



## EFEKTIFITAS MANAJEMEN RISIKO GEOTEKNIK DAN GEOHAZARD DENGAN METODE HYBRID PADA PROYEK KONSTRUKSI LAUT DENGAN PENDEKATAN KONTRAK FIDIC

**Yelna Yuristiary**

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Batam, Batam, Indonesia  
Jl. Uniba No. 5 Batam Center, Kota Batam, Kepulauan Riau  
Corresponding Author: [yelnaccmd@gmail.com](mailto:yelnaccmd@gmail.com)

### ABSTRAK

Proyek konstruksi laut seperti pelabuhan, *jetty*, dan fasilitas lepas pantai memiliki tingkat risiko tinggi akibat ketidakpastian kondisi geoteknik (*seabed instability, soft clay, scouring, submarine landslide*) dan faktor *geohazard* serta cuaca ekstrem. Risiko ini sering memicu keterlambatan, deviasi biaya, dan klaim kontraktual. Kontrak FIDIC mengatur pembagian risiko melalui klausul seperti 4.10 (*Site Data*), 4.12 (*Unforeseeable Conditions*), 13 (*Variations*), 17–19 (*Risk & Force Majeure*), dan 20 (*Claims*). Penelitian ini meninjau efektivitas penerapan manajemen risiko berbasis metode *hybrid (Waterfall + Agile)* pada proyek laut. Metode *Waterfall* digunakan untuk menjaga baseline kontrak dan kepatuhan FIDIC, sedangkan *Agile* memberikan fleksibilitas dalam menghadapi perubahan kondisi lapangan. Hasil penelitian diharapkan menghasilkan model konseptual manajemen risiko *hybrid* yang mampu meminimalisir dampak geoteknik dan *geohazard*, sekaligus meningkatkan efektivitas mitigasi serta kepastian kontraktual dalam proyek konstruksi laut.

Kata kunci : manajemen risiko, geoteknik, *geohazard*, konstruksi laut, FIDIC, metode *hybrid, Agile, Waterfall*

### ABSTRACT

*Marine construction projects such as ports, jetties, and offshore facilities are characterized by high risks arising from geotechnical uncertainties (seabed instability, soft clay, scouring, submarine landslides), geohazards, and extreme weather conditions. These risks often lead to delays, cost deviations, and contractual claims. The FIDIC contract framework regulates risk allocation through clauses such as 4.10 (Site Data), 4.12 (Unforeseeable Conditions), 13 (Variations), 17–19 (Risk & Force Majeure), and 20 (Claims). This study examines the effectiveness of applying hybrid project risk management (Waterfall + Agile) in marine construction projects. The Waterfall approach ensures compliance with FIDIC provisions and maintains baseline planning, while the Agile approach provides flexibility in adapting to unforeseen geotechnical and environmental conditions. The expected outcome is a conceptual hybrid risk management model that minimizes the impacts of geotechnical and geohazard risks while enhancing mitigation effectiveness and contractual certainty in marine construction projects.*

Keyword : risk management, geotechnical risk, *geohazard*, marine construction, FIDIC, hybrid method, *Agile, Waterfall*

## 1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi laut merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam pengembangan infrastruktur transportasi, energi, dan perdagangan global. Proyek-proyek seperti pembangunan pelabuhan, dermaga, *offshore structure*, hingga fasilitas energi lepas pantai memiliki kompleksitas teknis yang tinggi serta melibatkan berbagai disiplin ilmu. Salah satu tantangan utama pada proyek konstruksi laut adalah pengelolaan risiko yang bersumber dari kondisi geoteknik dan potensi *geohazard*, seperti tanah lunak, sedimentasi, erosi, likuifaksi, gelombang ekstrem, hingga potensi gempa bumi dan tsunami. Risiko-risiko ini, apabila tidak dikelola dengan baik, dapat berdampak serius terhadap keselamatan, biaya, jadwal, maupun keberlanjutan proyek.

Dalam konteks tersebut, manajemen risiko menjadi instrumen kunci untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, serta memitigasi potensi masalah yang mungkin muncul sepanjang siklus hidup proyek. Namun, pendekatan tradisional yang hanya mengandalkan analisis probabilistik atau deterministik sering kali tidak cukup untuk mengakomodasi dinamika dan ketidakpastian yang tinggi di lingkungan marine. Oleh karena itu, metode *hybrid* yang memadukan keunggulan pendekatan kuantitatif dan kualitatif dianggap lebih efektif untuk memperoleh gambaran komprehensif dalam pengelolaan risiko geoteknik dan *geohazard*.

Selain aspek teknis, keberhasilan manajemen risiko pada proyek konstruksi laut juga dipengaruhi oleh kerangka kontraktual yang digunakan. *FIDIC Contract* (International Federation of Consulting Engineers) sebagai standar internasional banyak dipakai dalam proyek-proyek besar karena menekankan keseimbangan hak dan kewajiban antara pihak pemilik (*employer*) dan kontraktor. FIDIC memberikan dasar yang jelas terkait pembagian risiko, mekanisme klaim, serta penyelesaian

sengketa, sehingga dapat mendukung penerapan manajemen risiko yang lebih terstruktur.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas manajemen risiko geoteknik dan *geohazard* dengan metode *hybrid* pada proyek konstruksi laut dalam kerangka kontrak FIDIC. Hasil riset diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam bentuk model pengelolaan risiko yang lebih adaptif, terukur, dan sesuai dengan praktik kontraktual internasional, sehingga mampu meningkatkan keberhasilan dan keberlanjutan proyek konstruksi marine.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kategori Risiko Geoteknik dan *Geohazard* pada Proyek Konstruksi Laut

Risiko geoteknik dan *geohazard* pada proyek konstruksi laut merupakan faktor krusial yang memengaruhi keberhasilan maupun kegagalan suatu infrastruktur lepas pantai. Secara umum, geoteknik dalam konteks laut mengacu pada studi mengenai sifat dasar laut (*seabed* dan *sub-seafloor*) serta interaksinya dengan struktur teknik yang dipasang, seperti fondasi turbin lepas pantai, dermaga, atau pipa bawah laut [20], [23]. Risiko geoteknik muncul dari ketidakpastian karakteristik tanah, variabilitas stratifikasi, serta pengaruh lingkungan laut berupa gelombang, arus, dan beban siklik [20], [25]. Sementara itu, *geohazard* didefinisikan sebagai fitur, proses, atau peristiwa geologis di laut yang dapat mengancam integritas struktur buatan manusia maupun sistem alami, seperti longsor bawah laut, tsunami, atau keluarnya gas dari sedimen [21], [26].

Kategori risiko geoteknik dalam proyek *marine* meliputi beberapa aspek utama. Pertama, kondisi tanah yang tidak seragam atau stratifikasi kompleks sering menimbulkan perbedaan daya dukung yang signifikan pada fondasi [20], [23]. Kedua, *settlement* atau penurunan tanah yang dapat terjadi secara umum maupun diferensial berpotensi merusak kestabilan struktur [23], [25]. Ketiga, fenomena likuifaksi pada tanah berpasir jenuh selama gempa atau akibat beban dinamis menyebabkan hilangnya kekuatan geser tanah [20]. Keempat, *scour* atau erosi dasar laut akibat

gelombang dan arus berpotensi mengurangi kapasitas dukung pondasi tiang maupun *gravity base structure* [25]. Selain itu, kestabilan lereng bawah laut (*submarine slope stability*) menjadi risiko serius karena longsor dasar laut dapat terjadi akibat sedimentasi cepat, pembebanan berlebih, maupun aktivitas seismik [24], [28]. Tekanan air pori berlebih atau kondisi sedimen overpressured juga dapat menyebabkan *uplift* dan migrasi fluida berbahaya yang berdampak pada fondasi [23], [25].

Di sisi lain, kategori *geohazard marine* juga terbagi menjadi beberapa kelompok besar. *Slope failure* atau kegagalan lereng bawah laut dapat berupa *slump*, *debris flow*, hingga *turbidity currents* yang berpotensi merusak infrastruktur bawah laut [21], [27]. *Fluid seepage*, termasuk keluarnya air, hidrokarbon, atau gas ringan dari sedimen, sering menimbulkan fitur permukaan seperti *pockmarks* maupun *mud volcanoes* [21], [26]. Aktivitas seismik merupakan *geohazard* signifikan karena dapat menimbulkan kerusakan langsung maupun memicu risiko sekunder seperti likuefaksi, tsunami, atau longsor bawah laut [21], [28]. Tsunami sendiri menjadi ancaman besar bagi struktur pantai maupun lepas pantai karena dapat dihasilkan oleh gempa, longsor bawah laut, maupun erupsi vulkanik [21]. *Geohazard* lain yang penting adalah volkanisme bawah laut, *subsidence* pada delta atau margin kontinen, serta perubahan morfologi dasar laut seperti *dunes* dan *ripples* yang terus bergerak [21], [26]. Hambatan fisik berupa *positive reliefs* (misalnya *reef*, *ridges*, atau *outcrops*) maupun *negative reliefs* (seperti *canyon* dan *gullies*) juga dapat menimbulkan kesulitan dalam penentuan jalur pipa dan kabel [21]. Lebih lanjut, aktivitas patahan (*faulting*) dan keberadaan intrusi material seperti *salt* atau *mud diapirs* dapat mengubah kondisi bawah laut secara drastis, sehingga mengancam kestabilan struktur [22], [29].

Dengan demikian, kategori risiko geoteknik lebih terkait dengan sifat tanah dan interaksinya dengan struktur, sedangkan *geohazard* mencakup fenomena geologi yang lebih luas dan dinamis. Keduanya perlu diidentifikasi sejak tahap perencanaan melalui survei geologi, geofisika, dan geoteknik, agar dapat dikelola secara efektif dalam desain serta pelaksanaan konstruksi marine [21], [23], [25].

