



Pemetaan *Free Span* Menggunakan *Multibeam Echosounder*, *Side Scan Sonar*, *Sub Bottom Profiler*, dan *Magnetometer* di Wilayah Perairan Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu

(*Mapping of Free Span Using Multibeam Echosounder, Side Scan Sonar, Sub-Bottom Profiler, and Magnetometer in the Water Region of Pabelokan Island, Seribu Island*)

Anggita Citra Mahardika¹, Salsabila Mustopa¹, Bandi Sasmito², Kukuh Suryo Widodo³

¹ Mahasiswa Departemen Teknik Geodesi FT-Undip, Indonesia

² Dosen Departemen Teknik Geodesi FT-Undip, Indonesia

³ Pusat Hidro-Oseanografi Angkatan Laut TNI AL

Penulis Korespondensi: Salsabila Mustopa | **Email:** Salsabilamust@gmail.com

Diterima (*Received*): 06/Sep/2024 Direvisi (*Revised*): 20/Oct/2025 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 26/Oct/2025

ABSTRAK

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan posisi strategis, memiliki potensi besar dalam industri minyak dan gas bumi. Pemeriksaan rutin pipa bawah laut penting untuk menjaga keandalan infrastruktur transportasi minyak dan gas serta mengidentifikasi masalah seperti *free span*. Penelitian ini memetakan dan menganalisis kondisi *free span* pipa bawah laut di perairan Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu, menggunakan teknologi *Multibeam Echosounder* (MBES), *Side Scan Sonar* (SSS), *Sub Bottom Profiler* (SBP), dan *Magnetometer*. Hasil studi menunjukkan MBES efektif memetakan batimetri dan topografi dasar laut, dengan kedalaman antara -7,4 hingga -34 meter. Analisis kemiringan menunjukkan variasi dari 0,001% hingga 96,936% dengan kemiringan ekstrim berada di dekat pesisir. Analisis sedimen dengan SSS menunjukkan dominasi sedimen lunak seluas 1.932.065 m², meningkatkan kerentanan pipa terhadap *free span*. SBP dan *Magnetometer* mengonfirmasi keberadaan pipa secara baik dengan contactnya yang linear pada pipa. Dari tiga pipa yang diteliti, ditemukan 4 titik *free span*, dengan *free span* terpanjang 84,65 meter dan tinggi maksimal 5,15 meter pada FS-01. Pipa 1 berisiko tinggi, dengan 27,45% mengalami *free span* dari total panjang pipa 420 meter dan pipa 3 sebagai pipa yang paling aman dengan tidak ditemukannya *free span*. Studi ini menekankan pentingnya pemantauan rutin untuk menjaga keamanan distribusi minyak dan gas serta melindungi lingkungan laut.

Kata Kunci: *Multibeam Echosounder*, *Side Scan Sonar*, *Sub Bottom Profiler*, *Magnetometer*, *Free Span*, *Slope*, Sedimen, Pipa Bawah Laut.

ABSTRACT

Indonesia, as an archipelagic country with a strategic position, has great potential in the oil and gas industry. Routine inspection of underwater pipelines is crucial to maintaining the reliability of oil and gas transport infrastructure and identifying issues such as *free spans*. This study maps and analyzes the *free span* conditions of underwater pipelines in the waters of Pabelokan Island, Kepulauan Seribu, using technologies such as *Multibeam Echosounder* (MBES), *Side Scan Sonar* (SSS), *Sub Bottom Profiler* (SBP), and *Magnetometer*. The results show that MBES is effective in mapping bathymetry and seabed topography, with depths ranging from -7.4 to -34 meters. Slope analysis shows variations from 0.001% to 96.936%, with extreme slopes near the shore. Sediment analysis using SSS indicates a dominance of soft sediment covering an area of 1,932,065 m², increasing the pipeline's vulnerability to *free spans*. SBP and *Magnetometer* effectively confirm the presence of pipelines with linear contact along the pipeline. Among the three pipelines studied, 4 *free span* points were found, with the longest *free span* being 84.65 meters and the maximum height reaching 5.15 meters at FS-01. Pipeline 1 is at high risk, with 27.45% experiencing *free spans* out of a total length of 420 meters, while Pipeline 3 is the safest, with no *free spans* detected. This study emphasizes the importance of regular monitoring to ensure the safety of oil and gas distribution and to protect the marine environment.

Keywords: *Multibeam Echosounder*, *Side Scan Sonar*, *Sub Bottom Profiler*, *Magnetometer*, *Free Span*, *Slope*, Sediment, Submarine Pipeline.

© Author(s) 2025. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), memiliki luas wilayah perairan mencapai 6.315.222 km², yang mencakup sekitar dua pertiga dari total luas kedaulatannya. Terletak di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia, Indonesia memiliki garis pantai yang panjang, memberikan nilai strategis besar bagi sektor maritim dan kelautan. Selain itu, Indonesia berperan penting dalam jalur *Sea Lines of Trade* (SLOT) internasional, yang menghubungkan Asia, Australia, dan Eropa. Keunggulan geografis ini menjadikan Indonesia sebagai pusat pertumbuhan ekonomi di kawasan Asia Pasifik dengan potensi sumber daya laut yang melimpah.

Pulau Pabelokan, bagian dari Kepulauan Seribu, memiliki peran strategis dalam sektor energi, khususnya minyak dan gas. Aktivitas ekonomi di sekitar pulau ini didukung oleh keberadaan *platform* minyak yang penting bagi pasokan energi nasional. Distribusi minyak dari platform-platform ini sangat bergantung pada sistem transportasi yang efisien dan aman, seperti penggunaan pipa bawah laut. Meskipun efisien, operasional pipa adalah risiko terjadinya *free span*.

Free span adalah kondisi di mana pipa bawah laut terbentang bebas tanpa penyangga dari dasar laut, sering kali disebabkan oleh ketidakrataan dasar laut atau fenomena *scouring*, yaitu pengikisan material dasar laut. Kondisi ini menyebabkan pipa menggantung tanpa dukungan yang memadai, menjadikannya rentan terhadap kerusakan akibat tegangan berlebih dan beban dinamis seperti arus laut. Apabila *free span* tidak ditangani, pipa dapat mengalami kegagalan kelelahan (*fatigue failure*), yang dapat mengakibatkan kebocoran atau patahan, berpotensi menyebabkan kerusakan lingkungan laut dan gangguan distribusi minyak yang serius (PERKASA, 2017).

Menurut standar internasional Det Norske Veritas DNV-RP-F105, *free span* pada pipa bawah laut harus dikelola dengan cermat untuk mencegah kegagalan struktural. Oleh karena itu, pemantauan rutin dan identifikasi dini terhadap *free span* sangat penting untuk menjaga integritas struktural pipa serta memastikan keamanan operasional dan perlindungan lingkungan laut.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi dan memetakan *free span* dengan menggunakan teknologi canggih seperti *Multibeam Echosounder* (MBES), *Side Scan Sonar* (SSS), *Sub Bottom Profiler* (SBP), dan *Magnetometer*. Teknologi ini memungkinkan pemetaan dasar laut dengan akurasi tinggi dan deteksi potensi *free span*, sehingga dapat diambil langkah-langkah pencegahan yang tepat dan efektif. Selain itu, penelitian ini akan menilai kemiringan dasar laut dan klasifikasi sedimen di sekitar pipa bawah laut, faktor-faktor yang berperan penting dalam terjadinya *free span*. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai kondisi pipa bawah laut di perairan Pulau Pabelokan, serta mendukung pengambilan

keputusan yang lebih baik dalam manajemen risiko dan perlindungan lingkungan laut di Indonesia.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Fokus penelitian ditujukan pada perairan di sekitar Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu, dengan koordinat 106°23'33.6804'' E - 5°28'44.166'' S.

