



## Analisis Ketebalan Sedimen Dan Potensi Geohazard Berdasarkan Data Sub Bottom Profiler Pada Sungai Lee, Irlandia

Fauzi Daffa Hanatha<sup>1\*</sup>, Bonang Surya Utama<sup>1</sup>, Hanafiah Hamid<sup>1</sup>, Silvia Reva Anindya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Geofisika, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Condongcatur, Yogyakarta, Indonesia

\* Corresponding author. E-mail: [daffahanatha@gmail.com](mailto:daffahanatha@gmail.com)

### ABSTRAK

Sungai adalah salah satu jalur dan sarana transportasi yang efektif bagi manusia. Sungai Lee memiliki peran penting sebagai jalur untuk berlayar kapal yang membawa logistik kebutuhan pangan, bahan pembangunan, dan digunakan sebagai wisata laut *speed boat*. Survey hidrografi sebagai analisa *geohazard* diperlukan agar keadaan aktivitas yang padat ini dapat berjalan lancar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman dan ketebalan lapisan sedimen agar dapat menganalisa ancaman *geohazard*. Pengukuran yang dilakukan adalah *survey sub bottom profiler* untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah dan informasi bentuk benda pada dasar laut dengan cara menginterpretasikan perolehan waktu tempuh gelombang akustik yang dipancarkan alat kemudian dipantulkan pada lapisan sedimen. Hasil penampang *sub bottom profiler* menunjukkan adanya 2 lapisan sedimen yaitu lapisan dasar sungai (*riverbed*) dan lapisan batuan dasar (*bedrock*). Lapisan sedimen dasar sungai memiliki ketebalan variatif berkisar 0,14 m – 7,97 m. Analisa *geohazard* pada lapisan dasar sungai (*riverbed*) berdasarkan penampang *sub bottom profiler* menunjukkan bentuk *sandwaves* memiliki kemiringan 2° dan

### INFO ARTIKEL

**Sejarah Artikel:**

Diserahkan Oktober 2024

Diterima Desember 2024

Tersedia online Desember 2024

**Kata Kunci:**

*Geohazard; Sedimen; Sub Bottom Profiler.*

---

panjang lereng 318 m dengan keberadaan sedimen pasir turbidit yang bersifat tidak kompak menandakan adanya ancaman *geohazard* berupa pergerakan lapisan sedimen apabila dilakukan kegiatan/perencanaan pembangunan di atasnya. Selain itu, terdapat pola rembesan gas pada penampang *sub bottom profiler* yang diduga terdapat akumulasi gas dangkal (*shallow gas*) berupa rembesan emisi cairan yang mengandung gas.

---

---

## ABSTRACT

*Rivers are one of the most effective means of transport for humans. The Lee River has an important role as a route for sailing ships carrying logistics for food needs, construction materials, and is used as a speed boat sea tour. A hydrographic survey as a geohazard analysis is needed so that this dense activity situation can run smoothly. This study aims to determine the depth and thickness of the sediment layer to analyze the geohazard threat. The measurements taken are sub bottom profiler surveys to identify subsurface conditions and information on the shape of objects on the seabed by interpreting the acquisition of acoustic wave travel time emitted by the tool and then reflected on the sediment layer. The results of the sub bottom profiler show the existence of 2 sediment layers, namely the riverbed layer and the bedrock layer. The riverbed sediment layer has a variable thickness ranging from 0.14 m - 7.97 m. Geohazard analysis of the riverbed layer based on the sub bottom profiler shows the shape of sandwaves has a slope of 2° and a slope length of 318 m with the presence of turbidite sand sediments that are not compact, indicating a geohazard threat in the form of sediment layer movement if development activities/plans are carried out on it. In addition, there is a gas seeps pattern on the sub bottom profiler which is suspected of shallow gas accumulation in the form of seepage of gas-containing liquid emissions.*

---

---

## ARTICLE INFO

### **Article History:**

Submitted October 2024

Accepted December 2024

Available online December 2024

---

### **Keyword:**

*Geohazard; Sediment; Sub Bottom Profiler.*



## 1. Pendahuluan

Sungai dapat digunakan sebagai salah satu jalur dan sarana transportasi atau logistik yang efektif bagi kehidupan manusia [1]. Secara geografis Sungai Lee pada Irlandia merupakan muara sungai yang berbatas dengan Laut Celtic pada Samudra Atlantic. Saat ini Muara Sungai Lee digunakan sebagai alur untuk berlayar kapal-kapal yang mengangkut logistik berbagai bahan seperti kebutuhan pokok, bahan pembangunan, dan digunakan juga sebagai wisata laut *speed boat*. Perlunya survei hidrografi terkait *geohazard* pada sungai lee sangat penting dilakukan, hal ini disebabkan oleh keadaan aktivitas yang padat dan dapat membahayakan apabila tidak dilakukan survei mitigasi *geohazard* [2].

Salah satu jenis pengukuran untuk menganalisis keberadaan *geohazard* adalah dengan survei *sub bottom profiler* dengan memanfaatkan gelombang akustik untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah dan informasi bentuk benda pada dasar laut [3]. *sub bottom profiler* merupakan pengembangan dari metode seismik dengan tujuan untuk mendeteksi lapisan dangkal secara detail, sehingga pada pengukuran menggunakan sumber frekuensi yang tinggi [4]. Hasil dari pengukuran *sub bottom profiler* merupakan penampang yang memperlihatkan reflektor seismik untuk diinterpretasikan keadaan bawah permukaan

dan keberadaan *geohazard* pada area penelitian.