## 2.2 Tahap Manajemen Risiko

Manajemen risiko, menurut ISO 31000, dinyatakan sebagai penerapan sistematis dari kebijakan, prosedur, dan praktik yang diperlukan dalam kegiatan komunikasi dan konsultasi, penetapan konteks, penilaian (identifikasi, analisis, evaluasi), penanganan (*treatment*), serta pemantauan dan peninjauan risiko secara terus-menerus [ISO 31000]. Sementara itu, dalam kerangka PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), manajemen risiko proyek terdiri dari proses yang meliputi identifikasi risiko, analisis risiko (kualitatif dan kuantitatif), perencanaan respons risiko (mitigasi), pelaksanaan respons, serta pemantauan dan pengendalian risiko sepanjang siklus hidup proyek. Integrasi antara ISO dan PMBOK memungkinkan agar manajemen risiko beroperasi sebagai kerangka umum (ISO) sekaligus prosedur terstruktur dalam proyek (PMBOK).

### 2.2.1 Identifikasi Risiko

Dalam ISO 31000, identifikasi risiko adalah langkah awal dari penilaian risiko (*risk assessment*), di mana organisasi mengenali risiko (*events*) yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan dan mengidentifikasi sumber, sebab, dan potensi konsekuensi dari risiko tersebut [ISO 31000]. Proses identifikasi harus komprehensif dan melibatkan para pemangku kepentingan melalui komunikasi dan konsultasi agar semua aspek risiko terdeteksi. Dalam konteks PMBOK, *Identify Risks* adalah proses resmi yang menyaring dan mencatat risiko potensial dalam *register* risiko, menggunakan teknik seperti *brainstorming*, wawancara ahli, studi dokumen proyek, dan catatan pelajaran dari proyek sebelumnya. Output dari proses ini adalah *risk register* yang memuat daftar risiko, penyebab, dampak awal, dan pemilik risiko.

### 2.2.2 Analisis Risiko

Setelah risiko diidentifikasi, tahap selanjutnya adalah analisis risiko. Berdasarkan ISO 31000, analisis risiko mencakup pengkajian probabilitas (*likelihood*) dan konsekuensi (*impact*) dari risiko yang telah diidentifikasi, serta pertimbangan tentang kontrol atau faktor yang sudah ada (*existing controls*) yang dapat mempengaruhi tingkat risiko aktual [ISO 31000]. Dalam dokumen ISO/IEC 31010 (standar teknik

penilaian risiko) disebutkan bahwa analisis dan evaluasi bersama merupakan komponen inti dari *risk assessment*, di mana identifikasi dikombinasikan dengan analisis dan evaluasi.

Dalam kerangka PMBOK, analisis risiko dibagi menjadi dua jenis: *Perform Qualitative Risk Analysis* dan *Perform Quantitative Risk Analysis*. Analisis kualitatif bertujuan mengurutkan risiko berdasarkan kemungkinan dan dampaknya menggunakan matriks atau metode skor, sedangkan analisis kuantitatif melibatkan pemodelan numerik (misalnya simulasi Monte Carlo, analisis sensitivitas) untuk mengukur pengaruh risiko terhadap waktu, biaya, atau sasaran proyek lainnya. Kedua jenis analisis ini membantu manajer proyek memahami intensitas dan prioritas risiko yang perlu ditangani.

### 2.2.3 Evaluasi/ Prioritas Risiko

Evaluasi risiko (*risk evaluation*) dalam ISO 31000 adalah langkah untuk membandingkan hasil analisis risiko terhadap kriteria risiko yang telah ditetapkan (*risk criteria*) untuk menentukan prioritas risiko—apakah risiko tersebut diterima, perlu diubah, atau diperlakukan lebih lanjut [ISO 31000]. Proses ini membantu menetapkan mana risiko yang memerlukan tindakan lebih dahulu, mana yang cukup dipantau, dan mana yang bisa diterima (dengan *residual risk*).

Dalam PMBOK, setelah analisis risiko selesai, manajer proyek melakukan *Plan Risk Responses* atau tahap perencanaan respons risiko berdasarkan prioritas yang teridentifikasi. Risiko dengan potensi dampak besar dan probabilitas tinggi diprioritaskan untuk mendapatkan rencana respons terlebih dahulu, sedangkan risiko dengan dampak kecil atau probabilitas rendah mungkin dibiarkan atau dipantau saja. Prioritas ini sering ditampilkan dalam *risk ranking* atau peringkat risiko sebagai dasar alokasi sumber daya untuk mitigasi.

### 2.2.4 Mitigasi Risiko

Dalam terminologi ISO 31000, penanganan risiko (*risk treatment*) merupakan kegiatan untuk memilih dan menerapkan satu atau lebih strategi untuk meminimalkan risiko atau memanfaatkan peluang (*treat the risk*) sesuai dengan kebijakan dan toleransi risiko organisasi [ISO 31000]. Strategi penanganan risiko dapat berupa penghindaran (*avoidance*), pengurangan

(*reduction*), pemindahan (*transfer*), atau penerimaan (*retention*).

Dalam PMBOK, tahap yang sepadan adalah *Plan Risk Responses*, di mana untuk setiap risiko prioritas dirancang respons yang bisa berupa mitigasi (mengurangi kemungkinan atau dampak), penghindaran (menghapus penyebab risiko), pemindahan (misalnya melalui kontrak atau asuransi), atau penerimaan (membiarkan risiko terjadi dengan rencana cadangan). Setelah respons direncanakan, tahap *Implement Risk Responses* adalah eksekusi tindakan mitigasi selama pelaksanaan proyek.

### 2.2.5 Monitoring dan Review Risiko

ISO 31000 menyatakan bahwa risiko harus dipantau dan ditinjau secara kontinu untuk menangkap perubahan konteks internal dan eksternal, efektivitas kontrol, serta munculnya risiko baru. Hal ini menyiratkan bahwa manajemen risiko bukan aktivitas sekali jalan tetapi bersifat dinamis dan iteratif [ISO 31000]. Dalam standar ISO, *monitoring* dan *review* adalah bagian integral dari kerangka manajemen risiko untuk memastikan bahwa proses manajemen risiko tetap relevan dan efektif sepanjang waktu. Dalam PMBOK, tahap paralel adalah *Monitor Risks* (dalam domain *Control Risks*), yaitu memantau risiko yang telah direpson, mengevaluasi efektivitas respons, mengidentifikasi risiko baru atau perubahan terhadap risiko yang ada, dan melakukan tindakan korektif bila diperlukan. Proses ini dijalankan terus-menerus sepanjang siklus proyek untuk menjaga agar proyek tetap terkendali terhadap ketidakpastian.

### 2.2.6 Komunikasi Risiko

Komunikasi dan konsultasi risiko adalah elemen yang ditekankan oleh ISO 31000 sebagai proses interaktif yang harus terjadi sepanjang manajemen risiko, agar pemangku kepentingan (*stakeholders*) dilibatkan, informasi risiko disampaikan tepat waktu, dan umpan balik mereka diterima [ISO 31000]. ISO khususnya menetapkan bahwa komunikasi risiko harus dilakukan dengan ketepatan waktu, akurat, dan dapat dipahami oleh penerima, serta harus mencakup komunikasi dua arah (*feedback*).

Dalam PMBOK, komunikasi risiko tidak digambarkan sebagai proses tersendiri tetapi diintegrasikan dalam seluruh proses manajemen proyek—dimana informasi risiko, status respons, perubahan, dan temuan baru harus dilaporkan kepada pemangku kepentingan melalui *risk reporting* dan *performance reporting*. Dengan demikian, komunikasi risiko membantu menjaga transparansi, memastikan pemahaman bersama, dan mendukung pengambilan keputusan sepanjang proyek.

### 2.3 Perbedaan Metode *Waterfall* dan Metode *Agile* dalam Manajemen Proyek

Metode *Waterfall* dan *Agile* merupakan dua pendekatan yang berbeda dalam manajemen proyek, khususnya dalam pengembangan perangkat lunak maupun proyek rekayasa yang kompleks. Model *Waterfall* dianggap sebagai pendekatan tradisional dengan sifat linier dan sekuensial, di mana setiap fase proyek—seperti analisis, desain, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan—harus diselesaikan secara berurutan sebelum melanjutkan ke fase berikutnya [30]. Keunggulan utama metode ini adalah struktur yang jelas, dokumentasi yang lengkap, dan kemudahan dalam pengendalian proyek, namun kelemahannya terletak pada kurangnya fleksibilitas dalam menghadapi perubahan kebutuhan [30], [32].

Sebaliknya, *Agile* diperkenalkan sebagai pendekatan adaptif yang lebih iteratif dan kolaboratif, dengan fokus pada pengiriman produk dalam siklus singkat (*sprints*) sehingga memungkinkan perubahan kebutuhan dapat diakomodasi dengan cepat [31]. *Agile* menekankan interaksi tim, keterlibatan pemangku kepentingan, dan perbaikan berkelanjutan sepanjang siklus proyek [31], [32]. Dibandingkan dengan *Waterfall* yang lebih sesuai untuk proyek dengan ruang lingkup yang stabil dan kebutuhan jelas sejak awal, *Agile* lebih cocok digunakan pada proyek dengan tingkat ketidakpastian tinggi atau perubahan kebutuhan yang sering terjadi [30], [31]. Oleh karena itu, pemilihan antara *Waterfall* dan *Agile* harus disesuaikan dengan konteks proyek, kompleksitas, dan tingkat fleksibilitas yang dibutuhkan.