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari instansi PUSHIDROSAL (Pusat Hidrografi dan Oseanografi Angkatan Laut) berupa:

- Raw data Multibeam Echosounder*
- Sound velocity Multibeam Echosounder*
- Data pasang surut air laut setempat
- Vessel configuration / patch test*
- Raw data Side Scan Sonar*
- Raw data Sub Bottom Profiler*
- Raw data Magnetometer*
- Data uji laboratorium sampel sedimen

2.2. Metodologi

2.2.1. Persiapan

Tahap persiapan dimulai dengan melakukan kajian literatur dan memperdalam pemahaman tentang teori yang akan menjadi dasar dalam penelitian ini, serta meninjau penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian yang akan dilakukan. Setelah itu, pengumpulan data dilakukan dari instansi-instansi terkait.

2.2.2. Pengolahan Multibeam Echosounder

Tahap pengolahan data Multibeam Echosounder (MBES) dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CARIS HIPS and SIPS, yang diawali dengan pembuatan *base surface* untuk mengamati kondisi topografi daerah penelitian. Untuk memastikan kelayakan data MBES, dilakukan uji akurasi sesuai dengan standar IHO S-44. Selain itu, pengolahan data MBES juga melibatkan pengolahan *Sound Velocity Profiler* (SVP) dan data pasang surut untuk meningkatkan akurasi hasil survei. Dari hasil analisis topografi tersebut, dilakukan ekstraksi kelerengan menggunakan *software* ArcGIS, sehingga didapatkan klasifikasi kelerengan dari topografi dasar laut. Langkah pengklasifikasian kelerengan ini bertujuan untuk mendeteksi nilai kemiringan dasar laut, yang selanjutnya dapat digunakan untuk menganalisis potensi pembentukan *free span* pada pipa di daerah penelitian.

2.2.3. Pengolahan Side Scan Sonar

Pengolahan data *Side Scan Sonar* menggunakan *software* SONARWIZ dimulai dengan koreksi geometrik (*bottom tracking, slant range*) dan radiometrik (BAC, AGC, TVG, EGN) untuk mendapatkan informasi *free span* dan fitur dasar laut. Setelah koreksi, kualitas data diuji secara visual. SONARWIZ juga digunakan untuk digitasi pipa dan identifikasi *free span* dengan mengamati bayangan pada

citra *Side Scan Sonar*, yang membantu menentukan posisi dan karakteristik dasar laut. Setelah itu, citra diklasifikasikan berdasarkan intensitas hamburannya menggunakan fitur *classification* pada SONARWIZ.

2.2.4 Pengolahan *Sub Bottom Profiler*

Tahap pengolahan data *Sub Bottom Profiler* menggunakan software SONARWIZ bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai distribusi spasial berbagai lapisan batuan dasar laut serta posisi pipa bawah laut. Proses ini dimulai dengan koreksi geometrik melalui teknik *bottom tracking* untuk memastikan akurasi data. Selanjutnya, dilakukan koreksi radiometrik, seperti *Time Varying Gain*, untuk memperjelas visualisasi objek pada citra *Sub Bottom Profiler*, sehingga lebih mudah didefinisikan. Digitasi objek, yang diasumsikan sebagai pipa bawah laut, dilakukan menggunakan fitur *Capture Contact*, yang menghasilkan informasi berupa koordinat objek atau target, yaitu *easting* dan *northing*.

2.2.5 Pengolahan *Magnetometer*

Tahap pengolahan data *Magnetometer* dilakukan dengan menggunakan software OASIS MONTAJ. Data magnet yang telah didapatkan akan melewati proses *filtering noise* dan interpolasi terlebih dahulu yang selanjutnya dilakukan koreksi IGRF yang nilainya didapatkan dari web BMKG, dilanjutkan dengan *smoothing B-Spline* dan *polynomial* dimana *smoothing B-Spline* ini guna mendapatkan nilai *trend* dari data magnet yang digunakan untuk memisahkan anomali regional dan residual pada tahap *polynomial*. Setelah mendapat data anomali regional maka dapat dilakukan filter *analytic signal* dan target pipa.

2.2.6 Analisis dan Validasi Data

Analisis dan validasi data dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi yang relevan sesuai tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi keberadaan *free span* pada pipa di perairan sekitar Pulau Pabelokan, Laut Jawa. Setelah pengolahan data, dilakukan analisis deskriptif kuantitatif untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai permasalahan, dengan memverifikasi keakuratan data dari MBES, SSS, SBP, dan Magnetometer agar sesuai dengan batas toleransi yang telah ditetapkan. Uji Wilcoxon digunakan untuk memvalidasi data posisi pipa, menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara data dari *Multibeam Echosounder* dan *Side Scan Sonar*, berdasarkan hasil uji normalitas yang menunjukkan distribusi data tidak normal. Selain itu, data dari *Sub-Bottom Profiler* dan *Magnetometer* dianalisis secara spasial untuk memvalidasi keberadaan pipa di area penelitian melalui deteksi kontak yang ditemukan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Kalibrasi Data MBES

Kalibrasi kedalaman dalam pengolahan data *Multibeam Echosounder* sangat penting untuk memastikan akurasi batimetri, meliputi koreksi pasang surut, penyesuaian kecepatan suara, dan *patch test*. Koreksi pasang surut memperhitungkan perubahan permukaan air laut, sedangkan penyesuaian kecepatan suara mengoreksi variasi propagasi gelombang suara akibat salinitas, suhu, dan tekanan. *Patch test* digunakan untuk mengidentifikasi dan mengoreksi kesalahan orientasi sensor dalam hal *roll*, *pitch*, dan *yaw*, yang mempengaruhi ketelitian pengukuran. Nilai *roll*, *pitch*, dan *yaw* diperoleh dari survei di jalur khusus untuk mengoreksi kesalahan terkait sumbu X, Y, dan Z, memastikan transduser terpasang dengan tepat. Tabel 1 menunjukkan hasil nilai *patch test* di daerah penelitian.

Tabel 1 Nilai *Patch Test*

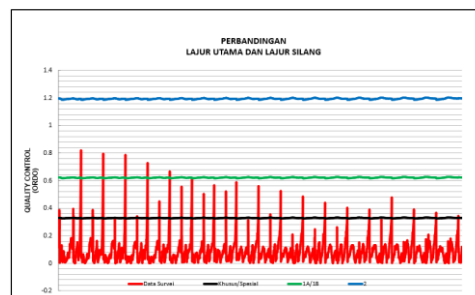
Error Observed	C-O
Roll	0.11
Pitch	2.9°
yaw	-3.13°
Latency	0.00 m/s

3.2 Uji Ketelitian Kedalaman

Pengujian dilakukan dengan membandingkan kedalaman yang diukur menggunakan *Multibeam Echosounder* pada lajur utama dan lajur silang. Dari 3.294 sampel data yang diuji, 97,3% memenuhi standar ketelitian untuk orde khusus, kategori akurasi tertinggi, 2,3% masuk dalam kategori orde 1A/B yang cocok untuk survei perairan umum, dan 0,33% termasuk orde 2 yang sesuai untuk survei dengan persyaratan akurasi lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar data batimetri memenuhi standar akurasi tinggi IHO S-44, dengan distribusi nilai kedalaman ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Uji Kedalaman

Total Data	Prosentase ORDO			Tidak Masuk	Total Prosentase
	Khusus / Spesial	1A/1B	2		
3294	97.3%	2.3%	0.33%	0.0%	100%

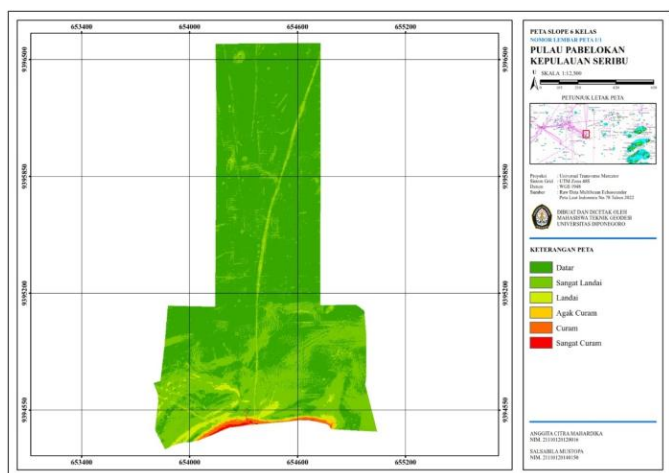


Gambar 1 Grafik Uji Ketelitian Kedalaman

Grafik Uji Ketelitian Kedalaman ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan hasil perbandingan kedalaman antara jalur utama dan jalur silang. Grafik ini memperlihatkan bahwa sebagian besar data memenuhi standar orde khusus IHO S-44, yang berarti akurasi pengukuran kedalaman tergolong sangat baik.

