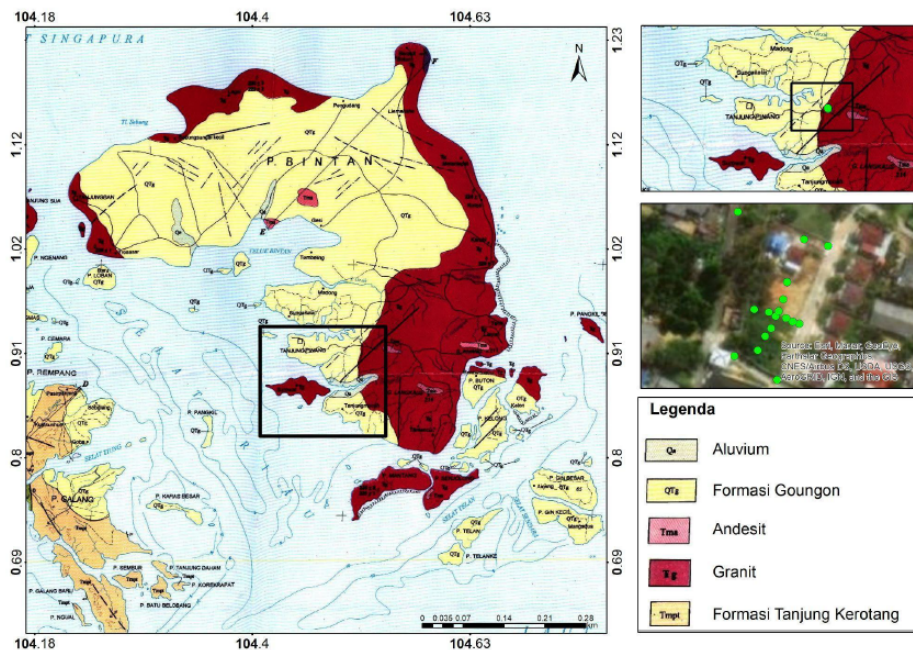


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi dan Seismoteknik Wilayah Kajian

Geologi regional Tanjungpinang, yang berada di Pulau Bintan, Provinsi Kepulauan Riau, termasuk dalam Zona Sunda Bagian Timur pada paparan Sunda dan memiliki sejarah geologi yang kompleks akibat proses tektonik, vulkanik, dan sedimentasi sejak zaman prasejarah [4]. Wilayah ini didominasi oleh Formasi Granit (Tg) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**, dengan karakteristik granit berbutir kasar, berkomposisi felspar, kuarsa, hornblenda, dan biotit. Granit tersebut membentuk pluton batolit yang luas di Pulau Bintan dan Batam, dengan hasil pelapukan yang menghasilkan mineral ekonomis seperti bauksit [5]. Secara umum, batuan granit di wilayah ini merupakan bagian dari Batolit Granit Asia Tenggara yang terbentuk akibat aktivitas magmatis selama fase orogenesis pada Zaman Jura–Kapur (± 145 –100 juta tahun lalu), akibat subduksi lempeng samudera di selatan Paparan Sunda.

