ranges from 0-1.6. From the results of these calculations, it can be concluded that the *ripple* is affected by sea waves and the current of the Opak River.

Keywords: Current, Opak River, *Ripple*, *Ripple Index*, Wave

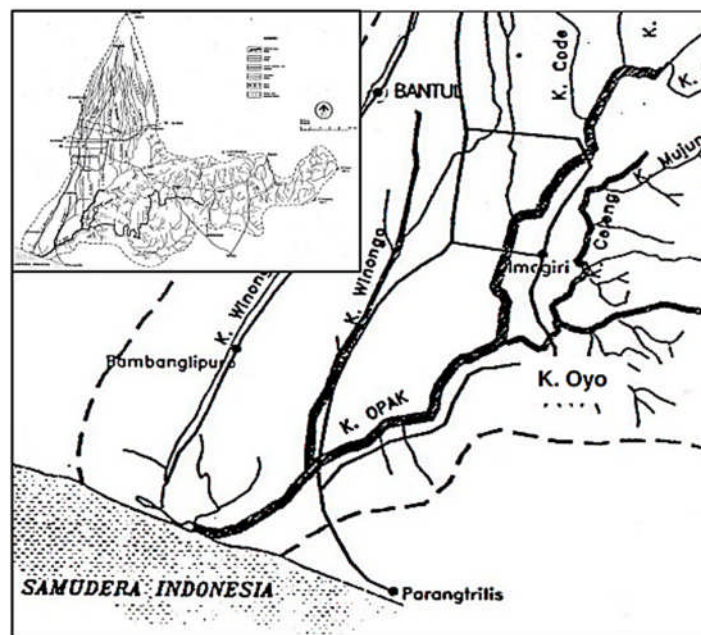
PENDAHULUAN

Muara sungai merupakan area pertemuan antara aliran sungai dan laut, yang memiliki dinamika sedimentasi kompleks akibat pengaruh arus sungai, pasang surut, dan gelombang laut. Salah satu fenomena yang sering dijumpai di wilayah ini adalah *recent current ripple*, yaitu pola gelombang kecil pada permukaan dasar sungai yang terbentuk akibat beberapa faktor, seperti gelombang laut, arus, ataupun bahkan keduanya. Fenomena ini tidak hanya mencerminkan proses hidrodinamika yang terjadi, tetapi juga menjadi indikator penting dalam studi sedimentologi. *Ripple* adalah gelombang kecil yang teratur pada permukaan pasir atau pada bidang perlapisan batu pasir. Jarak antara gelombang (panjang gelombang) biasanya kurang dari 0,5 meter, dan ketinggian reliefnya jarang melebihi 3 cm. Bentuk dasar dengan dimensi

yang lebih besar disebut sebagai "dune" atau "sandwave" (Collinson, dkk., 2006). Kemudian *ripple* sendiri dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk profilnya hingga berdasarkan genesanya.



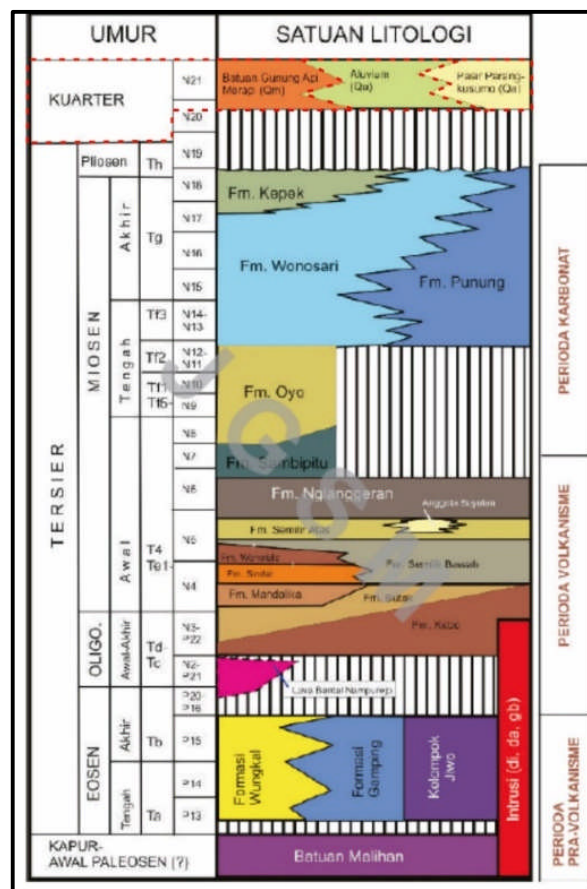
Gambar 1. Peta Indeks Daerah Penelitian



Gambar 2. Daerah aliran Sungai Opak (Wardhana, 2015)

Lokasi penelitian berada di Muara Sungai Opak yang terletak di Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (**Gambar 1**). Sungai Opak sendiri memiliki hulu sungai di Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman kemudian mengalir ke arah selatan hingga bermuara di Samudera Hindia (**Gambar 2**). Sungai Opak memiliki panjang aliran mencapai 65 km dengan luas daerah aliran sungai kurang lebih 1398,18 km² (Wardhana, 2015).

Stratigrafi



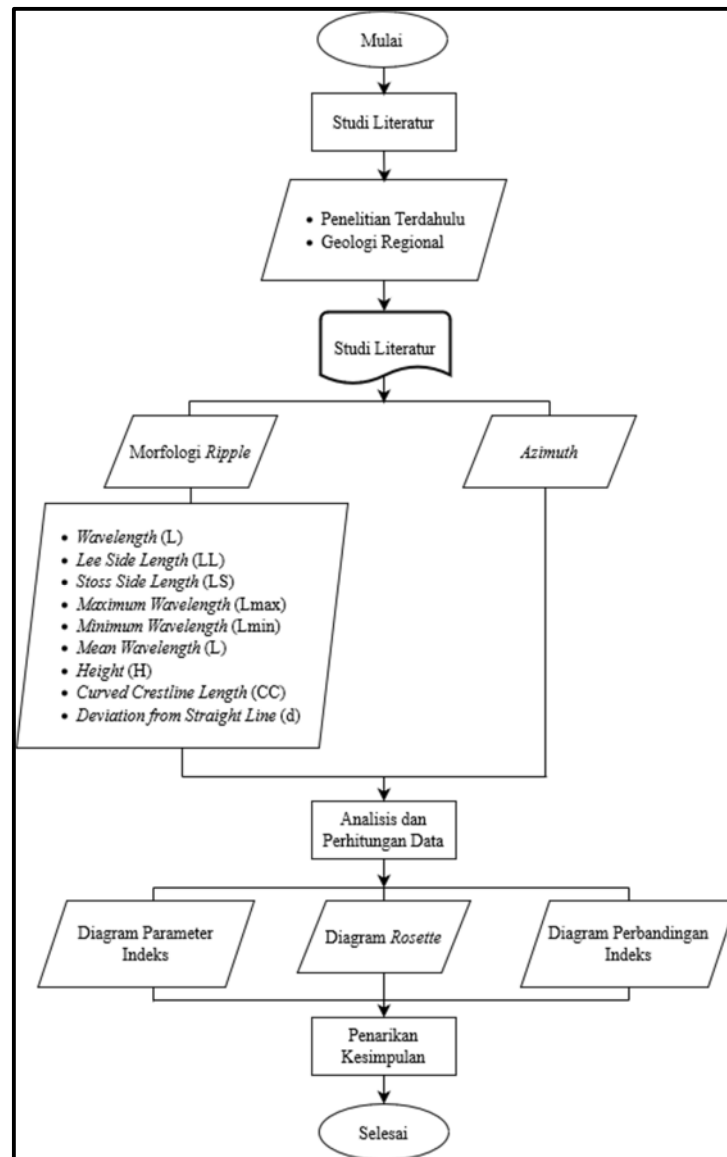
Gambar 3. Stratigrafi Pegunungan Selatan (Surono, 2009)