3.3 Peta Batimetri

Gambar 2. menunjukkan peta batimetri dengan rentang kedalaman dari -7,4 meter di daerah terdangkal sekitar pesisir Pulau Pabelokan hingga -34 meter di titik terdalam di barat daya pulau, menunjukkan variasi topografi dasar laut. Gambar 3 memberikan visualisasi 3D untuk memperjelas topografi. Peta ini juga mengidentifikasi tiga jalur pipa bawah laut, memungkinkan analisis *free span*, yaitu segmen pipa yang tidak bersentuhan dengan dasar laut, yang dapat mempengaruhi stabilitas pipa. Pemetaan ini memberikan representasi lebih akurat dari posisi dan karakteristik pipa dibandingkan dengan citra *Side Scan Sonar*, sehingga penting untuk kajian operasional dan pemeliharaan infrastruktur bawah laut di wilayah tersebut.

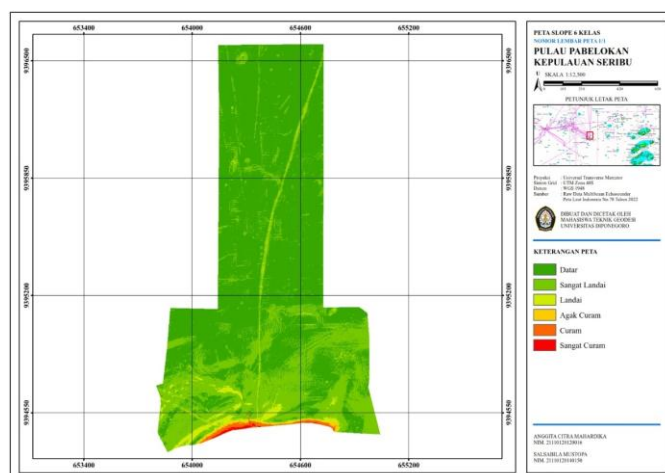


Gambar 2 Peta Batimetri 2D

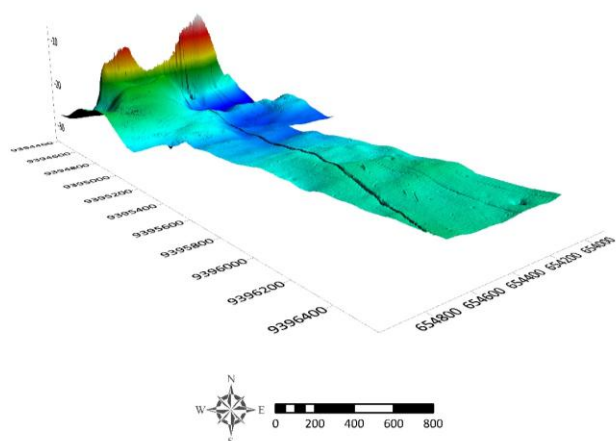
Peta Peta Batimetri 2D juga mengidentifikasi tiga jalur pipa bawah laut, memungkinkan analisis *free span*, yaitu segmen pipa yang tidak bersentuhan dengan dasar laut, yang dapat mempengaruhi stabilitas pipa. Pemetaan ini memberikan representasi lebih akurat dari posisi dan karakteristik pipa dibandingkan dengan citra *Side Scan Sonar*, sehingga penting untuk kajian operasional dan pemeliharaan infrastruktur bawah laut di wilayah tersebut, seperti yang diperjelas oleh visualisasi 3D pada Gambar 3.

3.4 Klasifikasi Slope

Analisis ini menunjukkan kemiringan berkisar dari 0,001% hingga 96,936%, dengan kemiringan terbesar di pesisir dekat Pulau Pabelokan, ditandai warna merah, serta dugaan objek dasar laut berupa pipa pada kedalaman lebih dari 20 meter. Pipa ini terdeteksi oleh *Multibeam Echosounder* dan diklasifikasikan sebagai kemiringan. Gambar 4 memperlihatkan klasifikasi *slope* yang terbagi dalam enam kelas, dengan mayoritas area memiliki kemiringan rendah (0-13%) dan beberapa area mencapai kemiringan tinggi hingga 96,936%.



Gambar 4 Klasifikasi Slope 6 Kelas



Gambar 3 Peta Batimetri 3D

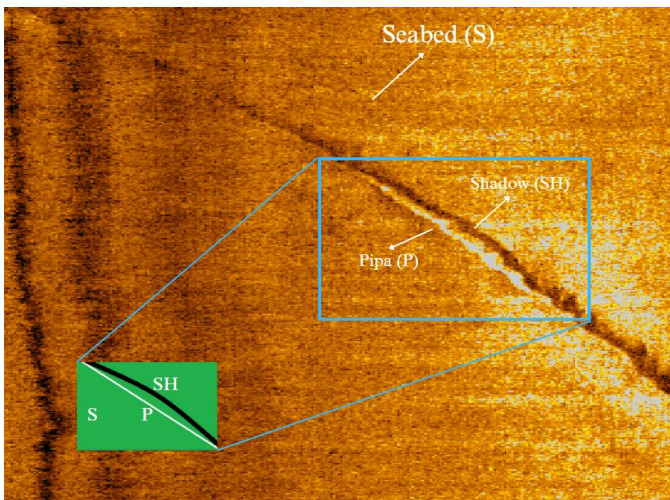
Tabel 3 menunjukkan luas area berdasarkan kelas *slope*, di mana kelas datar paling luas (1.080.579.570 m²) dan kelas sangat curam paling kecil (3.711.448 m²).

Tabel 3 Luas Klasifikasi Slope

Slope	Klasifikasi	Luas (m2)
0-2%	Datar	1080579.570
2-7%	Sangat Landai	426634.675
7-13%	Landai	39767.553
13-20%	Agak Curam	7057.989
20-55%	Curam	11632.139
>55%	Sangat Curam	3711.448

3.5 Identifikasi *Free Span* dari Pengolahan *Side Scan Sonar*

Hasil pengolahan data *Side Scan Sonar* (SSS) menunjukkan digitasi area *free span*, yaitu posisi pipa bawah laut yang tidak tertopang oleh dasar laut. Digitasi ini didasarkan pada analisis visual citra akustik, di mana bayangan pipa yang mengalami *free span* tampak menjauhi obyeknya. Gambar 5 menunjukkan karakteristik bayangan pipa yang teridentifikasi sebagai *free span*, di mana pipa tampak menggantung di atas dasar laut tanpa dukungan substrat. Interpretasi visual citra *Side Scan Sonar* digunakan untuk menentukan *start span* dan *end span*, dengan bayangan yang mulai menjauhi pipa dianggap sebagai *start span* dan bayangan yang kembali mendekati pipa sebagai *end span*.



