

Pengolahan Data Kolom Air dari *Multibeam Echosounder* untuk Mendeteksi Gelembung Emisi Gas Dasar Laut

Anwar Ghazali, dan Danar G. Pratomo

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: anwar.ghazali13@mhs.geodesy.its.ac.id, guruh@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Selama ini survei hidrografi menggunakan *multibeam echosounder* selalu terfokus pada pengambilan data kedalaman dasar laut atau data batimetri. Selain data batimetri, *multibeam echosounder* dapat mengakuisisi jenis data lain yang selanjutnya dapat dianalisis dan diteliti lebih dalam lagi, salah satu contohnya adalah data kolom air. Data kolom air mampu memvisualisasikan obyek yang ada pada kolom air yang sebelumnya tidak dapat terlihat jika hanya menggunakan data batimetri saja. Dengan menggunakan data kolom air, kita dapat melakukan pemetaan kolom air untuk mengamati obyek yang terletak diantara permukaan perairan dan dasar perairan. Pada penelitian ini, data batimetri dan data kolom air yang berasal dari *multibeam echosounder* akan digabungkan untuk mencari dan menganalisis gelembung emisi gas dasar laut. Pendeteksian gelembung emisi gas dasar laut ini dilakukan dengan menentukan ambang batas (*threshold*) intensitas pantulan gelombang akustik yang dipancarkan *multibeam echosounder*. Setiap obyek yang terdapat di kolom air memiliki nilai intensitas pantulan gelombang yang berbeda, dengan menentukan ambang batas intensitas gelombang kita dapat membedakan obyek yang terdapat di kolom air. Setelah gelembung emisi gas dasar laut atau obyek lain ditemukan, data kolom air tersebut divisualisasikan dalam bentuk gambar sehingga lebih mudah diamati. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa data kolom air yang diambil menggunakan *multibeam echosounder* dapat digunakan untuk mengidentifikasi obyek yang terdapat pada kolom air. Pada penelitian ini ditemukan 82 titik sumber gelembung emisi gas dasar laut yang tersebar di wilayah perairan Kepulauan Mentawai, Indonesia.

Kata Kunci—*Multibeam Echosounder*, Data Kolom Air, Gelembung Emisi Gas Dasar Laut, Pemetaan Kolom Air.

I. PENDAHULUAN

PEMETAAN kolom air adalah sebuah metode penginderaan jauh menggunakan gelombang akustik yang digunakan untuk mengamati aspek lingkungan laut yang berada diantara permukaan laut dan dasar laut. Contoh aspek lingkungan laut yang dapat diamati seperti gelembung gas, biota laut, dan proses yang terjadi di dalam laut [1]

Alat yang digunakan untuk melakukan pemetaan kolom air adalah *multibeam echosounder*.

Alat *multibeam echosounder* pada umumnya digunakan untuk memetakan permukaan dasar laut. Akan tetapi, *multibeam echosounder* juga dapat digunakan untuk memetakan obyek yang berada di kolom air. Melakukan pemetaan kolom air dapat meningkatkan pengetahuan kita mengenai lingkungan laut, termasuk distribusi sumber daya alam gas bumi yang ada di laut dan kehidupan makhluk hidup yang berhubungan dengan gelembung emisi gas di dasar laut.

Adanya gelembung emisi gas yang muncul dari dasar laut biasanya menandakan adanya sumber cadangan minyak dan gas bumi. Gelembung emisi gas yang biasanya ada pada daerah sumber minyak dan gas bumi ini biasanya keluar dari dasar perairan kemudian menghilang di kolom air, atau naik sampai ke permukaan laut dan masuk ke atmosfer. Gelembung emisi gas yang keluar dari dasar laut ini merupakan target survei akustik yang dapat diamati karena gelembung emisi gas akan merespon gelombang akustik yang dipancarkan oleh *multibeam echosounder*[2].

Gelembung emisi gas yang ada di kolom air akan merespon gelombang akustik dari *multibeam echosounder* karena gelembung ini memiliki impedansi akustik yang berbeda dengan air yang mengelilinginya. Gelombang akustik yang merambat di air akan memantulkan kembali atau meneruskan sinyalnya ketika mengenai obyek yang memiliki impedansi akustik yang berbeda dengan medium yang sebelumnya, oleh karena itu *multibeam echosounder* dapat digunakan untuk mengamati dan memetakan gelembung emisi gas yang terdapat di kolom air[3].