Menurut Surono (2009) Stratigrafi Pegunungan Selatan terletak di bagian selatan Pulau Jawa dan membentang dari barat-timur, serta didominasi oleh batuan sedimen klastik dan karbonat yang dipengaruhi oleh batuan hasil aktivitas gunung api berumur Tersier. Lokasinya berbatasan dengan Zona Solo di bagian Utara dan Samudera Hindia di bagian selatan. Formasi penyusun Stratigrafi Pegunungan Selatan dibagi ke dalam tiga periode, pra-vulkanisme, vulkanisme, dan pasca vulkanisme, sehingga dari periode-periode tersebut dapat dibagi lagi menjadi formasi yang terbentuk. Stratigrafi Pegunungan Selatan terbagi menjadi 9 formasi yang diurutkan dari formasi paling tua hingga ke paling muda sebagai berikut:

1. Formasi Malihan
2. Formasi Wungkal-Gamping
3. Formasi Kebo-Butak
4. Formasi Semilir
5. Formasi Nglanggeran
6. Formasi Sambipitu
7. Formasi Oyo
8. Formasi Wonosari
9. Formasi Kepek

Daerah penelitian yang berlokasi di Muara Sungai Opak, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta termasuk dalam endapan aluvium atau endapan muda berumur kuartar. Endapan kuartar aluvium yang mana berupa material material lepas yang terendapkan pada masa kuartar dengan penciri berupa kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai dan dataran pantai. Endapan aluvium pada daerah penelitian memiliki karakteristik material lepas dan belum terkompaksi.

METODE PENELITIAN



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan pada **Gambar 4**, yang diawali dengan tahap studi literatur untuk memahami konsep dasar dan metode analisis dalam studi *ripple*, termasuk parameter-parameter utama yang relevan. Tahap awal ini bertujuan untuk memastikan bahwa penelitian memiliki dasar teoritis yang kuat. Tahap berikutnya adalah pengambilan data primer di Muara Sungai Opak yang memiliki pola *ripple*. Data yang dikumpulkan meliputi *wavelength* (L), *lee side length* (LL), *stoss side length* (LS), *maximum wavelength* (Lmax), *minimum wavelength* (Lmin), *mean wavelength* (L), *height* (H), *curved crestline length* (CC), dan *deviation from straight line* (d). Pengumpulan data ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan kelengkapan dan akurasi data lapangan yang akan dianalisis lebih lanjut.

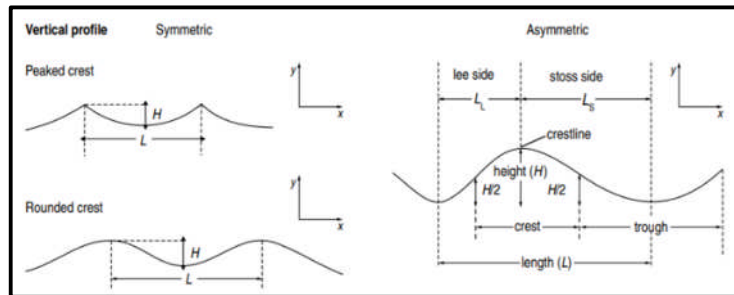
Setelah data lapangan terkumpul, tahap analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Hasil perhitungan ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mengevaluasi pola atau tren yang terdapat pada *ripple* di lokasi penelitian. Tahap analisis ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi karakteristik fisik *ripple* dan memahami pengaruh faktor-faktor lingkungan pada pola-pola tersebut.

Morfologi dan Jenis *Ripple*

Ripple adalah gelombang kecil yang teratur pada permukaan pasir atau pada bidang perlapisan batu pasir. Jarak antara gelombang (panjang gelombang) biasanya kurang dari 0,5 meter, dan ketinggian *relief*-nya jarang melebihi 3 cm. Bentuk

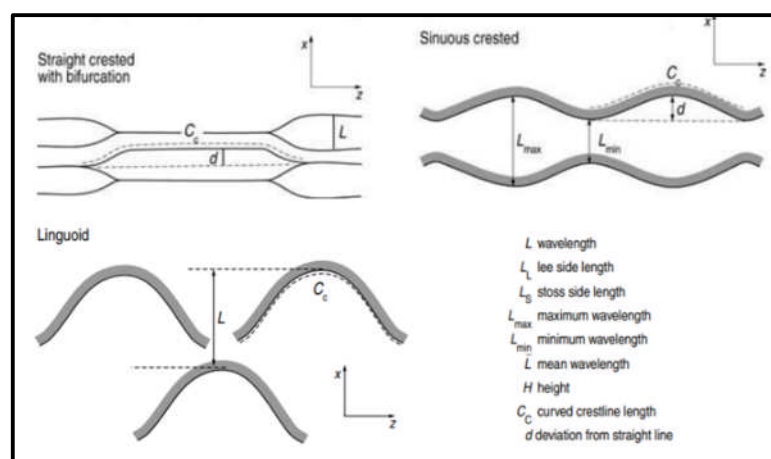
dasar dengan dimensi yang lebih besar disebut sebagai "dune" atau "sandwave". *Ripple* ini memiliki berbagai bentuk yang terkait dengan proses sedimentasi tertentu dan karenanya berguna untuk menginterpretasi kondisi deposisi atau pengendapan (Collinson, et al., 2006).

Ripple diklasifikasikan berdasarkan bentuk profilnya, yaitu simetris atau asimetris jika dilihat dari samping. *Ripple* dengan profil simetris biasanya terbentuk karena aksi gelombang, sedangkan *ripple* yang asimetris lebih sering terbentuk oleh arus air satu arah. Pada *ripple* asimetris, sisi yang curam disebut *lee side*, sementara sisi yang lebih landai disebut *stoss side*. *Ripple* dengan puncak lurus dan kontinu biasanya berkaitan dengan profil simetris yang terbentuk oleh gelombang. Namun, ada juga *ripple* dengan puncak lurus yang bisa bersifat asimetris. Puncak *ripple* yang lebih berkelok-kelok atau melengkung, seperti *linguoid ripple*, biasanya terbentuk oleh arus satu arah yang kuat.

