

Identifikasi dan Pemetaan Potensi Bahaya Jalur Pipa Minyak Bawah Laut di Laut Jawa

IQBAL AKHSAN MUTHOAF¹, DIAN NOOR HANDIANI¹

¹Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PHH Hasan Mustopa No.23, Neglasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40124, Indonesia
Email: iqbalakhsan491@gmail.com

Article History: Submitted 21 Agustus 2026 Revised 30 August 2026 Accepted 3 September 2026

ABSTRAK

Perencanaan jalur pipa minyak bawah laut di Laut Jawa memerlukan identifikasi bahaya dasar laut yang komprehensif untuk menjamin integritas struktur selama masa operasional. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi, menganalisis, dan memetakan sebaran potensi bahaya pada rencana jalur pipa sepanjang $\pm 8,96$ kilometer menggunakan integrasi data Multibeam Echosounder (MBES) dan Side Scan Sonar (SSS). Metode mencakup pengolahan data batimetri untuk analisis kelereng serta interpretasi kualitatif citra akustik (SSS) untuk mendeteksi fitur dasar laut. Hasil menunjukkan dasar laut berada pada kedalaman 14,1–27,8 meter dengan panjang pipa 8.960 meter. Klasifikasi kelereng sangat rendah ($0,0007^{\circ}$ – $0,983^{\circ}$) dan dikategorikan datar (flat), aman dari risiko longsoran bawah laut. Identifikasi bahaya menemukan 89 lokasi potensi bahaya yang bersinggungan langsung dengan rencana rute pipa, terdiri dari 85 titik seabed scars, tiga lokasi persilangan pipa eksisting, serta satu area sedimen batuan sepanjang 426,306 meter. Akumulasi panjang pipa yang terpapar bahaya mencapai 609,906 meter, sekitar 6,81% dari total panjang pipa.

Kata kunci: Bahaya laut, MBS, Pipa bawah laut, SSS

ABSTRACT

Planning an underwater oil pipeline route in the Java Sea requires a comprehensive identification of seabed hazards to ensure structural integrity throughout the operational period. This study aims to identify, analyze, and map the potential hazard distribution along a planned pipeline route of approximately 8.96 kilometers, based on Multibeam Echosounder (MBES) and Side Scan Sonar (SSS) data. The research methods include bathymetric data processing for slope analysis and qualitative interpretation of acoustic imagery (SSS) to detect seabed features. The results show that the seabed ranges from 14.1 to 27.8 meters in depth, with a pipeline length of 8,960 meters. The slope classification is very low (0.0007° – 0.983°) and categorized as flat, safe from submarine landslide risk. Hazard identification found a total of 89 potential hazard locations directly intersecting the planned pipeline route, consisting of 85 seabed scars, three existing pipeline crossings, and one rock sediment area spanning 426.306 meters. The cumulative pipeline length directly exposed to these hazards reaches 609.906 meters, approximately 6.81% of the total pipeline length.

Keywords: Sea hazards, MBS, Seabed pipeline, SSS

1. PENDAHULUAN

Pipa bawah laut (seabed pipeline) merupakan infrastruktur utama dalam distribusi minyak dan gas hasil eksplorasi lepas pantai (Sadira dkk., 2016; Veritas, 2000) yang perencanaan jalurnya harus mempertimbangkan aspek keselamatan, keandalan, dan kondisi dasar laut agar operasional jangka panjangnya terjamin (Adnyani dkk., 2025; Cecchini dkk., 2011). Untuk itu, tahap pre-lay survey menggunakan data Multibeam Echosounder (MBES) dan Side Scan Sonar (SSS) menjadi krusial dalam mengidentifikasi potensi bahaya pada pipa bawah laut.

Pemetaan hasil dari MBES memberikan model batimetri 3D untuk analisis kelerengan (Adi dkk., 2017; Poerbandono & Djunarsjah, 2005), sedangkan sedimen dan fitur dasar laut berisiko, seperti *seabed scarp*, *sandwaves*, *pockmark*, *depression*, *seabed scars*, *debris*, *jack-up footprint* dan pipa eksisting (Sadira dkk., 2016; Hanimadhani dkk., 2016; Kamajaya & Handiani, 2025) menggunakan hasil dari SSS. SSS tersebut memberikan citra akustik tekstur sedimen serta objek permukaan (Wijonarko dkk., 2016). Gabungan interpretasi keduanya menghasilkan identifikasi bahaya yang lebih komprehensif (Uripkan & Minarto, 2018).