Analisis *geohazard* yang diduga adalah rembesan emisi cairan yang mengandung gas sehingga menyebabkan *pockmarks* menjadikannya perhatian dalam kaitannya dengan isu karbon global dan perubahan iklim [5]. *Pockmarks* adalah cekungan terdepresi di dalam sedimen laut, berbentuk lingkaran hingga elipsoid, diameternya berkisar antara <1 hingga 400 m dan kedalaman hingga 20 m, meskipun biasanya memiliki lebar 30-40 m dan kedalaman 2-3 m [6]. *Pockmarks* dapat muncul sebagai ciri tunggal, dalam pola linier yang disebut *pockmark trains* atau dalam kelompok kompleks dikenal sebagai *pockmarks fields*. Pembentukan dan dinamika fitur-fitur *pockmarks* masih belum sepenuhnya dipahami, tetapi umumnya dianggap sebagai akibat *ejection* cairan termasuk gas hidrokarbon, terutama metana (CH<sub>4</sub>), dari sedimen dasar laut [5].

Menurut *Geologic Emissions of Methane (GEM)*, rembesan laut akibat *pockmarks* adalah sumber alami metana di atmosfer nomor dua setelah *wetland* [7]. Kehadiran *pockmarks* mungkin juga mempunyai arti penting dalam kaitannya dengan *geohazard* laut. Migrasi fluida melalui sedimen laut, melalui pengaruhnya terhadap tekanan pori dan kekuatan sedimen, diperkirakan memainkan peran penting

dalam kegagalan lereng dan ketidakstabilan dasar laut. Oleh karena itu, di daerah pengembangan infrastruktur lepas pantai, seperti jaringan pipa, perlu menghindari fitur-fitur tersebut [5].

### 1.1 Geologi Daerah Penelitian

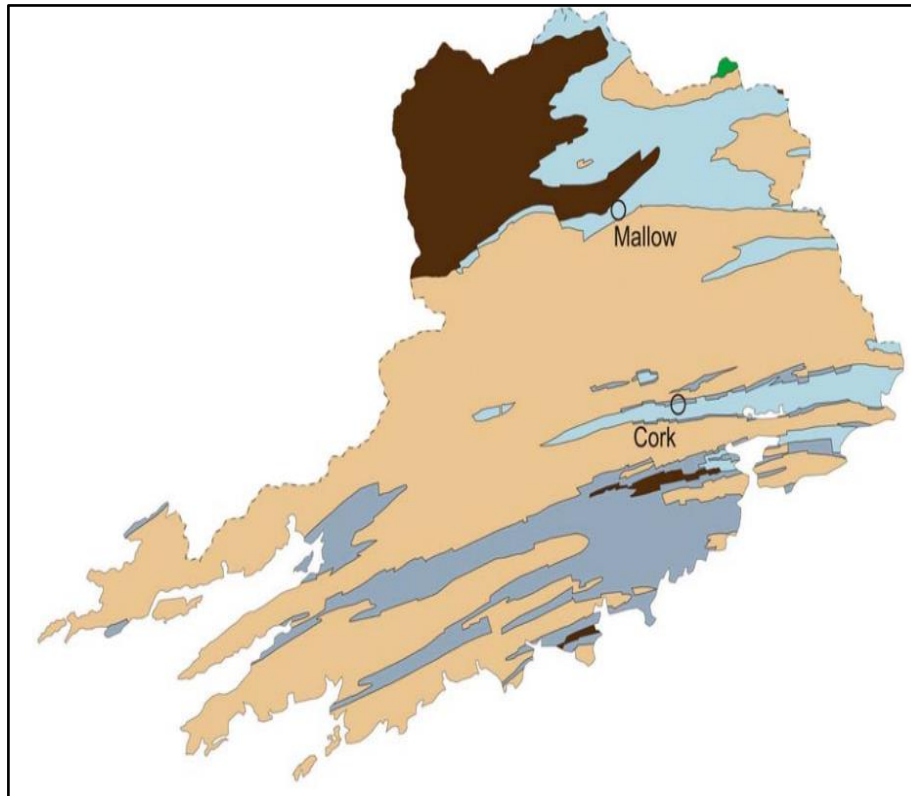


Gambar 1. Peta Desain Survei Jalur Akuisisi *Sub Bottom Profiler*

Pengambilan data akuisisi *sub bottom profiler* menggunakan alat survey SES 5000 pinger transceiver with 2x2 transducer array dengan *Software CODA topside acquisition and interpretation suites* yang dilakukan pada tanggal 11 Oktober 2005 pada sepanjang Sungai Lee di Pelabuhan Cork, Irlandia. Akuisisi *sub bottom profiler* dilakukan sebanyak 2 lintasan dengan panjang lintasan  $\pm 4.22$  km dan dilakukan dengan menggunakan frekuensi 3.5 kHz.

Peta desain survei jalur akuisisi *sub bottom profiler* diperlihatkan pada Gambar 1.