Gambar 5 Karakteristik *Free Span* Hasil Pengolahan

Pada area penelitian di sekitar Pulau Pabelokan, koordinat *free span* yang terdeteksi bervariasi dengan panjang tertentu dan terdistribusi pada beberapa titik sepanjang jalur pipa. Tabel 4 menunjukkan koordinat *free span* yang terdeteksi melalui citra *Side Scan Sonar* secara kualitatif.

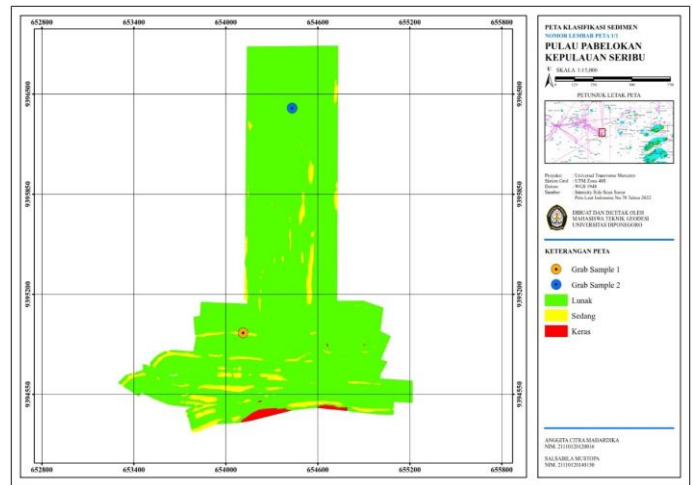
Tabel 4 Koordinat *Free Span* Datum WGS48 UTM Zona 48S

PIPA	SPAN ID	FREE SPAN					
		START SPAN		END SPAN		SPAN LENGTH	SPAN HEIGHT
		EASTING X	NORTHING Y	EASTING X	NORTHING Y		
1	FS-1	654197.385	9394444.838	654106.731	9394485.367	84.65	5.15
	FS-2	653929.467	9394580.105	653922.603	9394583.005	7.34	1.47
	FS-3	653860.241	9394610.261	653881.043	9394600.566	23.32	2.15
2	FS-4	643839.610	9394670.380	653899.660	9394649.960	63.87	1.66

3.6 Klasifikasi Fitur Dasar Laut

Citra sonar memproses pantulan akustik untuk mengklasifikasikan fitur dasar laut berdasarkan komposisi dan bentuk permukaannya, mengidentifikasi area berpasir, berlumpur, berbatu, serta anomali yang menunjukkan struktur buatan seperti pipa bawah laut. Analisis ini mengungkap keragaman bentuk dasar laut dan

dampaknya terhadap lingkungan bawah laut serta infrastruktur di area penelitian. Gambar 6 menampilkan visualisasi klasifikasi sedimen dasar laut dari citra *Side Scan Sonar*, yang membagi sedimen menjadi tiga kelas: lunak (1.932.065.054 m²), sedang (118.664.954 m²), dan keras (17.342.484 m²).



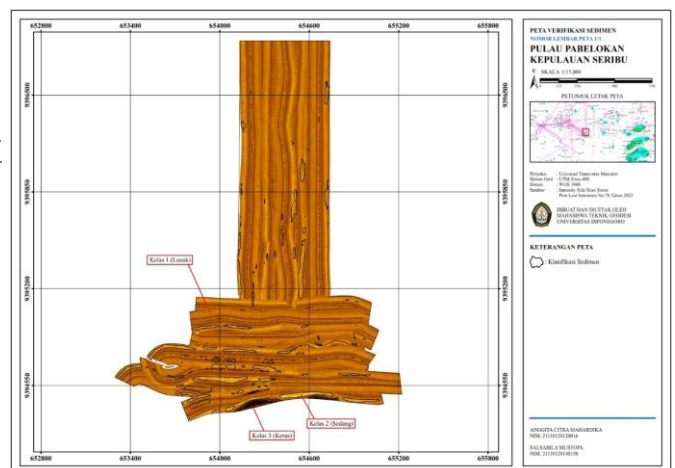
Gambar 6 Hasil Klasifikasi Sedimen SSS

Klasifikasi serta jumlah luasan masing masing tertera pada Tabel 5.

Tabel 5 Luas Klasifikasi Sedimen

Jenis Sedimen	Luas (m2)
Lunak	1932065.054
Sedang	118664.954
Keras	17342.484

3.7 Verifikasi dan Validasi Hasil Klasifikasi Sedimen



Gambar 7 Verifikasi Sedimen

Verifikasi dan validasi hasil klasifikasi jenis sedimen dilakukan dengan menggunakan citra *Side Scan Sonar* dan *grab sample* di area penelitian. Gambar 7 menampilkan hasil verifikasi yang menunjukkan bahwa klasifikasi sedimen sesuai dengan intensitas pada citra *Side Scan Sonar*. Area dengan intensitas warna hitam menandakan *seabed* yang keras seperti batu atau karang, rona warna lebih gelap menunjukkan adanya sedimen lunak seperti lumpur atau tanah liat, dan rona warna lebih terang mengindikasikan sedimen yang lebih kasar seperti pasir atau kerikil.

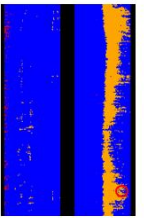
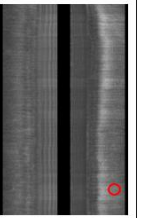
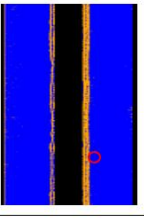

Hasil *grab sample* dari area penelitian diuji di laboratorium untuk menentukan persentase penyusun sedimen, yang kemudian diklasifikasikan ke dalam jenis sedimen tertentu. Hasil uji menunjukkan bahwa pada sample ST.01, pasir (*sand*) lebih dominan dibandingkan tipe sedimen lainnya, sementara pada *sample* ST.02, tanah liat (*clay*) paling dominan, diikuti oleh pasir. Berdasarkan hasil pada Tabel 6, dapat disimpulkan jenis sedimen dari setiap sample yang diambil.

Tabel 6 Jenis Sedimen Hasil Grab Sampler

No.	Sample Code	Sediment Weight Percentage				Sediment Type Name
		Gravel	Sand	Silt	Clay	
1	ST.1	0.72	59.11	17.96	22.21	Clayey Sand
2	ST.2	0.38	19.72	7.28	72.62	Sandy Clay

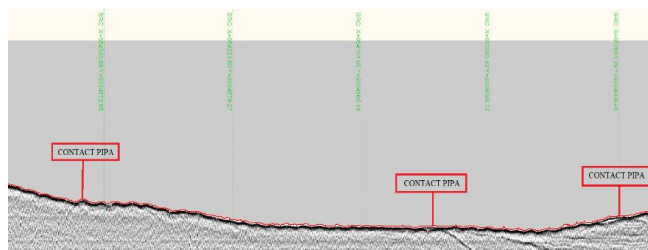
Tabel 7 membandingkan hasil validasi sedimen dari klasifikasi *Side Scan Sonar* dengan data *grab sample*. Hasil analisis menunjukkan kesesuaian antara kedua metode, di mana titik ST.01 memiliki nilai intensitas kelas 2 (sedang), sesuai dengan klasifikasi sedimen dari *grab sample*. Begitu pula, titik ST.02 menunjukkan intensitas kelas 1 (lunak), sejalan dengan hasil uji sedimen *grab sample* ST.02.