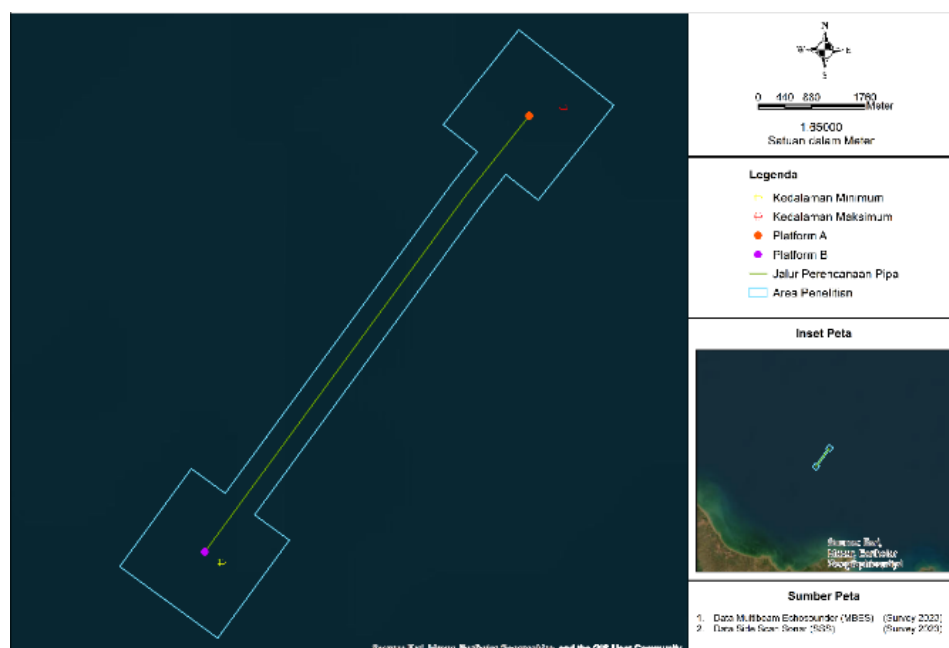
Penelitian terdahulu telah mengangkat topik ini dari berbagai pendekatan, Kamajaya & Handiani (2025) melalui interpretasi MBES-SSS, Cecchini dkk. (2011) melalui analisis geomorfologi, Hanimadhani dkk. (2016) melalui karakteristik dasar laut, dan Adnyani dkk. (2025) melalui identifikasi bahaya untuk integritas pipa. Namun umumnya masih terbatas pada identifikasi jenis dan lokasi bahaya secara umum tanpa pemetaan sebaran spasial yang menyeluruh maupun rekomendasi proteksi yang dikaitkan langsung dengan karakteristik tiap bahaya di sepanjang jalur.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini menghadirkan kebaruan berupa integrasi interpretasi data MBES dan SSS untuk memetakan sebaran spasial potensi bahaya secara menyeluruh pada jalur rencana pipa minyak bawah laut di Laut Jawa, sekaligus menyusun rekomendasi metode proteksi yang disesuaikan dengan jenis dan karakteristik bahaya pada tiap segmen atau Kilometer Point (KP) jalur pipa. Harapannya penelitian ini dapat membantu dalam memberikan rekomendasi mitigasi potensi bahaya dan metode proteksi berbasis karakteristik bahaya di tiap segmen jalur pipa.

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di wilayah perairan Laut Jawa, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Googlemaps)

Area penelitian mencakup rencana jalur pipa minyak bawah laut pada KP (Kilometer Point) 8.960, dengan cakupan wilayah penelitian seluas 12,19 km².

2.2 Data Penelitian

Adapun alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitan ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data yang Digunakan dalam Penelitian

Data	Format	Kegunaan
Data mentah MBS	.xyz	Untuk analisis batimetri dan kelerengan
Data mentah SSS	.xtf	Untuk identifikasi sedimen dan fitur dasar laut
Data spasial Anjungan	.shp	Merepresentasikan titik awal dan titik akhir dalam perencanaan jalur pipa minyak bawah laut.
Rute rencana pemasangan pipa	.shp	Jalur desain awal yang akan diuji keamanannya terhadap potensi bahaya

(Sumber: Taka Hydrocore Indonesia)

2.3 Metodologi Penelitian

Secara umum metodologi yang dirujuk dalam penelitian ini berdasarkan penelitian Kamajaya dan Handiani (2025). Data MBES diproses melalui tahap *clearing noise* yang dilakukan secara selektif berdasarkan interpretasi operator untuk membedakan *noise* dari kenampakan dasar laut yang sebenarnya. untuk menghilangkan data yang tidak valid, kemudian diekspor ke format .xyz untuk pembuatan Digital Elevation Model (DEM). Data DEM tersebut digunakan untuk menghitung kelerengan dan dianalisis kelerengan (*slope analysis*). Kemiringan digunakan untuk mengidentifikasi area dengan kemiringan ekstrem yang berisiko menyebabkan ketidakstabilan tumpuan pipa, merujuk pada penelitian van Zuidam (1986) di Tabel 2. Ketika kemiringan di area kajian dikategorikan mulai dari miring sampai terjal, maka potensi ketidakstabilan tumpuan pipa pun menjadi tidak stabil.

Tabel 2. Klasifikasi Kelerengan

Derajat Kelerengan	Kategori Kelerengan
0° - 2°	Datar
2° - 4°	Landai
4° - 8°	Miring
8° - 16°	Agak Curam
16° - 35°	Curam
35° - 55°	Sangat Curam
> 55°	Terjal

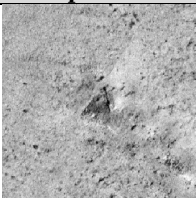
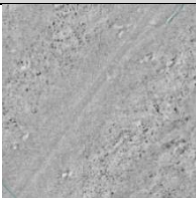
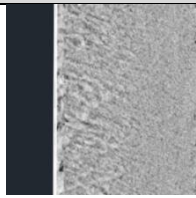
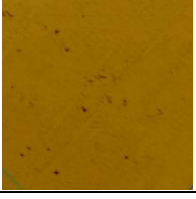
(Sumber: van Zuidam, 1986)

Data SSS diolah melalui tahapan *bottom tracking*, koreksi *slant range*, dan koreksi *gain* guna menghasilkan citra mosaik dasar laut yang optimal (Busro dkk., 2023; Maharani dkk., 2024). Interpretasi citra SSS merupakan proses analisa cenderung subjektif karena proses penginterpretasian citra menggunakan mata secara langsung tanpa alat bantu optik, serta secara kualitatif berdasarkan kunci interpretasi dari beberapa parameter untuk mendeteksi potensi bahaya permukaan. Proses ini menghasilkan gambaran visual kondisi dasar laut yang menjadi dasar identifikasi fitur-fitur berisiko pada tahap selanjutnya (Busro dkk., 2023).