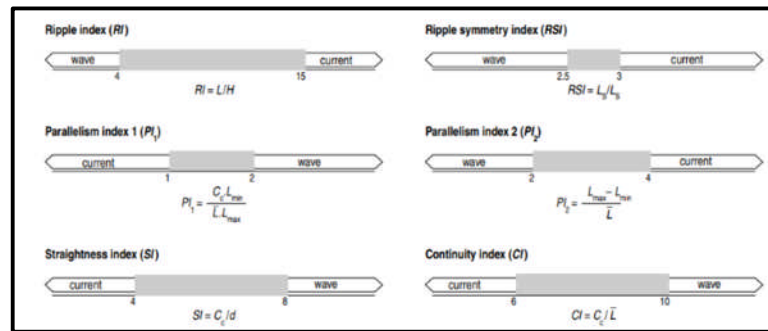


Gambar 5. Profil Vertikal *Ripple* (Collinson, dkk., 2006)

Ripple dapat muncul dalam berbagai bentuk jika dilihat dari atas (*plan view*), tergantung pada proses yang membentuknya. Misalnya, *straight crested ripple* memiliki puncak yang lurus, yang biasanya terbentuk oleh arus yang lebih stabil. Ada juga *sinuous crested ripple* dengan puncak yang berkelok-kelok, mencerminkan pengaruh arus yang lebih dinamis atau tidak teratur. *Linguoid ripple* memiliki puncak yang melengkung seperti lidah dan biasanya terbentuk oleh arus satu arah yang kuat. Selain itu, ada *rhomboidal ripple*, yang berbentuk seperti sisik ikan dan sering ditemukan di pantai dengan arus balik yang lemah, menghasilkan pola unik pada permukaan sedimen. Bentuk-bentuk *ripple* ini sangat penting bagi ahli geologi untuk memahami lingkungan pengendapan di masa lalu. Dimensi dasar *ripple* seperti panjang gelombang (L) dan tinggi (H) digunakan untuk menghitung beberapa indeks yang membantu menginterpretasi proses pembentukannya, seperti *Ripple Index* (RI), yang merupakan rasio antara panjang gelombang dan tinggi *ripple* (L/H). Nilai-nilai indeks ini dapat digunakan untuk membedakan antara *ripple* yang terbentuk oleh gelombang dan arus (Collinson, dkk., 2006).



Gambar 6. Geometri *Ripple* (Collinson, dkk., 2006)



Gambar 7. Diagram Parameter Index (Collinson,dkk., 2006)

Ripple Index

Ripple index (RI) adalah sebuah indeks yang digunakan untuk menganalisis bentuk-bentuk *ripple mark* berdasarkan rasio antara jarak antar puncak (*crest spacing* atau panjang gelombang) dan tinggi *ripple* tersebut. Rumus yang digunakan adalah:

$$RI = s/h \quad (1)$$

di mana:

s adalah jarak antar puncak (*crest spacing*),

h adalah tinggi dari *ripple*.

Atau jika menggunakan amplitudo (setengah dari tinggi), rumus tersebut menjadi:

$$RI = s/2a \quad (2)$$

Indeks ini penting dalam sedimentologi untuk membedakan antara *ripple mark* yang terbentuk oleh air dan yang terbentuk oleh angin. Secara umum, nilai RI lebih dari 15 menunjukkan *ripple mark* yang terbentuk oleh angin, sedangkan RI kurang dari atau sama dengan 15 umumnya menunjukkan *ripple* yang terbentuk oleh air. Namun, ada pengecualian, seperti *ripple* di zona swash yang juga memiliki RI lebih dari 15 meskipun terbentuk oleh air.

Penggunaan nilai ambang $RI = 15$ memiliki tingkat keakuratan sekitar 99% dalam membedakan bentuk *ripple* berdasarkan agen pembentuknya. Akan tetapi, ada beberapa faktor yang bisa memengaruhi nilai RI, seperti:

1. Percikan air hujan yang bisa mengikis atau meratakan puncak *ripple*.
2. Pengendapan material halus seperti tanah liat atau lanau di lembah *ripple*.
3. Penurunan level air yang bisa meratakan puncak *ripple*.
4. Perubahan aliran air yang bisa mengikis puncak *ripple*.
5. Penyerapan air ke dalam material sedimen lepas yang dapat mempengaruhi tinggi *ripple mark*.

Indeks ini juga dapat terpengaruh oleh deformasi lain, seperti pengisian lembah oleh sedimen yang dapat menghasilkan nilai RI yang tinggi secara keliru. Sebagai contoh, *ripple* di Formasi Entrada di Utah menunjukkan RI sebesar 20 karena adanya tanah liat di lembah. Namun, setelah tanah liat dihilangkan, RI-nya turun menjadi 10, yang lebih masuk akal untuk pola tersebut (Tanner, 1967).

Current Ripple

Current ripple adalah gelombang kecil yang terbentuk di dasar aliran sungai dan arus pasang surut, khususnya pada pasir kuarsa dengan ukuran butir lebih halus dari 600 mikrometer. Bentuk-bentuk *ripple* ini sering kali ditemukan di bawah aliran yang bergerak, dan variasinya bergantung pada kecepatan dan kedalaman aliran air. Dalam aliran yang lambat dan dalam, *current ripple* memiliki puncak yang panjang, lurus, dan hanya sedikit melengkung. *Ripple* yang terbentuk dalam kondisi arus yang lebih cepat dan dangkal disebut *linguoid*, yang memiliki puncak lebih pendek dan cenderung melengkung seperti lidah (Allen, J.R.L., 1985).

Ripple ini memiliki ciri khas asimetris, dengan sisi yang menghadap ke arah aliran (sisi hulu) lebih landai dan melengkung ke atas. Di sisi sebaliknya, yang disebut *lee side*, kemiringannya jauh lebih curam, dengan sudut kemiringan bisa mencapai 30-35°. Panjang gelombang *ripple* bervariasi antara 0,1 hingga 0,6 meter, dengan tinggi maksimum sekitar 0,04 meter. Rasio antara panjang gelombang dan tinggi *ripple* umumnya antara 10 hingga 20, tetapi bisa mencapai hingga 40 (Allen, J.R.L., 1985).

