

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan infrastruktur energi, khususnya kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi (*Migas*), memerlukan penyediaan fasilitas penunjang yang aman dan stabil, salah satunya adalah *Well pad*. *Well pad* berfungsi sebagai area kerja utama bagi peralatan pengeboran dan produksi, sehingga memerlukan kondisi tanah yang stabil untuk menjamin keselamatan operasional, perlindungan lingkungan, serta keberlanjutan fungsi struktur di atasnya.

Kecamatan Pendalian IV Koto, Kabupaten Rokan Hulu, Provinsi Riau, merupakan wilayah yang secara geologis dan topografis didominasi oleh tanah lunak hingga sedang, dengan variasi elevasi dan kemiringan lahan yang cukup signifikan. Kondisi ini menyebabkan area *well pad* berpotensi mengalami permasalahan ketidak stabilan lereng, pergeseran tanah, serta penurunan tanah (*settlement*), terutama akibat beban struktur, aktivitas alat berat, serta pengaruh air tanah dan curah hujan yang relatif tinggi di wilayah tersebut.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pembangunan dinding penahan tanah (*retaining wall*) menjadi salah satu solusi struktural yang penting dalam penataan dan pengamanan area *Well pad*. Dinding penahan tanah berfungsi menahan tekanan lateral tanah, menjaga kestabilan elevasi lahan, serta melindungi struktur dan fasilitas pendukung dari risiko longsor maupun deformasi berlebih. Namun, perencanaan dan pelaksanaan struktur dinding penahan tanah harus mempertimbangkan secara cermat karakteristik tanah setempat, kondisi hidrogeologi, serta beban operasional spesifik pada area *well pad*.

Pada praktiknya, masih ditemukan desain dinding penahan tanah yang belum sepenuhnya mengacu pada kondisi geoteknik lokal, sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan struktur seperti retak, guling, geser, maupun penurunan diferensial. Selain itu, keterbatasan data tanah dan kurangnya kajian teknis yang

komprehensif sering menjadi kendala dalam menghasilkan desain struktur yang aman dan ekonomis.

Oleh karena itu, penelitian mengenai “**Analisis Dinding Penahan Tanah Bronjong Batu Pada *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian**”, menjadi sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi tanah, analisis stabilitas, serta evaluasi kinerja struktur dinding penahan tanah yang sesuai dengan standar teknis dan kondisi lapangan. Hasil penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan keselamatan dan keandalan infrastruktur well pad, tetapi juga dapat menjadi referensi dalam perencanaan dan pembangunan fasilitas sejenis di wilayah dengan karakteristik geoteknik yang serupa.

Berdasarkan latar belakang yang ada, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian mengenai “**Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Bronjong Batu Pada *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian**” yang bertujuan dalam mengendalikan lereng pada struktur Well Pad PDL18 & PDL 19 APGWI Pendalian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar gaya geser DPT bronjong pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto?
2. Berapa besar gaya guling DPT bronjong pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

A. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis besarnya gaya geser pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto guna mengetahui tingkat stabilitas lereng terhadap potensi pergeseran.

2. Menganalisis besarnya gaya guling pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto guna mengetahui tingkat stabilitas lereng terhadap potensi terguling.

B. Manfaat Penelitian

1. Mengetahui tingkat stabilitas terhadap gaya geser pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto, sehingga dapat diketahui apakah timbunan lereng tersebut aman terhadap potensi pergeseran.
2. Mengetahui tingkat stabilitas terhadap gaya guling pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto, sehingga dapat diketahui apakah timbunan lereng tersebut aman terhadap potensi terguling.

1.4 Batasan Penelitian

Agar Penulisan Skripsi ini terarah dan sesuai dengan Skripsi maka diperlukan pembatasan penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada timbunan lereng *Drilling Site Preparation* PDL 18 & 19 APGWI Pendalian IV Koto.
2. Analisis penelitian difokuskan pada stabilitas dinding penahan tanah (DPT) tipe bronjong terhadap gaya geser dan gaya guling.
3. Analisis stabilitas menggunakan parameter tanah yang diperoleh dari hasil penyelidikan tanah dan pengujian laboratorium pada lokasi penelitian.
4. Perhitungan faktor keamanan hanya mencakup stabilitas terhadap geser dan guling, sesuai dengan ketentuan atau standar yang digunakan dalam penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini penulis akan mencantumkan beberapa penelitian terdahulu yang relevan atau berhubungan dengan judul yang ingin diteliti mengenai “Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Bronjong Batu Pada *Drilling Site Preparation PDL 18 & 19 APGWI* Pendalian” sebagai berikut:

1. **(Aprianto M, dkk 2025) Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Pada Ruas Jalan Kebun Kopi: Slope Stability Using DPT On Kebun Kopi Road Sections:** wilayah Sulawesi Tengah termasuk dalam kategori daerah rawan longsor akibat kombinasi faktor geologi, iklim, dan aktivitas manusia. Khususnya penelitian ini mengkaji longsor tanah arah jurang pada ruas jalan Kebun Kopi-Toboli. Stabilitas lereng merupakan aspek penting dalam keberlanjutan infrastruktur jalan, khususnya pada ruas jalan Kebun Kopi–Toboli Km 57+100 yang rawan longsor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik tanah, mengevaluasi kondisi kestabilan lereng, serta menilai efektivitas perkuatan Dinding Penahan Tanah (DPT) dalam meningkatkan faktor keamanan. Data tanah diperoleh melalui pengeboran hingga kedalaman 28 m, pengujian laboratorium, dan analisis klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa lapisan tanah terdiri dari ML dan SM pada kedalaman 3,5–24 m, sedangkan pada kedalaman lebih dari 25 m ditemukan lapisan batuan (rock). Tanah tersebut memiliki kohesi rendah (0,324–0,399 kg/cm²) dan sudut geser dalam berkisar 20,3°–29,9°, sehingga tergolong rawan longsor. Dari hasil analisis stabilitas lereng menggunakan DPT diperoleh faktor keamanan terhadap guling (fs) yaitu 3,429, faktor keamanan terhadap geser (fs) yaitu 4,05 dan stabilitas daya dukung dinding penahan (fs) yaitu 2,571 lebih besar dari faktor keamanan yang disyaratkan yaitu $F_s = 2$. Dengan

demikian, metode perkuatan ini direkomendasikan sebagai solusi teknis untuk mitigasi bencana longsor pada ruas jalan Kebun Kopi–Toboli.

2. **(Rifki R, dkk 2025) Analisis Dinding Penahan Tanah Pada Ruas Jalan Sumeith Pasinaro – SP Watui Kabupaten Seram Bagian Barat:** Ruas jalan Sumeith Pasinaro–SP Watui di Desa Sumeith Pasinaro, Kecamatan Elpaputih, Kabupaten Seram Bagian Barat, mengalami tiga titik longsor dengan kerusakan terparah pada STA 00+980, sehingga penelitian ini dilakukan untuk menentukan jenis dan desain dinding penahan tanah yang paling sesuai. Analisis menggunakan metode Rankine untuk tekanan tanah lateral dan metode Terzaghi untuk kestabilan daya dukung tanah, dengan pengujian laboratorium berdasarkan standar SNI meliputi kadar air, berat jenis, bobot isi, analisis saringan, batas Atterberg, dan pemadatan tanah. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa dinding penahan tanah tipe kantilever dengan dimensi $H = 7,0$ m, $B = 4,5$ m, dan $P = 22$ m adalah yang paling tepat dan telah disesuaikan dengan kondisi longsor di STA 00+980. Stabilitas struktur dinyatakan aman dengan faktor keamanan terhadap gaya geser 2,03 dan gaya guling 3,08, serta daya dukung tanah $Q_{ult} = 1522,618$ yang jauh lebih besar dari Q maksimum 142,305.
3. **(Virlayani A, dkk 2024) Penerapan Bronjong Sebagai Perkuatan Tebing Pada Sungai Pappa:** Sungai Pappa merupakan salah satu sungai di Provinsi Sulawesi Selatan yang sering mengalami banjir pada musim hujan. Banjir yang terjadi mengakibatkan adanya gerusan pada bagian tebing sungai sehingga untuk mencegah kerusakan tebing dan meluasnya sungai diperlukan perencanaan penahan tebing berupa bronjong. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan dimensi perencanaan perkuatan lereng yang efektif di Sungai Pappa Kabupaten Takalar. Perencanaan dimensi dinding penahan tanah meliputi desain ukuran bronjong dan stabilitas bronjong dan dianalisis menggunakan rumus kapasitas perkuatan bronjong berdasarkan SNI 03-0090-1999. Hasil perhitungan gaya guling

yang diperoleh sebesar $8.82 \geq 1.5$ dan gaya geser sebesar $4.34 \geq 1.5$ sehingga konstruksi bronjong masuk dalam kategori aman. Sementara itu peletakan bangunan bronjong pada tebing di bagian hilir sungai Jenelata sepanjang 200 meter dengan dimensi $2 \times 1 \times 0.5$, jumlah sekat 1 serta kapasitas 1 m^3 .