Secara garis besar, gelembung emisi gas yang muncul dari dasar laut merupakan hasil dari perpindahan gas secara vertikal yang berasal dari bawah permukaan bumi seperti akumulasi hidrokarbon atau reservoir. Karena alasan ini, adanya gelembung emisi gas merupakan penyebab adanya eksplorasi minyak atau gas bumi secara global. Banyak ladang minyak dan gas bumi di Amerika Utara, Eropa, Asia, dan Karibia ditemukan setelah terlihatnya gelembung emisi gas ini [4].

Mendeteksi keberadaan emisi gas dan memetakan lokasinya merupakan langkah penting dalam memahami proses geologi dan biologi yang terjadi di dasar laut dan kolom air. Selain itu

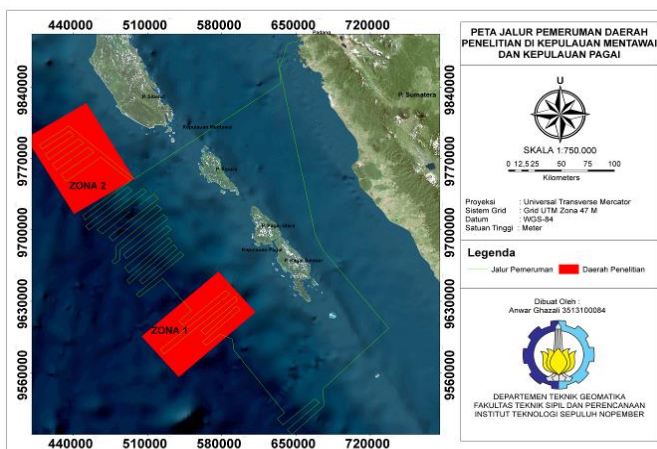
adanya gelembung emisi gas merupakan tanda adanya sumber minyak atau gas bumi yang nantinya dapat di eksplorasi dan di eksploitasi untuk dimanfaatkan oleh orang banyak.

Pada penelitian ini, data kolom air dari *multibeam echosounder* akan diekstrak dan disajikan dalam bentuk citra kolom air untuk memperlihatkan gelembung emisi gas yang ada di kolom air sehingga dapat diketahui lokasi titik sumber gelembung emisi gas di dasar laut.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di perairan Kepulauan Pagai dan Kepulauan Mentawai, Indonesia yang berada pada rentang koordinat $1^{\circ} 00' 18''$ LS – $4^{\circ} 36' 45,13''$ LS dan $98^{\circ} 09' 18''$ BT – $103^{\circ} 06' 16,70''$ BT. Daerah penelitian dibagi menjadi 2 zona, yaitu Zona 1 dan Zona 2.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Daerah ini dipilih sebagai area penelitian karena merupakan *continental margin* atau tepi benua. *Continental margin* merupakan daerah yang paling produktif dalam menghasilkan minyak dan gas bumi, sehingga kemungkinan ditemukannya gelembung emisi gas dasar laut cukup besar[5].

B. Data dan Peralatan

1) Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kolom air dan data batimetri yang diakuisisi menggunakan *multibeam echosounder* tipe Kongsberg EM710 dan EM302 yang terpasang pada kapal survei R/V Falkor. Kapal tersebut dioperasikan oleh UNOLS (University National Oceanographic Laboratory System) dan Schmidt Ocean Institute pada tanggal 23 Mei 2015 sampai dengan 22 Juni 2015. Total panjang jalur pemeruman pada survei ini adalah 4.826,5139 km dan terletak pada rentang koordinat $3^{\circ} 08' 23,75''$ LU – $4^{\circ} 36' 45,13''$ LS dan $91^{\circ} 39' 36,9''$ BB – $103^{\circ} 06' 16,70''$ BB[6][7].

Data ini merupakan data sekunder yang diunduh melalui situs resmi milik NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Data yang diunduh melalui situs resmi milik NOAA memiliki format (.wcd), untuk data kolom air, dan (.all) untuk data batimetri. Selanjutnya kedua data mentah ini akan diolah dan digabung menjadi satu dan memiliki format

(.merged) untuk data batimetri dan format (.wc) untuk data kolom air.

2) Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah komputer dan laptop. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari sistem operasi Ubuntu 14.04 dan Windows 7, perangkat lunak pengolahan data DTM, perangkat lunak pembuat peta, dan perangkat lunak *Swathed*.

Swathed merupakan sebuah perangkat lunak yang dijalankan di sistem operasi Ubuntu. *Swathed* merupakan perangkat lunak non-komersial yang berfungsi untuk mengolah data batimetri dan kolom air yang dibuat oleh John E Hughes Clarke dari University of New Hampshire, US.