Struktur internal dari *ripple* ini disebut *cross-lamination*, yaitu lapisan-lapisan miring yang terbentuk akibat perpindahan *ripple*. *Cross-lamination* terbentuk berdasarkan bentuk *ripple* dan laju pengendapan di dasar aliran. Jika dilihat melalui potongan vertikal sejajar atau tegak lurus dengan arah aliran, lapisan-lapisan ini akan tampak tersusun dalam set yang terhubung secara erosis, merekam posisi berturut-turut dari sisi curam *ripple* saat bergerak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

RI (*Ripple Index*)

Hasil Perhitungan ini diperoleh dari rumus

$$RI = L/H \dots\dots\dots(3)$$

Hasil perhitungan RI (**Tabel 1.**) yang memiliki nilai kurang dari 4 menunjukkan dominasi dari gelombang karena lokasi *ripple mark* yang berada sangat dekat dengan muara sungai. Untuk hasil perhitungan RI yang memiliki nilai hasil perhitungan 4-15 menunjukkan adanya pengaruh dari gelombang dan arus yang mana lokasi nya berada pada lokasi tepat pada Muara Sungai Opak yang menjadi daerah pertemuan antara gelombang dari laut dan arus dari sungai. Sedangkan untuk nilai hasil perhitungan RI lebih besar 15 menunjukkan dominasi dari pengaruh arus karena pengambilan data *ripple mark* ini berada relatif jauh dari muara sungai sehingga tidak/sedikit terpengaruh oleh aktivitas gelombang. Pada data hasil perhitungan menunjukkan rentang nilai 4-15 sangat mendominasi yang menunjukkan adanya dari pengaruh aktivitas gelombang dan arus.

PI1 (*Paralellism Index 1*)

Perhitungan ini diperoleh dari rumus

$$PI1 = (C_c \cdot L_{min}) / \bar{L}L_{max} \dots\dots\dots(4)$$

Hasil perhitungan RI yang memiliki nilai kurang dari 1 menunjukkan dominasi dari gelombang karena lokasi *ripple mark* yang berada sangat dekat dengan muara sungai. Untuk hasil perhitungan RI yang memiliki nilai hasil perhitungan 1-2 menunjukkan adanya pengaruh dari gelombang dan arus yang mana lokasi nya berada pada lokasi tepat pada Muara Sungai Opak yang menjadi daerah pertemuan antara gelombang dari laut dan arus dari sungai. Sedangkan untuk nilai hasil perhitungan RI lebih besar 2 menunjukkan dominasi dari pengaruh arus karena pengambilan data *ripple mark* ini berada relatif jauh dari muara sungai sehingga tidak/sedikit terpengaruh oleh aktivitas gelombang. Pada data hasil perhitungan menunjukkan rentang nilai 1-2 sangat mendominasi yang menunjukkan adanya dari pengaruh aktivitas gelombang dan arus.

PI2 (*Paralellism Index 2*)

Perhitungan ini diperoleh dari rumus

$$PL2 = \frac{L_{max}-L_{min}}{\bar{L}} \dots\dots\dots(5)$$

Hasil perhitungan RI yang memiliki nilai kurang dari 2 menunjukkan dominasi dari gelombang karena lokasi *ripple marks* yang berada sangat dekat dengan muara sungai. Untuk hasil perhitungan RI yang memiliki nilai hasil perhitungan 2-4 menunjukkan adanya pengaruh dari gelombang dan arus yang mana lokasi nya berada pada lokasi tepat pada Muara Sungai Opak yang menjadi daerah pertemuan antara gelombang dari laut dan arus dari sungai. Sedangkan untuk nilai hasil perhitungan RI lebih besar 4 menunjukkan dominasi dari pengaruh arus karena pengambilan data *ripple* ini berada relatif jauh dari muara sungai sehingga tidak/sedikit terpengaruh oleh aktivitas gelombang.

Pada paralelisme indeks ini berdasarkan data yang telah diperoleh dan dilakukan perhitungan, *ripple mark* yang terbentuk pada lokasi pengambilan data cenderung dipengaruhi oleh aktivitas gelombang. Pada data hasil perhitungan menunjukkan adanya dominasi aktivitas gelombang. Dominasi ini diakibatkan selain dari lokasi data yang berada pada tepat di muara sungai, juga dapat diakibatkan oleh pasang-surut air laut

SI (*Symetry Index*)

Perhitungan ini diperoleh dari rumus

$$SI = (C_c \cdot L_{min}) / \bar{L}L_{max} \dots\dots\dots(6)$$

Hasil perhitungan RI yang memiliki nilai kurang dari 4 menunjukkan dominasi dari gelombang karena lokasi *ripple mark* yang berada sangat dekat dengan muara sungai. Untuk hasil perhitungan RI yang memiliki nilai hasil perhitungan 4-8 menunjukkan adanya pengaruh dari gelombang dan arus yang mana lokasi nya berada pada lokasi tepat pada Muara

Sungai Opak yang menjadi daerah pertemuan antara gelombang dari laut dan arus dari sungai. Sedangkan untuk nilai hasil perhitungan RI lebih besar 8 menunjukkan dominasi dari pengaruh arus karena pengambilan data *ripple mark* ini berada relatif jauh dari muara sungai sehingga tidak atau sedikit terpengaruh oleh aktivitas gelombang.

RSI (Rippel Symetry Index)

Peritungan ini diperole dari rumus

$$RSI = L_s/L_l \dots\dots\dots(7)$$

Hasil perhitungan RSI yang memiliki nilai kurang dari 2.5 menunjukkan dominasi dari gelombang karena lokasi *ripple mark* yang berada sangat dekat dengan muara sungai. Untuk hasil perhitungan RI yang memiliki nilai hasil perhitungan 2-3 menunjukkan adanya pengaruh dari gelombang dan arus yang mana lokasi nya berada pada lokasi tepat pada Muara Sungai Opak yang menjadi daerah pertemuan antara gelombang dari laut dan arus dari sungai. Sedangkan untuk nilai hasil perhitungan RI lebih besar 3 menunjukkan dominasi dari pengaruh arus karena pengambilan data *ripple mark* ini berada relatif jauh dari muara sungai sehingga tidak/sedikit terpengaruh oleh aktivitas gelombang.