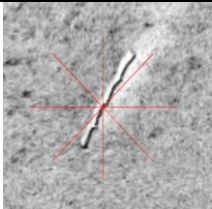
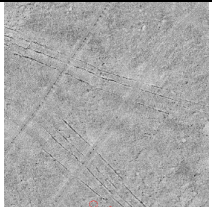
Tahap identifikasi bahaya mencakup fitur dasar laut seperti cekungan (*seabed depression/pockmark*) dan lereng terjal (*seabed scarp*), dan gelombang pasir (*sandwaves*), serta bahaya antropogenik seperti puing-reruntuhan (debris), jejak dasar laut (*seabed scars*), bekas pijakan rig (*jack-up footprint*), dan pipa eksisting berdasarkan parameter interpretasi pada Tabel 3 dan Tabel 4 (Mazel, 1985; Lekkerkerk, 2006). Berbagai parameter tersebut diidentifikasi sebagai kategori bahaya, ketika berada di jalur pipa area kajian. Adapun jenis sedimen dasar laut juga diklasifikasikan untuk mengidentifikasi kondisi tumpuan pipa

bawah laut yang berpotensi mempengaruhi kestabilan pipa, berdasarkan parameter interpretasi pada Tabel 5 (Blondel, 2009; Busro dkk., 2023; Sadira dkk., 2016). Jenis sedimen batuan mengindikasikan potensi bahaya jika berada pada jalur pipa.

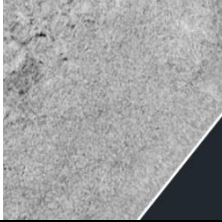
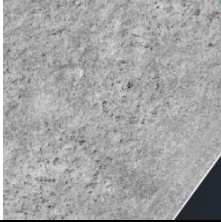
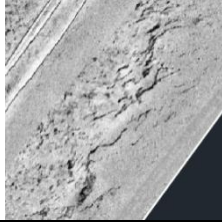
Tabel 3. Interpretasi Fitur Dasar Laut: *Depression*, *Pockmark*, *Seabed Scarp*, dan *Sandwaves*

Parameter Interpretasi	Visual Fitur Dasar Laut			
	<i>Depression</i>	<i>Pockmark</i>	<i>Seabed Scarp</i>	<i>Sandwaves</i>
Citra SSS				
MBES				-
Rona Warna	Tengah terang, tepi gelap	Tengah terang, tepi gelap	Kontras rona jelas	Rona bergantian
Ukuran	Bervariasi	Bervariasi	Bervariasi	Bervariasi
Bentuk	Cekung/melingkar	Melingkar/elips	Linier/tegas	Bergelombang
Pola	Terisolasi/berkelompok	Terisolasi/berkelompok	Memanjang	Repetitif/paralel
Bayangan	Lemah/sedang	Terlihat pada sisi tengah	Jelas dan luas	Lemah-sedang

Tabel 4. Interpretasi Fitur Dasar Laut: *Debris*, *Seabed Scars*, *Jack-up Footprint* dan Pipa Eksisting

Parameter Interpretasi	Visual Fitur Dasar Laut			
	<i>Debris</i>	<i>Seabed Scars</i>	<i>Jack-up Footprint</i>	Pipa Eksisting
Citra SSS				
MBES	-			
Rona Warna	Gelap-sangat gelap	Dinding menghadap sonar gelap, bagian dalam lebih terang	Tengah terang, tepi gelap	Gelap-sangat gelap
Ukuran	Bervariasi	Memanjang	Bervariasi	Panjang dan sempit
Bentuk	Tidak beraturan	Linier/alur	Depresi melingkar yang ditinggalkan oleh kaki <i>rig jack-up</i>	Linier/memanjang
Pola	Acak/tidak sesuai konteks sekitar	Memanjang/berulang	Berkelompok	Kontinu mengikuti jalur
Bayangan	Tajam dan jelas	Lemah/tidak ada	Lemah-sedang	Jelas dan memanjang

Tabel 1. Interpretasi Sedimen

Parameter Interpretasi	Visual Fitur Dasar Laut (sedimen)		
	Halus	Kasar	Batuan
Citra SSS			
Rona Warna	Cerah dan pantulan relatif rendah	Relatif gelap	Gelap, menunjukkan hamburan balik yang tinggi
Ukuran	Area sebaran relatif luas dan tidak menunjukkan objek berukuran spesifik	Area sebaran relatif luas tanpa ukuran objek yang spesifik	Bervariasi, mulai dari kecil hingga bongkahan batu besar
Bentuk	Tidak beraturan dan cenderung mengikuti bentuk permukaan dasar laut	Tidak beraturan dan mengikuti bentuk permukaan dasar laut	Tidak beraturan dan memiliki relief yang menonjol
Pola	Mengikuti kontur dasar laut	Membentuk area dengan rona yang relatif seragam	Acak dan tidak beraturan
Bayangan	Tidak terdapat atau sangat sedikit bayangan akustik	Terdapat sedikit bayangan akustik yang tidak terlalu signifikan	Memiliki bayangan akustik tajam yang menunjukkan ketinggian
Tekstur	Halus dan relatif seragam	Relatif kasar	Kasar