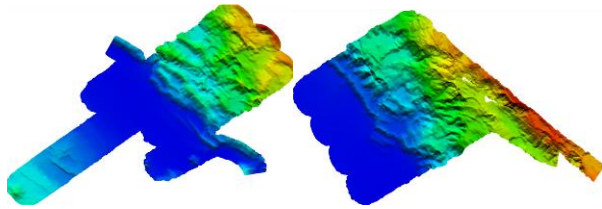
C. Metode Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk menganalisis gelembung emisi gas dasar laut. Tahap pertama adalah tahap ekstraksi data kolom air dan batimetri. Data awal yang didapatkan adalah data mentah dengan format (.all) untuk data batimetri dan (.wcd) untuk data kolom air. Pada tahap ekstraksi ini dilakukan proses *unravel*. Proses *unravel* adalah proses pengolahan data mentah dari *multibeam echosounder* agar selanjutnya dapat diolah menggunakan perangkat lunak *Swathed*. Data mentah yang memiliki format (.all) dan (.wcd) akan diolah dan digabung sehingga memiliki format baru, yaitu format (.merged) untuk data batimetri dan format (.wc) untuk data kolom air. Selanjutnya data tersebut dapat diolah menggunakan *Swathed*.

Tahap kedua adalah tahap pengolahan data kolom air. Pada tahap ini obyek yang ada di kolom air akan diidentifikasi untuk menemukan gelembung emisi gas dasar laut. Langkah pertama adalah dengan menentukan area pencarian di kolom air. Penentuan area pada kolom air ini berdasarkan *beam*, *sample*, *swath*, dan sektor. Hal ini dilakukan untuk mempersempit area pencarian sehingga mengurangi waktu pengolahan data. Jika area tidak ditentukan, maka seluruh data akan dijadikan sebagai area pencarian. Langkah kedua adalah menentukan nilai *threshold*. *Threshold* adalah batas dari sebuah nilai. Nilai yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai intensitas pantulan gelombang akustik. Penentuan nilai *threshold* ini dilakukan untuk menyeleksi obyek yang ada di kolom air. Obyek yang terdeteksi setelah penentuan nilai *threshold* adalah obyek yang memiliki nilai intensitas pantulan gelombang akustik yang lebih tinggi dari *threshold*, sehingga obyek yang memiliki nilai intensitas dibawah nilai *threshold* tidak akan terdeteksi.

Tahap ketiga adalah tahap interpretasi dan analisis data kolom air. Langkah pertama pada tahap ini adalah mencari LIM. LIM adalah intensitas gelombang akustik yang memiliki nilai paling tinggi dalam sebuah daerah pencarian di dalam data kolom air[6]. Pencarian LIM ini bertujuan untuk memastikan obyek yang ada pada citra kolom air bukan merupakan *noise*. Langkah kedua adalah memeriksa *beam pattern*. *Beam pattern* adalah pola gelombang akustik yang

diterima oleh *receiver* pada *multibeam echosounder*. Pada tahap ini kita perlu menyesuaikan *beam pattern* yang terdapat pada obyek dengan replika *beam pattern* yang dianggap ideal pada program *Swathed*. Tujuan dari memeriksa *beam pattern* ini sama dengan mencari LIM, yaitu untuk memastikan obyek yang ada pada citra kolom air bukan merupakan *noise*. Setelah menemukan gelembung emisi gas dasar laut di kolom air, langkah selanjutnya adalah menganalisis gelembung tersebut. Dari data kolom air yang telah diinterpretasi, kita dapat menganalisis posisi, titik kedalaman sumber gelembung, dan tinggi dari gelembung yang keluar dari dasar laut.



Gambar 2. DTM (*Digital Terrain Model*) Permukaan Dasar Laut Area Penelitian

Tahap keempat adalah pengolahan data batimetri. Pada tahap ini dilakukan *gridding* dan *cleaning* pada data batimetri dari *multibeam echosounder*. *Spike* dan *noise* yang ada pada data batimetri harus dihilangkan untuk menghasilkan DTM (*Digital Terrain Model*) permukaan dasar laut yang baik.

Tahap kelima adalah *plotting* sumber gelembung emisi gas dasar laut. Setelah didapatkannya DTM dari pengolahan batimetri dan koordinat sumber gelembung emisi gas dasar laut dari pengolahan data kolom air, langkah selanjutnya adalah melakukan *plotting* untuk meletakkan titik sumber gelembung emisi gas dasar laut di peta untuk memberikan informasi spasial dari sumber gelembung tersebut. Hasil dari tahap ini adalah sebuah peta yang menampilkan persebaran titik lokasi sumber gelembung emisi gas dasar laut.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Ekstraksi Data Kolom Air

Data batimetri (.all) dan data kolom air (.wcd) perlu diolah terlebih dahulu sebelum dapat diolah menggunakan *Swathed*. Proses pengolahan data ini disebut *unraveling*. Data batimetri dan kolom air yang berasal dari *multibeam echosounder* perlu digabung kedalam satu *folder*. Beri nama *folder* tempat menyimpan data batimetri dan data kolom air tersebut dengan nama “raw”.