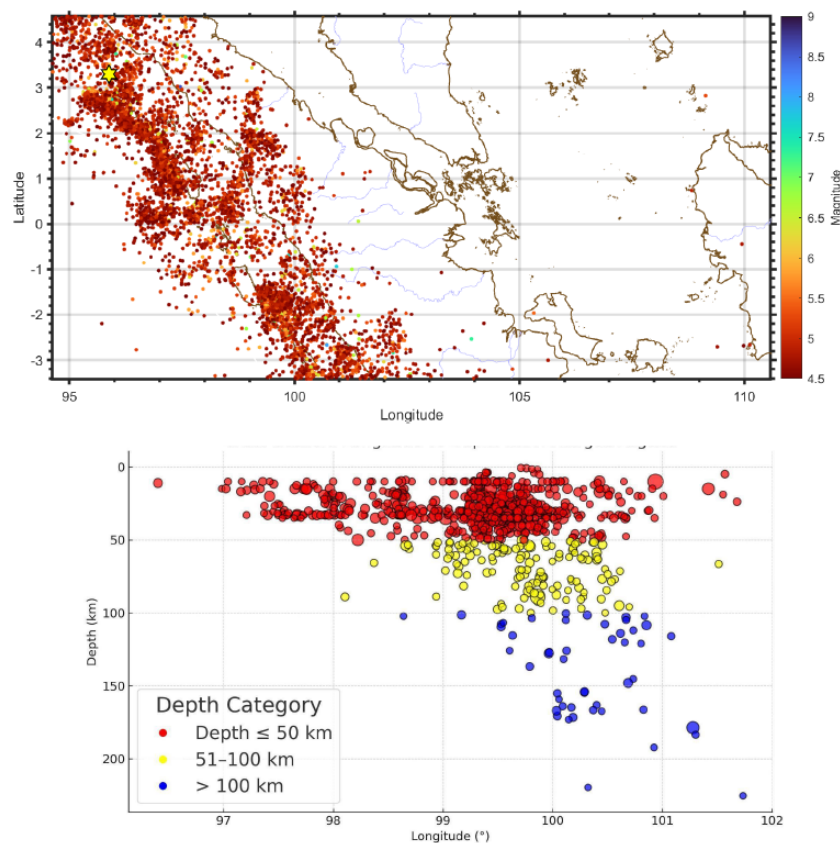
Struktur geologi Tanjungpinang ditandai oleh sistem sesar dan lipatan hasil tumbukan kerak benua pada masa Mesozoikum hingga Tersier yang menciptakan dua cekungan sedimen besar, yaitu West Natuna Basin dan East Natuna Basin. West Natuna Basin diklasifikasikan sebagai *intercontinental failed rift basin* akibat ekstensi tektonik Paleogen, sementara East Natuna Basin memiliki pengaruh kompresional dengan potensi hidrokarbon besar seperti Lapangan Gas D-Alpha. Kedua cekungan ini dipisahkan oleh Natuna Arch, punggung granitoid mirip Batolit Belitung yang menjadi tulang punggung geologi regional. Pola sesar di wilayah ini menunjukkan aktivitas deformasi dan sedimentasi yang masih dipengaruhi oleh sistem sesar transform (geser), menjadikan wilayah ini penting untuk kajian mikrozonasi dan stabilitas geoteknik wilayah pesisir [6].



Gambar 2.1. Geologi Pulau Tanjungpinang.

Pulau Bintan termasuk wilayah yang tersusun oleh batuan dasar granit berumur Mesozoikum. Karena terletak pada bagian yang stabil dari Paparan Sunda, Pulau Bintan tidak berada pada jalur batas lempeng tektonik aktif. Struktur geologi di wilayah ini umumnya berupa lipatan, sesar, dan kekar yang tampak sebagai lineament geomorfologi, dan merupakan bagian dari sistem tektonik tua di Jalur Karimata, yang berada di luar zona tektonik aktif Indonesia saat ini[7].

Berdasarkan data seismisitas BMKG, wilayah Tanjungpinang tergolong daerah dengan tingkat aktivitas seismik rendah dan jarang mengalami gempa bumi berkekuatan besar. Secara nasional, Indonesia mencatat sekitar 320 kejadian gempa dengan magnitudo ≥ 5.0 setiap tahunnya, namun sebagian besar berpusat di zona subduksi seperti Sumatra dan Jawa. Dalam periode 1907–2025, dapat dilihat pada **Gambar 2.2**, tidak terdapat catatan gempa besar dengan magnitudo ≥ 7.0 di wilayah Tanjungpinang, yang menunjukkan bahwa daerah ini termasuk zona non-seismik dengan potensi guncangan rendah [8].



Gambar 2.2. Peta seismisitas sekitar wilayah Kabupaten Tanjungpinang periode tahun 1907-2025.