Batuan di daerah Cork sebagian besar berasal dari periode Devonian (415-360 juta tahun lalu) hingga periode Karbon (360-300 juta tahun lalu). Namun demikian, ada sebagian kecil kemunculan batuan Silurian yang lebih tua di timur laut daerah Cork di tepi Pegunungan Galtee. Selama jutaan tahun selama masa Devonian, Irlandia merupakan bagian dari sebuah benua besar. Secara umum iklimnya basah secara musiman, dan jarang vegetasi darat memungkinkan bukit pasir terbentuk di beberapa tempat. Sementara sungai mengalir ke arah selatan dan pada saat hujan turun, sungai-sungai ini menjadi arus deras dengan banjir bandang dan membawa batu-batu besar, kerikil, dan pasir ke hilir dan mengendap menjadi sedimen sungai hingga ke laut. Kemudian material tersebut juga mengalami litifikasi dan disebut konglomerat (kasar) dan batu pasir yang secara kolektif membentuk Batu Pasir Merah Tua. Pada umumnya sungai-sungai di daerah Cork mengalir di sepanjang sinklin batu gamping dan di bagian barat mereka telah ditenggelamkan oleh air laut untuk membentuk rias. Selama periode Paleogen, sebagian besar Irlandia adalah daratan dan batu kapur yang terbuka menjadi penuh dengan gua dan celah, beberapa dari rongga-rongga ini terisi oleh tanah liat atau batu serpih [8].



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Cork, Warna Hijau : Silurian, Warna Kuning Kecoklatan : Batupasir Dan Konglomerat Devonian, Warna Biru Muda : Batugamping Karbon Bawah, Warna Coklat : Serpih Dan Batubara Karbon Atas [8]

## 2. Metode Penelitian

*Geohazard* merupakan aktivitas dari dalam bumi yang membahayakan yang merujuk pada fitur geologi dibawah dasar laut yang keberadaannya bisa berpengaruh pada struktur konstruksi atau aktivitas lainnya yang berada di atasnya [9]. Contoh dari bahaya *geohazard* merupakan keberadaan slope bawah air, *shallow gas*, sedimen tidak kompak seperti pasir dan lainnya [10]. Informasi yang didapatkan dari analisis *accurate water depth* (akurasi kedalaman air) sangat dibutuhkan sebelum dilakukan aktivitas sipil seperti pembangunan dan lainnya, sehingga bangunan dan aktivitas

manusia lainnya akan terhindar dari bahaya alam [11]. Salah satu upaya dalam untuk melakukan *accurate water depth* dalam analisis *geohazard* yaitu dengan melakukan pengukuran *sub bottom profiler* sehingga mendapatkan informasi lapisan bawah permukaan secara akurat [12].

### 2.1 Impedansi Akustik

Metode *Sub Bottom Profiling* (SBP) adalah metode seismik yang dikhususkan pada penetrasi yang dangkal dengan *sounding* relatif terus menerus, dengan menggunakan frekuensi tinggi sehingga mempunyai ketelitian yang cukup baik [13]. Beberapa sinyal akustik akan menembus

lapisan dasar dan akan dipantulkan ketika bertemu batas antara dua lapisan yang memiliki sifat keakustikan yang berbeda atau disebut impedansi akustik [14]. Impedansi akustik didefinisikan sebagai kemampuan batuan untuk melewatkan gelombang seismik yang melaluinya [15], dituliskan dengan persamaan (1) seperti berikut :

$$AI = \rho \cdot V_p \quad (1)$$

Dimana:

- AI : Impedansi akustik (m/s. g/cc)  
 $\rho$  : Densitas (g/cc)  
 $V_p$  : Kecepatan gelombang-p seismik (m/s)

Impedansi akustik berpengaruh pada penentuan reflektivitas sudut datang normal atau Koefisien Refleksi [16], dapat dituliskan dengan persamaan (2) seperti berikut :

$$KR = \frac{AI_{i+1} - AI_i}{AI_{i+1} + AI_i} \quad (2)$$

Dimana:

- KR : Koefisien Refleksi  
 $AI_i$  : Impedansi Akustik Lapisan Pertama (m/s. g/cc)  
 $AI_{i+1}$  : Impedansi Akustik Lapisan Kedua (m/s. g/cc)

Metode *sub bottom profile* memiliki jenis yang berbeda-beda, perbedaan tersebut dibedakan berdasarkan frekuensi yang digunakan, sehingga berpengaruh pada

penetrasi kedalaman. semakin besar frekuensi yang digunakan maka penetrasi yang didapat semakin rendah, begitu juga sebaliknya [17]. Tabel 1 merupakan klasifikasi jenis alat dan frekuensi yang digunakan dalam *sub-bottom profile* [18].

Tabel 1. Klasifikasi *Sub Bottom Profile* [19]

Sistem	Frekuensi (kHz)	Resolusi (m)	Penetrasi (m)
Chirp	1 – 15	0.10 – 0.15	5 – 50
Pinger	3 – 12	0.2	10 – 40
Boomer	1 – 5	0.5 – 1.0	50 – 100
Sparker	0.1 – 1	2.0 – 5.0	100 > 1000

Pencitraan sedimen bawah laut ditunjukkan oleh perbedaan penyerapan gelombang setiap lapisan sedimen. Rekaman *sub bottom profiling* dibagi menjadi beberapa seri. Rangkaian batas harus ditemukan, yang mungkin muncul sebagai bentuk putaran, pemotongan erosional, dan pola refleksi yang dalam dan terus menerus [20].

Jenis-jenis fitur gas juga dapat diklasifikasikan sebagai berikut [20] :

1. *Acoustic plumes* : gas muncul di atas permukaan sedimen dasar laut, dapat mencapai 15 meter di kolom air, akumulasi yang diterima melalui amplitudo tinggi, pantulan *parabolic* dengan interval frekuensi sepanjang garis seismik dapat mencapai 100-200 meter.

