

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. UMUM

Metodologi penelitian pada tugas akhir ini berupa studi kasus pada proyek pembangunan *breakwater* di Lamongan *Shorebase*. Penelitian difokuskan pada analisis konsolidasi tanah lempung lunak dengan menggunakan metode perkuatan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan teknik *preloading*. Berikut ini lokasi *project* lamongan *shorebase* Gambar 3. 1



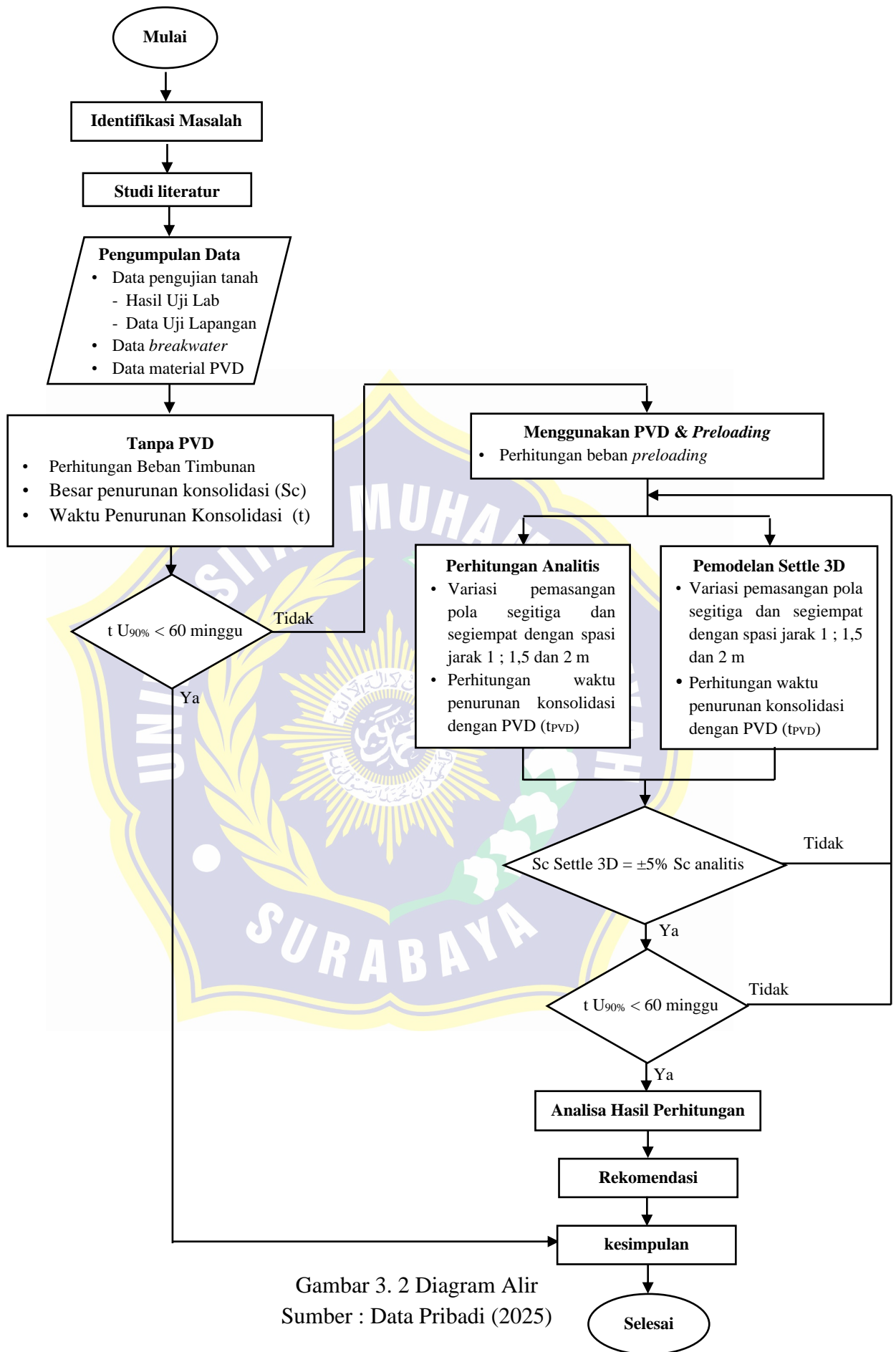
Gambar 3. 1 Lokasi *Project* Lamongan *Shorebase*
Sumber : *Google Earth* (2025)

Secara umum, tahapan penelitian digambarkan dalam diagram alir metodologi penelitian pada Gambar 3.2. Alur penelitian dimulai dengan identifikasi masalah yang kemudian dilanjutkan dengan studi literatur sebagai landasan teori. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data, meliputi data hasil uji tanah, data desain *breakwater*, serta data material PVD.