2.2 Klasifikasi Jenis Tanah

Klasifikasi jenis tanah mengacu pada SNI 1726:2019, yang merupakan standar nasional Indonesia mengenai klasifikasi tanah untuk keperluan geoteknik, seperti yang ditampilkan pada **Tabel 2.1**. Standar ini digunakan untuk menentukan karakteristik tanah dalam perencanaan dan analisis ketahanan struktur terhadap beban gempa. Klasifikasi tanah

memiliki peran penting dalam bidang teknik sipil dan konstruksi karena sifat dan jenis tanah sangat memengaruhi stabilitas bangunan serta infrastruktur lainnya.

Tabel 2.1. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan SNI 1726:2019.

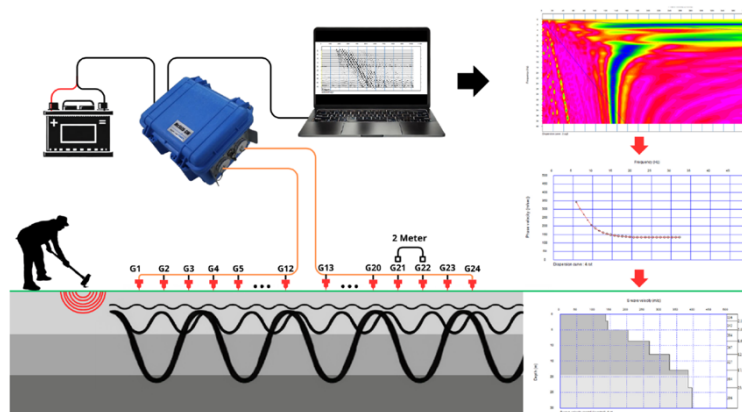
Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
<i>SA (batuan keras)</i>	> 1500	N/A	N/A
<i>SA (batuan)</i>	$750 - 1500$	N/A	N/A
<i>SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)</i>	$350 - 750$	> 50	≥ 100
<i>SD (tanah sedang)</i>	$175 - 350$	$15 - 50$	$50 - 100$
<i>SE (tanah lunak)</i>	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 meter tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$		
	2. Kadar air, $w \geq 40\%$		
	3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25 \text{ kPa}$		
<i>SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)</i>	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari katareistik berikut:		
	- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah.		
	- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3 \text{ m}$).		
	- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$).		
	- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $\bar{S}_u < 50 \text{ kPa}$.		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

2.3 Mikrozonasi

2.3.1 Survei Geofisika Metode Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)

Kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (V_s30) digunakan sebagai indikator utama dalam menggambarkan kekakuan dan kekuatan tanah. Nilai ini diperoleh melalui survei *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) yang memanfaatkan gelombang permukaan Rayleigh bersifat dispersi, di mana kecepatan fase gelombang bergantung pada frekuensinya. Gelombang berfrekuensi tinggi merambat pada kedalaman dangkal dengan kecepatan rendah, sedangkan gelombang berfrekuensi rendah menembus lebih dalam dengan kecepatan tinggi. Perbedaan ini memungkinkan identifikasi ketebalan dan karakteristik lapisan tanah secara vertikal, sehingga menghasilkan profil kecepatan gelombang geser (V_s) dan perhitungan nilai V_s30 yang merepresentasikan kondisi bawah permukaan untuk analisis mikrozonasi dan klasifikasi tanah [9].