2. *Cloudy turbidity* : terdeteksi melalui *sub bottom profiling uniboom*. Pencitraan tanpa geometri seperti lapisan dan potongan tetapi selalu berhubungan dengan akumulasi gas di lapisan sedimen.
3. *Pockmarks* : merupakan morfologi yang disebabkan oleh peristiwa fluida yang menembus permukaan dasar laut.

Hasil data *Sub Bottom Profiler* akan menunjukkan kondisi lapisan bawah permukaan dan dapat memperlihatkan daerah yang memiliki potensi bahaya geologi sehingga dapat ditentukan ketebalan sedimen dan zonasi daerah rawan dan aman dari bencana *geozahard* untuk kegiatan aktivitas lainnya [21].

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian didapatkan interpretasi mengenai keadaan *sub bottom profiler* dan *Geohazard* berdasarkan analisis *subsurface*, seperti berikut:

#### 3.1. Interpretasi *Sub Bottom Profiler*

Pengolahan data hasil akuisisi *sub bottom profiler* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Hypack 2018* dan *Petrel 2017*. Koreksi data dilakukan untuk mendapatkan hasil yang baik. Koreksi tersebut antara lain koreksi *sound velocity*, *bottom tracking*, *dynamic range*, dan *time varying gain*. Penggunaan frekuensi 3.5 kHz pada akuisisi *sub bottom profiler* menghasilkan resolusi penampang

seismik secara jelas dengan besar  $\pm 0.2$  m dan dengan penetrasi terjelas dengan kedalaman  $\pm 10$  m atau  $\pm 20$  ms.

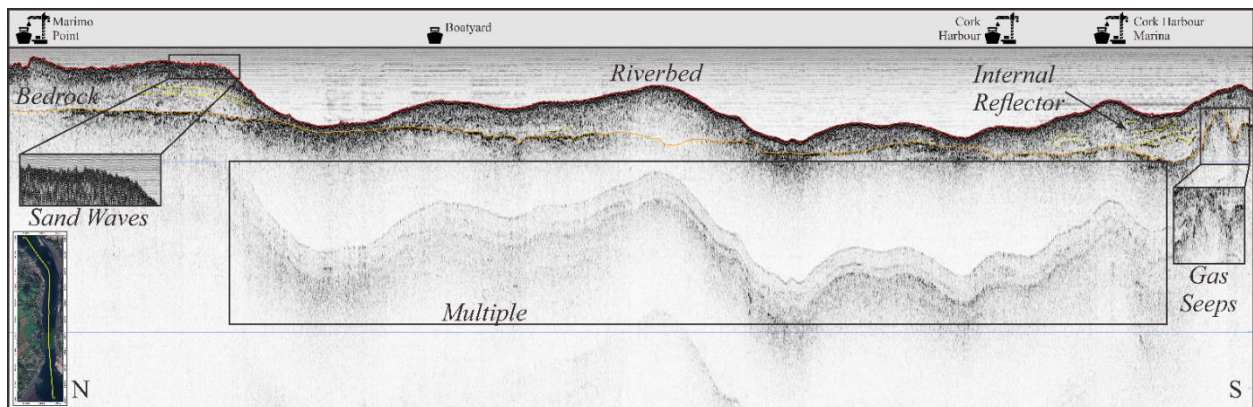
Hasil penampang *sub bottom profiler* menampilkan keadaan bawah permukaan, hasil interpretasi *subsurface* tertera pada Gambar 3 dan visualisasi 3D antara lapisan dengan kenampakan topografi daerah penelitian tertera pada Gambar 4. Lintasan *sub bottom profiler* melewati 3 pelabuhan kapal logistik dan 1 pelabuhan *speed boat* sehingga area penelitian merupakan area aktif kegiatan lalulintas kapal. Sehingga, sangat penting dilakukan analisis *geohazard* guna meminimalisir adanya kecelakaan geologi.

Berdasarkan penampang *sub bottom profiler* terdapat 2 lapisan sedimen, lapisan pertama merupakan lapisan *riverbed* (dasar sungai) yang merupakan hasil dari pengendapan dari sedimentasi daratan dan lapisan kedua merupakan *bedrock* (batuan dasar). penampang SBP menunjukkan beberapa pola atau fitur dari bentuk seismik yang terlihat seperti terdapatnya internal reflektor seismik yang menandakan merupakan lapisan sedimen, pada lapisan dasar sungai antara *marimo point* dan *boatyard* terdapat lereng bawah sungai yang dalam, sehingga daerah tersebut perlu diwaspadai kemudian terdapat pola *sand waves* (gelombang pasir) pada daerah tersebut, hal tersebut ditunjukkan oleh adanya bentuk seismik dengan pola *serrated*