Tahap analisis dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu tanpa PVD (perhitungan beban timbunan, penurunan konsolidasi, serta estimasi waktu penurunan) dan dengan PVD serta *preloading*. Pada pendekatan dengan PVD dilakukan dua metode analisis, yaitu perhitungan manual (pola pemasangan, jarak, kedalaman, dan estimasi waktu konsolidasi) serta pemodelan menggunakan *Settle 3D*.

Hasil kedua pendekatan kemudian dibandingkan dengan kriteria waktu konsolidasi. Jika syarat tercapai, diperoleh waktu penurunan efektif; jika tidak, dilakukan evaluasi kembali. Tahap akhir adalah penarikan kesimpulan yang merangkum hasil analisis dan memberikan rekomendasi teknis terkait perencanaan *breakwater*.

Diagram Alir dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram Alir
Sumber : Data Pribadi (2025)

3.2. PENGUMPULAN DATA SEKUNDER

Pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini dilakukan dengan menghimpun data teknis dan pendukung dari instansi terkait maupun sumber literatur lainnya. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.2.1. Hasil Pengujian Tanah

Pengumpulan data dalam penelitian ini tidak dilakukan melalui pengujian langsung di lapangan maupun laboratorium, melainkan dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari hasil investigasi tanah pada proyek pembangunan *breakwater* di Lamongan *Shorebase*. Data tersebut diperoleh dari laporan hasil uji tanah yang dilaksanakan oleh pihak konsultan / geoteknik pada proyek terkait.

Adapun jenis data investigasi tanah yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Data Uji Lapangan (*In-Situ Test*)

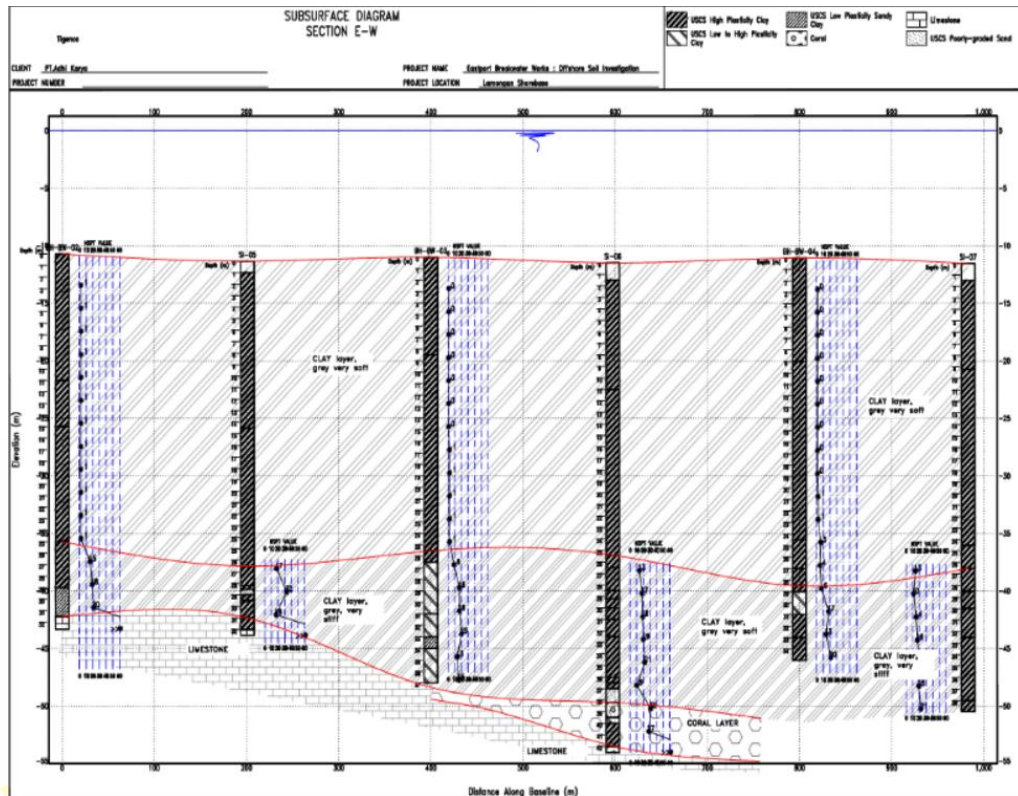
- a. Data uji lapangan yang diperoleh berupa hasil:
- b. *Standard Penetration Test* (SPT), yang memberikan informasi mengenai nilai N-SPT sebagai dasar estimasi kekuatan tanah.
- c. *Cone Penetration Test* (CPTu), yang memuat hasil hambatan ujung konus, hambatan gesek selubung, dan tekanan pori.
- d. *Vane Shear Test* (VST), yang memberikan nilai kekuatan geser tak terdrainase pada lapisan tanah lempung lunak.
- e. Data *Logging Bor*, yang berisi deskripsi visual stratigrafi tanah berdasarkan tekstur, warna, plastisitas, dan kandungan material lain.