Tabel 7 Perbandingan Validasi *Intensity* SSS

No	Intensity	Tekstur Seabed	SSS	Grab Sample
1.			Kelas 2 (Sedang)	Pasir tanah liat (Clayey Sand)
2.			Kelas 1 (Lunak)	Tanah liat berpasir (Sandy Clay)

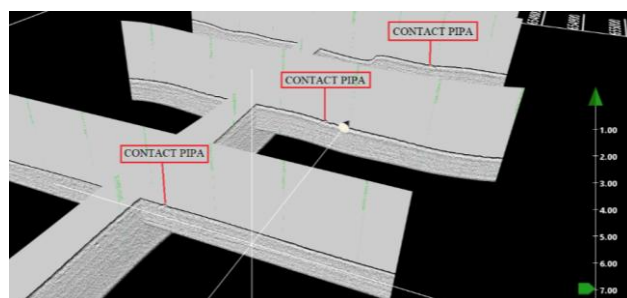
3.8 Contact Sub Bottom Profiler

Hasil analisis data *Sub Bottom Profiler* (SBP) mengonfirmasi keberadaan pipa di wilayah penelitian dengan jelas, menampilkan struktur dasar laut secara detail. *Sub Bottom Profiler* dapat mendeteksi anomali reflektor yang menunjukkan keberadaan pipa, memetakan posisinya di sepanjang dasar laut. Anomali ini terlihat sebagai *pola parabolic* yang menandakan adanya pipa pada *seabed*, terlihat pada Gambar 8.

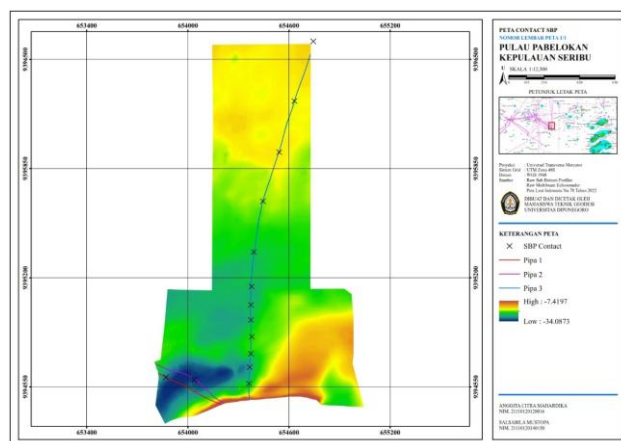


Gambar 8 Contact Pipa Sub Bottom Profiler

Data *Sub Bottom Profiler* menunjukkan posisi pipa yang terletak di atas permukaan dasar laut dengan jelas pada Gambar 9. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan RI No. 129 Tahun 2016, pipa pada kedalaman lebih dari 20 meter boleh dipasang di atas dasar laut tanpa perlindungan tambahan. Namun, pemasangan ini berisiko menyebabkan *free span*, yang dapat menimbulkan masalah struktural.



Gambar 9 Contact Pipa 3D Sub Bottom Profiler

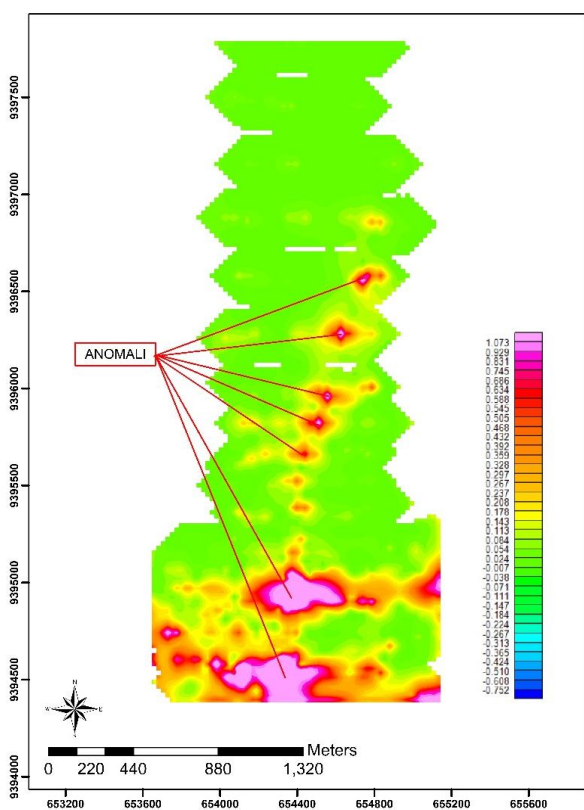


Gambar 10. Overlay MBES dan SBP

Hasil Gambar 10 menunjukkan konsistensi yang signifikan antara posisi pipa yang terdeteksi oleh *Multibeam Echosounder* dan *Sub Bottom Profiler*. Data MBES memberikan detail morfologi dasar laut, sementara data *Sub Bottom Profiler* mengonfirmasi keberadaan pipa hingga di bawah sedimen. Pola linier dari kedua metode menunjukkan titik koordinat yang sangat dekat, menandakan deteksi pipa yang akurat di lapangan.

3.9 Anomali Magnetik

Hasil pengolahan data *Magnetometer* di perairan sekitar Pulau Pabelokan menunjukkan variasi anomali magnetik yang signifikan, dengan nilai tertinggi 1,073 nT (merah muda) dan terendah -0,752 nT (biru tua), seperti terlihat pada Gambar 11. Pola linier anomali tertinggi mengikuti arah utara-barat laut, yang kemungkinan besar menunjukkan keberadaan struktur linear bawah laut seperti pipa. Anomali magnetik ini menunjukkan adanya objek bawah laut dengan sifat magnetik yang berbeda dari sedimen di sekitarnya. Anomali signifikan juga terdeteksi di pesisir selatan Pulau Pabelokan, kemungkinan akibat gangguan eksternal seperti keberadaan kapal. Keberadaan pipa bawah laut diindikasikan oleh anomali tinggi ini, yang dapat dipastikan melalui validasi dengan data dari survei lain, memperkuat pemetaan dan evaluasi kondisi infrastruktur bawah laut di wilayah penelitian.



Gambar 11 Anomali Magnetik

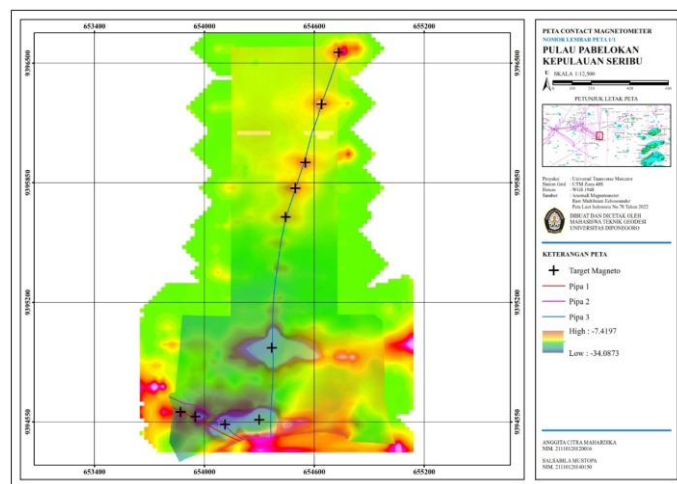
3.10 Target Pipa dengan *Magnetometer*

Tabel 7 menampilkan koordinat target pipa yang diperoleh dari analisis anomali *Magnetometer* menggunakan metode Blakely Test. Metode ini membantu mengidentifikasi dan mengonfirmasi keberadaan pipa bawah laut berdasarkan variasi anomali magnetik. Koordinat yang tercantum menunjukkan area dengan anomali magnetik signifikan, mengindikasikan kemungkinan adanya pipa.