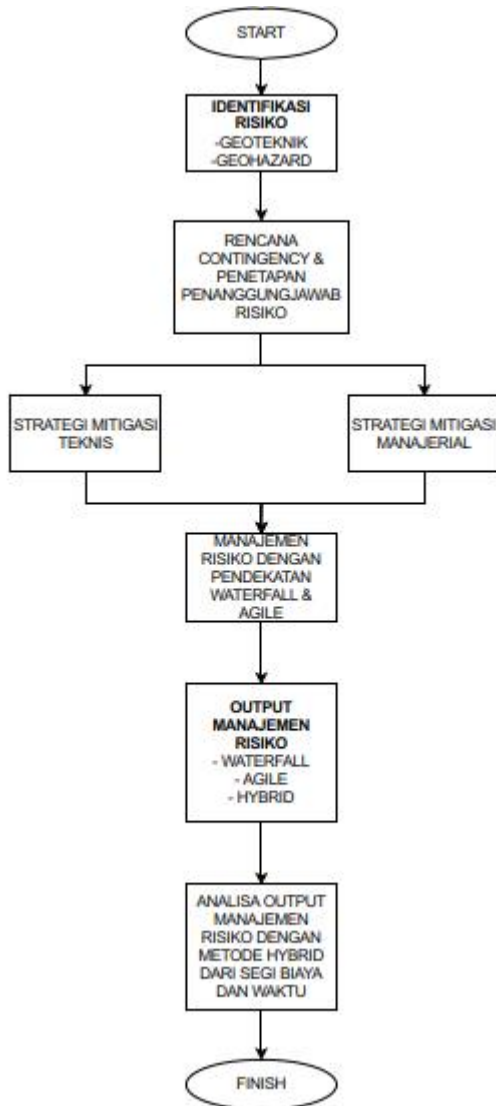
### 2.4 Kontrak FIDIC dan Klausul yang Berkaitan dengan Manajemen Risiko

Kontrak FIDIC (Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils) merupakan standar kontrak internasional yang banyak digunakan dalam proyek konstruksi global, terutama karena mencakup pengaturan yang jelas terkait risiko, tanggung jawab, dan alokasi kewajiban antara pihak pemberi kerja (*employer*) dan kontraktor [33]. Dalam edisi FIDIC 1999, klausul 17 secara khusus membahas risiko dan tanggung jawab (*Risk and Responsibility*), yang menetapkan pembagian risiko antara kontraktor dan pemberi kerja dalam berbagai kondisi proyek, seperti risiko keterlambatan, kecelakaan, hingga kondisi *force majeure* [33].

Selain itu, FIDIC juga menekankan pentingnya manajemen risiko secara menyeluruh, sebagaimana tercermin dalam panduan singkat mengenai manajemen risiko yang diterbitkan oleh FIDIC, yang memberikan kerangka kerja identifikasi, analisis, evaluasi, dan pengendalian risiko dalam proyek konstruksi [34]. Studi akademik juga menyoroti bahwa klausul risiko dalam kontrak FIDIC secara langsung memengaruhi posisi kontraktor, terutama dalam hal tanggung jawab atas keterlambatan, keuangan, serta keselamatan proyek [35]. Dengan demikian, FIDIC tidak hanya berfungsi sebagai instrumen hukum, tetapi juga sebagai alat manajemen risiko yang mendorong transparansi, keadilan, dan efisiensi dalam penyelesaian proyek konstruksi berskala internasional.

## 3. METODE PENELITIAN

Adapun penelitian ini berupa studi pustaka yang dilaksanakan dengan mengumpulkan parameter-parameter risiko geoteknik dan *geohazard* dari proyek konstruksi laut/ *marine construction*. Adapun *flow* dari penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian  
 Sumber: Olahan Penulis (2025)

Adapun penelitian ini dimulai dari mengidentifikasi risiko geoteknik dan *geohazard* yang akan muncul dari sebuah proyek konstruksi laut, kemudian dari studi literatur akan diperoleh rencana kontingensi dan penanggungjawab masing-masing risiko. Setiap risiko akan dimitigasi secara teknis dan secara manajerial di mana setiap risiko akan di-*manage* dengan pendekatan *waterfall*, *agile* dan *hybrid*. Dari analisis manajemen risiko ini akan diperoleh *output* manajemen risiko *waterfall*, *agile* dan *hybrid*. Dari manajemen risiko dengan metode *hybrid*, maka diperoleh analisis *output* dari segi biaya dan waktu.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat hasil dan pembahasan tentang penelitian yang dilakukan

##### 4.1 Identifikasi Risiko dan Analisis Risiko Geoteknik dan *Geohazard* pada Proyek Konstruksi Laut

Berdasarkan hasil studi literatur, diperoleh 7 risiko geoteknik dan *geohazard* yang sering terjadi pada proyek konstruksi laut.

Tabel 1. Identifikasi Risiko Geoteknik dan Geohazard

No	Jenis Risiko	Deskripsi / Penyebab	Probabilitas	Dampak	Strategi Mitigasi Teknis	Strategi Mitigasi Manajerial (Hybrid)	Referensi
1	Soft Clay / Compressible Soil	Tanah lunak atau clay tebal, deformasi pondasi tinggi	Tinggi [1]	Tinggi [1]	Ground improvement (stone column, PVD, preloading) [1]	Waterfall: baseline investigasi & ground improvement [1] Agile: revisi desain pondasi bila kondisi aktual berbeda [1]	[1]
2	Seabed Instability / Slope Failure	Lereng laut tidak stabil, sedimentasi, arus kuat	Sedang [2]	Tinggi [2]	Stabilisasi lereng, cofferdam, revetment [2], [3]	Waterfall: baseline desain lereng [2] Agile: iterasi metode konstruksi bila instability muncul [2], [3]	[2], [3]
3	Scouring pada Pondasi	Arus dan gelombang kuat mengikis pondasi	Tinggi [2]	Sedang [2]	Proteksi pondasi (riprap, gabion, beton blok) [2], [3]	Waterfall: proteksi permanen masuk baseline [2] Agile: update backlog proteksi tambahan [2], [3]	[2], [3]
4	Gas Pockets / Cavity	Kehadiran kantong gas di seabed, void bawah tanah	Rendah [3]	Tinggi [3]	Geophysical survey, modifikasi pondasi (bored pile) [3]	Waterfall: catat risiko di risk register [3] Agile: sprint safety plan & modifikasi pondasi adaptif [3]	[3]
5	Submarine Landslide	Longsor bawah laut akibat tekanan air pori atau gempa	Rendah [2]	Sangat Tinggi [2]	Monitoring seismik & tekanan air pori, perkuatan breakwater [2]	Waterfall: desain baseline reinforcement [2] Agile: iterasi reinforcement sesuai monitorin g [2]	[2]

No	Jenis Risiko	Deskripsi / Penyebab	Probabilitas	Dampak	Strategi Mitigasi Teknis	Strategi Mitigasi Manajerial (Hybrid)	Referensi
6	Sedimentasi / Coastal Morphology	Perubahan morfologi pantai atau dasar laut	Tinggi [4]	Sedang [4]	Dredging periodik, breakwater [4]	Waterfall: rencana dredging masuk baseline [4] Agile: re-prioritization pekerjaan bila sedimentasi lebih cepat [4]	[4]
7	Cuaca Ekstrem (Badai, Gelombang)	Angin kencang, gelombang tinggi, monsoon	Tinggi [2]	Tinggi [2]	Weather downtime allowance, forecasting system [2]	Waterfall: buffer waktu dalam baseline [2] Agile: sprint rescheduling / shifting pekerjaan offshore → onshore [2]	[2]

Sumber: Olahan Penulis (2025)

Proyek konstruksi laut memiliki berbagai risiko geoteknik dan *geohazard* yang dapat berdampak signifikan pada biaya, waktu, dan keselamatan proyek. Salah satu risiko utama adalah tanah lunak atau *soft clay*, yang dapat menyebabkan penurunan pondasi dan deformasi struktur. Risiko ini memiliki probabilitas dan dampak tinggi, sehingga mitigasi teknis seperti *ground improvement* menggunakan *stone column*, *preloading*, atau *PVD* diperlukan [1]. Dalam pendekatan manajemen proyek *hybrid*, *Waterfall* digunakan untuk memastikan *baseline* investigasi dan *ground improvement* tercatat dalam *risk register*, sementara *Agile* memungkinkan revisi desain pondasi jika kondisi aktual berbeda dari asumsi desain [1].

*Seabed instability* atau *slope failure* juga menjadi perhatian penting. Lereng laut yang tidak stabil dapat menyebabkan pergeseran tanah dan kerusakan struktur bawah laut. Probabilitas sedang dengan dampak tinggi [2],[3]. Mitigasi teknis dilakukan melalui stabilisasi lereng dan pemasangan *cofferdam* atau *revetment* [2],[3]. Secara manajerial, *baseline* desain lereng dicatat dalam dokumen kontrak menggunakan *Waterfall*, sementara *Agile* digunakan untuk iterasi metode konstruksi saat instabilitas terdeteksi [2],[3].

*Scouring* pada pondasi merupakan risiko akibat arus dan gelombang yang mengikis pondasi, dengan probabilitas tinggi dan dampak sedang [2],[3]. Proteksi pondasi menggunakan

riprap, gabion, atau beton blok serta monitoring arus secara real-time merupakan strategi mitigasi teknis [2],[3]. Dalam pendekatan *hybrid*, *Waterfall* memastikan proteksi permanen masuk *baseline*, dan *Agile* memungkinkan *update backlog* proteksi tambahan jika *scouring* lebih parah dari prediksi [2],[3].

Risiko *gas pockets* atau *cavity* memiliki probabilitas rendah namun dampak tinggi, karena keberadaan kantong gas di *seabed* dapat menimbulkan ledakan atau keruntuhan pondasi [3]. Mitigasi teknis meliputi *geophysical survey* seperti *seismic reflection* dan *side scan sonar*, serta modifikasi pondasi menggunakan *bored pile* atau *caisson* [3]. Secara manajerial, risiko dicatat di *risk register baseline* melalui *Waterfall*, sedangkan *Agile* digunakan untuk *sprint safety plan* dan adaptasi modifikasi pondasi [3].

*Submarine landslide* adalah longsoran bawah laut akibat tekanan air pori atau aktivitas seismik, dengan probabilitas rendah dan dampak sangat tinggi [2]. Mitigasi teknis dilakukan melalui monitoring tekanan air pori dan aktivitas seismik, serta penguatan *breakwater* atau *armor stone* [2]. *Waterfall* digunakan untuk desain *baseline reinforcement*, sementara *Agile* memungkinkan iterasi desain sesuai data monitoring lapangan [2].

Risiko sedimentasi atau perubahan morfologi pantai memiliki probabilitas tinggi dan dampak sedang [4]. Dredging periodik dan pemasangan *breakwater* merupakan mitigasi teknis utama [4]. *Waterfall* memastikan rencana dredging masuk *baseline*, sedangkan *Agile* memungkinkan *re-prioritization* pekerjaan jika sedimentasi lebih cepat dari prediksi [4].