4. **(Septiani V, dkk 2024) Analisa Perancangan Dinding Penahan Tanah terhadap Stabilitas dan Daya Dukung Tanah Bandara:** Hasil penelitian diperoleh Tekanan aktif = 90,07 ton dan pasif = 126,38 ton → struktur aman & stabil.
5. **(Saleh A, dkk 2024) Evaluasi Kinerja Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) Pada Proyek Pembangunan Drainase Mendawai:** Hasil analisa Studi mengevaluasi fungsi dan kinerja dinding penahan pada sistem drainase, memenuhi fungsi struktural namun tidak menjawab aspek analisis mendalam yang berkaitan dengan pertanyaan spesifik peneliti.
6. **(Indra, dkk 2024) Analisis Stabilitas Lereng Dengan Bronjong, Sheet Pile, Pasangan Batu Dan Kantilever Menggunakan Software Plaxis Studi Kasus SMPN 1 Asera :** Berdasarkan hasil dari penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut :
 1. Hasil perhitungan lereng asli tanpa perkuatan menggunakan program plaxis 8.2, didapatkan angka aman sebesar 0,6138. Pada perhitungan manual yang dilakukan menggunakan metode bishop didapatkan angka aman pada lereng sebesar 0,6820. Dengan angka aman dibawah 1,25, maka lereng labil terhadap keruntuhan atau tidak aman.
 2. Hasil perhitungan lereng dengan perkuatan DPT Bronjong menggunakan program plaxis 8.2 tanpa beban gempa yaitu 2,0324 dan dengan beban gempa sebesar 1,9878. Hasil perhitungan lereng dengan perkuatan DPT Sheet Pile tanpa beban gempa yaitu 1,6023 dan dengan beban gempa sebesar 1,5965. Hasil perhitungan lereng dengan

perkuatan DPT Pasangan Batu tanpa beban gempa yaitu 2,6369 dan dengan beban gempa sebesar 2,6340. Hasil perhitungan lereng dengan perkuatan DPT Kantilever tanpa beban gempa yaitu 2,6228 dan dengan beban gempa sebesar 2,6220. Dengan nilai angka aman yang diperoleh melebihi 1,25 dari yang disyaratkan maka dianggap aman terhadap keruntuhan.

7. **(Afryansyah A, dkk 2023) Analisis Stabilitas Dan Biaya Perencanaan Dinding Penahan Tanah Tipe Bronjong di Sungai Ciliwung (Studi Kasus: Ruas Legok Nyenang Rt.01/03, Desa Leuwimalang, Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor) :** Dinding penahan tanah adalah suatu struktur yang dibangun untuk menahan tanah lateral ketika tanah mengalami perubahan dalam elevasi dan melampaui sudut geser dalam tanah. Kondisi akses utama jalan Leuwimalang di Kampung Legok Nyenang RT 01/03, mengalami kerusakan. Sementara itu setengah jalan yang mengalami penurunan tanah tidak bisa berfungsi secara maksimal, hal ini diakibatkan terjadinya longsor sepanjang 27 meter di sekitar bantaran Sungai Ciliwung. Maka dari itu dilakukan analisa perbandingan dinding penahan tanah tipe gravitasi dan tipe kantilever bertujuan untuk merencanakan bentuk dan dimensi dinding penahan tanah tipe gravitasi, menganalisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, dan geser, menganalisis biaya konstruksi serta membandingkan nilai keamanan dan biaya konstruksi dinding penahan tanah tipe bronjong dengan tipe kantilever. Perhitungan tanah aktif menggunakan Metode Rankine. Pada struktur konstruksi dinding penahan tanah kantilever didapatkan stabilitas terhadap penggeseran ($F_{gs} = 0,39 < SF = 1,5$) dan untuk stabilitas terhadap guling ($F_{gl} = 0,78 < SF = 1,5$). Biaya konstruksi total yang diperlukan untuk membuat dinding penahan tanah tipe bronjong sebesar Rp. 2.680.000.000, sedangkan biaya konstruksi total yang diperlukan untuk membuat dinding penahan tanah tipe kantilever sebesar Rp.