Tabel 7 Target Pipa Magnetometer Datum WGS48 UTM Zona 48S

EASTING	NORTHING	TARGET ID
654733.4542	9396558.8261	1
654639.4277	9396277.7388	2
654528.7999	9395956.0683	3
654477.8410	9395819.6489	4
654460.9659	9395657.9405	5
654367.6471	9394952.2689	6
654299.3316	9394561.6902	7
654112.2285	9394536.3642	8
653950.9712	9394579.0791	9
653772.6099	9394604.8072	10

Analisis menunjukkan bahwa pipa yang terdeteksi dari data anomali *Magnetometer* dapat dipetakan secara akurat, dan koordinat target dapat digunakan untuk memvalidasi posisi pipa di wilayah penelitian. Gambar 12 menunjukkan koordinat dari Blakely Test dan peta anomali magnetik yang dioverlay dengan data *Multibeam Echosounder*, memperlihatkan kesesuaian linear dengan pipa yang terdeteksi sebelumnya. Ini mengonfirmasi keberadaan pipa di sekitar Pulau Pabelokan secara akurat.



Gambar 12 Overlay MBES dan Magnetometer

3.11 Validasi Posisi MBES dan SSS

3.11.1 Uji Wilcoxon Pipa 1

Uji Wilcoxon data *Multibeam Echosounder* dan data *Side Scan Sonar* pada pipa 1 dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Statistical Product and Service Solutions* (SPSS), dan diperoleh hasil seperti pada Tabel 8.

Tabel 8 Hasil Uji Wilcoxon Pipa 1

Test Statistics ^a		
	easting sss 1 - easting mbes 1	northing sss 1 - northing mbes 1
Z	-1.349 ^b	-1.023 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.177	.306

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Dengan Hipotesis:

Ho : tidak ada perbedaan posisi pipa dari data *Multibeam Echosounder* dengan *Side Scan Sonar*

H1 : terdapat perbedaan posisi pipa dari data *Multibeam Echosounder* dengan *Side Scan Sonar*

Ketentuan

Jika nilai sig. < α (0.05) maka Ho ditolak dan H1 diterima

Jika nilai sig. > α (0.05) maka Ho diterima dan H1 ditolak

Hasil uji Wilcoxon pada Tabel 8 menunjukkan nilai signifikansi untuk *easting* dan *northing* pipa 1 dari data *Multibeam Echosounder* dan *Side Scan Sonar* lebih besar dari α (0,05), yaitu 0,177 dan 0,306. Oleh karena itu, Ho diterima dan H1 ditolak, sehingga tidak ada perbedaan signifikan antara posisi pipa 1 dari data *Multibeam Echosounder* dan *Side Scan Sonar*.

3.11.2 Uji Wilcoxon Pipa 2

Dilakukan uji wilcoxon untuk mendapatkan informasi mengenai rata rata koordinat pipa 2 antara data *Multibeam Echosounder* dan *Side Scan Sonar*. Berikut hasil dari uji wilcoxon menggunakan SPSS pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Uji Wilcoxon Pipa 2

Test Statistics ^a		
	esss2 - embes2	nsss2 - nmbes2
Z	-.109 ^b	-.065 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	.913	.948

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

c. Based on negative ranks.

Hasil uji Wilcoxon pada Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai signifikansi untuk *easting* dan *northing* pipa 2 dari

data MBES dan SSS adalah 0,913 dan 0,948, keduanya melebihi α (0,05). Karena nilai ini lebih besar dari α (0,05), hipotesis nol (Ho) diterima, dan hipotesis alternatif (H1) ditolak. Jadi, tidak ada perbedaan signifikan antara posisi pipa 2 dari data *Multibeam Echosounder* dan *Side Scan Sonar*.

3.11.3 Uji Wilcoxon Pipa 3

Dilakukan uji wilcoxon pada seluruh data *Multibeam Echosounder* maupun *Side Scan Sonar* hasil digitasi pada pipa 3, dengan tujuan untuk mengetahui rata rata koordinat dari data *Multibeam Echosounder* dan *Side Scan Sonar*. Berikut adalah hasil uji wilcoxon pipa 3 pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Uji Wilcoxon Pipa 3

Test Statistics ^a		
	esss3 - embes3	nsss3 - nmbes3
Z	-1.769 ^b	-.913 ^c
Asymp. Sig. (2-tailed)	.077	.361

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

c. Based on positive ranks.

Uji Wilcoxon pada Tabel 10 menunjukkan nilai signifikansi untuk *easting* dan *northing* pipa 3 dari data MBES dan SSS adalah 0,077 dan 0,361, yang keduanya lebih tinggi dari α (0,05). Karena itu, hipotesis nol (Ho) diterima dan hipotesis alternatif (H1) ditolak, menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara posisi pipa 3 dari data MBES dan SSS.

3.12 Analisis Free Span

3.12.1 Pipa 1

Dari identifikasi yang telah dilakukan menggunakan interpretasi visual citra *Side Scan Sonar* pada jalur pipa 1, diperoleh 3 (tiga) titik pipa yang terindikasi mengalami *free span*. Adapun koordinat titik *free span* pipa 1 bisa dilihat pada Tabel 11.

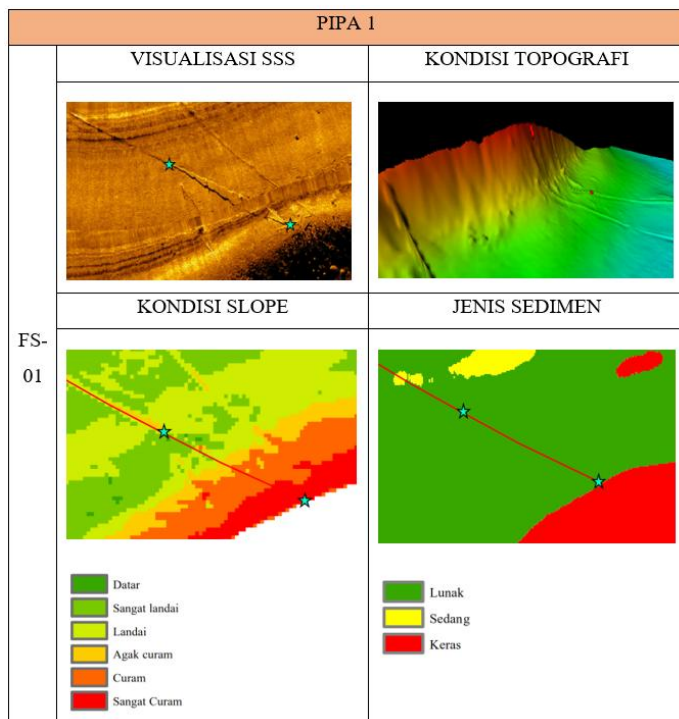
Tabel 11 Koordinat Free Span Pipa 1 Datum WGS84 UTM Zona 48S

PIPA	SPAN ID	FREE SPAN					
		START SPAN		END SPAN		SPAN LENGTH	SPAN HEIGHT
		EASTING X	NORTHING Y	EASTING X	NORTHING Y		
1	FS-1	654197.385	9394444.838	654106.731	9394485.367	84.65	5.15
	FS-2	653929.467	9394580.105	653922.603	9394583.005	7.34	1.47
	FS-3	653860.241	9394610.261	653881.043	9394600.566	23.32	2.15

Tabel 12 menjelaskan kondisi area *free span* pada pipa 1 memiliki *slope* 21,32%, dengan titik mulai pada kedalaman -9 meter dan berakhir pada -27,24 meter, serta panjang span 84,65 meter. *Slope* tinggi ini menunjukkan perubahan

topografi signifikan, menyebabkan pipa tidak didukung cukup oleh dasar laut, meningkatkan risiko kelelahan material. Kondisi sedimen lunak juga memperburuk situasi, karena kurang mampu menopang pipa, memudahkan terjadinya *free span*.