2. Data Sampel Tanah dari Laboratorium

Data hasil pengujian laboratorium meliputi:

- a. Pengujian indeks tanah (kadar air, berat jenis, batas *Atterberg*, dan klasifikasi tanah).
- b. Pengujian konsolidasi (*Oedometer Test*) untuk memperoleh koefisien konsolidasi dan sifat pemampatan tanah.
- c. Pengujian *triaxial* (UU, CU, CD) untuk mendapatkan parameter kekuatan geser tanah. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis konsolidasi dan pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini. Dengan memanfaatkan data sekunder, penelitian tetap dapat dilaksanakan secara sistematis meskipun tidak dilakukan uji lapangan secara langsung oleh penulis.

Adapun hasil dari pengujian tanah dapat digambarkan diagram kondisi tanah seperti pada gambar 3.3



Gambar 3. 3 Diagram Kondisi Tanah
Sumber : PT. Adhi Karya (2025)

3.2.2. Informasi Desain *Breakwater*

Desain struktur *breakwater* pada proyek ini mengacu pada penampang melintang (*cross section*) Segment 11 seperti pada Gambar 3.4. Struktur *breakwater* dirancang untuk menahan energi gelombang, melindungi wilayah pelabuhan, serta mengontrol sedimentasi dan erosi di wilayah pesisir.

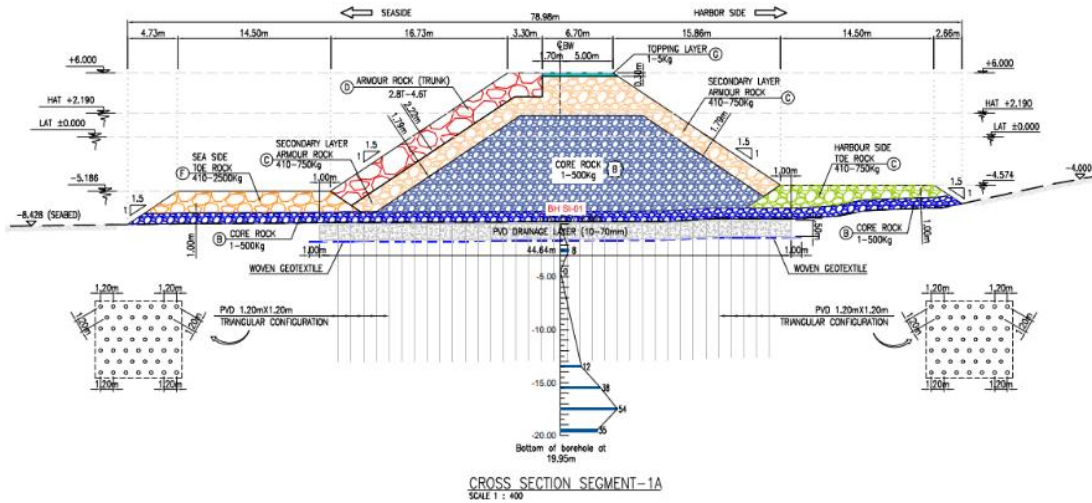
Komponen Struktur *Breakwater* Struktur *breakwater* terdiri dari beberapa lapisan material yang disusun secara sistematis berdasarkan fungsinya:

1. Lapisan Pelindung Utama (*Armour Rock – Trunk Section*):
Menggunakan batu lapis utama (*Armour Rock*) berukuran besar (2.8 – 4.5 ton) yang diletakkan pada kemiringan 1.5H:1V untuk sisi laut. Lapisan ini berfungsi sebagai penahan utama terhadap energi gelombang.
2. Lapisan Sekunder (*Secondary Layer Armour Rock*):
Berada di bawah lapisan utama, dengan batu berukuran 470–750 kg, yang berfungsi sebagai lapisan transisi dan pelindung tambahan.
3. Lapisan Inti (*Core Rock*):
Menggunakan material batu dengan ukuran 1–500 kg, membentuk tubuh utama dari *breakwater*, yang memberikan massa dan stabilitas struktur.
4. Lapisan *Topping* (*Topping Layer*):
Lapisan permukaan atas *breakwater* menggunakan batu pelapis untuk memberikan stabilitas tambahan dan mempermudah akses pemeliharaan.