Unravel ini adalah sebuah *script* yang digunakan untuk mengekstrak data batimetri dan data kolom air tersebut. *Script* ini akan membuat tiga folder tambahan tempat dimana hasil ekstraksi data batimetri dan data kolom air itu disimpan, ketiga folder tersebut adalah *merged*, *ss*, dan *decnav*. Data batimetri dengan format (.merged) dan data kolom air dengan format (.wc) yang akan digunakan selanjutnya berada di dalam *folder merged*. Selanjutnya data dengan format (.merged) dan (.wc) tersebut dapat diolah menggunakan *Swathed*.

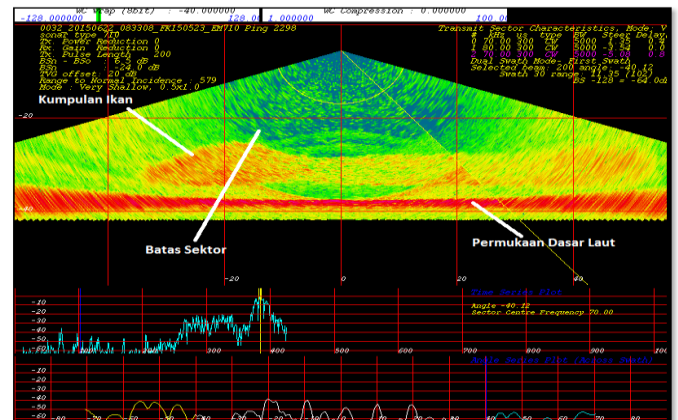
B. Visualisasi Data Kolom Air

Setelah melakukan *unravel*, kita dapat melihat data batimetri (.merged) dan data kolom air (.wc) dengan cara mengetik perintah pada terminal yang terdapat di Ubuntu. Dengan cara mengetik “*Swathed*” pada terminal berarti kita bermaksud menjalankan program tersebut, diikuti dengan lokasi tempat data batimetri dan data kolom air disimpan “*merged/JD162/0063...merged*”.

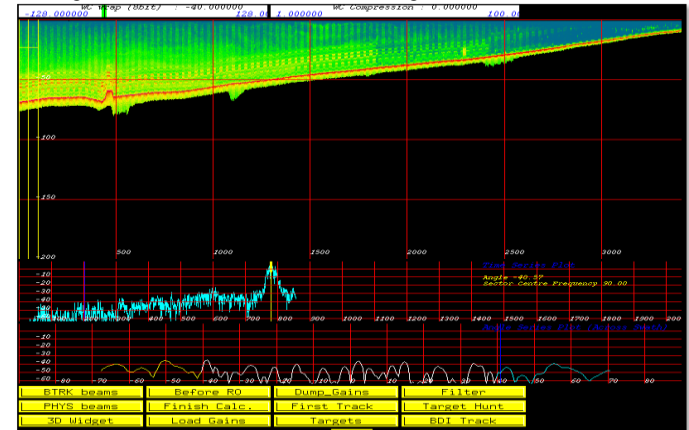
```
0063_20150610_201412_FK150523_EM302.sv_tdcr
0063_20150610_201412_FK150523_EM302.tgt
0063_20150610_201412_FK150523_EM302.vert_prof
0063_20150610_201412_FK150523_EM302.watercol
anwar-Vostro-3350 anwar 511 % swathed merged/JD162/0063_20150610_201412_FK150523_EM302.merged
```

Gambar 3. Perintah Untuk Membuka Data Batimetri Dan Data Kolom Air Pada Terminal Ubuntu.

Setelah memasukan perintah berikut maka akan muncul jendela kerja *Swathed*. Beberapa fungsi dari jendela kerja *Swathed* ini adalah untuk melihat data batimetri dan melakukan *cleaning* pada data batimetri. Untuk memunculkan visualisasi dari data kolom air, klik tombol “WC” yang terletak di barisan toolbar pada jendela kerja *Swathed*. Data kolom air selanjutnya dapat dilihat pada jendela *Water Column Analysis Toolkit*.



Gambar 4. Tampilan *Across Track* Pada *Water Column Analysis Toolkit* Yang Berfungsi Untuk Melihat Dan Menganalisis Data Kolom Air.