1.460.000.000. Jadi dinding penahan tanah yang ekonomis dari segi biaya adalah dinding penahan tanah tipe kantilever.

8. **(Dedy D, dkk 2023) Analisis Stabilitas Lereng Dengan Geogrid Dan Bronjong:** Lokasi penelitian ini berada Purwakarta dimana lokasi konstruksi peternakan ini berada tepat di tepi lereng tebing. Kondisi stabilitas lereng pada lokasi penelitian ini tidak stabil, hal ini dikarenakan pada saat masa konstruksi tanah dan bangunan tersebut amblas dan terjadi kelongsoran. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan perkuatan lereng untuk meningkatkan daya dukungnya. Analisis yang pertama dilakukan yaitu dengan mengecek apakah lereng tersebut aman atau tidak dengan menggunakan software berbasis Limit Equilibrium Method (LEM) dimana dihasilkan nilai Safety Factor (SF) sebesar 1,06 yaitu kurang dari 1,5 dari SF rencana. Berdasarkan analisis tersebut diperlukan alternatif metode perkuatan lereng, metode perkuatan lereng yang digunakan pada penelitian ini yaitu dengan alternatif pertama dengan menggunakan material geogrid, alternatif kedua dengan material bronjong dan alternatif ketiga yaitu kombinasi keduanya. Alternatif pertama yaitu perencanaan geogrid dilakukan dengan menghitung kebutuhan yang akan dipasang dimana dihasilkan Tipe geogrid Biaxial Geogrid 200/50 F dengan nilai Ultimate Tensile Strength (MD/CM) sebesar 200/50 kN/m dengan jarak pemasangan 0,5 meter dengan nilai MR komulatif sebesar 2,512.820513 kN/m sebanyak empat lapisan dengan total panjang geogrid yang dibutuhkan sebesar 10,8791 m. Alternatif kedua yaitu dengan material bronjong yang dianalisis dengan software dihasilkan nilai safety factor sebesar 0,20 sehingga kurang aman. Alternatif yang ketiga yaitu dengan menggunakan kombinasi kedua nya dimodelkan dengan software dihasilkan deformasi sebesar 0,07127 meter. Pemilihan analisis perhitungan dari ketiga alternatif tersebut dihasilkan alternatif yang ketiga yaitu dengan kombinasi kedua material geogrid dan bronjong.

9. **(Triarso A, dkk 2021) Analisis Stabilitas Pada Proyek Pasangan Bronjong Untuk Tanggul Pantai Di Area Permukiman Kenjeran :**

Dari perhitungan stabilitas tanggul terhadap guling maka diperoleh faktor keamanan sebesar 8.7. Sedangkan untuk stabilitas tanggul terhadap geser diperoleh faktor keamanan sebesar 1.5. Dari analisa stabilitas tanggul terhadap daya dukung maka daya dukung perlu diperkuat dengan cerucuk (Panjang 3 - 4 m dengan jarak antar cerucuk 30 cm). Stabilitas tanah dasar (eksisting) dari pemodelan dengan program Plaxis 2D diperoleh faktor keamanan sebesar 1.57. Berdasarkan asil Perhitungan dan Pemodelan di atas maka stabilitastanggul tersebut cukup aman terhadap guling, geser, daya dukung, dan longsor.

10. **(Andriani, dkk 2021) Pengaruh Perubahan Kadar Air Tanah Timbunan Terhadap Stabilitas Dinding Penahan Tanah Jenis Bronjong :**

Dari dua kondisi jangka pendek dan jangka panjang terlihat bahwa apabila variasi kadar air tanah timbunan sebesar 50 % menyebabkan kuat geser menjadi turun karena ikatan antar butiran tanah melemah akibat air dan menyebabkan tekanan arah ke samping menjadi besar karena pengaruh air. Hal ini menyebabkan stabilitas bronjong terhadap guling dan geser menjadi rendah (tidak memenuhi syarat). untuk menjaga agar struktur bronjong tetap aman terhadap guling dan geser sebaiknya kadar air tanah timbunan kurang dari 50 %. Untuk meningkatkan faktor keamanan terhadap guling dan geser dapat dilakukan dengan menambah berat isi batu untuk bronjong lebih besar dari 1,722 ton/m³ atau menggunakan spesifikasi berat isi batuan yang ditetapkan oleh Nafvac.