Terakhir, cuaca ekstrem seperti badai, gelombang tinggi, dan monsoon memiliki probabilitas dan dampak tinggi [2]. Strategi mitigasi teknis meliputi perencanaan *weather downtime allowance* dan penggunaan sistem *forecast* cuaca [2]. *Waterfall* memastikan *buffer* waktu dalam *baseline schedule*, sedangkan *Agile* memungkinkan *sprint rescheduling* atau *shifting* pekerjaan *offshore* ke *onshore* saat badai [2].

Secara keseluruhan, pendekatan *hybrid Waterfall + Agile* memungkinkan manajemen risiko yang terstruktur namun fleksibel, sehingga proyek marine dapat mengantisipasi kondisi geoteknik dan *geohazard* yang kompleks [1] - [4].

#### 4.2 Risk Register, Contingency Plan dan Pembagian Risiko

Setelah diperoleh identifikasi masing-masing risiko, maka tahap yang perlu dilakukan adalah menyusun rencana kontingensi risiko.

**Tabel 2.** Rencana Kontingensi Risiko dan Penanggung Risiko

No.	Risiko	Rencana Kontingensi	Penanggung Risiko
1	Soft Clay / Compressible Soil	- Teori prediksi kompresibilitas tanah [1]- Uji laboratorium tanah (CPT, SPT) di lokasi [6]- Teknik perbaikan tanah seperti konsolidasi, jet grouting, atau penggunaan tiang pancang [9]- Pemantauan deformasi selama konstruksi [9]	Contractor
2	Seabed Instability / Slope Failure	- Studi stabilitas lereng bawah laut (teori) [5]- Studi geoteknik bawah laut (bor, georadar) [8]- Pemilihan lokasi yang stabil [8]- Pemantauan kondisi seabed secara berkala [8]- Desain struktur dengan faktor keamanan tinggi [8]	Engineer
3	Scouring pada Pondasi	- Analisis hidrodinamika dan geoteknik [7]- Desain pondasi dengan perlindungan tambahan (misal: riprap, sheet pile) [7]- Pemantauan kondisi aliran dan sedimentasi [7]	Contractor
4	Gas Pockets / Cavity	- Investigasi geofisika untuk mendeteksi kantong gas [8]- Desain struktur tahan ledakan [8]- Prosedur evakuasi dan mitigasi kebocoran [8]	Employer
5	Submarine Landslide	- Teori risiko tanah longsor bawah laut [5]- Studi stabilitas lereng bawah laut [6]- Pemantauan geoteknik dan geofisika [6]- Desain struktur dengan faktor keamanan tinggi [6]	Engineer
6	Sedimentasi / Coastal Morphology	- Teori perubahan morfologi pantai [5]- Pemantauan morfologi pantai secara berkala [9]- Desain struktur adaptif terhadap perubahan morfologi [9]- Pemeliharaan dan pembersihan rutin [9]	Contractor
7	Cuaca Ekstrem (Badai, Gelombang)	- Analisis cuaca dan iklim lokal [10]- Penjadwalan ulang kegiatan konstruksi [10]- Penyediaan shelter dan prosedur evakuasi darurat [10]	Employer

Sumber: Olahan Penulis (2025)

Dalam proyek konstruksi bawah laut dan pesisir, manajemen risiko merupakan bagian penting untuk memastikan keselamatan, kualitas, dan keberlanjutan proyek. Risiko seperti *Soft Clay* atau *Compressible Soil* dapat menurunkan kapasitas dukung pondasi dan menyebabkan deformasi struktur. Untuk mengatasi hal ini, teori prediksi kompresibilitas tanah dapat digunakan sebagai dasar ilmiah untuk desain pondasi [5]. Selanjutnya, uji laboratorium seperti CPT dan SPT dilakukan di lapangan untuk memvalidasi kondisi tanah aktual [6]. Mitigasi tambahan termasuk teknik perbaikan tanah, seperti

konsolidasi, jet grouting, dan penggunaan tiang pancang, serta pemantauan deformasi selama konstruksi [9]. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Contractor*, karena mitigasinya melibatkan pekerjaan lapangan langsung.

Risiko *Seabed Instability* atau *Slope Failure* ditangani melalui studi stabilitas lereng bawah laut [5] dan investigasi geoteknik menggunakan bor dan *georadar* [8]. Pemilihan lokasi yang stabil, pemantauan *seabed* secara berkala, dan desain struktur dengan faktor keamanan tinggi merupakan langkah mitigasi yang menjadi tanggung jawab *Engineer*, karena membutuhkan analisis teknis dan desain struktur yang tepat [8].

*Scouring* pada pondasi dapat mempengaruhi stabilitas struktur. Analisis hidrodinamika dan geoteknik, serta perlindungan pondasi menggunakan riprap atau *sheet pile*, merupakan tindakan mitigasi yang menjadi tanggung jawab *Contractor* [7].

*Gas pockets* atau *cavity* di bawah permukaan laut berpotensi menyebabkan ledakan atau kerusakan struktur. Investigasi geofisika untuk mendeteksi kantong gas, desain struktur tahan ledakan, dan prosedur evakuasi merupakan langkah mitigasi yang menjadi tanggung jawab *Employer*, karena berkaitan dengan kondisi geologi yang tidak dapat dikontrol oleh *Contractor* [8].

*Submarine landslide* dapat memicu pergerakan tanah bawah laut dan kerusakan struktur. Tindakan mitigasi meliputi studi risiko tanah longsor [5], stabilitas lereng bawah laut [6], pemantauan geoteknik dan geofisika [6], serta desain struktur dengan faktor keamanan tinggi, yang menjadi tanggung jawab *Engineer*.

Risiko terkait Sedimentasi dan *Coastal Morphology* dapat mempengaruhi keberlanjutan dan keselamatan proyek pesisir. Teori perubahan morfologi pantai [5], pemantauan morfologi secara berkala, desain struktur adaptif terhadap perubahan morfologi, dan pemeliharaan rutin merupakan langkah mitigasi yang menjadi tanggung jawab *Contractor* [9].

Akhirnya, cuaca ekstrem seperti badai dan gelombang tinggi dapat menunda konstruksi dan membahayakan keselamatan pekerja. Analisis cuaca lokal, penjadwalan ulang kegiatan konstruksi, dan penyediaan shelter serta prosedur evakuasi darurat menjadi tanggung jawab *Employer* [10].



Secara keseluruhan, tabel *Risk Register* ini mengintegrasikan landasan teori (misalnya referensi [5]) dan praktik mitigasi nyata di lapangan (referensi [6]-[10]), sekaligus membagi tanggung jawab risiko sesuai prinsip PMBOK, FIDIC, dan ISO 31000, sehingga memberikan panduan manajemen risiko yang sistematis dan dapat diimplementasikan di proyek konstruksi bawah laut dan pesisir.

### 4.3 Klausul FIDIC terkait Risiko Geoteknik dan Geohazard

Penanganan risiko geoteknik dan *geohazard* dapat dihubungkan dengan klausul FIDIC yang terkait khususnya untuk penanggulangan risiko dengan metode *waterfall*.

**Tabel 3.** Klausul FIDIC terkait Risiko Geoteknik dan Geohazard

No.	Risiko	Klausul FIDIC yang Relevan
1	Soft Clay / Compressible Soil	Clause 4.12 – Unforeseeable Physical Conditions
2	Seabed Instability / Slope Failure	Clause 4.12 – Unforeseeable Physical Conditions & Clause 4.1 – Contractor’s General Obligations
3	Scouring pada Pondasi	Clause 4.1 – Contractor’s General Obligations & Clause 7.1 – Manner of Execution
4	Gas Pockets / Cavity	Clause 4.12 – Unforeseeable Physical Conditions & Clause 4.6 – Co-operation
5	Submarine Landslide	Clause 4.12 – Unforeseeable Physical Conditions & Clause 8.4 – Extension of Time for Completion
6	Sedimentasi / Coastal Morphology	Clause 4.1 – Contractor’s General Obligations & Clause 7.1 – Manner of Execution
7	Cuaca Ekstrem (Badai, Gelombang)	Clause 19 – Force Majeure

Sumber: Olahan Penulis (2025)

Dalam proyek konstruksi bawah laut dan pesisir, manajemen risiko sangat penting untuk menjamin keselamatan, kualitas, dan keberlanjutan proyek. Risiko seperti *Soft Clay* atau *Compressible Soil* dapat menurunkan kapasitas dukung pondasi dan menyebabkan deformasi struktur. Mitigasinya meliputi uji laboratorium tanah (CPT, SPT), teknik perbaikan tanah seperti konsolidasi, *jet grouting*, atau penggunaan tiang pancang, serta pemantauan deformasi selama konstruksi. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Contractor*, karena mitigasinya

melibatkan pekerjaan lapangan langsung. Klausul 4.12 (*Unforeseeable Physical Conditions*) FIDIC sangat relevan, karena jika kondisi tanah berbeda dari yang diantisipasi, *Contractor* dapat mengajukan penyesuaian harga atau waktu.

Risiko *Seabed Instability* atau Slope Failure termasuk kondisi fisik yang tak terduga dan memerlukan tindakan mitigasi seperti studi geoteknik bawah laut, pemilihan lokasi yang stabil, pemantauan *seabed*, dan desain struktur dengan faktor keamanan tinggi. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Engineer*, karena memerlukan analisis teknis dan perencanaan struktur. Klausul 4.12 dan 4.1 (*Contractor’s General Obligations*) menekankan kewajiban untuk menyesuaikan pekerjaan dengan kondisi fisik tak terduga serta menjaga integritas struktur selama konstruksi.

*Scouring* pada pondasi dapat mempengaruhi stabilitas struktur. Mitigasinya meliputi analisis hidrodinamika, perlindungan pondasi dengan riprap atau *sheet pile*, dan pemantauan kondisi aliran serta sedimentasi. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Contractor*, dan diatur oleh klausul 4.1 dan 7.1 (*Contractor’s General Obligations* dan *Manner of Execution*), yang menekankan kewajiban *Contractor* menjaga keselamatan dan perlindungan pekerjaan.