5. *Toe Protection (Sea Side & Harbor Side Toe Rock):*

Batu pelindung kaki struktur (*toe rock*) pada sisi laut dan pelabuhan dengan berat bervariasi antara 470–2000 kg, untuk mencegah pergeseran dan erosi dasar.

Berikut ini potongan melintang *breakwater* seperti pada gambar 3.4. dan untuk muka air laut dapat dilihat pada gambar 3.5

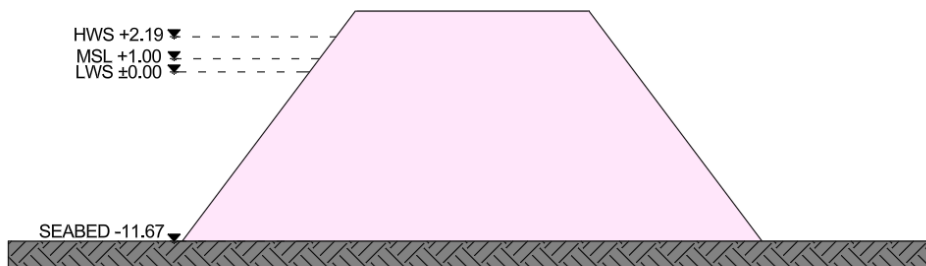


Gambar 3. 4 Potongan Melintang *Breakwater*

Sumber : PT. Adhi Karya (2025)

Kondisi kelautan lokasi *breakwater* desain Muka Air dan Elevasi :

1. Pasang Tertinggi (High Water Spring): +2.19 m dari LWL
2. Muka Laut Rata-rata (Mean Sea Level): +1.00 m dari LWL
3. Surut Terendah (Low Water Level): ±0.00 m dari CD
4. Dasar Laut (Seabed Elevation): -7.50 m hingga -11.60 m dari CD



Gambar 3. 5 Desain Muka Air dan Elevasi

Sumber : PT. Adhi Karya (2025)

3.2.3. Data Material PVD

1. Ketahanan (Durability)

PVD harus memenuhi persyaratan terhadap ketahanan terhadap cuaca, dan umur pakai minimum hingga 5 tahun. Jika band drain digunakan untuk mengatasi likuifaksi, maka

umur material harus disesuaikan dengan umur desain bangunan. Selama penyimpanan di lapangan, PVD harus dilindungi dari sinar matahari langsung dan bahan kimia yang dapat merusaknya. Penyimpanan harus sesuai dengan kriteria yang ditentukan oleh produsen.

2. Kekuatan Tarik dan Perpanjangan

Kekuatan tarik yang dibutuhkan tergantung pada mesin dan teknik pemasangan, serta kedalaman pemasangan drainase. Kekuatan tarik arah memanjang harus cukup kuat untuk mencegah putus saat pemasangan.

3. Ukuran PVD (PVD Size)

- a. Lebar minimum PVD : 100 mm
- b. Ketebalan minimum : 3 mm



Gambar 3. 6 *Prefabricated Vertical Drain (Alidrain)*

Sumber : PT. Adhi Karya (2025)

3.3. PERHITUNGAN TANPA PVD

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kondisi tanah lunak tanpa adanya perbaikan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku tanah lunak secara alami ketika menerima beban timbunan, sehingga dapat dijadikan pembandingan terhadap hasil perbaikan dengan metode PVD dan *preloading*.

Langkah pertama adalah menghitung beban timbunan yang bekerja pada lapisan tanah lunak sesuai dengan kondisi rencana konstruksi. Beban ini akan menimbulkan penambahan tegangan di dalam tanah yang kemudian menyebabkan terjadinya proses konsolidasi. Selanjutnya dilakukan perhitungan besar penurunan konsolidasi yang terjadi akibat beban timbunan tersebut. Besarnya penurunan dipengaruhi oleh karakteristik tanah lunak, seperti indeks kompresi, tebal lapisan tanah, dan kondisi angka pori awal.