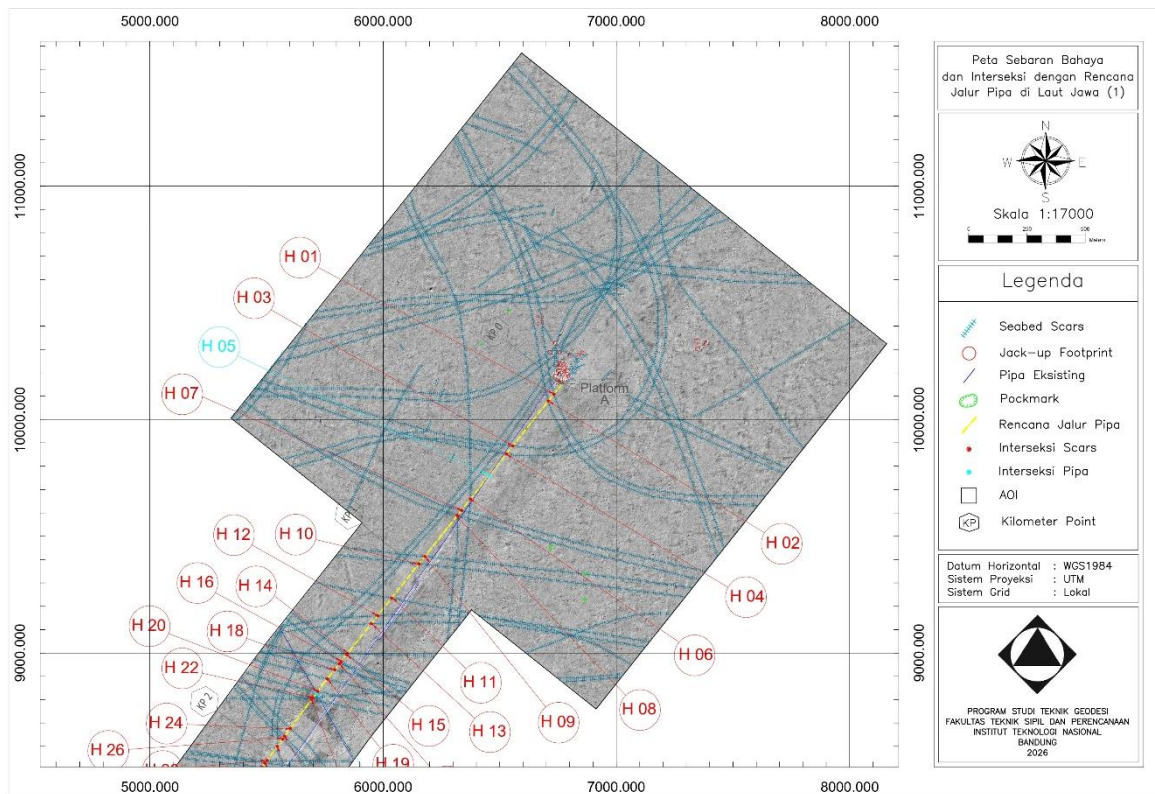
Hasil identifikasi bahaya pada masing-masing analisis hasil data MBES dan SSS diintegrasikan pada rute rencana pipa, sehingga hasilnya seluruh potensi bahaya yang teridentifikasi di area kajian. menggunakan metode overlay di Civil 3D Metric. Hasil akhir penelitian berupa identifikasi segmen pipa yang melintasi area berbahaya berdasarkan referensi Kilometer Point (KP), meliputi KP awal, KP akhir, dan panjang segmen yang terdampak. Informasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam pemberian rekomendasi metode proteksi pipa yang sesuai pada setiap segmen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

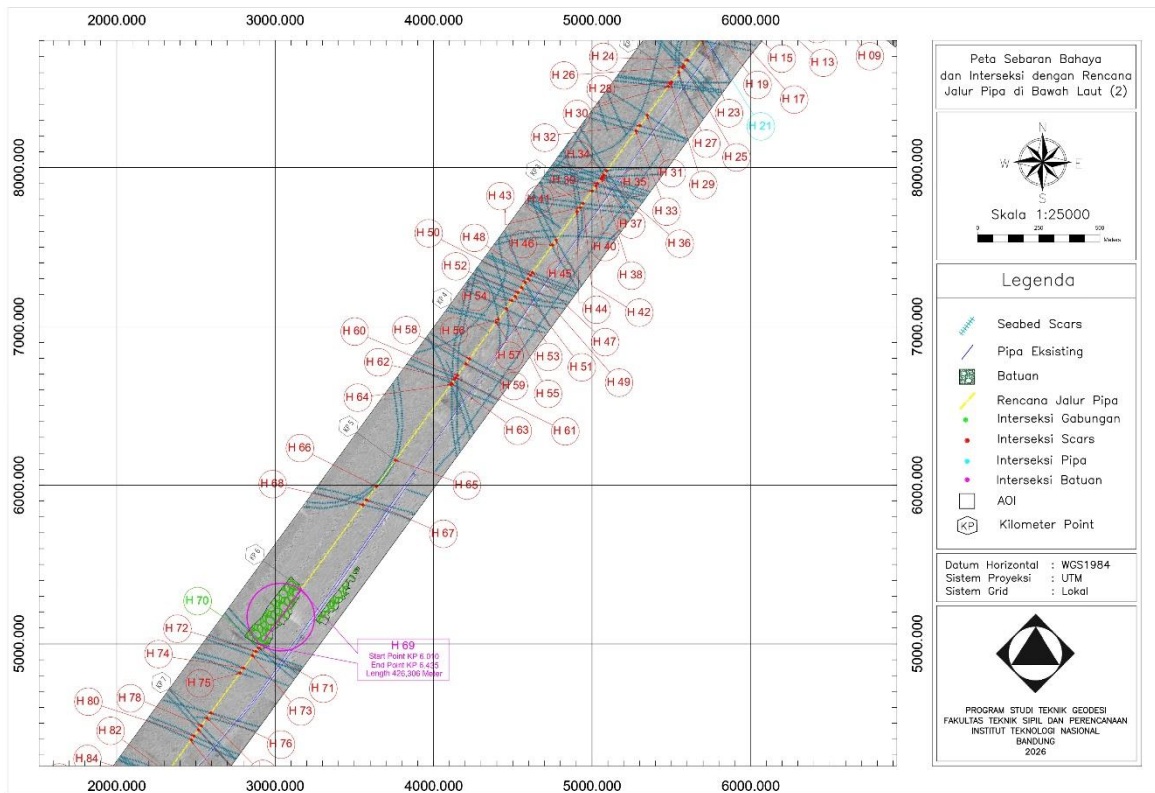
3.1. Identifikasi Bahaya Berdasarkan Analisis Kelerengan, Tipe Sedimen, dan Fitur Bawah Laut