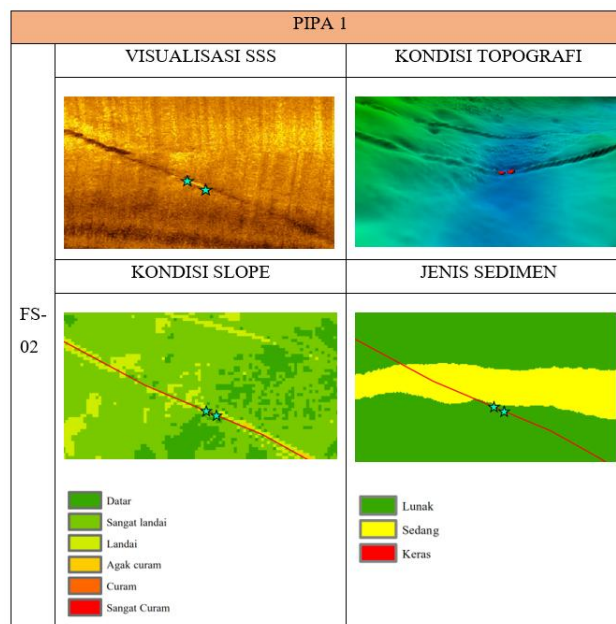
Tabel 12 *Free Span FS-01*



Area *free span* FS-02 memiliki kemiringan sebesar 2,19%, dengan titik mulai pada kedalaman -33 meter dan berakhir pada -34 meter, di atas sedimen lunak, ditunjukkan pada Tabel 13. Meskipun topografi dasar laut relatif datar, sedimen lunak di area ini memberikan dukungan yang kurang stabil untuk pipa, memudahkan terjadinya *free span*. Arus bawah laut pada kedalaman tersebut dapat memperburuk kondisi ini dengan menyebabkan erosi sedimen di sekitar pipa, meningkatkan panjang *free span* dan mengurangi stabilitas pipa. Analisis tambahan terhadap kekuatan dan pola arus laut diperlukan untuk menilai dampaknya terhadap stabilitas pipa di wilayah ini.

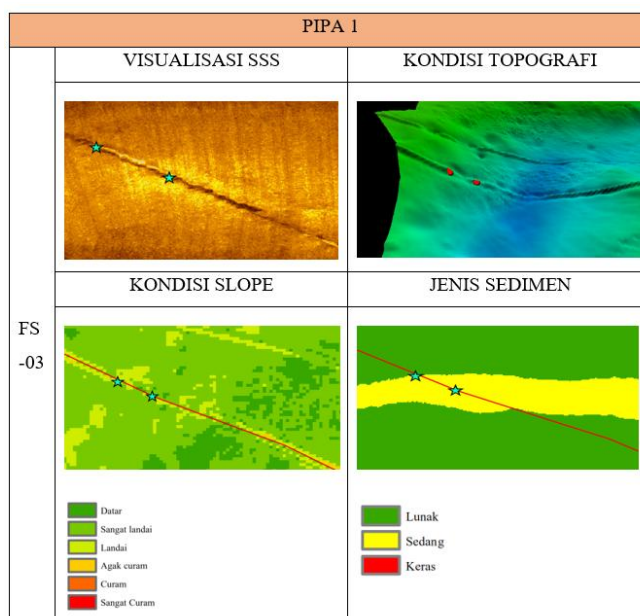
Pada FS-03, *free span* terjadi pada kemiringan 4,86%, dengan kedalaman antara -30 meter dan -32 meter. Area ini memiliki sedimen sedang, yang lebih stabil dibandingkan sedimen lunak, namun tetap kurang optimal untuk menopang pipa di wilayah dengan perubahan elevasi. Meski topografi tidak terlalu curam, kemiringan ini dan kondisi sedimen sedang dapat menyebabkan *free span*, memaparkan pipa pada beban yang tidak merata dan berisiko terhadap deformasi atau kerusakan struktural jangka panjang. Informasi tersebut tertera pada Tabel 14.

Tabel 13 *Free Span FS-02*



Pada FS-03, *free span* terjadi pada kemiringan 4,86%, dengan kedalaman antara -30 meter dan -32 meter. Area ini memiliki sedimen sedang, yang lebih stabil dibandingkan sedimen lunak, namun tetap kurang optimal untuk menopang pipa di wilayah dengan perubahan elevasi. Meski topografi tidak terlalu curam, kemiringan ini dan kondisi sedimen sedang dapat menyebabkan *free span*, memaparkan pipa pada beban yang tidak merata dan berisiko terhadap deformasi atau kerusakan struktural jangka panjang. Informasi tersebut tertera pada Tabel 14.

Tabel 14 *Free Span FS-04*



3.12.2 Pipa 2

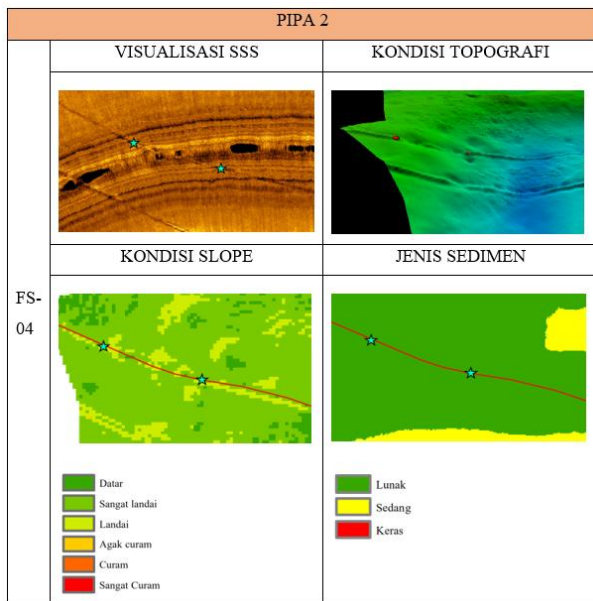
Berdasarkan hasil identifikasi melalui interpretasi visual dari citra *Side Scan Sonar* pada jalur pipa 2, ditemukan adanya indikasi *free span* di satu titik pada pipa tersebut. Koordinat dari titik yang mengalami *free span* pada pipa 2 dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Koordinat *Free Span* Pipa 2 Datum WGS84 UTM Zona 48S

PIPA	SPAN ID	FREE SPAN				SPAN LENGTH	SPAN HEIGHT
		START SPAN		END SPAN			
		EASTING X	NORTHING Y	EASTING X	NORTHING Y		
2	FS-4	643839.610	9394670.380	653899.660	9394649.960	63.87	1.66

Tabel 16 menunjukkan kondisi area titik *free span* FS-04. Kemiringan 4,08% menunjukkan perubahan elevasi moderat yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan dukungan dasar laut terhadap pipa, terutama dengan panjang *free span* 63,87 meter. Sedimen lunak di area ini memiliki kapasitas dukung rendah, sehingga pipa lebih rentan terhadap *free span*, menggantung tanpa dukungan yang cukup dari dasar laut. Kondisi arus bawah laut dapat memperburuk situasi dengan menggerus sedimen, memperpanjang *free span*, dan meningkatkan risiko kerusakan struktural pada pipa.