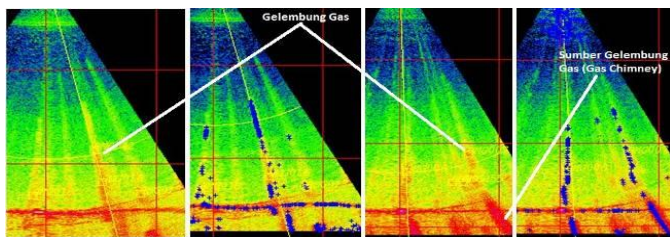
Gambar 5. Tampilan *Along Track* Pada *Water Column Analysis Toolkit*

Pada jendela *Water Column Analysis Toolkit* ini kita dapat mengamati obyek yang terdapat dikolom air serta menganalisis obyek tersebut dengan memperhatikan *beam pattern* dan intensitas pantulan gelombang akustik.

C. Interpretasi dan Analisis Data Kolom Air

Beberapa obyek terlihat di dalam data kolom air, salah satu obyek tersebut adalah gelembung gas. Setiap gelembung gas yang terdeteksi memiliki nilai intensitas pantulan gelombang akustik diatas nilai *threshold* yang ditentukan. Nilai *threshold* yang ditentukan sebesar 0 dB. Pada Gambar 6 terlihat gelembung gas yang terdeteksi ditandai dengan titik-titik berwarna biru. Titik-titik tersebut menandakan obyek tersebut memiliki intensitas pantulan gelombang akustik diatas nilai *threshold* yang telah ditentukan.

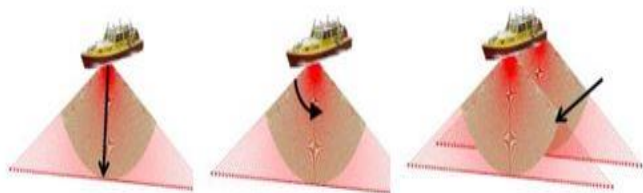
Pada Gambar 6 juga terlihat sumber gelembung gas (*gas chimney*) yang ada pada dasar perairan. Pada sumber gelembung gas tersebut terlihat memiliki intensitas pantulan gelombang akustik yang tinggi. Hal ini menandakan adanya perpindahan gas secara vertikal dari dalam dasar perairan ke permukaan dasar perairan. Adanya sumber gelembung gas dan gelembung gas di kolom air merupakan indikator adanya sumber gas yang aktif di dasar perairan tersebut[7].



Gambar 6. Gelembung Gas Yang Terdeteksi Pada Tampilan Across Track View

Setelah obyek yang merupakan gelembung gas tersebut ditemukan, kita perlu mencari LIM pada obyek tersebut dan memeriksa *beam pattern* pada obyek tersebut untuk memastikan obyek tersebut bukan *noise*. Pada Gambar 8 dapat dilihat gelembung gas tersebut menunjukkan adanya LIM dan memiliki *beam pattern* yang diharapkan. Adanya LIM ditandai dengan adanya *spike* tajam yang dapat dilihat pada ketiga grafik di Gambar 8. *Spike* tajam tersebut menandakan adanya perubahan nilai intensitas gelombang akustik yang signifikan pada obyek tersebut.

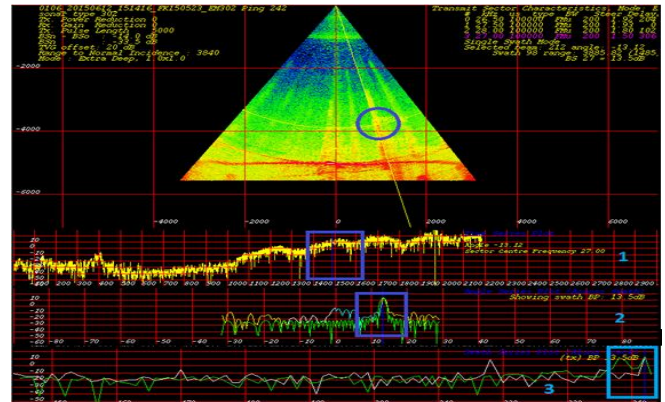
Time Series Plot adalah plot intensitas pantulan gelombang akustik terhadap *sample*, dari atas perairan hingga dasar perairan. Swath Series Plot adalah plot intensitas pantulan gelombang akustik terhadap *swath*. Sedangkan Angle Series Plot adalah plot intensitas pantulan gelombang terhadap sudut dari *beam* yang dipancarkan transduser *multibeam echosounder*.