*Gas pockets* atau *cavity* termasuk risiko geoteknik yang tak terduga. Mitigasi meliputi investigasi geofisika, desain struktur tahan ledakan, dan prosedur evakuasi. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Employer*, karena berkaitan dengan kondisi geologi yang disediakan oleh pihak *Owner*. Klausul 4.6 (*Co-operation*) menekankan kewajiban *Contractor* bekerja sama dengan *Engineer* dan *Employer* untuk mitigasi risiko semacam ini.

*Submarine landslide* dapat memicu pergerakan tanah bawah laut dan kerusakan struktur. Mitigasinya meliputi studi stabilitas lereng bawah laut, pemantauan geoteknik dan geofisika, serta desain struktur dengan faktor keamanan tinggi. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Engineer*, dan dalam FIDIC relevan dengan Clause 4.12 (*Unforeseeable Physical Conditions*) serta Clause 8.4 (*Extension of Time for Completion*), karena kondisi fisik tak terduga dapat memaksa penghentian sementara pekerjaan.

Risiko terkait Sedimentasi dan *Coastal Morphology* dapat mempengaruhi keberlanjutan proyek pesisir. Mitigasinya meliputi pemantauan

morfologi pantai secara berkala, desain struktur adaptif terhadap perubahan morfologi, dan pemeliharaan rutin. Risiko ini menjadi tanggung jawab *Contractor*, dengan klausul 4.1 dan 7.1 mengatur kewajiban menjaga keselamatan dan perlindungan struktur selama konstruksi.

Akhirnya, Cuaca ekstrem (badai, gelombang) dapat menunda konstruksi dan membahayakan keselamatan pekerja. Analisis cuaca lokal, penjadwalan ulang pekerjaan, serta penyediaan shelter dan prosedur evakuasi darurat menjadi tanggung jawab *Employer*. Risiko ini termasuk *Force Majeure*, diatur oleh klausul 19, yang memungkinkan penyesuaian jadwal tanpa penalti jika terjadi kondisi di luar kendali manusia.

#### 4.4 Integrasi Metode *Waterfall* dan Metode *Agile* pada Manajemen Risiko Geoteknik dan *Geohazard*

Setelah diperoleh risiko geoteknik dan *geohazard*, manajemen risiko dapat dibagi ke dalam metode penanganan dengan metode *waterfall* dan *agile*. Pada tabel di bawah ini dapat diperoleh fase yang cocok diterapkan pada metode *waterfall* dan metode *agile*.

**Tabel 4.** Integrasi Manajemen Risiko dengan Metode *Waterfall* dan Metode *Agile*

Risiko	<i>Waterfall</i> (Cocok untuk fase/fokus)	<i>Agile</i> (Cocok untuk fase/fokus)	Catatan/Alasan
1. Soft Clay / Compressible Soil	<b>Fase Studi Geoteknik &amp; Desain Pondasi</b> – Analisis tanah, uji laboratorium, desain pondasi dilakukan secara berurutan sebelum konstruksi	<b>Fase Monitoring &amp; Penyesuaian Lapangan</b> – Pemantauan deformasi dan adaptasi metode perbaikan tanah secara iteratif	Waterfall cocok untuk perencanaan dan analisis mendalam, Agile memungkinkan adaptasi di lapangan saat kondisi tanah berubah
2. Seabed Instability / Slope Failure	<b>Fase Desain Struktur Bawah Laut</b> – Studi stabilitas seabed dan desain struktural dilakukan secara sistematis	<b>Fase Pemantauan dan Revisi Desain</b> – Engineer bisa menyesuaikan pekerjaan berdasarkan data real-time seabed	Waterfall memastikan perhitungan awal matang; Agile membantu respons cepat jika seabed berubah
3. Scouring pada Pondasi	<b>Fase Perencanaan &amp; Desain Proteksi Pondasi</b> – Analisis hidrodinamika, desain riprap/sheet pile	<b>Fase Pemeliharaan dan Monitoring</b> – Penyesuaian perlindungan pondasi saat sedimentasi terjadi	Proteksi pondasi awal memerlukan Waterfall; Agile berguna untuk pemantauan dan mitigasi adaptif
4. Gas Pockets / Cavity	<b>Fase Investigasi Geofisika &amp; Perencanaan Mitigasi</b> – Deteksi gas dan	<b>Fase Implementasi dan Respons Darurat</b> – Penyesuaian prosedur jika	Waterfall fokus pada studi awal, Agile memungkinkan tim beradaptasi

Risiko	<i>Waterfall</i> (Cocok untuk fase/fokus)	<i>Agile</i> (Cocok untuk fase/fokus)	Catatan/Alasan
	desain tahan ledakan	kantong gas ditemukan secara tak terduga	terhadap kondisi tak terduga
5. Submarine Landslide	<b>Fase Studi Stabilitas Lereng &amp; Desain Struktur</b> – Analisis risiko dan desain mitigasi	<b>Fase Pemantauan dan Adaptasi</b> – Penyesuaian pekerjaan jika tanda awal longsor terdeteksi	Waterfall untuk analisis ilmiah awal, Agile untuk respons cepat di lapangan
6. Sedimentasi / Coastal Morphology	<b>Fase Desain Awal Struktur Pantai</b> – Prediksi morfologi dan desain struktur	<b>Fase Pemantauan dan Pemeliharaan Berkala</b> – Penyesuaian desain atau pembersihan sedimentasi secara iteratif	Waterfall cocok untuk desain awal, Agile untuk adaptasi terhadap perubahan morfologi yang dinamis
7. Cuaca Ekstrem (Badai, Gelombang)	<b>Fase Perencanaan Jadwal &amp; Proteksi</b> – Analisis risiko cuaca, penjadwalan dan penyediaan shelter	<b>Fase Operasional &amp; Respons Darurat</b> – Penyesuaian jadwal, evakuasi, dan mitigasi saat badai terjadi	Waterfall digunakan untuk mitigasi awal, Agile untuk fleksibilitas menghadapi kondisi tak terduga

Sumber: Olahan Penulis (2025)

Dalam proyek konstruksi bawah laut dan pesisir, metode *Waterfall* umumnya diterapkan pada fase perencanaan dan desain, termasuk studi geoteknik, analisis stabilitas seabed, desain proteksi pondasi, investigasi geofisika, serta prediksi morfologi dan mitigasi risiko cuaca ekstrem. Pendekatan ini memastikan analisis mendalam dan perencanaan sistematis sebelum pelaksanaan. Sementara itu, metode *Agile* lebih sesuai untuk fase implementasi dan adaptasi lapangan, di mana tim proyek memantau kondisi nyata dan menyesuaikan tindakan mitigasi secara iteratif. Contohnya termasuk pemantauan deformasi tanah, pengawasan seabed, adaptasi perlindungan pondasi, penanganan gas pockets secara darurat, pemantauan *submarine* landslide, penyesuaian struktur akibat sedimentasi, dan mitigasi risiko akibat cuaca ekstrem. Kombinasi *Waterfall* dan *Agile* memungkinkan proyek menjaga stabilitas perencanaan sekaligus fleksibilitas menghadapi kondisi tak terduga di lapangan, sehingga manajemen risiko menjadi lebih efektif dan responsif.

#### 4.5 Prediksi *Output* dari Integrasi Manajemen Risiko dengan Metode *Hybrid*

Pendekatan *Waterfall* memberikan output berupa:

- **Dokumentasi Risiko yang Komprehensif:** Analisis risiko yang

mendalam dan terdokumentasi dengan baik, mencakup identifikasi, penilaian, dan strategi mitigasi risiko.

- **Rencana Mitigasi yang Terstruktur:** Rencana aksi yang jelas dan terstruktur untuk mengatasi risiko yang telah diidentifikasi, termasuk langkah-langkah preventif dan korektif.
- **Penjadwalan dan Anggaran yang Ditetapkan:** Penjadwalan proyek dan anggaran yang telah ditetapkan sebelumnya, dengan alokasi sumber daya yang sesuai untuk mengelola risiko.
- **Kepatuhan terhadap Standar dan Regulasi:** Dokumentasi yang memastikan bahwa semua langkah mitigasi risiko mematuhi standar industri dan regulasi yang berlaku.

Pendekatan *Agile* menghasilkan output berupa:

- **Pemantauan Risiko Secara *Real-Time*:** Kemampuan untuk memantau dan menilai risiko secara *real-time* selama fase implementasi proyek.
- **Respons Cepat terhadap Perubahan:** Kemampuan untuk merespons dan menyesuaikan strategi mitigasi risiko dengan cepat terhadap perubahan kondisi proyek.
- **Iterasi dan Umpan Balik Berkelanjutan:** Proses iteratif yang memungkinkan evaluasi dan perbaikan berkelanjutan terhadap strategi mitigasi risiko.
- **Keterlibatan Tim yang Tinggi:** Keterlibatan aktif dari semua anggota tim dalam identifikasi dan mitigasi risiko, meningkatkan kesadaran dan kepemilikan terhadap risiko.

Pendekatan *hybrid* menggabungkan kekuatan dari kedua metodologi tersebut, menghasilkan *output* berikut:

- **Keseimbangan antara Perencanaan dan Fleksibilitas:** Memungkinkan perencanaan risiko yang mendalam dengan fleksibilitas untuk menyesuaikan strategi mitigasi sesuai kebutuhan proyek.
- **Peningkatan Efisiensi dan Efektivitas:** Mengoptimalkan alokasi sumber daya dan waktu dengan mengintegrasikan pendekatan terstruktur dan adaptif.

- **Peningkatan Kepuasa Stakeholder:** Meningkatkan komunikasi dan kolaborasi antara tim proyek dan stakeholder, memastikan bahwa ekspektasi dan kebutuhan mereka terpenuhi.
- **Peningkatan Kinerja Proyek:** Meningkatkan kinerja proyek secara keseluruhan melalui manajemen risiko yang lebih efektif dan responsif.