Hasil identifikasi bahaya berdasarkan analisis kelerengan dari pengolahan data MBES, analisis tipe sedimen dan fitur bawah laut berdasarkan data SSS di wilayah kajian ditunjukkan di Gambar 2 – Gambar 4. Hasil tersebut untuk visualisasi dibagi menjadi tiga area bagian utara (Gambar 2), bagian tengah (Gambar 3), dan bagian selatan (Gambar 4), ketiga area tersebut merepresentasikan seluruh area kajian.

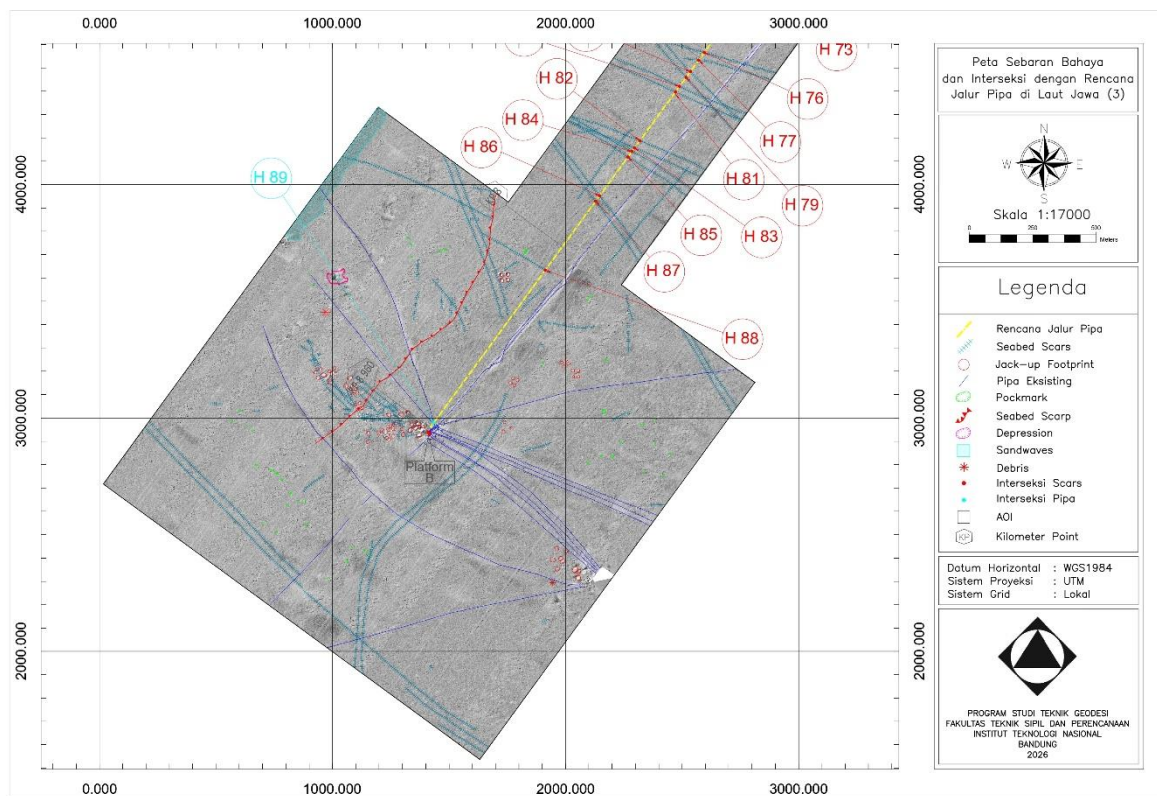
Hasil pengolahan data kelerengan di area survei menunjukkan nilai kemiringan lereng yang sangat rendah, yaitu berkisar antara $0,00078^\circ$ hingga $0,98321^\circ$. Nilai ini sesuai dengan klasifikasi di Tabel 2, termasuk dalam kategori Datar (*Flat*) berada pada rentang 0° – 2° . Temuan ini mengindikasikan bahwa jalur pipa bawah laut di wilayah penelitian ini sangat aman dari bahaya kelerengan ekstrem. Ketiadaan kelerengan dengan $> 8^\circ$ di sepanjang jalur pipa sangat menguntungkan integritas struktur pipa karena meminimalkan potensi terjadinya kegagalan lereng (*slope failure*) atau longsoran bawah laut (submarine landslide) yang sering kali menjadi penyebab utama kerusakan pipa akibat pergeseran tanah secara masif (Hanimahdhani dkk., 2016). Kondisi topografi datar ini juga menguntungkan karena meminimalkan potensi terjadinya bentang bebas (*free span*) yang sering terjadi akibat pipa melintasi gundukan atau puncak lereng yang tajam (Blondel, 2009). Dengan demikian, dari perspektif batimetri dan kelerengan, rencana jalur pipa ini berada pada zona aman terhadap kegagalan lereng bawah laut.