Gambar 7. Arah Plot Time Series Plot (Kiri), Angle Series Plot Across Swath (Tengah), Dan Swath Series Plot (Kanan) [8].

Pada grafik Time Series Plot, grafik pertama, memperlihatkan adanya LIM yang ditandai dengan meningkatnya nilai intensitas pantulan gelombang akustik.

Pada grafik pertama tidak terlihat signifikan dikarenakan obyek tersebut sejajar dengan kursor pada *Swathed* sehingga perubahan nilai intensitasnya terlihat seperti bukit, bukan *spike*.



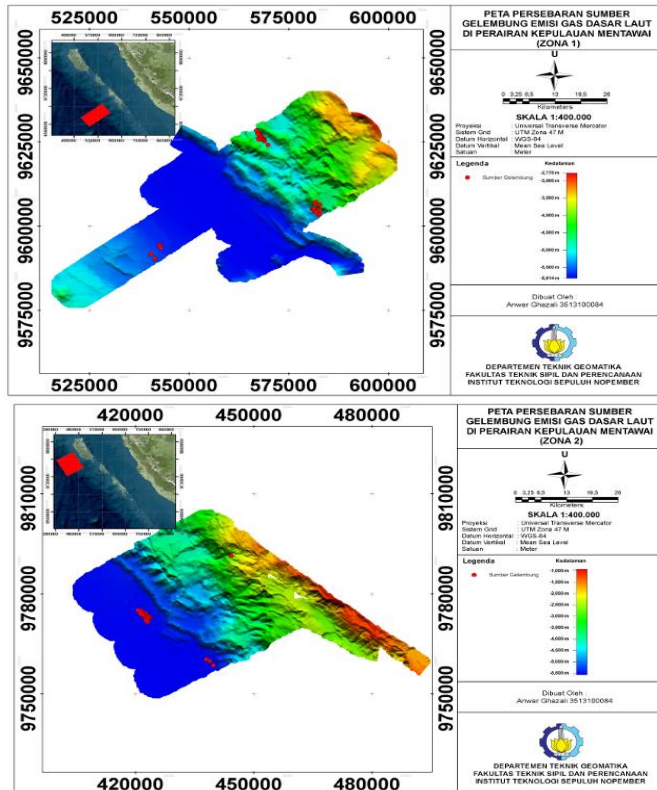
Gambar 8. Grafik Time Series Plot (1), Angle Series Plot (2), Dan Swath Series Plot Yang Menunjukkan Adanya LIM dan Kesesuaian Beam Pattern Pada Data Kolom Air

Pada grafik Angle Series Plot, grafik kedua, memperlihatkan adanya LIM ditandai dengan perubahan yang signifikan pada nilai intensitas pantulan gelombang akustik. Nilai intensitas yang dimiliki gelembung gas tersebut sebesar 13,5dB, sedangkan *noise* yang ada disekitarnya berada pada rentang -30dB sampai dengan -20dB. Hal ini menandakan gelembung gas tersebut memiliki perbedaan intensitas gelombang akustik sebesar 30dB sampai dengan 40dB dengan *noise* yang ada di sekitarnya, sehingga bisa disimpulkan dari grafik kedua bahwa obyek tersebut bukan *noise*. *Beam pattern* yang terdapat pada grafik kedua juga memperlihatkan adanya kesesuaian dengan replika *beam pattern* yang dianggap sesuai. Replika *beam pattern* (garis hijau) hampir saling berhimpit dengan *beam pattern* yang ada pada kolom kedua, sehingga dapat disimpulkan bahwa LIM yang ditemukan pada grafik kedua bukan merupakan *noise* karena memiliki kesesuaian dengan replika *beam pattern* yang dianggap sesuai.

Pada grafik Swath Series Plot, grafik ketiga, memperlihatkan adanya LIM. Dapat dilihat nilai intensitas pantulan gelombang akustik yang terdapat pada *swath* dimana gelembung gas ditemukan memiliki perbedaan yang signifikan dengan nilai intensitas pantulan gelombang akustik yang ada pada *swath* sebelumnya. Perbedaan nilai intensitas pantulan gelombang akustik antara *swath* tempat gelembung gas berada dengan *swath* sebelumnya sekitar 20dB. Dilihat dari *beam pattern* yang ada pada grafik ketiga, terdapat kesesuaian antara *beam pattern* yang dimiliki obyek dengan replika *beam pattern* yang dianggap sesuai. Hal ini dapat dilihat saling berhimpitnya *beam pattern* yang dimiliki obyek dengan replika *beam pattern* yang dianggap sesuai.