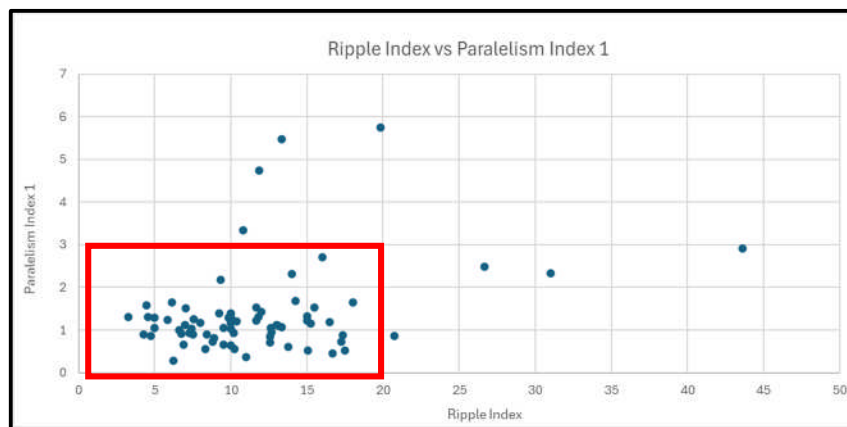
CI (Continuity Index)

Perhitungan ini diperoleh dari rumus

$$CI = C_c/\bar{L} \dots\dots\dots(8)$$

Hasil perhitungan RI yang memiliki nilai kurang dari 6 menunjukkan dominasi dari gelombang karena lokasi *ripple mark* yang berada sangat dekat dengan muara sungai. Untuk hasil perhitungan RI yang memiliki nilai hasil perhitungan 6-10 menunjukkan adanya pengaruh dari gelombang dan arus yang mana lokasi nya berada pada lokasi tepat pada Muara Sungai Opak yang menjadi daerah pertemuan antara gelombang dari laut dan arus dari sungai. Sedangkan untuk nilai hasil perhitungan RI lebih besar 10 menunjukkan dominasi dari pengaruh arus karena pengambilan data *ripple mark* ini berada relatif jauh dari muara sungai sehingga tidak/sedikit terpengaruh oleh aktivitas gelombang. *Continuity index* ini berdasarkan pengaruh arus yang cenderung konstan sedangkan aktivitas gelombang sangat terpengaruh oleh pasang surut air laut.

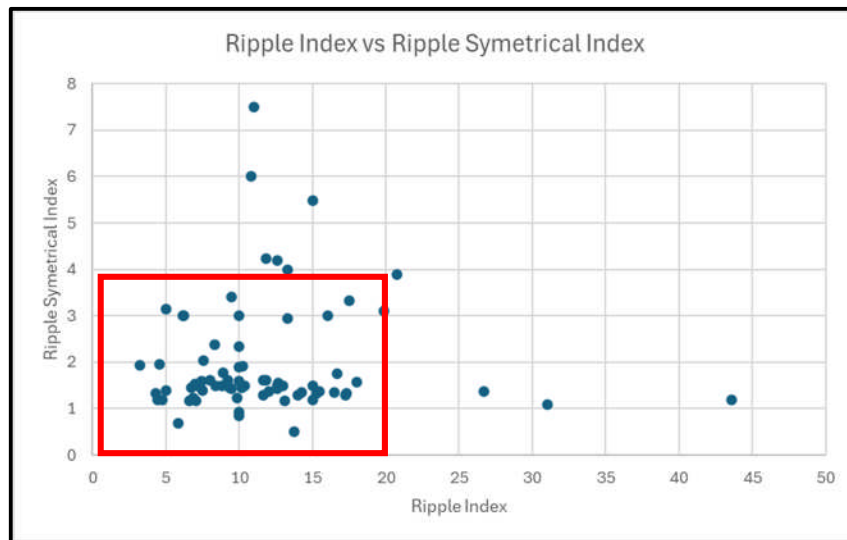
Perbandingan Ripple index dan Paralelism index 1



Gambar 8. Grafik Perbandingan *Ripple index* dan *Paralelism index 1*

Berdasarkan gambar grafik *Ripple Index vs Paralelism Index 1*, pada kotak berwarna merah tampak bahwa persebaran data menunjukkan dominasi nilai *Ripple Index* pada kisaran 0 hingga 20, sedangkan nilai *Paralelism Index 1* berada dalam kisaran 0 hingga 3. Namun, terdapat beberapa data outlier di mana nilai *Paralelism Index 1* lebih tinggi mencapai nilai 6 ketika *Ripple Index* masih di bawah 25. Selain itu, terdapat beberapa nilai *Ripple Index* yang tinggi berkisar antara 40–45 dengan nilai *Paralelism Index 1* yang tetap rendah sekitar 3. Dari pola ini, dapat diinterpretasikan bahwa nilai *Ripple Index* yang rendah cenderung berhubungan dengan nilai *Paralelism Index 1* yang juga rendah. Artinya, semakin rendah nilai *Ripple Index*, semakin rendah pula nilai *Paralelism Index 1*. Berdasarkan diagram batang menurut (Collinson, dkk., 2006) pola *ripple* pada daerah penelitian dipengaruhi oleh arus dan gelombang.

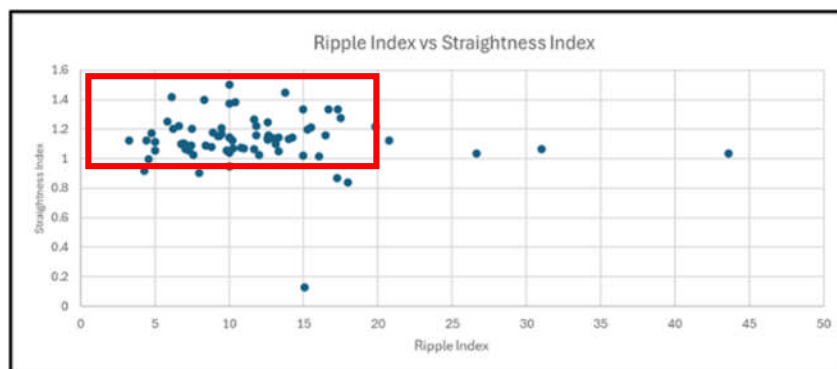
Perbandingan *Ripple Index* dan *Ripple Symetrical Index*



Gambar 9. Grafik Perbandingan *Ripple Index* dan *Ripple Symetrical Index*

Berdasarkan grafik *Ripple Index* vs *Ripple Symetrical Index* diatas menunjukkan bahwa sebagian besar nilai *Ripple Index* berada pada kisaran 0 hingga 20, sedangkan *Ripple Symetrical Index* dominan berkisar antara 0 hingga 4, namun ada beberapa nilai yang lebih tinggi hingga sekitar 7 atau 8. Dapat diinterpretasikan bahwa nilai *Ripple Index* yang lebih rendah cenderung berhubungan dengan nilai *Ripple Symetrical Index* yang lebih rendah. Berdasarkan diagram batang menurut (Collinson, dkk., 2006) *ripple* pada daerah penelitian dipengaruhi oleh arus dan gelombang.