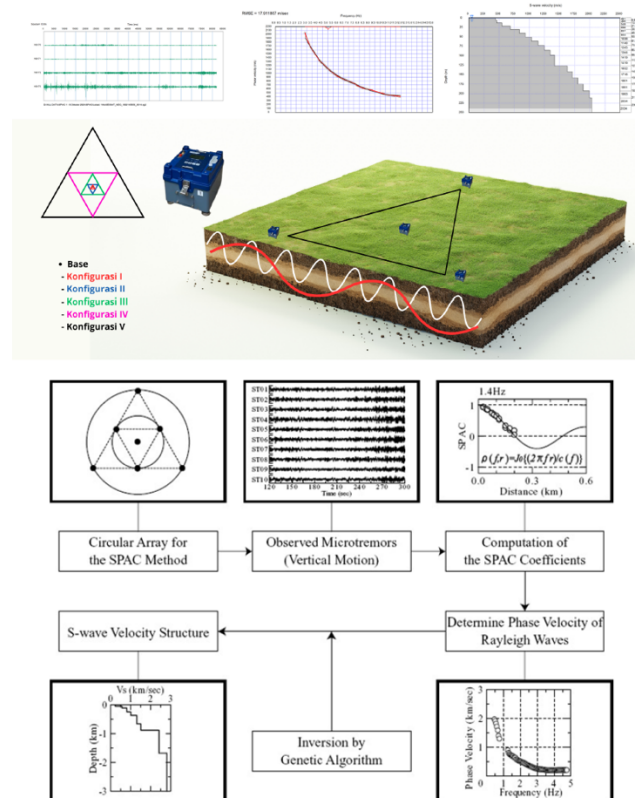
Gambar 2.3. Peralatan dan pengolahan data yang digunakan pada metode survei MASW.

Namun, karena keterbatasan area pada lokasi penelitian, panjang bentangan kabel geofon yang digunakan kurang dari 50 meter. Konsekuensinya, profil Vs yang dihasilkan dari metode MASW hanya menggambarkan kondisi lapisan tanah hingga kedalaman kurang dari 30 meter. Untuk mengatasi keterbatasan ini dan memperoleh data yang lebih dalam serta komprehensif, dilakukan pengukuran tambahan menggunakan metode *Spatial Auto-correlation* (SPAC) dengan konfigurasi pendek.

2.3.2 Survei Geofisika Metode *Spatial Auto-Correlation* (SPAC)

Survei geofisika dengan *Microtremor Array* (MA) yang menggunakan metode SPAC didasarkan pada teori perambatan gelombang permukaan Rayleigh, di mana gelombang ini terbentuk akibat interaksi antara gelombang geser dengan lapisan tanah di permukaan. Dengan mengukur kecepatan rambat gelombang permukaan Rayleigh, dapat diperkirakan profil kecepatan gelombang geser (Vs) hingga kedalaman tertentu, termasuk nilai Vs30 [10].

Gelombang Rayleigh bersifat dispersif, artinya kecepatan fasenya bergantung pada frekuensi gelombang. Gelombang berfrekuensi tinggi memiliki panjang gelombang yang lebih pendek sehingga hanya merambat pada lapisan dangkal dengan kecepatan rendah. Sebaliknya, gelombang berfrekuensi rendah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dan mampu merambat hingga kedalaman lebih besar dengan kecepatan lebih tinggi. Karakteristik dispersi ini dimanfaatkan untuk mengidentifikasi variasi kecepatan gelombang geser berdasarkan kedalaman, sehingga menghasilkan model bawah permukaan tanah yang lebih komprehensif.



Gambar 2.4. Konsep pengukuran dan akuisisi data pada survei Microtremor Array.

Metode SPAC memanfaatkan sifat dispersi gelombang permukaan Rayleigh untuk mengidentifikasi ketebalan dan kecepatan gelombang geser setiap lapisan tanah. Prinsip ini memungkinkan penetrasi hingga kedalaman besar karena menggunakan sumber getaran pasif dengan rentang frekuensi luas, sehingga dapat mendeteksi hingga lapisan engineering bedrock di bawah 30 meter [11]. Dalam praktiknya, metode SPAC menggunakan beberapa konfigurasi array berbentuk segitiga dengan panjang sisi antara 62,5 hingga 1000 meter untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser (V_s) secara vertikal. Pada kajian ini, konfigurasi panjang (sekitar 1000 meter) digunakan untuk mendapatkan profil V_s pada lapisan dalam, sedangkan konfigurasi pendek (20–60 meter) digunakan pada titik yang berdekatan dengan lintasan MASW guna melengkapi data pada kedalaman dangkal. Integrasi antara SPAC dan MASW menghasilkan model bawah permukaan yang lebih detail hingga kedalaman 30 meter, yang menggambarkan variasi kecepatan gelombang geser secara menyeluruh.