Selain itu, ditentukan pula tinggi timbunan awal dan tinggi timbunan akhir setelah memperhitungkan penurunan yang terjadi. Hal ini diperlukan agar elevasi akhir konstruksi tetap sesuai dengan rencana meskipun tanah mengalami penurunan.

Tahap berikutnya adalah memperkirakan waktu yang diperlukan untuk terjadinya penurunan konsolidasi. Karena tanpa menggunakan PVD air pori hanya dapat keluar melalui arah vertikal, maka proses konsolidasi berlangsung sangat lambat. Dalam kondisi alami, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi tinggi dapat mencapai waktu yang sangat lama, bahkan bertahun-tahun, sehingga tidak efektif apabila diterapkan pada proyek pembangunan dengan target penyelesaian yang terbatas.

Dengan demikian, analisis tanpa PVD memberikan gambaran mengenai keterbatasan tanah lunak dalam mendukung beban timbunan, serta menunjukkan pentingnya penggunaan metode perbaikan tanah agar proses konsolidasi dapat berlangsung lebih cepat dan penurunan yang terjadi dapat terkontrol.

3.4. PERHITUNGAN MENGGUNAKAN PVD DAN PRELOADING

Analisis pada tahap ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas perbaikan tanah lunak dengan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang dikombinasikan dengan *preloading*. Tujuan dari metode ini adalah mempercepat proses konsolidasi tanah, sehingga penurunan dapat terjadi lebih cepat dan terkendali dibandingkan kondisi alami tanpa perbaikan.

Langkah pertama adalah menentukan beban *preloading* yang digunakan di atas timbunan. Beban ini berfungsi sebagai tekanan tambahan yang mendorong air pori keluar dari dalam tanah lunak melalui saluran vertikal PVD. Dengan adanya drainase buatan ini, aliran air pori tidak hanya berlangsung secara vertikal, melainkan juga melalui arah horizontal menuju PVD, sehingga disipasi tekanan air pori berlangsung jauh lebih cepat.

Penentuan metode *preloading* pada penelitian ini dilakukan berdasarkan tinggi timbunan *preload*, tinggi rencana *breakwater*, dan kondisi pasang surut air laut di kawasan Lamongan *Shorebase*. Tinggi *breakwater* mempengaruhi besarnya beban yang bekerja pada tanah lunak sehingga berpotensi menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) yang besar. Oleh karena itu, *preloading* digunakan untuk memberikan beban awal pada tanah agar proses konsolidasi terjadi lebih cepat sebelum konstruksi utama dilaksanakan. Timbunan *preload* dirancang berdasarkan beban konstruksi *breakwater* dan target derajat konsolidasi yang ingin dicapai. Selain itu, kondisi pasang surut air laut juga mempengaruhi pelaksanaan *preloading*, terutama terhadap stabilitas timbunan dan kondisi area kerja. Penimbunan dilakukan secara bertahap untuk menghindari keruntuhan tanah lunak akibat beban berlebih. Selama proses *preloading* dilakukan monitoring menggunakan *settlement plate* dan *piezometer* untuk memantau penurunan tanah dan disipasi tekanan air pori. Dengan kombinasi *preloading* dan PVD, proses konsolidasi tanah lunak diharapkan dapat berlangsung lebih cepat dan stabil sehingga mendukung keberhasilan konstruksi *breakwater* di Lamongan *Shorebase*.

Selanjutnya, dilakukan analisis dengan memperhitungkan variasi pola pemasangan dan jarak antar PVD. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konfigurasi pemasangan terhadap percepatan konsolidasi. Semakin rapat jarak PVD yang dipasang, maka semakin cepat pula proses disipasi air pori dan semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi.

Penetapan kriteria derajat konsolidasi minimal 90% dalam waktu kurang dari 37 minggu dilakukan karena proyek pembangunan ini dituntut untuk selesai dalam waktu yang cepat. Tanpa perbaikan, proses konsolidasi tanah lunak dapat berlangsung bertahun-tahun sehingga tidak sejalan dengan jadwal proyek. Dengan adanya target U90%, tanah dianggap sudah cukup stabil untuk mendukung konstruksi, sedangkan sisa penurunan yang terjadi masih dalam batas aman dan dapat ditoleransi.

Dengan menggunakan PVD, aliran air pori tidak hanya terjadi secara vertikal tetapi juga melalui arah horizontal menuju saluran vertikal PVD. Hal ini menyebabkan tekanan air pori

lebih cepat terdisipasi, sehingga waktu konsolidasi dapat dipangkas secara signifikan dibandingkan kondisi tanpa perbaikan.