2.2 Keaslian Penelitian

Penelitian ini mengkaji/menganalisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Dan Bronjong Batu Pada Struktur Well Pad Pdl 18 & 19 APGWI Pendalian.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu terletak pada:

1. Penelitian ini dilakukan pada struktur Well Pad PDL 18 & 19 APGWI Pendalian, sedangkan penelitian terdahulu umumnya dilakukan pada proyek jalan raya, tebing sungai, saluran drainase, atau kawasan permukiman.
2. Kinerja DPT Bronjong Batu Kali yang di analisis terhadap gaya geser dan guling. Dengan dimensi DPT beronjong lebar dasar 3 m dan tinggi 3 m.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Dinding Penahan Tanah (DPT)

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) adalah struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan tekanan lateral tanah sehingga mencegah terjadinya longsor atau pergeseran tanah. Dinding penahan tanah umumnya digunakan pada perbedaan elevasi tanah yang signifikan, seperti pada lereng, tebing, dan area timbunan. Serta area konstruksi khusus seperti well pad pada industri migas, di mana kestabilan tanah sangat krusial terhadap keselamatan dan keberlanjutan operasi. Selain itu fungsi dari dinding penahan tanah ini untuk menyokong tanah serta mencegah bahaya kelongsoran, baik akibat beban air hujan, beban tanah itu sendiri maupun beban yang bekerja di atasnya.

Dinding penahan tanah berperan penting untuk:

1. Menahan tekanan tanah akibat timbunan
2. Menjaga kestabilan area kerja peralatan berat
3. Mengontrol deformasi tanah di sekitar pondasi struktur
4. Mendukung keamanan operasional jangka panjang

3.1.1 Fungsi Dinding Penahan Tanah

Secara umum, fungsi utama dinding penahan tanah meliputi:

1. Menahan tekanan lateral tanah, baik tanah asli maupun tanah urugan.
2. Mencegah kelongsoran lereng akibat beban tambahan di atas tanah.
3. Menjaga stabilitas struktur di atasnya, seperti bangunan, jalan, atau fasilitas well pad.
4. Mengurangi deformasi tanah, terutama pada tanah lunak atau tanah dengan daya dukung rendah.
5. Menahan beban tambahan (*surcharge load*) akibat alat berat, kendaraan, maupun struktur permanen.

3.1.2 Jenis-jenis Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah diklasifikasikan berdasarkan sistem kerja dan material penyusunnya, antara lain:

A. Dinding Penahan Tanah Gravitasi

Dinding ini mengandalkan berat sendiri struktur untuk menahan tekanan tanah. Umumnya terbuat dari pasangan batu, beton massa, atau bronjong. Kelebihannya adalah konstruksi sederhana, namun membutuhkan dimensi besar sehingga kurang efisien pada tanah lunak atau area terbatas.



Gambar 3.1 Dinding Penahan Tanah Gravitasi

B. Dinding Penahan Tanah Kantilever

Dinding ini terbuat dari beton bertulang dan bekerja sebagai balok kantilever. Tekanan tanah ditahan oleh pelat vertikal dan tapak pondasi. Jenis ini banyak digunakan karena relatif ekonomis dan cocok untuk tinggi dinding menengah.



Gambar 3.2 Dinding Penahan Tanah Kantilever

C. Dinding Penahan Tanah Bertulang

Menggunakan perkuatan tambahan seperti geotekstil, geogrid, atau tulangan baja untuk meningkatkan kestabilan. Sistem ini sering digunakan pada tanah dengan daya dukung rendah.



Gambar 3.3 Dinding Penahan Tanah Bertulang

D. Dinding Penahan Tanah Bronjong (*Gabion Wall*)

Dinding penahan tanah bronjong (*gabion wall*) merupakan salah satu jenis dinding penahan tanah yang dibuat dari susunan kotak-kotak kawat baja yang diisi dengan batu. Kotak kawat

tersebut disebut bronjong dan biasanya disusun bertingkat sesuai kebutuhan tinggi dinding. Dinding jenis ini banyak digunakan pada daerah lereng, tebing sungai, pinggir jalan, dan daerah rawan longsor karena memiliki struktur yang cukup kuat dan fleksibel.