Dari ketiga grafik intensitas pantulan gelombang diatas, dapat disimpulkan bahwa obyek yang terlihat di kolom air tersebut bukanlah sebuah *noise*, melainkan gelembung gas yang muncul dari dasar perairan. Dapat dilihat pada Gambar 8 tersebut, sumber gelembung gas berada pada kedalaman sekitar 4965 meter dari permukaan laut dan memancarkan gelembung gas setinggi 2242 meter dari sumber gelembungnya.

Terdapat 82 sumber gelembung emisi gas dasar laut di area penelitian. Titik-titik tersebut kemudian di *plot* dan disatukan dengan DTM yang telah diolah. Pada Gambar 9 dapat dilihat persebaran lokasi sumber gelembung emisi gas dasar laut di perairan Kepulauan Mentawai terpusat di beberapa area. Terdapat 6 area dimana titik sumber gelembung emisi gas dasar laut tersebut berkumpul.



Gambar 9. Peta Persebaran Sumber Gelembung Emisi Gas Dasar Laut Di Perairan Kepulauan Mentawai

Pada Zona 1 terdapat 49 sumber gelembung emisi gas dasar laut yang terpusat di 3 area. Di Area 1 terdapat 13 sumber gelembung emisi gas dasar laut pada rentang kedalaman 4750-5150 m. Terdapat 6 sumber gelembung di Area 2 pada rentang kedalaman 5550-5670 m. Sementara pada Area 3 terdapat 30 sumber gas pada rentang kedalaman 4940-5040 m.

Pada Zona 2 terdapat 33 sumber gelembung emisi gas dasar laut yang terpusat di 3 area. Di Area 4 terdapat 4 sumber gelembung pada rentang kedalaman 5540-5565 m. Terdapat 27 sumber gelembung pada Area 5 pada rentang kedalaman 5510-5600 m. Sementara pada Area 6 terdapat 2 sumber gelembung gas pada rentang kedalaman 2860-2895 m.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun hal-hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Ekstraksi data kolom air dapat dilakukan dengan menggunakan program *Swathed*. Hasil ekstraksi dari data mentah *multibeam echosounder* berupa data kolom air (.wc) dan data batimetri (.merged).
- 2) Hasil visualisasi dari pengolahan data kolom air ini berupa citra kolom air yang memiliki nilai intensitas

pantulan gelombang akustik. Dari perbedaan nilai intensitas pantulan gelombang akustik kita dapat mengamati objek yang ada di kolom air.

- 3) Hasil dari interpretasi dan analisis data kolom air ini adalah ditemukannya 82 titik sumber gelembung emisi gas dasar laut. Sumber gelembung gas ini terpusat di 6 area yang ada di wilayah perairan Kepulauan Mentawai, Indonesia. Informasi spasial dari sumber gelembung emisi gas dasar laut dapat dilihat di peta dan tabel pada lampiran.

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Ikan yang terdeteksi pada citra kolom air memiliki nilai intensitas gelombang akustik yang hampir sama dengan gelembung gas. Perbedaan antara gelembung gas dan ikan pada kolom air terlihat dari pola pergerakannya di kolom air. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar pola pergerakan gelembung gas diamati lebih lanjut lagi.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan data seismik dan/atau data *sub bottom profiler* untuk melihat volume dan lokasi gas yang ada di bawah permukaan dasar laut.
3. Pemilihan lokasi penelitian berperan penting dalam menemukan gelembung emisi gas dasar laut. Gelembung gas biasa ditemukan di sekitar *pockmark*, *sand dome*, atau gunung api di dalam laut. Analisis mengenai fitur dasar laut di sekitar titik sumber gelembung gas perlu diamati lebih lanjut untuk mengetahui hubungan antara fitur dasar laut dengan lokasi ditemukannya gelembung gas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) yang telah menyediakan data *multibeam echosounder* dan disebarikan secara publik melalui www.ngdc.noaa.gov untuk digunakan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. for C. and O. M. J. H. Center, "Water Column Mapping," 2016. [Online]. Available: http://ccom.unh.edu/sites/default/files/research_one_pagers/water-column-mapping.pdf.
- [2] T. C. Weber *et al.*, "Mapping Gas Seeps with the Deepwater Multibeam Echosounder on Okeanos Explorer," *Oceanography*, vol. 25, no. 1, Supplement, pp. 54–55, 2012.
- [3] R. Sheriff and L. Geldart, *Exploration Seismology*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [4] G. Etiope, *Natural Gas Seepage*. Cham: Springer International Publishing, 2015.
- [5] N. R. C. (U.S.), *Continental margins : geological and geophysical research needs and problems*. National Academy of Sciences, 1979.
- [6] C. Rubrio Marques and J. E. Hughes Clarke, "Automatic Mid-Water Target Tracking using Multibeam Water Column," *Can. Hydrogr. Conf. 2012*, no. May, pp. 1–15, 2012.
- [7] Y. K. Jin, Y. G. Kim, B. Baranov, H. Shoji, and A. Obzhirov, "Distribution and expression of gas seeps in a gas hydrate province of the northeastern Sakhalin continental slope, Sea of Okhotsk," *Mar. Pet. Geol.*, vol. 28, no. 10, pp. 1844–1855, 2011.
- [8] C. Rubrio Videira Marques, "Automatic Mid-Water Target