Analisis ini sekaligus menjawab keterbatasan metode alami, di mana konsolidasi dapat berlangsung bertahun-tahun, sedangkan dengan kombinasi PVD dan *preloading*, target derajat konsolidasi tinggi dapat dicapai hanya dalam hitungan minggu.

3.5. PEMODELAN SETTLE 3D

Pemodelan numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Settle3D (*Rocscience*) untuk mensimulasikan proses konsolidasi tanah lunak akibat pembebanan timbunan dan pemasangan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Dibandingkan perhitungan analitis, Settle3D memberikan estimasi penurunan dan waktu konsolidasi yang lebih akurat karena mempertimbangkan karakteristik deformasi, pemampatan, dan aliran konsolidasi secara tiga dimensi.

Tujuan pemodelan ini adalah memperoleh gambaran perilaku penurunan dan disipasi tekanan air pori yang lebih realistis berdasarkan kondisi geoteknik aktual di lapangan..

3.5.1. Konsep Pemodelan PVD pada Settle3D

Settle3D tidak memodelkan PVD secara eksplisit sebagai elemen struktural, melainkan merepresentasikan efek PVD melalui peningkatan kondisi drainase radial tanah. Pengaruh PVD dimasukkan dalam bentuk jarak antar drain, pola pemasangan, diameter ekuivalen drain, serta koefisien konsolidasi radial. Dengan pendekatan ini, Settle3D dapat mensimulasikan percepatan disipasi tekanan air pori akibat keberadaan PVD.

Pada Settle3D, proses *discretization* dilakukan dengan membagi domain tanah ke dalam elemen-elemen balok tiga dimensi (*3D grid zones*). Pembagian ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi tanah secara lebih detail sehingga distribusi tegangan, penurunan, serta disipasi tekanan air pori dapat dihitung dengan tingkat ketelitian yang memadai.

Settle3D membangkitkan grid secara otomatis berdasarkan ketebalan setiap lapisan tanah dan batas area analisis. Namun demikian, pengguna tetap memiliki kendali untuk mengatur tingkat kerapatan grid sesuai kebutuhan pemodelan.

Beberapa pengaturan utama dalam proses *discretization* adalah sebagai berikut:

1. Grid vertikal dibuat lebih rapat pada lapisan lempung lunak, mengingat lapisan ini merupakan zona dominan terjadinya proses konsolidasi.
2. Grid horizontal mengikuti luas area timbunan serta jangkauan pengaruh PVD, sehingga perubahan tegangan dan tekanan air pori pada area kritis dapat dimodelkan secara lebih akurat.

Elemen-elemen yang lebih halus diterapkan pada area pemasangan PVD atau pada lapisan dengan perubahan sifat tanah yang signifikan, untuk meningkatkan ketelitian perhitungan konsolidasi primer maupun konsolidasi radial. Elemen yang lebih kasar diterapkan di luar zona pengaruh penurunan, sehingga efisiensi waktu komputasi dapat tetap terjaga tanpa mengurangi akurasi hasil pada area yang menjadi fokus analisis.

Melalui proses *discretization* ini, Settle3D mampu menghasilkan distribusi penurunan, disipasi tekanan air pori, serta respon tanah akibat pembebanan secara lebih representatif.

Pendekatan ini memungkinkan pemodelan perilaku konsolidasi tanah lunak yang mendekati kondisi lapangan tanpa memerlukan pembentukan elemen penyusun yang terlalu kompleks.

3.5.2. Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan dalam pemodelan diperoleh dari hasil uji laboratorium dan data sekunder hasil investigasi tanah pada proyek pembangunan *breakwater* Lamongan *Shorebase*. Parameter tersebut meliputi sifat fisik dan mekanik tanah yang dibutuhkan untuk simulasi konsolidasi. Nilai-nilai parameter diambil dari hasil uji *Oedometer*, *Triaxial*, *Vane Shear Test*, dan korelasi dengan data CPTu serta SPT. Berikut parameter hasil pengujian tanah pada table 3.4.