Gambar 3.4 Dinding Penahan Tanah Bronjong

3.1.3 Dinding Penahan Tanah Bronjong (*Gabion Wall*)

Dinding Penahan Tanah (DPT) bronjong adalah struktur penahan tanah yang terbuat dari anyaman kawat baja berbentuk kotak yang di isi batu pecah. Bronjong digunakan untuk menahan tekanan tanah, mencegah longsor, serta melindungi lereng dan tebing sungai dari erosi. Struktur ini banyak digunakan pada pekerjaan sipil karena memiliki fleksibilitas tinggi, mudah dipasang, dan ekonomis.

Bronjong umum nya dibuat dari kawat baja galvanis atau kawat berlapis PVC agar tahan terhadap karat dan pengaruh cuaca. Bagian dalam bronjong di isi menggunakan batu berukuran sedang hingga besar yang disusun padat sehingga mampu menahan tekanan tanah dari belakang dinding.

Dinding bronjong bekerja dengan memanfaatkan berat susunan batu untuk menahan gaya dorong tanah. Semakin besar berat bronjong, maka semakin besar pula kemampuan dinding dalam menjaga kestabilan tanah. Selain itu, adanya rongga di antara batu

membuat air dapat mengalir keluar melalui celah-celah bronjong sehingga tekanan air di belakang dinding dapat berkurang.

Salah satu keunggulan utama dinding bronjong adalah sifatnya yang fleksibel. Jika terjadi penurunan tanah atau pergeseran kecil pada lereng, bronjong masih dapat menyesuaikan bentuk tanpa langsung mengalami kerusakan besar. Hal ini berbeda dengan dinding beton yang mudah retak apabila terjadi pergerakan tanah.

Dinding bronjong memiliki beberapa fungsi penting dalam pekerjaan teknik sipil, antara lain:

1. Menahan longsoran tanah
Bronjong digunakan untuk menjaga kestabilan lereng agar tanah tidak runtuh atau longsor.
2. Melindungi tebing sungai
Bronjong mampu mengurangi erosi akibat aliran air sungai.
3. Menjaga kestabilan jalan
Pada daerah berbukit, bronjong sering dipasang di sisi jalan untuk mencegah longsor.
4. Mengurangi erosi tanah
Susunan batu dalam bronjong membantu memperlambat aliran air sehingga mengurangi pengikisan tanah.
5. Sebagai pelindung lereng
Bronjong dapat digunakan untuk memperkuat lereng yang curam dan tidak stabil.

Secara umum, dinding bronjong terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Kawat bronjong
Berfungsi sebagai wadah atau pengikat batu agar tetap tersusun rapi.
2. Batu isian
Digunakan sebagai material utama penahan beban dan tekanan tanah.

3. Pengikat kawat
Digunakan untuk menyambung antarbronjong agar struktur lebih kuat.
4. Lapisan pondasi
Bagian dasar yang berfungsi menjaga kestabilan dinding bronjong.

Kelebihan dan Kekurangan DPT Bronjong:

Kelebihan

1. Fleksibel terhadap penurunan tanah.
2. Memiliki sistem drainase alami.
3. Biaya konstruksi relatif murah.
4. Mudah dalam pelaksanaan dan perawatan.
5. Ramah lingkungan karena dapat ditumbuhi vegetasi.

Kekurangan

1. Kawat dapat mengalami korosi jika kualitas rendah.
2. Kurang cocok untuk dinding dengan ketinggian sangat besar.
3. Membutuhkan batu isian dalam jumlah banyak.
4. Umur layanan dipengaruhi kondisi lingkungan.

3.1.4 Tekanan Tanah pada Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan kondisi pergerakan tanah dan dinding, tekanan tanah dibedakan menjadi tiga jenis utama, yaitu:

1. Tekanan Tanah Aktif (Rankine)

Tekanan tanah aktif terjadi ketika dinding bergerak menjauh dari tanah di belakangnya. Pada kondisi ini, tekanan tanah yang bekerja pada dinding berada pada nilai minimum.

Dalam perencanaan dinding penahan tanah, salah satu teori yang paling sering digunakan untuk menghitung tekanan tanah adalah Teori Rankine. Teori ini digunakan dengan asumsi bahwa

permukaan tanah di belakang dinding datar dan dinding dianggap licin sehingga tidak ada gesekan antara tanah dan dinding.

2. Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif terjadi ketika dinding bergerak mendekati tanah di depannya. Tanah akan mengalami pemadatan sehingga menghasilkan tekanan lateral yang besar untuk menahan pergerakan dinding.

Tekanan tanah pasif biasanya dimanfaatkan sebagai tahanan terhadap gaya geser pada pondasi dinding penahan tanah. Nilai tekanan tanah pasif lebih besar dibandingkan tekanan tanah aktif, namun dalam perencanaan sering digunakan nilai yang lebih kecil (konservatif) untuk menghindari kegagalan akibat ketidakpastian kondisi tanah.

3. Tekanan Tanah Diam

Tekanan tanah diam terjadi ketika dinding penahan tanah tidak mengalami pergerakan sama sekali. Kondisi ini umumnya terjadi pada dinding yang kaku atau dinding yang diperkuat dengan pondasi tiang seperti minipile.

Nilai tekanan tanah diam berada di antara tekanan tanah aktif dan pasif. Tekanan ini penting diperhitungkan pada struktur yang memiliki keterbatasan deformasi, seperti struktur well pad, di mana pergerakan tanah harus dijaga seminimal mungkin.

3.1.5 Metode Perhitungan Dinding Penahan Tanah

Untuk mengecek apakah dinding penahan tanah aman, ada dua hal yang dihitung, yaitu kemungkinan dinding bergeser dan kemungkinan dinding terguling. Untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada dinding dipakai rumus Rankine.

Sedangkan untuk mengecek apakah tanah di bawah dinding masih kuat menahan beban atau tidak, digunakan rumus Schmertmann dan Nottingham.

Jenis tanah juga mempengaruhi hasil perhitungan. Ada tanah yang kohesif (misalnya tanah lempung) dan ada tanah yang berbutir (misalnya pasir). Karena sifatnya berbeda rumus daya dukung tanahnya juga berbeda dan hasil daya dukung ultimit tiap jenis tanah tidak sama.

1. Tekanan Tanah (*earth pressure*)

Besar tekanan tanah merupakan luas diagram tegangan gaya yang terjadi akibat pembebanan, perbedaan tinggi muka air maupun akibat sifat-sifat tanah. Tekanan tanah dalam perhitungan metode Rankine memiliki dua jenis tanah yaitu tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Untuk tekanan tanah aktif merupakan tekanan tanah yang berhubungan langsung dengan dinding penahan tanah sekaligus menjadi beban yang bekerja dan dapat menimbulkan geser maupun guling. Sedangkan tekanan tanah pasif berada di belakang dinding.

Dalam menentukan besar tekanan tanah dapat ditentukan berdasarkan jenis tekanan tanahnya. Menurut teori Rankine, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah pada dinding setinggi H, dengan:

$$Pa = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- Pa = Tekanan tanah aktif (kN/m)
- γ = Berat isi tanah (kN/m³)
- H = Tinggi dinding penahan tanah (m)
- K = Koefisien tekanan tanah (dapat berupa tekanan tanah aktif / pasif)

Sedangkan untuk mencari koefisien tekanan tanah dapat menggunakan rumus dibawah ini.

Rumus:

Koefisien Tanah Aktif:

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

Koefisien tanah Pasif:

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

K_a = Koefisien tekanan tanah aktif

K_p = Koefisien tekanan tanah pasif

ϕ = Sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

2. Beban Gaya Horisontal

Gaya horisontal yang bekerja pada dinding penahan tanah secara umum adalah beban tanah yang ditumpu dan beban konstruksi yang di atasnya. Untuk beban tanah digunakan perhitungan sebelumnya dimana terdapat beban tanah aktif maupun tanah pasif. Sedangkan untuk beban konstruksi di atasnya dapat berupa beban merata maupun beban titik. Dalam perhitungan beban konstruksi, semua beban yang bekerja baik beban merata maupun titik dirubah menjadi beban merata. Selain gaya horisontal, perlu dihitung juga nilai momen pada kemungkinan titik guling. Beban merata dalam perhitungan diasumsikan sebagai tekanan tanah aktif dan diagram pembebanan berbentuk persegi panjang. Untuk beban merata dapat digunakan rumus sebagai berikut.