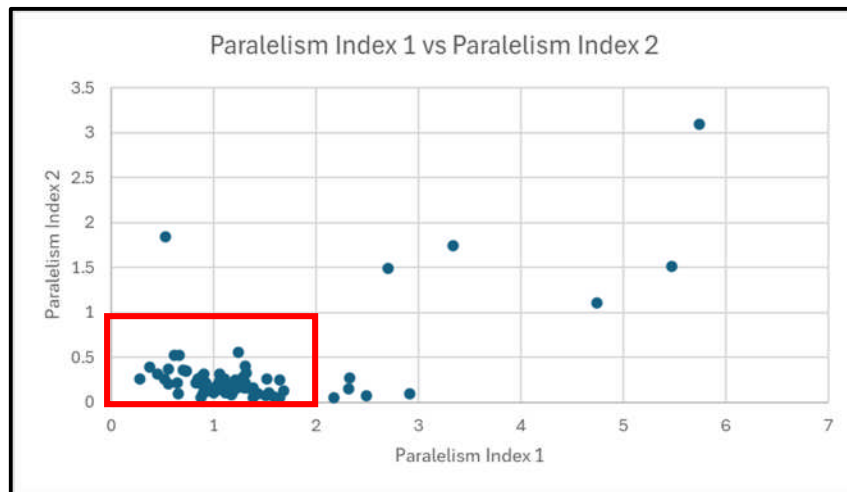
Perbandingan *Ripple Index* dan *Straightness Index*



Gambar 10. Grafik Perbandingan *Ripple Index* dan *Straightness Index*

Grafik tersebut menunjukkan perbandingan antara *ripple index* dengan *straightness index*. Nilai *ripple index* dominan berada pada nilai 0 hingga 20 yang menunjukkan bahwa *ripple* pada daerah penelitian dipengaruhi oleh gelombang dan arus, sedangkan nilai *straightness index* berkisar antara 0 hingga 1,6 menunjukkan bahwa *ripple* dipengaruhi oleh arus saja. Berdasarkan pada diagram batang menurut (Collinson, dkk., 2006) dapat disimpulkan bahwa *ripple* di daerah dipengaruhi oleh gelombang dan arus.

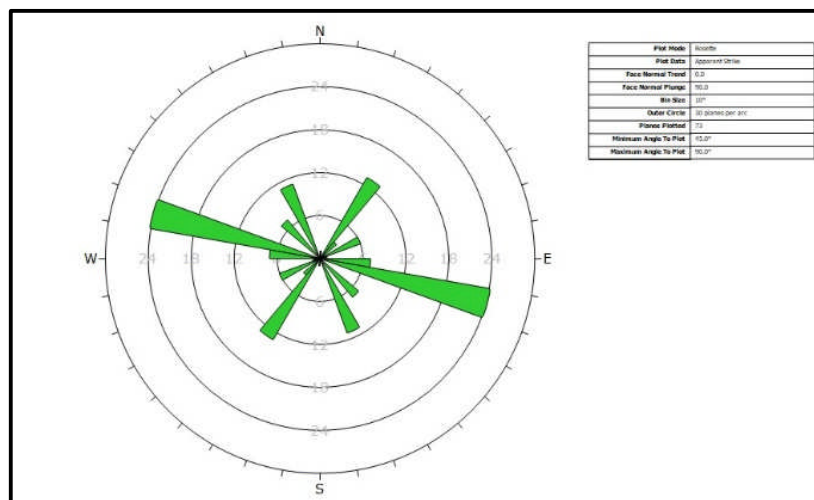
Perbandingan *Paralelism Index 1* dan *Paralelism Index 2*



Gambar 11. Grafik Perbandingan *Paralelism index 1* dan *Paralelism index 2*

Grafik tersebut menunjukkan perbandingan antara *Paralelism index 1* dengan *Paralelism index 2*. Nilai dari *Paralelism index 1* dominan berkisar antara 0 hingga 2 yang menunjukkan bahwa *ripple* pada daerah penelitian dipengaruhi oleh arus, sedangkan nilai dari *Paralelism index 2* berkisar antara 0 hingga 1 menunjukkan bahwa *ripple* dipengaruhi oleh gelombang. Berdasarkan pada diagram batang menurut (Collinson, dkk., 2006) dapat disimpulkan bahwa *ripple* di daerah dipengaruhi oleh gelombang dan arus.

Arah Umum *Ripple*



Gambar 12. Diagram *Rossete*

Dari data yang telah diambil dilapangan, struktur *ripple* pada lokasi penelitian menunjukkan arah umum relatif barat laut-tenggara (**Gambar 12.**). Pada arah barat daya *ripple* didominasi oleh pengaruh arus, sedangkan arah Tenggara didominasi oleh pengaruh gelombang. Arah umum ini dapat dilihat dari kecenderungan kemiringan *ripple* yang dilihat pada sisi *Stoss* dan sisi *Lee* pada *ripple* (**Gambar 16.**). Arah umum ini juga dipengaruhi oleh arah arus (lokasi yang relatif jauh dari muara) (**Gambar 13. dan Gambar 15.**) dan pengaruh arus dan gelombang (lokasi yang dekat atau berada pada muara sungai) (**Gambar 14.**).

PENUTUP

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang ada maka dapat disimpulkan bahwa nilai *Ripple index* pada daerah penelitian berkisar dari 0 hingga 20 yang menunjukkan bahwa *ripple* berada pada zona yang terpengaruh oleh arus sungai dan

gelombang laut. Nilai *Ripple symetrical index* dominan berkisar antara 0 sampai 4 yang menunjukkan bahwa *ripple* berada pada zona yang terpengaruh oleh gelombang laut. Nilai *Paralelism index 1* dominan berada pada kisaran 0 sampai 3 yang menunjukkan bahwa *ripple* berada pada zona yang terpengaruh oleh arus sungai. Nilai *Paralelism 2* dominan berada pada kisaran 0 sampai 1 yang menunjukkan bahwa *ripple* berada pada zona yang terpengaruh oleh gelombang. Nilai *Straightness index* dominan berada pada kisaran 0 sampai 1,6 yang menunjukkan bahwa *ripple* berada pada zona yang terpengaruh oleh arus sungai.

Variasi hasil interpretasi zona pengaruh *ripple* disebabkan karena pengambilan data dilakukan pada *point bar* dan Muara Sungai Opak, dimana daerah tersebut dapat dipengaruh oleh arus sungai dan gelombang laut yang menyebabkan pergerakan arah arus berbeda pada tiap titik pengambilan sampel. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi *ripple* dapat dilihat dari kondisi morfologi *ripple* itu sendiri. Dari masing masing indeks yang digunakan dan perbandingannya, dapat disimpulkan bahwa *ripple* yang terbentuk pada Muara Sungai Opak dipengaruhi oleh gelombang dan arus. *Ripple* yang cenderung dekat dengan Muara Sungai Opak atau berada pada muara sungai didominasi oleh pengaruh gelombang. Sedangkan *ripple* yang berada relatif jauh dari muara sungai didominasi oleh pengaruh arus Sungai Opak.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, J. R. L. (1985). *Principles of physical sedimentology*. London: Chapman and Hall
- Collinson, J., Nigell, M., David, T. (2006). *Sedimentary Structures Third Edition*. England : Terra Publishing
- Rahardjo, W., Rumidi S. Dan Rosidi H.M.D. (1977). *Geological Map Of The Yogyakarta Quadrangle, Java, Skala 1 : 100.000*, Geological Survey Of Indonesia, 1-15
- Surono, S. (2009). Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 19(3), 209-221
- Tanner, William F. *Ripple mark Indices And Their Uses*. *Sedimentology*.9 (1967) : 89-104. Van Bemmelen, R. W. 1949. *Transcription of the Geology of Indonesia, Vol. 1A: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago, 2nd edition*. Netherland
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia*
- Wardhana, Pradipta Nandi. (2015). Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak Dengan Menggunakan Program HEC-RAS 4.1.0. *Jurnal Teknisia*, XX (1), 22-27