**Tabel 5.** Analisa *Output* dari Risiko dengan Pendekatan *Waterfall*, *Agile* dan *Hybrid*

Risiko	Output Waterfall (Perencanaan & Desain)	Output Agile (Implementasi & Adaptasi Lapangan)	Analisis Output Hybrid	Referensi
1. Soft Clay / Compressible Soil	Analisis geoteknik lengkap, uji laboratorium, rencana perbaikan tanah, jadwal dan anggaran mitigasi	Pemantauan deformasi tanah, penyesuaian metode perbaikan secara iteratif	Kombinasi perencanaan matang dan adaptasi lapangan, mengurangi risiko kegagalan pondasi	[15], [16]
2. Seabed Instability / Slope Failure	Studi stabilitas seabed, desain struktur bawah laut, strategi mitigasi rinci	Pemantauan seabed real-time, revisi desain jika diperlukan	Perencanaan awal kuat dengan kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi seabed	[15], [16]
3. Scouring pada Pondasi	Analisis hidrodinamika, desain proteksi pondasi, dokumentasi mitigasi	Pemeliharaan pondasi, adaptasi proteksi sesuai perubahan sedimentasi	Integrasi proteksi struktural dan adaptasi operasional untuk menjaga kestabilan pondasi	[15]
4. Gas Pockets / Cavity	Investigasi geofisika, desain struktur tahan ledakan, prosedur mitigasi awal	Penyesuaian prosedur mitigasi darurat saat ditemukan gas tak terduga	Kombinasi deteksi awal dan respons cepat terhadap kondisi lapangan	[15], [16]
5. Submarine Landslide	Studi stabilitas lereng bawah laut, rencana mitigasi longsor	Pemantauan tanda awal longsor, adaptasi pekerjaan	Perencanaan risiko yang matang dipadukan dengan fleksibilitas adaptasi lapangan	[15], [16]
6. Sedimentasi / Coastal Morphology	Prediksi morfologi pantai, desain struktur adaptif	Pemantauan morfologi, penyesuaian struktur dan pemeliharaan	Perencanaan desain awal dengan kemampuan menyesuaikan struktur terhadap perubahan morfologi	[15], [16]
7. Cuaca Ekstrem (Badai, Gelombang)	Analisis risiko cuaca, penjadwalan mitigasi, proteksi awal	Penyesuaian jadwal, evakuasi, dan mitigasi saat badai	Rencana proteksi awal dengan respons cepat terhadap kondisi	[15], [16]

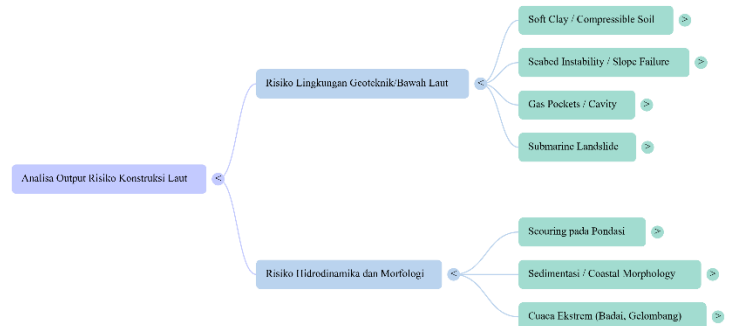
Risiko	Output Waterfall (Perencanaan & Desain)	Output Agile (Implementasi & Adaptasi Lapangan)	Analisis Output Hybrid	Referensi
			cuaca ekstrem	

**Tabel 5.** Matrix Output Hybrid Risk Management – Aspek Biaya dan Waktu

Risiko	Output Biaya (Cost)	Output Waktu (Schedule)	Analisis Hybrid
1. <b>Soft Clay / Compressible Soil</b>	Estimasi biaya mitigasi tanah dan perbaikan pondasi tersusun	Jadwal pekerjaan pondasi jelas, pengaturan waktu uji lapangan	Waterfall menyediakan estimasi biaya & jadwal matang; Agile memungkinkan penyesuaian biaya dan waktu saat deformasi tanah terdeteksi
2. <b>Seabed Instability / Slope Failure</b>	Alokasi anggaran untuk stabilisasi seabed dan desain struktural	Jadwal desain seabed dan fase konstruksi diatur	Perencanaan biaya awal matang (Waterfall) + adaptasi jadwal konstruksi bila seabed berubah (Agile)
3. <b>Scouring pada Pondasi</b>	Biaya untuk proteksi pondasi (riprap, sheet pile)	Waktu untuk pemasangan dan pemeliharaan pondasi	Waterfall: biaya & waktu untuk proteksi awal; Agile: penyesuaian biaya dan waktu untuk pemeliharaan adaptif
4. <b>Gas Pockets / Cavity</b>	Anggaran mitigasi dan prosedur keamanan awal	Jadwal investigasi dan implementasi mitigasi	Waterfall: biaya mitigasi awal; Agile: waktu respons cepat terhadap kondisi gas tak terduga
5. <b>Submarine Landslide</b>	Biaya studi stabilitas lereng dan mitigasi longsor	Waktu untuk pemantauan dan adaptasi konstruksi	Perencanaan biaya dan waktu awal matang; Agile memungkinkan penyesuaian cepat jika tanda longsor muncul
6. <b>Sedimentasi / Coastal Morphology</b>	Anggaran pemeliharaan dan penyesuaian struktur	Jadwal pemantauan dan pemeliharaan rutin	Waterfall: biaya & jadwal desain awal; Agile: penyesuaian biaya dan waktu sesuai perubahan morfologi
7. <b>Cuaca Ekstrem (Badai, Gelombang)</b>	Biaya proteksi sementara dan evakuasi	Penyesuaian jadwal konstruksi saat kondisi cuaca ekstrem	Waterfall: alokasi biaya & waktu mitigasi awal; Agile: fleksibilitas jadwal saat badai terjadi

Sumber: Olahan Penulis (2025)

Berdasarkan output dari risiko yang ada, maka diperoleh diagram sebagai berikut (lihat lampiran).



**Gambar 2.** Mind Map Analisis Risiko  
Sumber: Olahan Penulis (2025)

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis risiko yang meliputi *Soft Clay/ Compressible Soil, Seabed Instability/ Slope Failure, Scouring pada Pondasi, Gas Pockets/ Cavity, Submarine Landslide, Sedimentasi/ Coastal Morphology*, dan Cuaca Ekstrem, beberapa kesimpulan dapat diambil:

1. Identifikasi Risiko: Semua risiko utama pada proyek konstruksi bawah laut dan pesisir dapat dikategorikan menjadi risiko geoteknik, risiko struktural, dan risiko lingkungan/ eksternal. Identifikasi yang komprehensif menjadi fondasi utama untuk perencanaan mitigasi dan pengelolaan risiko yang efektif.
2. Manajemen Risiko dengan Pendekatan *Hybrid (Waterfall + Agile)*:
  - o *Waterfall* efektif pada fase perencanaan dan desain awal, menghasilkan output berupa analisis risiko mendalam, rencana mitigasi terstruktur, estimasi biaya, dan jadwal proyek yang matang.
  - o *Agile* efektif pada fase implementasi dan adaptasi lapangan, menghasilkan output berupa pemantauan risiko secara real-time, respons cepat terhadap perubahan kondisi, penyesuaian biaya dan jadwal, serta keterlibatan tim yang tinggi.
  - o Pendekatan *Hybrid* menggabungkan keunggulan keduanya, sehingga proyek memiliki keseimbangan antara

perencanaan matang dan fleksibilitas adaptif, meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan kinerja proyek secara keseluruhan.

### 3. Pendekatan Kontrak FIDIC:

- Klausul FIDIC seperti 4.12 (*Unforeseeable Physical Conditions*), 4.1 (*Contractor's General Obligations*), 7.1 (*Manner of Execution*), 4.6 (*Cooperation*), 8.4 (*Extension of Time for Completion*), dan 19 (*Force Majeure*) sangat relevan dalam pengelolaan risiko.
- Penggunaan klausul ini membantu menentukan tanggung jawab pihak (*Contractor, Engineer, Employer*) untuk masing-masing risiko, sehingga risiko dapat dikelola secara formal sesuai peraturan kontrak internasional.

### 4. Integrasi Ketiga Matriks:

- Dengan menggabungkan identifikasi risiko, manajemen risiko *hybrid*, dan kontrak FIDIC, proyek dapat memiliki panduan komprehensif yang mencakup mitigasi teknis, alokasi tanggung jawab, estimasi biaya, jadwal, dan prosedur adaptasi terhadap kondisi tak terduga.
- Hal ini meningkatkan keselamatan, kepatuhan kontraktual, serta kinerja biaya dan waktu proyek, khususnya pada proyek konstruksi bawah laut dan pesisir yang menghadapi kondisi lingkungan yang dinamis dan risiko tinggi.

Yuristiry, yang selalu memberikan semangat dan motivasi, serta kepada keponakan tercinta, Muhammad Kenzio Syaqaelano, yang keceriaannya mampu mencerahkan hari-hari peneliti, meskipun penelitian ini dipersiapkan dari Madagascar. Kehadiran, dukungan, dan cinta dari keluarga tercinta menjadi sumber inspirasi dan kekuatan utama bagi peneliti untuk menyelesaikan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. McMahon, *Geotechnical and Geohazard Applications – Marine CPT, Borehole, and Soil Testing*. Geotek Ltd., 2021. [Online]. Available: <https://www.geotek.co.uk/applications/geotechnical-geohazard/>
- [2] U.S. Geological Survey, *Marine Geohazards: Earthquakes, Submarine Landslides, and Tsunamis*. USGS, 2020. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/science/science-explorer/ocean/marine-geohazards>
- [3] Offshore Wind Consultants (OWC) Ltd., *Geohazard Risk Assessment for Offshore Construction*. OWC, 2022. [Online]. Available: <https://owcltd.com/geoscience/geohazard-risk-assessment/>
- [4] Wikipedia Contributors, "Marine construction," *Wikipedia*. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Marine\\_construction](https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_construction)
- [5] J. Q. Jiadong, "Predicting clay compressibility for foundation design with unprecedented reliability and safety," *ScienceDirect*, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095183202300741X>
- [6] J. Hance, *Submarine Slope Stability*, Bureau of Safety and Environmental Enforcement, 2003. [Online]. Available: <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/tap-technical-assessment-program/421ab.pdf>
- [7] Texas Department of Transportation, *Scour Evaluation Guide*, 2025. [Online]. Available: <https://www.txdot.gov/content/dam/docs/division/brg/webinar/brg-des-conf->

### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua, Bapak Asri dan Ibu Yusni, atas kasih sayang, doa, dan dukungan yang tiada henti, yang senantiasa menjadi fondasi kekuatan peneliti dalam menjalankan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada adik peneliti, Yeyen

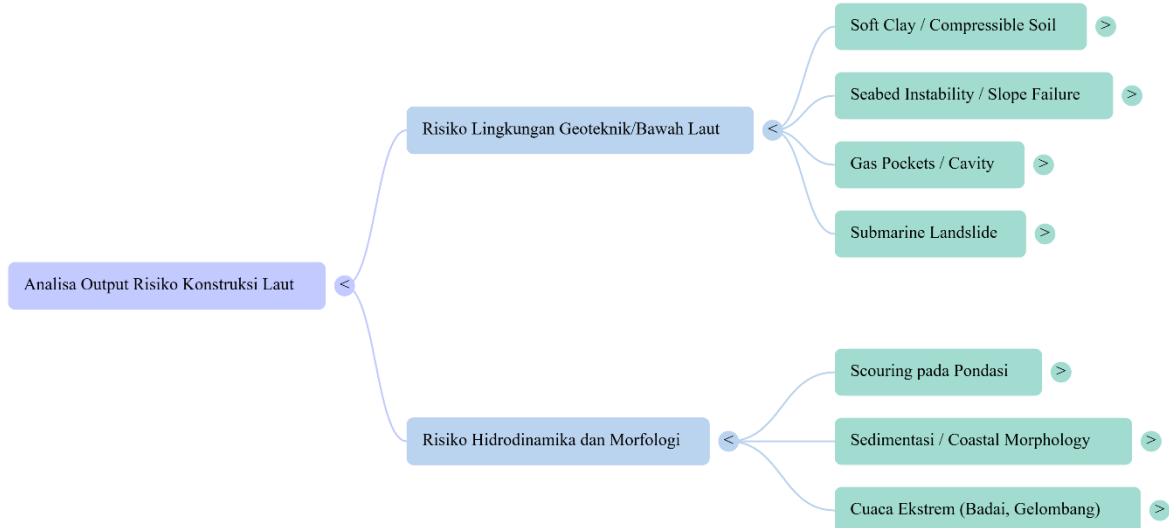
- 2025/creating-uiseful-scour-documentation.pdf
- [8] F. Løvholt, "From process understanding to hazard assessment," *ISFOG 2025*, 2025. [Online]. Available: <https://www.issmge.org/uploads/publication/s/132/133/ISFOG2025-659.pdf>
- [9] S. H. Shah, "Geotechnical investigation and stabilization of soils," *Frontiers in Earth Science*, 2023. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2023.1243975/full>
- [10] Travelers, "Preparing Your Construction Site for Severe Weather," 2025. [Online]. Available: <https://www.travelers.com/resources/business-industries/construction/preparing-your-construction-site-for-severe-weather>
- [11] PMBOK® Guide – *Project Management Institute*, 7th Edition, 2021.
- [12] FIDIC Red Book (2017) – *Conditions of Contract for Construction*, International Federation of Consulting Engineers.
- [13] ISO 31000:2018 – *Risk Management Guidelines*.
- [14] Mansour, S., & Suntinger, M. (2025). Agile vs. Waterfall Project Management. Atlassian. Diakses dari <https://www.atlassian.com/agile/project-management/project-management-intro>
- [15] Rewari, V. (2024). Agile vs Waterfall: Risk Management Compared. Optiblack. Diakses dari <https://optiblack.com/insights/agile-vs-waterfall-risk-management-compared>
- [16] Runcie, J. (2024). Risk Management Agile v Waterfall. Project Management Institute. Diakses dari <https://pmi-portland.org/news-and-content/675-risk-management-agile-v-waterfall>
- [17] PMI, "Hybrid Project Management Methodology Adapted to Project Life Cycle and Project Management Strategy," *ProjectManagement.com*, 16 Sep. 2022.
- [18] PMI, "Accelerating Outcomes with a Hybrid Approach within a Waterfall Environment," *Project Management Institute*, 2023.
- [19] PMI, "Making Hybrid Project Management Work: Agile and Waterfall Combined," *Project Management Academy*, 2025.
- [20] J. Yonggang, C. Zhu, L. Liping, and D. Wang, "Marine Geohazards: Review and Future Perspective", *Acta Geologica Sinica\**, vol. 90, no. 4, pp. 1455–1470, 2016, doi:10.1111/1755-6724.12779.
- [21] C. Zhu, "Marine geohazards: Past, present, and future", *Marine Geology\**, 2023.
- [22] G. Hui et al., "A review of geohazards on the northern continental margin", 2021.
- [23] I. C. Cardenas, R. Flage, and T. Aven, "Marine geohazards exposed: Uncertainties involved", *Marine Georesources & Geotechnology\**, vol. 41, no. 6, pp. 589-619, 2023, doi:10.1080/1064119X.2022.2078252.
- [24] J. J. Hance, *Submarine Slope Stability\**, Offshore Technology Research Center / University of Texas, 2003.
- [25] European Marine Board, "Marine Geohazards", 2021.
- [26] J. M. R. Camargo et al., "Marine Geohazards: A Bibliometric-Based Review", *Geosciences\**, vol. 9, no. 2, 2019.
- [27] "Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction", *Philosophical Transactions of the Royal Society A\**, 2006.
- [28] U. ten Brink, B. D. Andrews, and N. C. Miller, "Seismicity and sedimentation rate effects on submarine slope stability", *Geology\**, vol. 44, no. 7, 2016.
- [29] S. Kawasaki, A. Hara, T. Kozawa, H. Tanaka, and S. Lee, "Geohazard Risk Evaluation and Mapping Using 3D High-Resolution Seismic in Coastal / Near-Surface Zones", in *Proc. 6th Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering\**, 2024.
- [30] Atlassian, "Agile vs. waterfall project management," *Atlassian.com*. [Online]. Available: <https://www.atlassian.com/agile/project-management/project-management-intro>. [Accessed: Sep. 28, 2025].
- [31] Adobe, "Agile vs. Waterfall Methodology in Project Management," *Business.Adobe.com*. [Online]. Available: <https://business.adobe.com/blog/basics/agile-vs-waterfall-project-management>. [Accessed: Sep. 28, 2025].
- [32] GeeksforGeeks, "Agile vs Waterfall Project Management," *GeeksforGeeks.org*. [Online]. Available:



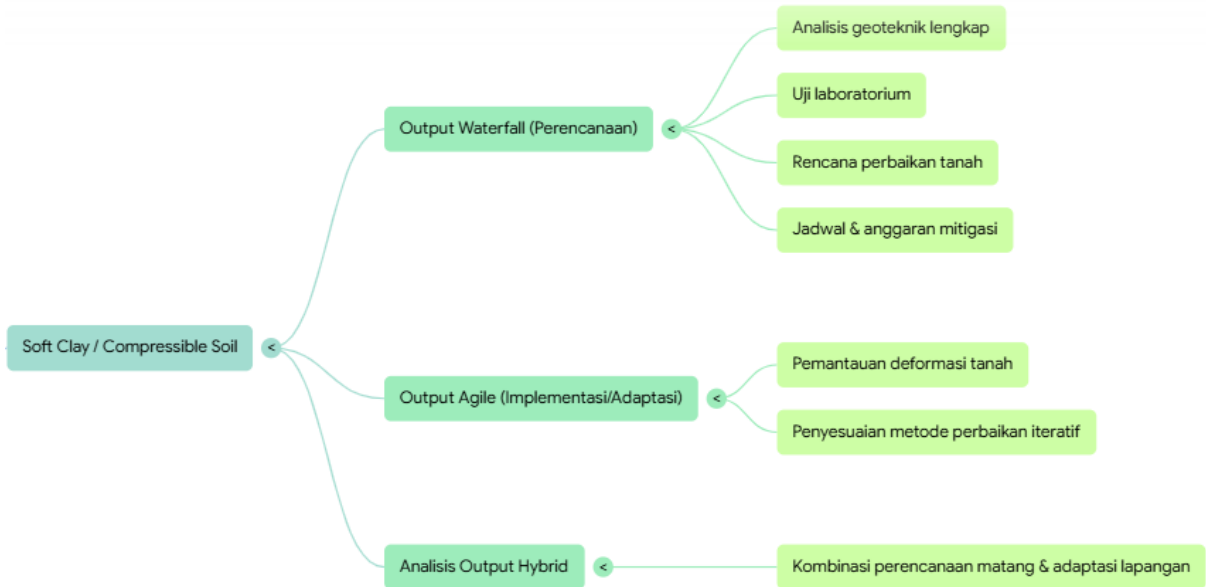
- <https://www.geeksforgeeks.org/software-engineering/agile-vs-waterfall/>. [Accessed: Sep. 28, 2025].
- [33] Howard Kennedy, “FIDIC 1999 Books – Commentary on Clause 17 (Risk and Responsibility),” *HowardKennedy.com*. [Online]. Available: <https://www.howardkennedy.com/latest/article/fidic-1999-books-commentary-on-clause-17>. [Accessed: Sep. 28, 2025].
- [34] International Federation of Consulting Engineers (FIDIC), *Risk Management – A Short Guide*. [Online]. Available: <https://fidic.org/books/risk-management-short-guide>. [Accessed: Sep. 28, 2025].
- [36] Y. J. Zhao and L. Zhou, “The Analysis of Contractor’s Risk Clause Based on the FIDIC Construction Contract,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 687–691, pp. 4815–4819, 2014. [Online]. Available: <https://www.scientific.net/AMM.687-691.4815>. [Accessed: Sep. 28, 2025].