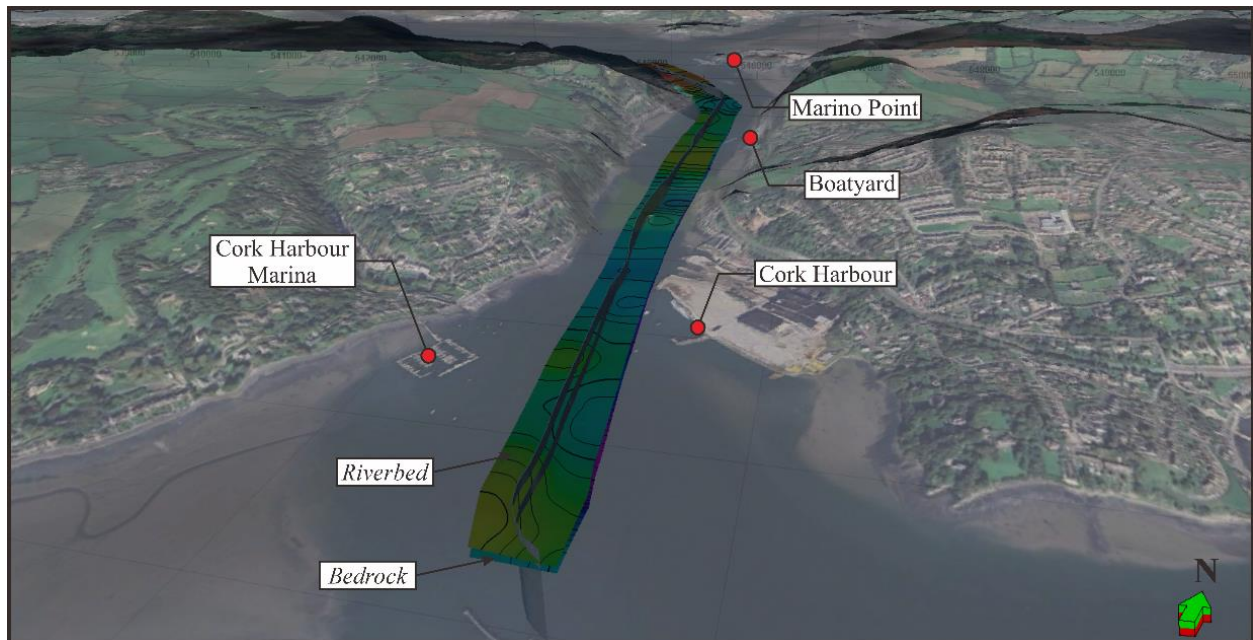


(bergerigi) yang disebabkan oleh lapisan pasir yang tidak kompak akibat sedimen turbidit sehingga mudah untuk bergerak dan tertransportasi, daerah tersebut merupakan daerah *geohazard* karena terdapatnya lapisan tidak kompak. Kemudian bagian selatan pada Cork Harbour Marina terdapat kenampakan dari *gas seeps* (rembesan gas alam) hal ini ditunjukkan dengan pola seismik yang *free reflection* atau *chaotic* (hancur) dan menembus lapisan di atasnya sehingga dapat menyebabkan pembentukan morfologi *pockmarks* dimasa mendatang ketika gas sudah menembus ke permukaan, daerah

tersebut merupakan daerah yang diwaspadai dan menjadi daerah *geohazard* apabila dilakukan kegiatan di atasnya seperti pengeboran, pemasangan jalur pipa atau kabel dan lainnya. Pada waktu lebih dari 20 ms terdapat pola *multiple* seismik dikarenakan adanya bentuk lapisan berulang akibat terpantulnya kembali gelombang seismik yang terperangkap dalam air sungai, pola tersebut merupakan pola yang umum terjadi pada pengukuran seismik diperairan dan pada waktu lebih dari 20 ms penetrasi gelombang seismik sudah buruk dan terlihat buram.