Gambar 2. Peta Sebaran Potensi Bahaya pada Rencana Jalur Pipa di Area Utara Kajian



Gambar 3. Peta Sebaran Potensi Bahaya pada Rencana Jalur Pipa di Area Tengah Kajian

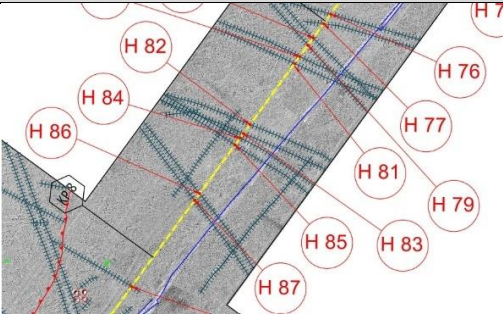
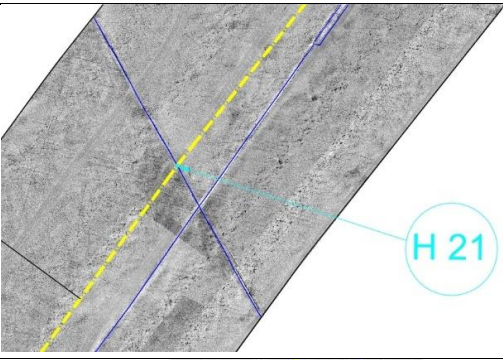
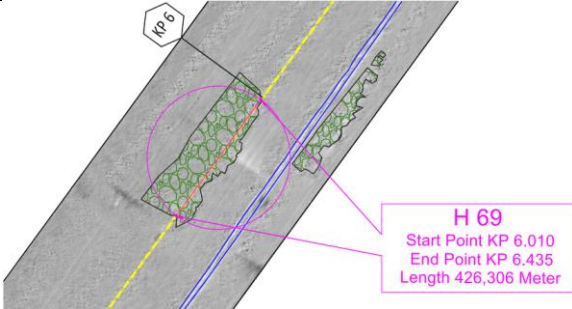


Gambar 4. Peta Sebaran Potensi Bahaya pada Rencana Jalur Pipa di Area Selatan Kajian

Interpretasi terhadap nilai hambur balik pada citra SSS berhasil mengklasifikasikan tiga tipe sedimen utama di area penelitian. Pertama adalah sedimen halus (*clay*) yang dicirikan dengan rona terang karena reflektivitas sinyal sonar yang rendah (Busro dkk., 2023). Kedua adalah sedimen kasar (*clay-gravel*) yang menampilkan rona menengah dengan tekstur berbintik (Blondel, 2009). Ketiga adalah sedimen batuan (*rock*) yang muncul dengan rona sangat gelap dan sering kali disertai dengan bayangan akustik yang tajam, menandakan adanya material keras dengan permukaan menonjol (Blondel, 2009). Meskipun terdapat tiga variasi sedimen, hasil analisis spasial menunjukkan bahwa hanya sedimen batuan yang diidentifikasi sebagai bahaya (*hazard*) yang bersinggungan langsung dengan rute pipa (Gambar 3). Ditemukan satu area sedimen batuan yang melintasi rencana jalur pipa pada segmen KP 6.043 (H 58) hingga KP 6.470 (H 58) dengan total panjang mencapai 426,306 meter seperti yang terlihat pada Tabel 6 poin 3. Keberadaan material batuan sepanjang hampir setengah kilometer ini merupakan rintangan fisik yang serius bagi pipa, karena permukaan batu yang tidak rata dapat menyebabkan pipa tidak tertumpu secara seragam (Sadira dkk., 2016).

Pengolahan data SSS juga mengidentifikasi fitur dasar laut, meliputi *seabed scars*, *seabed scarp*, *pockmark*, *depression*, *debris*, *jack-up footprint*, *sandwaves*, dan pipa bawah laut eksisting. Akan tetapi, setelah dilakukan metode tumpang susun (*overlay*) dengan rencana jalur pipa, ditemukan bahwa hanya dua kategori fitur yang dilewati langsung oleh rute rencana, ditunjukkan di Gambar 2 – Gambar 4. Fitur pertama adalah seabed scars yang ditemukan sebanyak 85 titik yang menyentuh rencana jalur pipa, seperti yang terlihat pada Gambar 2 – Gambar 4. Fitur ini secara visual tampak sebagai pola garis-garis tidak alami yang memotong sedimen asli, diidentifikasi sebagai jejak tarikan jaring pukat (*trawl scars*) atau bekas garukan jangkar kapal (*anchor scars*). Keberadaan 85 titik *scars* ini merupakan indikator kuat bahwa koridor rencana rute pipa berada dalam zona aktivitas penangkapan ikan dan lalu lintas kapal yang intensif. Titik interseksi seabed scars dengan rute rencana jalur pipa dapat terlihat pada Tabel 6 poin 1.

Tabel 2. Jenis-jenis Bahaya yang Melewati Perencanaan Pipa Bawah Laut

No	Jenis Bahaya	Gambar
1	Seabed Scars	
2	Persilangan Pipa	
3	Batuan	

Fitur kedua adalah pipa eksisting yang ditemukan sebanyak 3 titik persilangan pada area KP 0.420 (H 05), KP 1.608 (H 21), dan KP 8.930 (H 89), seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 4. Lokasi persilangan (*crossing*) ini dikategorikan sebagai bahaya teknis karena adanya risiko interferensi antar struktur, potensi gangguan pada sistem proteksi korosi, serta risiko stabilitas vertikal di mana pipa yang baru harus melewati pipa lama tanpa menyebabkan beban berlebih (Sadira dkk., 2016). Titik-titik persilangan ini sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6 poin 2, memerlukan perencanaan rekayasa khusus guna menjamin adanya jarak vertikal aman dan dukungan struktur yang memadai di titik perpotongan (Veritas, 2000).