Tabel 3. 4 Parameter Hasil Pengujian Tanah

No	Parameter	Simbol	Satuan	Keterangan
1	Berat isi jenuh	γ_{sat}	kN/m ³	Berat volume tanah pada kondisi jenuh air
2	Berat isi tidak jenuh	γ_{unsat}	kN/m ³	Berat volume tanah pada kondisi tidak jenuh
3	Modulus Young	E	kN/m ²	Modulus elastisitas tanah dari uji triaxial
4	Poisson's Ratio	ν	—	Rasio regangan lateral terhadap regangan aksial
5	Sudut geser dalam	ϕ	°	Parameter geser tanah dari uji triaxial
6	Kohesi tanah	c	kN/m ²	Kekuatan geser tak terdrainase (UU/CU test)
7	Indeks Kompresi	C _c	—	Parameter pemampatan primer dari uji oedometer
8	Indeks Rekompresi	C _r	—	Parameter pemampatan sekunder dari uji oedometer
9	Void Ratio Awal	e ₀	—	Angka pori awal tanah hasil uji laboratorium
10	Koefisien konsolidasi horizontal	C _h	m ² /s	Koefisien konsolidasi arah horizontal
11	Koefisien konsolidasi vertikal	C _v	m ² /s	Koefisien konsolidasi arah vertikal
12	Permeabilitas horizontal	K _h	m/s	Nilai permeabilitas arah horizontal
13	Permeabilitas vertikal	K _v	m/s	Nilai permeabilitas arah vertikal
14	Rasio permeabilitas	kh/kv	—	Perbandingan permeabilitas horizontal dan vertikal
15	Koefisien Rasio Kompresi	C _c /(1+e ₀)	—	Nilai koreksi indeks kompresi
16	Kedalaman lapisan	H	m	Ketebalan tiap lapisan tanah hasil data bor
17	Tipe tanah	—	—	Klasifikasi jenis tanah (Clay, Silt, Sand,

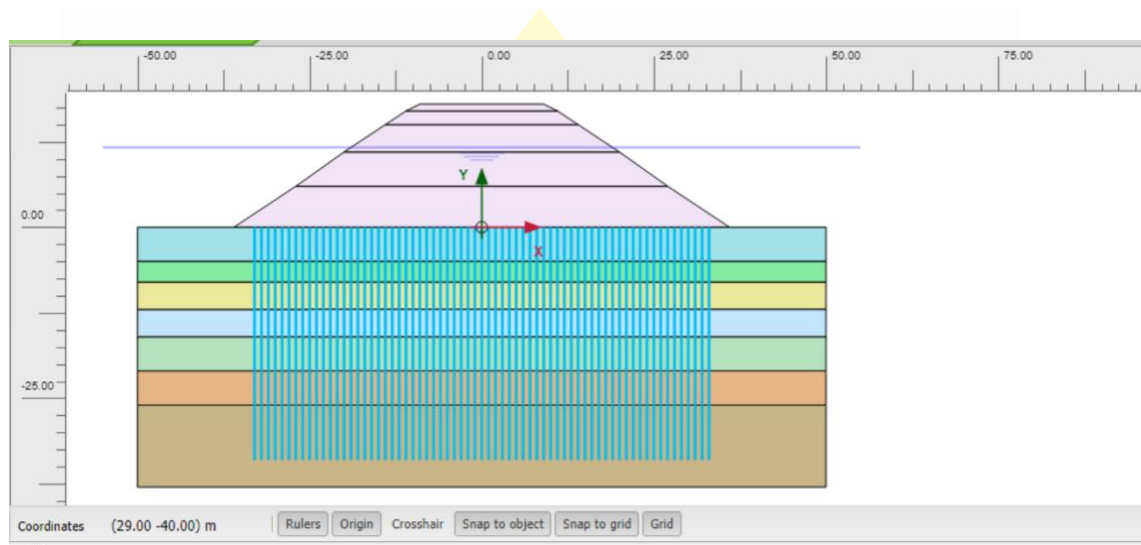
Sumber : PT. Adhi Karya (2025)

Parameter ini diterapkan untuk setiap lapisan tanah berdasarkan stratigrafi hasil investigasi bor di lokasi SI-07.

3.5.3. Model dan Skenario

Pemodelan dilakukan dengan membangun representasi tiga dimensi dari kondisi stratigrafi tanah berdasarkan data bor SI-07, kemudian menerapkan beban timbunan serta sistem *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) sesuai kondisi lapangan. Pada tahap ini, Settle3D digunakan untuk menganalisis penurunan konsolidasi dengan mempertimbangkan karakteristik pemampatan primer, pemampatan sekunder, distribusi tegangan, serta disipasi tekanan air pori.