Gambar 3. Interpretasi *Sub Bottom Profiler*

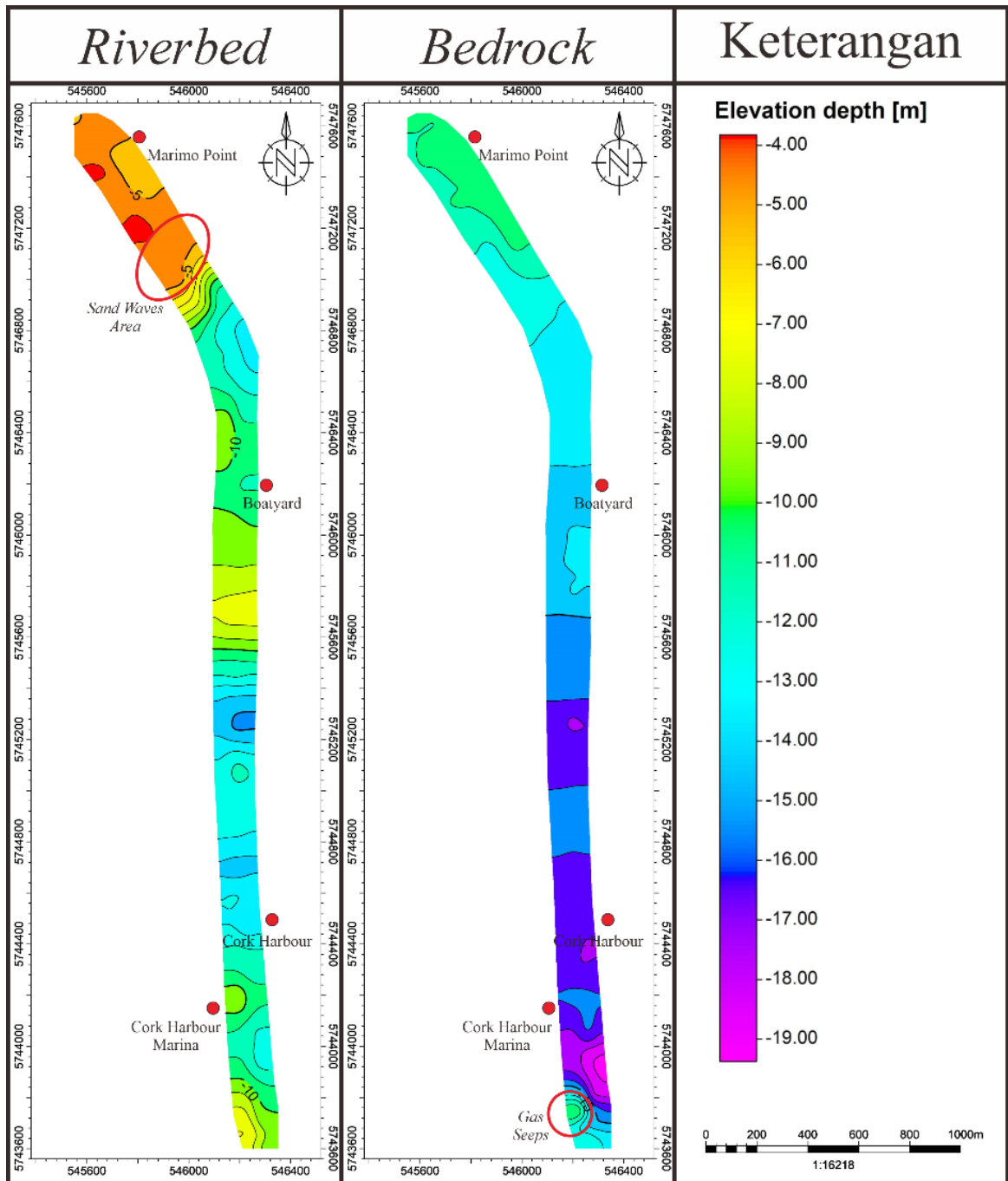


Gambar 4. Visualisasi 3D Interpretasi *Sub Bottom Profiler*

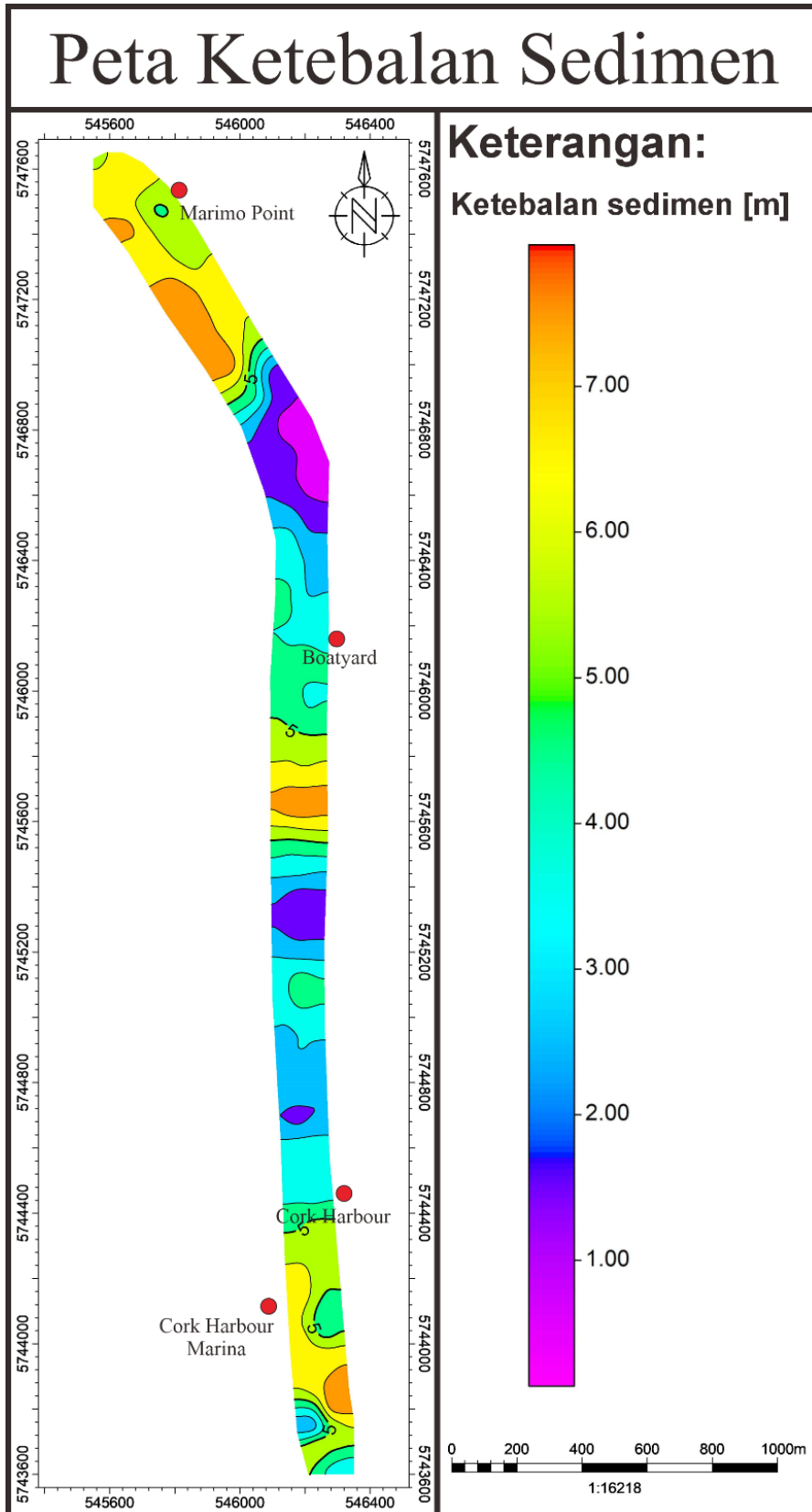
### 3.2. Analisis *Geohazard*

Hasil interpretasi lapisan sedimen dipetakan seperti pada Gambar 5. Pola pengendapan sedimen antara *riverbed* dan *bedrock* terlihat tidak selaras, hal tersebut disebabkan karena pada bagian *riverbed* merupakan bagian yang aktif digunakan khususnya pada jangkar kapal yang mengakibatkan tergerusnya kembali lapisan sedimen sehingga semakin dalam membentuk pola cekungan, pola sedimen pada *bedrock* relatif sejajar sehingga diinterpretasi bahwa bagian *bedrock* tidak

terkena aktivitas dari kegiatan permukaan. kedalaman dari lapisan *riverbed* sangat bervariasi, kedalaman terdalam berada pada -15,9 m yang berada pada bagian utara Cork Harbour dan kedalaman terdangkal berada pada -3,82 m yang berada pada Marino Point. Kedalaman dari lapisan *bedrock* menggambarkan semakin dalam kearah selatan dengan lapisan terdalam pada -19,38 m dan lapisan terdangkal berada pada -10,38 m yang merupakan akumulasi gas dangkal (*shallow gas*).



Gambar 5. Kedalaman Riverbed dan Bedrock



Gambar 6. Peta Ketebalan Sedimen

Peta ketebalan sedimen pada Gambar 6 merupakan bentuk dari ketebalan sedimen *riverbed*. Hasil dari perhitungan ketebalan sedimen didapatkan ketebalan sedimen tertinggi berada pada nilai 7,97 m dan ketebalan sedimen terendah berada pada nilai 0,14 m, ketebalan sedimen tipis tersebut berada pada area cekungan akibat gerusan kapal. Ketebalan sedimen yang bervariasi ini disebabkan akibat aktivitas lapisan *riverbed* baik akibat kegiatan manusia maupun organisme laut.

Analisis *geohazard* terhadap bentuk *sandwaves* berada pada sekitar marimo point, *sandwaves* berada pada area slope dengan kemiringan  $2^\circ$  dan panjang lereng 318 m yang masih dikategorikan sangat landai namun keberadaan sedimen pasir turbidit pada area tersebut menandakan ancaman *geohazard* pada kegiatan di atasnya. Analisis