Keberadaan area sedimen batuan sepanjang 426,306 meter pada segmen tengah rute (Gambar 3) memberikan ancaman berupa bentang bebas (*free span*) dan kerusakan pada lapisan pelindung pipa. Material batuan yang keras dan menonjol dapat bertindak sebagai tumpuan titik yang menyebabkan tegangan terkonsentrasi pada dinding pipa. Jika kondisi ini dibiarkan tanpa mitigasi, arus dasar laut dapat memicu getaran pada bagian pipa yang menggantung, yang pada akhirnya mengakibatkan kelelahan struktur (*fatigue*) dan kegagalan fatal (Sadira dkk., 2016; Rachmat dkk., 2016) Sementara itu, sebaran 85 titik seabed scars di sepanjang jalur menunjukkan bahwa diperlukan perlindungan fisik dari interaksi mekanis kapal-kapal yang beroperasi di wilayah Laut Jawa tersebut. Karakteristik bahaya di titik persilangan pipa (KP 0.420, KP 1.608, dan KP 8.930) juga memerlukan perhatian mendalam. Pada lokasi ini, pipa direncanakan akan bertumpu di atas pipa lain, yang akan membuat bentang bebas jika tidak diberikan penimbunan atau bantalan yang tepat (Rachmat dkk., 2016). Rekapitulasi posisi dan Panjang segmen pipa yang terdampak bahaya dari Gambar 2 – Gambar 4 ditunjukkan di Tabel 7.

Tabel 3. Posisi dan Panjang Segmen Pipa yang Terdampak Bahaya

Rentang KP (km)	Jumlah Lokasi Bahaya	Panjang Pipa Terdampak (m)
0-<1	10	26,2
1-<2	16	28,8
2-<3	15	28,4
3-<4	16	34,1
4-<5	7	11,4
5-<6	4	6,0
6-<7	7	437,9
7-<8	12	31,1
8-<9	2	6,0
Total	89	609,906

3.2. Strategi Mitigasi dan Rekomendasi Proteksi Pipa Bawah Laut

Mengingat topografi dasar laut di area penelitian tergolong datar, strategi proteksi pipa bawah laut difokuskan pada mitigasi rintangan sedimen dan gangguan pihak ketiga, mengacu pada standar internasional *Submarine Pipeline Systems* (DNV-ST-F101) dan *Free Spanning Pipelines* (DNV-RP-F105). Pada segmen sedimen batuan sepanjang 426,306 meter (KP 4.240–6.470) yang berisiko tinggi mengalami *free span* dan kerusakan mekanis, direkomendasikan pembersihan jalur melalui *rock removal* sebelum pipa diletakkan (Veritas, 2000), dilanjutkan dengan pelapisan *Concrete Weight Coating* (CWC) untuk menambah stabilitas sekaligus melindungi pipa dari permukaan batuan yang tajam (Kamajaya & Handiani, 2025). Apabila hasil paska-peletakan (as-laid survey) menunjukkan celah yang melebihi toleransi, pemasangan concrete mattress atau grout bags wajib dilakukan sebagai penopang tambahan (Veritas, 2006; Rachmat dkk., 2016).

Ditemukannya 85 titik seabed scars yang mengindikasikan aktivitas penangkapan ikan dan jangkar kapal mendorong direkomendasikannya metode trenching and burial, yaitu pemendaman pipa di dalam parit agar terlindungi dari interaksi mekanis tersebut sekaligus meningkatkan stabilitas terhadap arus dan mengurangi risiko scouring (Kamajaya & Handiani, 2025). Pada tiga titik persilangan dengan pipa eksisting (KP 0.420, 1.608, dan 8.930), proteksi diarahkan pada penyediaan pemisahan vertikal yang aman melalui metode *rock dumping* untuk membentuk *crossing bridge* dengan jarak vertikal minimal $\pm 0,3$ – $0,5$ m, dilengkapi pemasangan concrete mattress sebagai pemisah fleksibel yang mencegah kontak logam langsung antarpipa sehingga sistem proteksi korosi masing-masing jalur tetap terjaga (DNV, 2000).

Berdasarkan hasil pengolahan data MBES dan SSS, kondisi dasar laut wilayah penelitian berada pada rentang kedalaman 14,1–27,8 meter dengan kelerengan sangat rendah ($0,0007^\circ$ – $0,983^\circ$) yang masuk kategori datar, sehingga aman dari risiko kegagalan lereng. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi total 89 lokasi potensi bahaya di sepanjang rencana jalur pipa, yang meliputi 85 titik seabed scars, 3 titik persilangan pipa eksisting (KP 0.420, KP 1.608, dan KP 8.930), serta satu area sedimen batuan sepanjang 426,306 meter pada segmen KP 4.240–6.470.