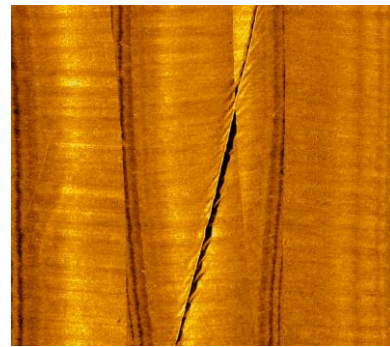
Tabel 16 *Free Span* FS-04



3.12.3 Pipa 3

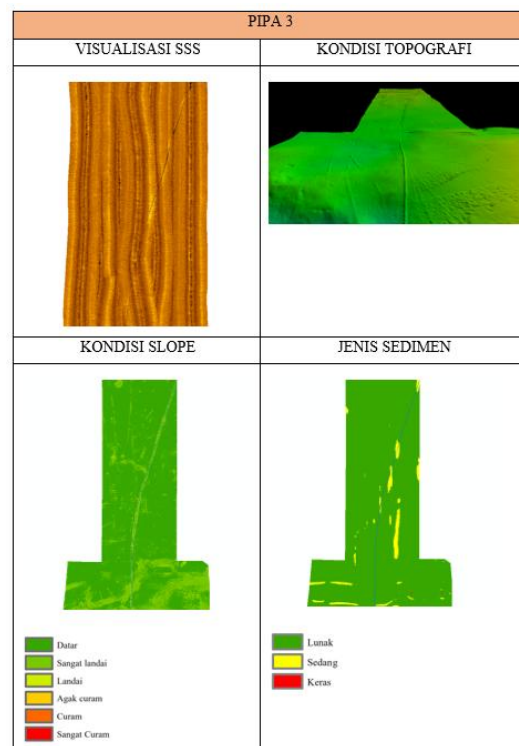
Hasil visualisasi *Side Scan Sonar* menunjukkan bahwa seluruh pipa di area ini tidak mengalami *free span*. Tidak ada pipa yang terdeteksi menggantung atau kehilangan dukungan dari dasar laut, yang berarti semua pipa berada di atas dasar laut. Hanya terlihat pipa-pipa yang tidak

tertanam, seperti yang terlihat dari bayangan pipa yang muncul pada hasil visualisasi *Side Scan Sonar* (Gambar 13).



Gambar 13 Bayangan pipa di atas *seabed*

Tabel 17 Kondisi Pipa 3



Pipa-pipa di area ini didukung dengan baik oleh dasar laut, tanpa adanya *free span*, sehingga risiko terjadinya kelelahan material atau kerusakan struktural sangat minim. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan RI No 129 Tahun 2016, yang memperbolehkan instalasi pipa pada kedalaman 20 meter atau lebih untuk ditempatkan di atas dasar laut dan harus tetap stabil. Topografi dasar laut yang relatif datar mengurangi kemungkinan tekanan berlebih pada pipa, memastikan pipa tetap aman dan stabil. Meskipun sebagian besar sedimen di area ini bersifat lunak, adanya beberapa titik dengan sedimen sedang memberikan

dukungan tambahan yang penting, menjaga pipa tetap di posisinya dan mengurangi risiko deformasi atau kerusakan (Tabel 17).

4. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi MBES dan SSS efektif untuk memetakan batimetri dan mengidentifikasi *free span* pada pipa bawah laut di sekitar Pulau Pabelokan. Pemetaan batimetri mengungkapkan variasi kedalaman dari -7,4 meter hingga -34 meter, dengan slope mencapai 96,936%, mayoritas wilayahnya datar. SSS berhasil mengidentifikasi *free span* pada pipa, dengan span terpanjang ditemukan pada pipa FS-01 sepanjang 84,65 meter. Sedimen dasar laut diklasifikasikan menjadi sedimen lunak, sedang, dan keras, dengan dominasi sedimen lunak. Validasi menggunakan *grab sample* menunjukkan konsistensi antara data akustik dan karakteristik fisik sedimen, menegaskan kemampuan SSS dalam klasifikasi sedimen.

Deteksi pipa bawah laut melalui *Sub Bottom Profiler* dan *Magnetometer* mengonfirmasi adanya anomali reflektor dan anomali magnetik, yang sesuai dengan jalur utara-barat laut di sekitar Pulau Pabelokan. Anomali ini menunjukkan keberadaan pipa sesuai dengan peraturan yang memperbolehkan pipa ditempatkan di atas dasar laut pada kedalaman lebih dari 20 meter. Analisis *free span* menunjukkan bahwa Pipa 1 memiliki risiko tertinggi dengan tiga titik *free span* sepanjang 115,31 meter (27,45% dari total panjang pipa 420 meter), terutama di atas sedimen lunak yang meningkatkan risiko ketidakstabilan dan kerusakan. Pipa 2 memiliki satu titik *free span*, sedangkan Pipa 3 tetap stabil tanpa *free span*, menunjukkan perbedaan risiko yang perlu diperhatikan dalam menjaga stabilitas dan integritas pipa bawah laut.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*).

6. Referensi (Cambria, 11 pt, bold)

Pratomo, D. G., Khomsin, & Harlambang, P. L. (2021). Identification of Free Span on Underwater Pipeline using Side Scan Sonar and Dual-head Scanning Profiler. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 698(1).<https://doi.org/10.1088/17551315/698/1/012035>

Harlambang, P. L. (2020). Inspeksi Free Span Pipa Bawah Laut Dengan Side Scan Sonar Dan Dual-Head Scanning Profiler [Institut Teknologi Sepuluh Nopember].

Putra, A. F. M., Sasmito, B., & Amarrohman, F. J. (2018). Identifikasi Free Span Pada Jalur Pipa Lepas Pantai Dengan Menggunakan Multibeam Echosounder Dan Side Scan Sonar. *Jurnal Geodesi Undip*; Volume 7, Nomor 2, Tahun 2018DO - 10.14710/Jgundip.2018.20659.<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/20659>

Rohana, U., Alam, T. M., Brodjonegoro, I. S., & P, N. H. (2022). Analisis Spasial Sebaran Sedimen Permukaan Dasar Laut Dari Data Citra Sidescan Sonar (Studi Kasus Perairan Pulau Setokok Selatan Batam). *Jurnal Chart Datum*, 1(1), 21–28. <https://doi.org/10.37875/chartdatum.v1i1.8>

Poerbando, & Alodia, G. (2018). Survei Pencarian Bawah Laut: Vol. xi (Issue August 2018). <http://www.itbpress.itb.ac.id/>

Agustinus, A., Kurniawan, M., & Manik, H. (2023). Deteksi Pipa Kabel Bawah Laut Menggunakan Metode Magnetometer dan Side Scan Sonar di Perairan Ancol: Detection of Undersea Cable Pipes Using the Magnetometer and Side Scan Sonar Methods in Ancol Coastal Waters North Jakarta. *Jurnal Riset Jakarta*, 16. <https://doi.org/10.37439/jurnalrd.v16i1.80>

Borges, R. G., de Lima, A. C., & Kowsmann, R. O. (2016). Areas Susceptible to Landsliding on the Continental Slope. *Geology and Geomorphology*, 99–135. <https://doi.org/10.1016/b978-85-352-8444-7.50013-5>

Lubis, M. Z., & Anurogo, W. (2017). Identifikasi Profil Dasar Laut Menggunakan Instrumen Side Scan Sonar Dengan Metode Beam Pattern Discrete-Equi-Spaced Unshaded Line Array. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 10(1), 87. <https://doi.org/10.21107/jk.v10i1.2563>

Rizqiani Putri, I., Warnana, D. D., & Syaifuddin, F. (2016). Survei Sub Bottom Profile (SBP) untuk Mengidentifikasi Lapisan Sedimen pada Muara Sungai Bengawan Solo Menggunakan Stratabox Marine Geophysical Instrument. *Jurnal Geosaintek*, 2(3), 221. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v2i3.2107>

Resda, D. P., Lubis, M. Z., & Timbang, D. (2021). Pemetaan Kedalaman Laut Menggunakan Multibeam Echosounder, (MB1) di Perairan Punggur, Kepri. *Jurnal Integrasi*, 13(1), 84–92. <https://doi.org/10.30871/ji.v13i1.3042>

Ekwere, D. E., Ibiba, E. D., Dick, I. F., & Morrison, I. (2021). Free Span Analysis of an Offshore Pipeline in the Gulf of Guinea. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 10(5), 49–64. www.ajer.org

Charnila, D., & Manik, H. M. (2017). Pemetaan Dan Klasifikasi Sedimen Dengan Instrumen Side Scan Sonar Di Perairan Balongan, Indramayu-Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 1(2), 105–112. <https://doi.org/10.24319/jtpk.1.105-112>