Pemodelan dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pemasangan PVD terhadap besarnya penurunan tanah dan waktu konsolidasi akibat pembebanan timbunan. Analisis ini digunakan sebagai dasar untuk menilai efektivitas sistem perbaikan tanah yang diterapkan pada kondisi skala lapangan. Seperti terlihat di gambar 3.7



Gambar 3. 7 Konsep Pemodelan PVD
Sumber : Analisis (2025)

Dalam pemodelan, geometri lapisan tanah didefinisikan berdasarkan kedalaman dan ketebalan masing-masing lapisan, sedangkan timbunan dimodelkan sebagai beban permukaan yang diaplikasikan secara bertahap (*staged loading*) untuk merepresentasikan tahapan konstruksi yang sesungguhnya. Sistem PVD dimasukkan melalui fitur *Vertical Drains*, dengan menginput parameter drain, antara lain: kedalaman pemasangan, diameter drain, diameter zona smear, rasio permeabilitas antara tanah asli dan smear zone, pola pemasangan, serta jarak antar drain.

Skenario pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas:

1. Kondisi tanpa PVD (alami)

Model ini mensimulasikan respons tanah lunak akibat pembebanan timbunan tanpa perkuatan drainase. Skenario ini digunakan sebagai acuan dalam menilai efektivitas penggunaan PVD.

2. PVD dengan pola bujur sangkar

Variasi jarak antar drain yang digunakan adalah 1,0 m, 1,5 m, dan 2,0 m. Skenario ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan spasi terhadap percepatan konsolidasi.

3. PVD dengan pola segitiga

Variasi spasi yang digunakan sama seperti pola bujur sangkar, yaitu 1,0 m, 1,5 m, dan 2,0 m. Pola segitiga dianalisis karena secara teoritis dapat memberikan distribusi drainase yang lebih merata.

Setiap skenario dijalankan hingga mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% (U_{90}), yang digunakan sebagai kriteria dalam mengevaluasi efektivitas sistem PVD dalam mempercepat proses konsolidasi tanah lunak. Output utama yang dianalisis meliputi:

1. Penurunan total (*total settlement*),
2. Disipasi tekanan air pori (*pore pressure dissipation*),
3. Waktu yang diperlukan untuk mencapai U_{90}
4. Perbandingan antara hasil pemodelan numerik dan hasil perhitungan analitis.

Pemodelan ini diharapkan dapat memberikan verifikasi terhadap perhitungan manual serta menentukan konfigurasi PVD yang paling efektif dalam mempercepat konsolidasi tanah lunak pada proyek pembangunan *breakwater* Lamongan *Shorebase*.

3.6. WAKTU PENURUNAN KONSOLIDASI EFEKTIF

Analisis dilakukan untuk membandingkan lamanya proses konsolidasi antara kondisi tanpa perbaikan dan kondisi dengan perbaikan menggunakan PVD serta *preloading*. Pada kondisi tanpa PVD, konsolidasi berlangsung sangat lambat karena aliran air pori hanya dapat terjadi secara vertikal. Hal ini menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi penuh dapat berlangsung hingga bertahun-tahun. Sementara itu, dengan penggunaan PVD, aliran air pori dapat berlangsung secara vertikal maupun horizontal menuju drainase buatan, sehingga disipasi tekanan air pori menjadi lebih cepat dan proses konsolidasi dapat berlangsung dalam waktu yang jauh lebih singkat.

Dalam penelitian ini, kriteria efektivitas ditetapkan apabila derajat konsolidasi mencapai minimal 90% (U_{90}) dalam waktu kurang dari 60 minggu. Penetapan kriteria tersebut didasarkan pada kebutuhan percepatan pelaksanaan konstruksi agar pekerjaan pembangunan *breakwater* dapat berlangsung sesuai dengan jadwal proyek yang telah direncanakan. Tercapainya derajat konsolidasi sebesar 90% menunjukkan bahwa sebagian besar penurunan primer tanah telah terjadi sehingga kondisi tanah dinilai cukup stabil untuk menerima beban konstruksi lanjutan. Adapun penurunan lanjutan yang masih terjadi setelah proses konsolidasi utama berlangsung diharapkan tetap berada dalam batas yang dapat diterima terhadap kestabilan dan kinerja struktur *breakwater*. Oleh karena itu, target waktu konsolidasi ditetapkan dengan mempertimbangkan jadwal pelaksanaan proyek sehingga proses perbaikan tanah tidak menghambat tahapan pekerjaan konstruksi berikutnya.

Meskipun durasi proyek direncanakan selama 2 tahun, waktu pelaksanaan perbaikan tanah menggunakan PVD dibatasi maksimal 60 minggu agar proses konsolidasi selesai lebih awal dan tidak menghambat tahapan konstruksi berikutnya. Berikut ini kurva S pada Gambar 3.8. pekerjaan *breakwater* dan instalasi pvd sebagai acuan pekerjaan.