akumulasi gas dangkal (*shallow gas*) terdapat di bagian selatan pada Cork Harbour Marina, tepatnya pada lintasan pengukuran meter ke  $\pm 4080$  meter. Gas terakumulasi ini diduga berada pada lapisan *bedrock* yang merupakan batuan sedimen dan menembus lapisan di atasnya hingga ke permukaan, kasus ini dapat menyebabkan terjadinya bentuk *pockmarks*. Ketinggian terobosan gas ini setelah menembus *bedrock* adalah 6,97 m dengan diameter 157.12 m, berdasarkan peta ketebalan sedimen jarak gas untuk mencapai permukaan dasar sungai adalah 3.24 m, sehingga daerah tersebut perlu diwaspadai

sebagai ancaman *geohazard*. Pola sedimen diidentifikasi sebagai kontinuitas lapisan berarah utara-selatan yaitu berarah dari hulu ke hilir sungai.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, hasil penampang *sub bottom profiler* menunjukkan 2 lapisan sedimen yaitu lapisan *riverbed* (dasar sungai) dengan variasi ketebalan 0,14 m – 7,97 m dan lapisan *bedrock* (batuan dasar). Kedalaman lapisan *riverbed* dari permukaan air sangat bervariasi, kedalaman terdangkal berada pada -3,82 m yang berada pada Marimo Point dan kedalaman terdalam berada pada -15,9 m yang berada pada bagian utara Cork Harbour. Hal ini diakibatkan oleh laju proses sedimentasi Sungai Lee bagian hulu di sebelah utara mengarah ke hilir di bagian selatan menuju Samudra Atlantik. Analisa *geohazard* terfokus pada lapisan *riverbed* (dasar sungai), penampang *sub bottom profiler* terdapat bentuk pola *sandwaves* yang sangat landai dan terdiri dari lapisan pasir yang tidak kompak akibat sedimen turbidit sehingga lapisan tersebut mudah bergerak dan memiliki ancaman *geohazard* terhadap kegiatan maupun perencanaan pembangunan di atasnya. Selain itu, analisis terdapatnya akumulasi gas dangkal (*shallow gas*) bagian selatan Cork Harbour Marina dengan ditunjukkan dengan *gas seeps* pada penampang *sub bottom profiler* menjadi

dugaan kuat adanya rembesan mengandung gas yang ditunjukkan oleh pola refleksi hancuran dan berbentuk menembus lapisan di atasnya.