Tabel I. Perhitungan *Ripple Index*

Data perhitungan									Azimuth	Perhitungan					
LS	LL	H	Lmax	Lmin	CC	d	L	Ripple Index (R)		Parallels Index (P1)	Straightness Index (S)	Ripple Symetry Index (RS)	Parallels Index 2 (P2)	Continuity Index (C)	
45.4	15.4	3.3	43.1	28.8	77.5	74	44	13.33333333	5.46772105	1.047297297	2.948051948	1.509835117	8.782672838		
42.7	7.8	3.5	51.4	34	7.5	58.5	52.7	15.05714286	6.523806094	0.128205128	5.474388974	1.837142031	0.791915665		
43.8	7.3	3.7	49.2	32.7	47.5	44.2	40	10.81081081	3.3326425	1.074669333	6	1.742117443	5.015166578		
36	8.5	3.8	38	27.5	62	53.5	45	11.84210526	4.737339906	1.158878505	4.235294118	1.108620491	12.384671228		
41	13.2	2.7	54.6	25.3	117.3	96.5	53.6	16.85185185	5.738777349	1.215544041	3.108968906	3.093578247	6.54613827		
3	2	0.85	6.8	3.5	13.5	12.5	7.5	8.828528412	0.733645715	1.0625	1.5	0.348423489	1.425388817		
3.55	3.05	0.85	4.35	3.65	17	16	6	7.059823529	1.506072969	1.0625	1.163934426	0.07309013	1.794918881		
3.8	3.2	1.05	7	5	11.5	9.8	5	4.761904762	0.867287904	1.173469388	1.1875	0.21165751	1.214203066		
4	2.8	0.65	7.4	5.6	13.2	10.6	8.2	12.61538462	1.054687317	1.245283019	1.428571429	0.190049176	1.393693964		
6.7	4.5	0.95	5.6	4	12	11	8	8.421052632	0.904996074	1.090909091	1.488888889	0.168832601	1.26994504		
12	4	3.7	29.5	15.4	49	48.3	59.3	16.02702703	2.70077416	1.01482754	3	1.488718542	5.173560891		
1.8	1.5	0.9	3.6	3	18	16	4	4.444444444	1.58374313	1.125	1.2	0.063349725	1.900491756		
3.1	1.3	0.6	7	3.5	10.5	7.5	5	8.333333333	0.554310095	1.4	2.384615385	0.369540064	1.108620491		
2.1	0.9	0.4	5.2	4.3	16	14	4	10	1.39642658	1.142857143	2.333333333	0.05024588	1.689326005		
1.5	0.2	0.3	6.6	2.9	8	7.5	3.3	11	0.371139804	1.066666667	7.5	0.390656639	0.844663003		
1.6	1.2	0.7	3.9	3	11	12	3	4.285714286	0.89339356	0.916666667	1.333333333	0.05024588	1.161411629		
3	1	0.7	6	5.5	17	12	4.3	6.142857143	1.64533314	1.416666667	3	0.052791438	1.794908881		
2.1	1.3	0.4	4	3.5	15	13	3.7	9.25	1.385775239	1.153846154	1.615384615	0.052791438	1.58374313		
6.3	2	1	7.2	4.5	19.5	17.5	5	5	1.296791293	1.114285714	3.15	0.265073793	2.058996069		
4.5	2.3	0.9	5.6	3.6	19.3	19.4	4.1	4.555555556	1.30981817	0.994848361	1.916571289	0.21165751	2.077149494		
3.5	2.2	0.7	6.1	4.4	13.5	12.4	5.2	7.428571429	1.028134884	1.085709677	1.590909091	0.179490888	1.425388817		
3.1	2.5	0.6	6.4	4.5	17.3	16.4	5.9	9.833333333	1.284316694	1.054878049	1.24	0.200607463	1.826583743		
5.3	2.6	0.7	6.2	4.1	18.1	17.7	6.3	7.571428571	1.2637589	1.02259887	2.038461538	0.221744038	1.911050043		
3.9	3	0.4	7.5	4.2	12.4	14.3	6.9	17.25	0.733167486	0.867132867	1.3	0.348423489	1.39227654		
3.7	2.3	0.6	7.2	5.5	15.2	12	7	11.66666667	1.225934497	1.266666667	1.608696652	0.179490888	1.604859705		
4.5	2.8	0.8	8.8	5.7	19.2	15.7	7.1	11.833333333	1.313067031	1.222929938	1.607142857	0.327306914	2.077149494		
3.1	2.3	0.4	6.5	5.3	19.5	17.1	5.7	14.25	1.678767718	1.140350877	1.347626087	0.12669945	2.058996069		
3.2	2.4	0.4	7.4	5.6	14.5	12.1	6.1	15.25	1.15858037	1.198347107	1.333333333	0.190049176	1.530961692		
2.9	1.8	0.6	5.1	4.3	13.2	14.6	4.8	3.4	1.175075295	0.904109589	1.611111111	0.0844663	1.39303954		
3.4	2.3	0.7	5.4	4.2	11.4	10.8	5.1	7.285714286	0.936188161	1.055555556	1.47826087	0.12669945	1.203644779		
3.2	2.2	0.8	5.6	3.6	13.6	12.4	5.4	6.75	0.923095996	1.096774194	1.454545455	0.21165751	1.435927104		
3.7	2.4	0.7	7	5.5	13.6	12.4	5.9	5	1.126228439	1.096774194	1.58374313	0.13674313	1.435927104		
3.8	2.6	0.5	5.2	3.6	12.8	11.4	5.1	10.2	0.835626714	1.22807916	1.461538462	0.08832601	1.351469804		
6.6	1.7	0.4	10.4	7.8	10.9	9.7	8.3	20.75	0.883140006	1.12371134	3.892352941	0.274515476	1.150833441		
4.1	1.2	0.8	7.9	5.7	13.9	11.5	7.6	4.1	1.208898652	1.208898652	3.416666667	0.222282326	1.467691967		
4.5	3	0.4	8	6.5	14.3	14	6	35	1.225741033	1.021428571	1.5	0.158374313	1.59835117		
3.5	3	0.8	7	6	11	9	5.3	6.625	0.995495882	1.222222222	1.166666667	0.10582875	1.161411629		
3.8	2	0.6	6.5	5	16	14	6	10	1.299481542	1.142857143	1.9	0.158374313	1.689326005		
4.8	7	1.2	12.8	7.5	20	16	7	5.833333333	1.32799932	1.25	0.685714286	0.599989239	2.111657507		
3.5	3.8	0.5	7.3	6	12	8	5	10	1.041365346	1.5	0.921052632	0.137257738	1.26994504		
1.5	3	0.4	9	4	13	9	5.5	13.75	0.610034391	1.444444444	0.5	0.527914377	1.372577379		
3.4	4	0.6	6.5	5	17	18	6	10	1.380699139	0.944444444	0.85	0.158374313	1.794908881		
3.5	2.5	0.8	7	4	15	12.5	6	7.5	0.904996074	1.2	1.4	0.316748626	1.58374313		
5	3.5	0.6	9	4	14	12	5.7	9.5	0.656960113	1.166666667	1.428571429	0.527914377	1.478160255		
4.5	3.5	0.6	7	6	17	16	7	11.66666667	1.53849326	1.0625	1.285714286	0.10582875	1.794908881		
3.5	2.5	0.5	6	3	20	19	2.5	5	1.05528753	1.052631579	1.4	0.316748626	2.111657507		
5.3	3	0.9	9	7	10	8.5	8	8.888888889	0.821200141	1.176470588	1.766666667	0.21165751	1.05828753		
3.5	3.2	0.6	7.4	4.9	34	32	18.6	31	2.32833944	1.0625	1.09375	0.274515476	3.589817761		
4.9	3.8	0.6	9	7.6	26	23	8.4	4.9	2.318130885	1.130434783	1.289478884	0.147816025	2.745154758		
4.4	3.2	0.4	6.7	4.2	23	19	6.2	15.5	1.522284441	1.210528316	1.375	0.263957188	2.428461132		
3.9	2.6	0.5	6.6	4.2	18	13	5.2	10.4	1.209403845	1.384615385	1.5	0.25398901	1.900491756		
3.8	2.6	0.6	4.8	4.3	23	20	5.6	9.333333333	2.17544716	1.15	1.461538462	0.052791438	2.428461132		
5.8	3	0.8	8.7	4.9	22	19.6	2.6	3.25	1.308256777	1.12244898	1.933333333	0.401214926	3.32923257		
3.6	2.4	0.5	6.5	3.1	14	12.4	6.3	12.6	0.704987837	1.129032258	1.5	0.358981776	1.478160255		
3.4	2.2	0.3	4.7	3.4	12.5	10.8	3.8	12.66666667	0.954738766	1.157407407	1.545454545	0.137257738	1.319785942		
3.5	2.6	0.4	4.8	3.4	16	13.8	6.6	16.5	1.19660592	1.15942029	1.346153846	0.147816025	1.689326005		
4	2.5	0.6	7	6	13	12.5	6	10	1.176494896	1.04	1.6	0.10582875	1.372577379		
3	2	0.5	6.5	5.5	12.5	11	6.5	13	1.116741951	1.136363636	1.5	0.10582875	1.319785942		
3	2.5	0.4	7	5.5	16	12	6	15	1.327327676	1.333333333	1.2	0.158374313	1.689326005		
5	1.5	0.4	8.5	6	7	5.5	7	17.5	0.521703619	1.272727273	3.333333333	0.263957188	0.739080127		
4.2	1	0.5	5	2.5	16	14	6.3	12.6	0.844663003	1.142857143	4.2	0.263957188	1.689326005		
3.5	2	0.3	6.5	3.5	8	6	5	16.66666667	0.45481854	1.333333333	1.75	0.316748626	0.844663003		
3	1	0.4	4.5	2.5	11	8	4	3	0.645228983	1.375	3	0.21165751	1.161411629		
3	1	0.4	4.5	2	6	5	2.5	3	0.281554334	1.2	3	0.263957188	0.633497252		
4	1	0.3	5.5	3.5	16	14	4	13.333333333	1.07502564	1.142857143	4	0.21165751	1.689326005		
3.7	3.1	0.25	8.2	7.3	31	30	10.9	43.6	2.91828984	1.033333333	1.193548387	0.05024588	3.27309135		
4.1	3	0.3	7.1	6.4	26.2	25.3	8	26.66666667	2.493540357	1.03573123	1.366666667	0.07309013	2.766711334		
4.4	2.8	0.4	8.9	6.6	21	25	7.2	18	1.644245676	0.84	1.571428571	0.242840613	2.217240382		
3.3	2.4	0.6	6	5.1	16	15.6	7.2	3.3	1.435927104	1.025641026	1.375	0.095024588	1.689326005		
2.7	2.3	0.45	5.2	2.7	20.2	18.4	5.9	13.111111111	1.107401927	1.097826087	1.173913043	0.263957188	2.132774082		
2.2	1.8	0.9	4.9	4	7.6	6.9	6.2	6.888888889	0.655044778	1.101449275	2.222222222	0.05024588	0.802429852		
2.3	1.2	0.4	4.2	2.3	9.6	9	4.1	10.25	0.555064259	1.066666667	1.916666667	0.200607463	1.013595603		
2	1.5	0.3	3.7	3.2	9.6	7.2	5.2	17.333333333	0.876623224	1.333333333	1.333333333	0.052791438	1.013595603		
Urata rata															
9.471232877															