Tracking using Multibeam Water Column,” Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 2012.

Tabel 1.

Informasi Gelembung Emisi Gas Dasar Laut Zona I

NO	NAMA OBJEK	LATITUDE	LONGITUDE	KEDALAMAN (m)	TINGGI GELEMBUNG GAS (m)
1	GAS 1	-3.573401	99.727801	5145,032715	1357,289
2	GAS 2	-3.578748	99.733726	5133,371094	1175,78
3	GAS 3	-3.576556	99.73289	5128,018066	1453,507
4	GAS 4	-3.588924	99.742203	5222,939941	1756,02
5	GAS 5	-3.571179	99.729844	5037,411621	891,099
6	GAS 6	-3.579114	99.735552	5180,023438	1297,92
7	GAS 7	-3.571237	99.731859	5063,651367	1011,7
8	GAS 8	-3.585181	99.744893	5131,461426	1098,382
9	GAS 9	-3.575061	99.744632	4872,333496	1688,493
10	GAS 10	-3.555993	99.733405	4643,224121	1383,897
11	GAS 11	-3.561191	99.742706	4700,294922	799,319
12	GAS 12	-3.552895	99.736278	4586,682617	704,579
13	GAS 13	-3.560142	99.745454	4755,046387	816,327
14	GAS 14	-3.668975	99.382789	5666,949219	1575,57
15	GAS 15	-3.671614	99.383492	5644,610352	2190,056
16	GAS 16	-3.677423	99.385676	5688,387207	811,59
17	GAS 17	-3.706118	99.372749	5558,015137	3177,832
18	GAS 18	-3.705277	99.371618	5560,632324	2988,739
19	GAS 19	-3.692892	99.36317	5580,896973	1262,321
20	GAS 20	-3.384445	99.618541	5031,668457	690,555
21	GAS 21	-3.37308	99.611058	5021,879883	793,808
22	GAS 22	-3.380675	99.615716	5025,009277	345,354
23	GAS 23	-3.399794	99.62791	5009,603027	988,508
24	GAS 24	-3.386114	99.61896	5041,189453	1132,99
25	GAS 25	-3.370183	99.608539	5026,26123	722,926
26	GAS 26	-3.377757	99.613175	5006,157715	759,269
27	GAS 27	-3.383509	99.61693	5004,074219	926,531
28	GAS 28	-3.388673	99.620301	4966,163086	832,171
29	GAS 29	-3.361002	99.602238	4945,527344	1488,912
30	GAS 30	-3.38305	99.616293	5003,587891	3202,78
31	GAS 31	-3.373	99.609855	4966,585449	1133,65
32	GAS 32	-3.381432	99.614928	4985,880859	738,992
33	GAS 33	-3.386932	99.618481	5004,78125	814,342
34	GAS 34	-3.37164	99.608603	4986,71875	1040,886
35	GAS 35	-3.390401	99.620172	4967,196777	682,676
36	GAS 36	-3.384486	99.61628	4967,781738	513,918
37	GAS 37	-3.36844	99.605724	4967,637695	965,358
38	GAS 38	-3.372331	99.608015	4947,900879	343,508
39	GAS 39	-3.367855	99.604661	4946,875488	1810,132
40	GAS 40	-3.374672	99.608816	4965,788574	2242,997
41	GAS 41	-3.385147	99.615747	4985,871582	1755,048
42	GAS 42	-3.382765	99.61318	4942,086426	2339,509
43	GAS 43	-3.369722	99.604537	4943,772949	991,546
44	GAS 44	-3.381642	99.612104	4998,706055	2031,359
45	GAS 45	-3.379508	99.610399	4983,93457	1797,725
46	GAS 46	-3.379804	99.61027	4980,222656	1009,758
47	GAS 47	-3.384728	99.609011	4962,690918	1539,38
48	GAS 48	-3.382975	99.60649	5015,65918	1118,149
49	GAS 49	-3.386276	99.607799	4980,699219	864,326