Sebagai langkah mitigasi untuk menjamin integritas pipa, direkomendasikan penggunaan metode *trenching and burial* pada area *seabed scars* untuk menghindari gangguan aktivitas manusia, metode *rock removal* dan pelapisan CWC pada area batuan untuk mencegah *free span*, serta penerapan *rock dumping* dan matras beton pada lokasi persilangan guna memberikan pemisahan vertikal yang aman. Strategi proteksi yang disesuaikan dengan karakteristik bahaya di tiap segmen KP ini diharapkan dapat meminimalkan risiko kegagalan struktur selama masa operasional pipa di Laut Jawa.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dapat mengidentifikasi potensi bahaya pada perencanaan jalur pipa minyak bawah laut di Laut Jawa. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil tersebut adalah wilayah penelitian di Laut Jawa memiliki rentang kedalaman antara 14,1 meter hingga 27,8 meter dengan nilai kemiringan yang sangat rendah ($0,0007^\circ$ hingga $0,9832^\circ$) yang masuk dalam kategori datar (*flat*). Kondisi ini dinilai aman dari risiko longsor bawah laut karena tidak ditemukan adanya kelerengan ekstrem ($> 8^\circ$) di sepanjang jalur rencana pipa. Selanjutnya, berdasarkan interpretasi data MBES dan SSS, teridentifikasi tiga jenis potensi bahaya utama yang bersinggungan langsung dengan rencana jalur pipa, yaitu sedimen batuan (*rock*) sepanjang 426,306 meter pada segmen KP 4.240 hingga KP 6.470, jejak dasar laut (*seabed scars*) sebanyak 86 titik yang tersebar di sepanjang jalur, dan persilangan pipa bawah laut eksisting sebanyak 3 titik pada posisi KP 0.402, KP 1.608, dan KP 8.970. Sehingga, secara keseluruhan, akumulasi panjang segmen pipa yang terpapar atau bersinggungan langsung dengan seluruh potensi bahaya tersebut di sepanjang jalur perencanaan adalah sebesar 609,906 meter (6,81% dari total panjang pipa).

DAFTAR RUJUKAN

- Adi, A. P., Manik, H. M., & Pujiyati, S. (2017). Integrasi data Multibeam batimetri dan mosaik Backscatter untuk klasifikasi tipe sedimen. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 7(1), 77–84. <https://doi.org/10.24319/jtpk.7.77-84>
- Adnyani, L. P., Siregar, H. A., Putri, D. L., Nurmawati, N., & Wirawan, M. K. (2025). Analisis risiko kejatuhan jangkar terhadap pipa bawah laut di Natuna. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 129–134. <https://doi.org/10.62012/zl.v6i1.43394>
- Blondel, P. (2009). *The Handbook of Sidescan Sonar*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-49886-5>
- Busro, F., Khomsin, & Pratomo, D. G. (2023). Identifikasi objek dasar laut dari data Side Scan Sonar (Studi kasus: Perairan pelabuhan Pt. Petrokimia Gresik). *Geoid*, 19(1), 88–95. <https://doi.org/10.12962/geoid.v19i1.1793>
- Cecchini, S., Taliana, D., Giacomini, L., Herisson, C., & Bonnemaire, B. (2011). Submarine geohazards on the eastern Sardinia-Corsica continental margin based on preliminary pipeline route investigation. *Marine Geophysical Research*, 32(1), 71–81. <https://doi.org/10.1007/s11001-011-9126-0>
- Hanimadhani, A., Wahyudi, I., Sambodho, K., & Eng, S. T. M. (2016). *Analisa Geohazard Terhadap Jalur Pipa Gas Bawah Laut PGN: Labuhan Maringgai-Muara Bekasi*. [Tugas Akhir yang tidak dipublikasikan]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Kamajaya, I. Z., & Handiani, D. N. (2025). Identifikasi zona bahaya untuk rute pipa gas bawah laut yang direncanakan di Pulau Pemping, Kota Batam, Kepulauan Riau. *Zona Laut Jurnal Inovasi Sains dan Teknologi Kelautan*, 182–192. <https://doi.org/10.62012/zl.vi.43659>
- Lekkerkerk, H. J. (2006). *Handbook of offshore surveying* (Vol. 1). Clarkson Research Services Limited.
- Maharani, S. B. M., Sasmito, B., & Wiryawan, A. P. (2024). Pemetaan jalur pipa bawah laut di wilayah perairan Pulau Pabelokan, Kepulauan Seribu menggunakan data Side Scan Sonar dan Sub Bottom Profiler. *Journal Marine Inside*, 49–59. <https://doi.org/10.62391/ejmi.v6i2.86>
- Mazel, C. (1985). *Side Scan Sonar Record Interpretation*. Side Scan Sonar Training Manual. Naval Oceanographic Office Klein Associates, Inc.
- Poerbandono, & Djunarsjah, E. (2005). *Survei Hidrografi*. Refika Aditama.
- Rachmat, B., Purwanto, C., & Raharjo, P. (2016). Kajian identifikasi infrastruktur jaringan pipa migas bawah laut di perairan sebelah utara provinsi Banten. *Jurnal Geologi Kelautan*, 9(2), 79. <https://doi.org/10.32693/jgk.9.2.2011.202>
- Sadira, B., Windupranata, W., & Bachri, D. S. (2016). Identifikasi dan klasifikasi variabel untuk desain lokasi dan rute pipa bawah laut. *ITB Indonesian Journal of Geospatial*, 5(1), 52.
- Urippan, D., & Minarto, E. (2018). Analisis geohazard untuk dasar laut dan bawah permukaan bumi. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(1). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i1.29194>

- Veritas, D. N. (2000). *Submarine pipeline systems* (DNV-ST-F101). Offshore Standard OS-F101.
- Veritas, D. N. (2006). *Free Spanning Pipelines* (DNV-RP-F105). Offshore Standard OS-F101.
- Wijonarko, W. W., Sasmito, B., & Nugraha, arief L. (2016). Kajian pemodelan dasar laut menggunakan Side Scan Sonar dan Singlebeam Echosounder. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 168–178. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2016.11533>
- van Zuidam, R. A. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits Publishers.