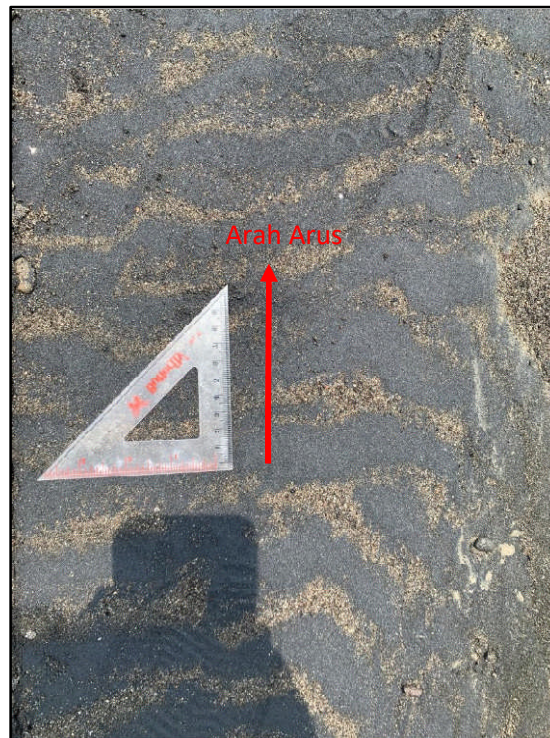
Gambar 13. Kenampakan *Ripple* Lokasi 1



Gambar 14. Kenampakan *Ripple* Lokasi 2



Gambar 15. Kenampakan *Ripple* Lokasi 3



Gambar 16. Arah Arus *Ripple*