**LAMPIRAN**

**MIND MAP RISIKO**

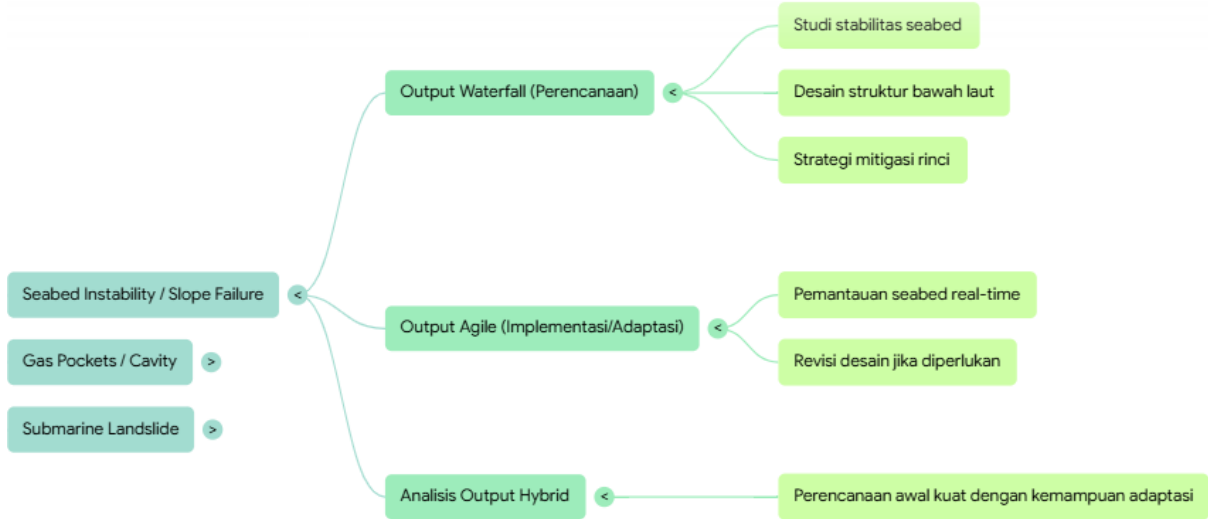


**ANALISIS RISIKO SOFT CLAY/ COMPRESSIBLE SOIL**

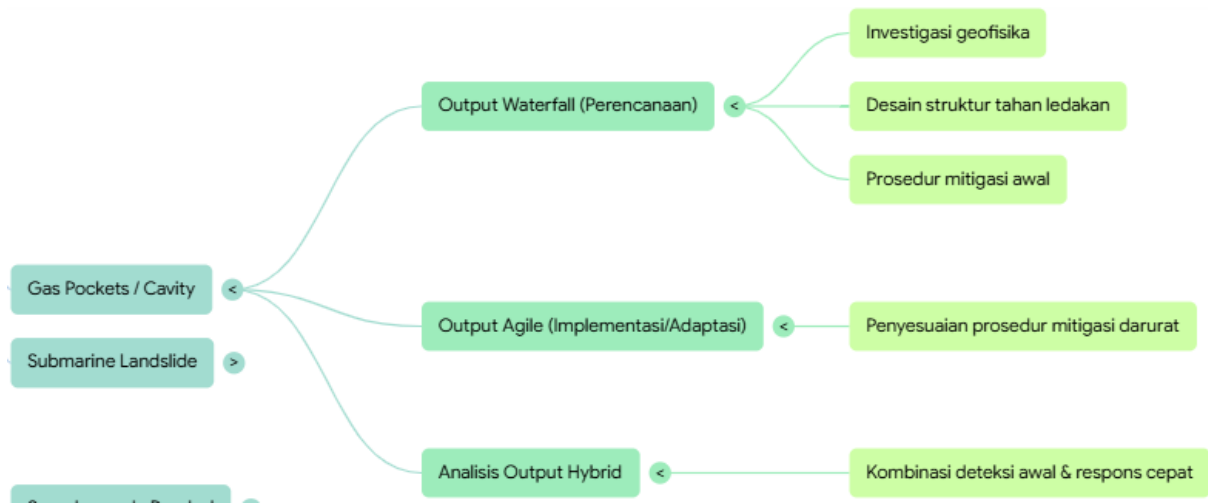




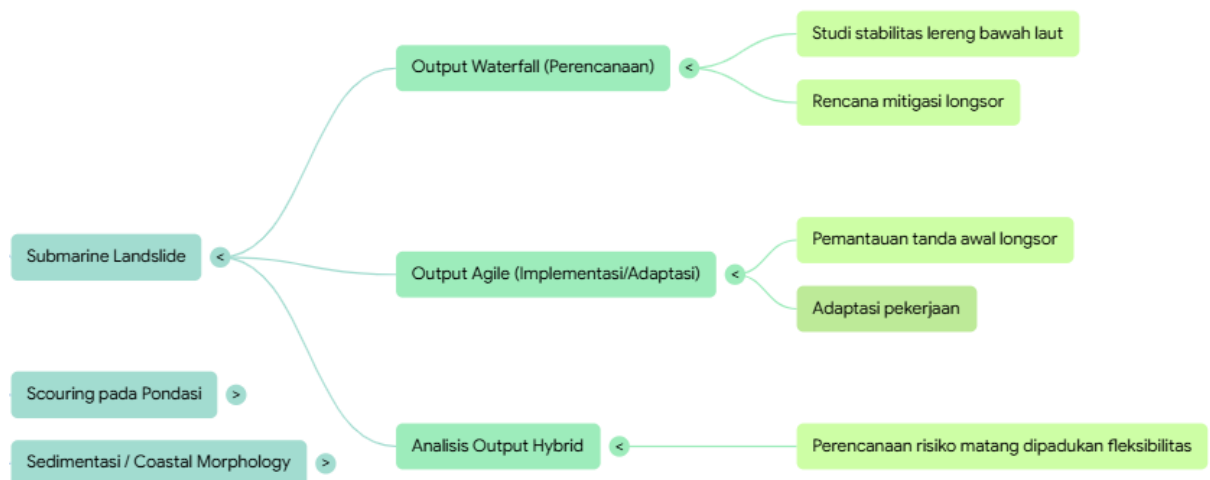
**RISIKO SEABED INSTABILITY/ SLOPE FAILURE**



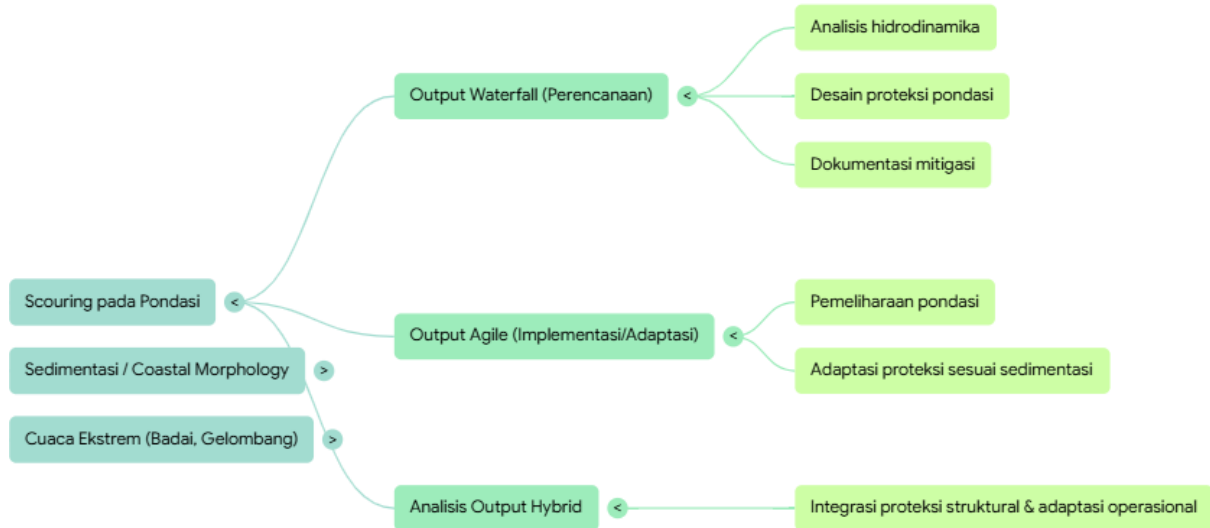
**RISIKO GAS POCKET/ CAVITY**



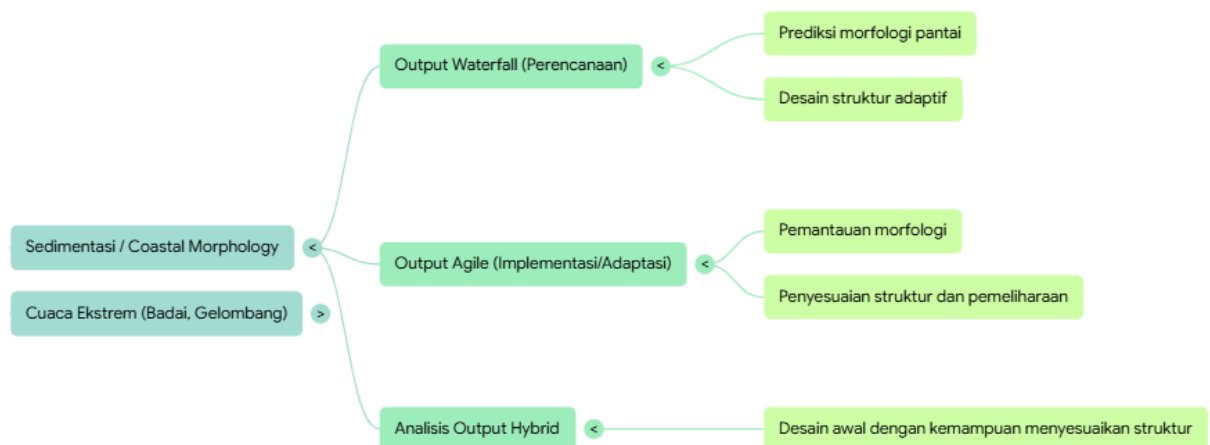
**RISIKO SUBMARINE LANDSLIDE**



**RISIKO SCOURING PADA PONDASI**



**RISIKO SEDIMENTASI/ COASTAL MORPHOLOGY**



**RISIKO CUACA EKSTREM (BADAI, GELOMBANG)**