## 5. Referensi

1. Rahili, N., & Cahyono, B.K. (2019). 3D Modeling and Volume Estimation of Riverbed Layers Based on Sub Bottom Profiler Measurement Data. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 2(1), 113-120. DOI: <https://doi.org/10.22146/jgise.39974>.
2. Riyatna, R. A. (2023). Identification Active Pockmarks Using The Combination Of Side Scan Sonar And Sub-Bottom Profiler. *Journal Marine-Earth Science and Technology*, 3(3), 68-72. DOI: <https://doi.org/10.12962/j27745449.v3i3.618>.
3. Faisal, A., Mulyadi, D. S., Adi, A. P., & Sukoco, N. B. (2021). Analisis Data Multibeam Echosounder dan Sub Bottom Profiler untuk Penentuan Metode Pengerukan Dasar Laut (Studi Kasus Dermaga Sunda TNI AL Pondok Dayung). *Jurnal Chart Datum*, 7(2), 111-130. DOI: <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v7i2.215>.
4. Maharani, A., Ardhyastuti, S., Mardiana, U., & Alfadli, M.K. (2021). Kondisi Dasar Laut Perairan Krui, Pesisir Barat, Lampung Berdasarkan Hasil Analisis Data Sub Bottom Profiler Dan Side Scan Sonar. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(6), 562-568. DOI: <https://doi.org/38383/17174>.
5. Hovland, M., (2013). Characteristics of marine methane macroseeps. Dalam: Aminzadeh, F., Berge, T.B., Connolly, D.L. (Eds.), *Hydrocarbon Seepage: from Source to Surface. Society of Exploration Geophysicists (SEG), dan American Association of Petroleum Geologists (AAPG)*, hal. 63–82.
6. Acosta, J., Munoz, A., Herranz, P., Palomo, C., Ballesteros, M., Vaquero, M., & Uchupi, E., (2001). Pockmarks in the Ibiza Channel and western end of the Balearic Promontory (western Mediterranean) revealed by multibeam mapping. *Geo-Marine Letters*, 21(1), 123–130. DOI: 10.1007/s003670100074
7. Etiope, G., Milkov, A., & Derbyshire, E. (2008). Did geologic emissions of methane play any role in Quaternary climate change?. *Glob and Planet Change*, 61(1), 79–88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.08.008>
8. Jackson, P. W & Simms, M. (2003). *Cork Geology*. Geology of Irland. Geoschol.com/Ireland.html
9. Azuan, N. (2015). *Introduction to Geohazards*. Kuala Lumpur: Java Offshore Company.

10. Khomsin, Pratomo, D. G., & Amirullah, M. D. (2019). Analisis Data Sub Bottom Profiler Terintegrasi Untuk Identifikasi Sedimen (Studi Kasus: Alur Pelayaran Timur Surabaya). *Jurnal of Geodesy and Geomatics*, 15(1), 106-114. DOI: <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v15i1.4005>.
11. Fauzy, A. F., Pratomo, D. G., Darminto, M. R., & Sulistian, S. (2020). Identifikasi Fitur Dasar Laut Menggunakan Data Multibeam Echosounder (Studi Kasus: Perairan Utara Papua). *Jurnal of Geodesy and Geomatics*, 16(1), 36-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v16i1.7975>.
12. Rohman, S., Manik. H. M., Hestirianoto, T., Mudita, I. (2015). Analisis Dan Klasifikasi Sedimen Permukaan Dasar Laut Menggunakan Sub-Bottom Profiler. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 31-39. DOI: 10.24319/jtpk.6.31-39.
13. Solikin, S., Manik, H. M., Pujiyati, S., & Susilohadi. (2017). Pemrosesan Sinyal Data Sub Bottom Profiler Substrat Dasar Perairan Selat Lembeh. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(1), 42-47. DOI: <https://doi.org/10.17529/jre.v13i1.6060>.
14. Rahmania, S. (2020). *Identifikasi Reruntuhan Dermaga Pada Dasar Laut Menggunakan Sub-Bottom Profiler Dan Side Scan Sonar (Studi Kasus: Pelabuhan Khusus Pt Holcim, Tuban)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
15. Isniarno, N. F., Triyoso, W., & Amukti, R. (2017). Implementasi Metode Seismik Inversi Impedansi Akustik dalam Memetakan Batuan Pasir dengan Pengoptimasian Parameter error dan Korelasi Serta Mentransformasikan Penyebaran Porositas. *Jurnal Of Physical Science and Engineering*, 2(1), 21-27. DOI: 10.17977/um024v2i12017p021.
16. Agfa, C. I. (2018). *Aplikasi Metode Inversi Impedansi Akustik Dan Seismik Multiatribut Untuk Karakterisasi Zona Reservoir Hidrokarbon Pada Lapangan "CVN" - Cekungan Sumatera Tengah*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
17. Farabi, F.F., & Minarto, E. (2018). Analisis Anomali Bawah Permukaan Laut Menggunakan Data Side Scan Sonar, Sub-bottom Profiler dan 2D High Resolution Seismic. *Jurnal Sains Dan Seni*, 7(1), 1-5. DOI: 10.12962/j23373520.v7i1.29184.
18. Uripapan, D., & Minarto, E. (2018). Analisis Geohazard untuk Dasar Laut dan Bawah Permukaan Bumi. *Jurnal Sains Dan Seni*, 7(1), 6-7. DOI: 10.12962/j23373520.v7i1.29194.
19. Uripapan, D. (2018). *Analisis Geohazard Untuk Dasar Laut Dan Bawah*

- Permukaan Bumi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
20. Taylor, D. I., (1992). Shallow Offshore Gas Costs Around the UK. *Continental Shelf Research*, 12, 1135-1144
21. Amirullah, M.D. (2018). *Analisis Data Sub Bottom Profiler Untuk Identifikasi Ketebalan Sedimen*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.