2.4 Cone Penetration Test (CPT) atau Uji Sondir

Cone Penetration Test (CPT) atau uji sondir merupakan salah satu metode uji lapangan yang digunakan untuk mengetahui daya dukung dan karakteristik tanah secara cepat dan efisien. Pengujian ini dilakukan dengan menekan konus ke dalam tanah menggunakan beban statis untuk mengukur tahanan ujung (q_c) dan gesekan selimut (f_s) pada berbagai kedalaman. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk memperkirakan sudut geser tanah, kapasitas dukung pondasi, serta menentukan kedalaman lapisan keras (hard layer). Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan *Standard Penetration Test* (SPT) karena lebih cepat, ekonomis, serta menghasilkan data kontinu dengan resolusi tinggi terhadap perubahan lapisan tanah [12]. Penggunaan CPT juga dapat dikombinasikan dengan analisis empiris dan numerik untuk memperkirakan kapasitas dukung tiang pancang atau karakteristik tanah berlapis.

Dalam perkembangannya, alat sondir modern seperti Dutch Penetrometer dilengkapi dengan sistem manometer dan konus standar berukuran 10 cm^2 yang mampu menembus tanah lunak hingga sedang. Keuntungan metode ini antara lain efisiensi waktu, hasil yang dapat diulang dengan akurasi tinggi, serta korelasi empiris yang semakin andal. Namun demikian, uji sondir memiliki keterbatasan, seperti tidak dapat mengambil sampel tanah secara langsung dan kesulitan menembus lapisan kerikil padat. Meski demikian, CPT tetap menjadi metode utama dalam penyelidikan tanah di Indonesia, terutama untuk tanah berbutir halus seperti lempung dan pasir halus, karena mampu memberikan gambaran daya dukung tanah dan kedalaman lapisan keras secara akurat serta menjadi dasar dalam desain pondasi bangunan dan infrastruktur teknik sipil.

2.5 Standard Penetration Test (SPT) atau Boring

SPT merupakan metode uji penetrasi dinamis *in-situ* yang dilakukan bersamaan dengan proses pengeboran untuk mengetahui karakteristik teknis tanah, khususnya kepadatan relatif dan daya dukung tanah. Pengujian dilakukan menggunakan alat Standard Split Barrel Sampler yang dimasukkan ke dalam lubang bor, kemudian dipukul secara

vertikal menggunakan palu seberat 63,5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 76 cm [13]. Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menembus kedalaman 30 cm disebut sebagai nilai N-SPT, yang menjadi indikator kepadatan tanah. Berdasarkan korelasi empiris Terzaghi dan Peck, nilai N ini dapat diklasifikasikan untuk menentukan tingkat kepadatan tanah, mulai dari sangat lepas (<4) hingga sangat padat (>50) seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Hubungan nilai N dengan kerapatan relatif.

Nilai N	Kerapatan Relatif
< 4	Sangat tidak padat
4-10	Tidak padat
10-30	Kepadatan sedang
30-50	Padat
>50	Sangat padat

Metode ini banyak digunakan karena sederhana, serbaguna, dan mampu memberikan informasi penting untuk desain pondasi. Selain itu, uji SPT memungkinkan pengambilan contoh tanah terganggu yang dapat digunakan untuk analisis laboratorium. Nilai pukulan N yang diperoleh menggambarkan perlawanan tanah terhadap penetrasi, yang selanjutnya dikorelasikan dengan parameter geoteknik seperti kekuatan geser dan daya dukung pondasi. Di Indonesia, pelaksanaan SPT mengacu pada standar SNI 4153:2008 yang merujuk pada ASTM D1586-84, dengan hasil pengujian yang disajikan dalam bentuk diagram penetrasi terhadap kedalaman [14]. Hasil ini digunakan untuk mengidentifikasi lapisan tanah keras (*hard layer*) dan membantu perencanaan pondasi bangunan secara lebih akurat.