Rumus:

$$P_a = K_a \times q \times H \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

P_a = Tekanan tanah (kg)

K_a = Koefisien tekanan tanah (beban konstruksi aktif)

q = Beban konstruksi di atas dinding penahan tanah (kg/m)

H = Tinggi dinding penahan tanah (m)

3.1.6 Distribusi Tekanan Tanah

Tekanan tanah pada dinding tidak bekerja secara merata. Semakin ke bawah, tekanan tanah semakin besar akibat bertambahnya berat tanah di atasnya. Oleh karena itu, distribusi tekanan tanah umumnya berbentuk:

1. Segitiga untuk tekanan tanah akibat berat sendiri tanah,
2. Persegi panjang untuk tekanan akibat beban tambahan (*surcharge*).

Gabungan kedua tekanan tersebut menghasilkan gaya total yang bekerja pada dinding penahan tanah.

3.1.7 Pengaruh Air Tanah terhadap Tekanan Tanah

Keberadaan air tanah sangat berpengaruh terhadap besar tekanan yang bekerja pada dinding. Jika air tanah berada di belakang dinding, maka akan timbul tekanan air pori yang menambah tekanan lateral.

Tekanan air tanah ini dapat meningkatkan gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah secara signifikan. Oleh karena itu, sistem drainase seperti pipa drain atau lubang drain perlu disediakan agar tekanan air dapat dikurangi dan stabilitas dinding tetap terjaga.

3.1.8 Pengaruh Beban Tambahan (*Surcharge Load*)

Beban tambahan seperti kendaraan, alat berat, atau struktur di atas tanah dapat menambah tekanan lateral pada dinding penahan tanah. Pada area well pad, beban surcharge cukup besar karena adanya peralatan pengeboran dan kendaraan berat.

Beban surcharge ini harus diperhitungkan dalam analisis tekanan tanah agar desain dinding penahan tanah dan pondasi minipile tetap aman.

3.2 Faktor Keamanan dan Analisis Stabilitas

Faktor keamanan adalah perbandingan antara kemampuan struktur dalam menahan beban dengan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Faktor keamanan digunakan untuk memastikan bahwa dinding penahan tanah dan pondasi minipile berada dalam kondisi aman dan tidak mengalami kegagalan.

Dalam perencanaan struktur geoteknik, faktor keamanan sangat penting karena kondisi tanah memiliki ketidakpastian yang tinggi, seperti variasi sifat tanah dan pengaruh air tanah. Pada dinding penahan tanah, faktor keamanan diperiksa terhadap beberapa jenis kegagalan, yaitu:

3.2.1 Faktor Keamanan terhadap Geser

Faktor keamanan terhadap geser digunakan untuk mengetahui apakah dinding berpotensi bergeser akibat tekanan tanah. Secara sederhana, faktor keamanan geser adalah perbandingan antara gaya penahan geser dengan gaya pendorong geser. Nilai faktor keamanan terhadap geser umumnya disyaratkan $\geq 1,5$.

Akibat gaya-gaya lateral seperti tekanan tanah aktif (P_a) yang bekerja, maka dinding penahan tanah dapat bergeser. Gaya-gaya lateral (P_a) tersebut akan mendapatkan perlawanan dari tekanan tanah pasif (P_p) dan gaya gesek antara dasar dinding dan tanah.

A. Perhitungan faktor keamanan terhadap geser

$$FS = \frac{W \times \tan \delta}{P_a} < FS \text{ ijin} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

FS = Faktor akibat penggulingan

W = Berat bronjong (kN/m)

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

tan δ = Koefisien gesek

FS ijin = Faktor aman akibat penggulingan, dengan ketentuan:

(FS ijin ≥ 1.5) untuk tanah granular

(FS ijin ≥ 2.0) untuk tanah kohesif

Pada persamaan di atas untuk mengetahui nilai (tan δ), maka dilakukan peninjauan terhadap struktur tanah dasarnya. Karena hal ini mempengaruhi nilai dari (tan δ) yang akan direncanakan. Sedangkan untuk mengetahui nilai dari koefisien gesek (tan δ) antara dasar pondasi dengan tanah dasar, dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3.1 Koefisien Gesek Dasar Pondasi Dengan Tanah Dasar

No	Jenis Tanah Dasar Pondasi	tan δ
1	Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
2	Tanah granuler kasar mengandung lempung	0,45
3	Tanah lanau tak berkohesi	0,35
4	Batu keras dengan permukaan kasar	0,60

Sumber : AREA, 1958 dalam Hardiyatmo

B. Menentukan sudut gesekan dasar

Untuk menghitung keamanan terhadap gaya geser, diperlukan sudut gesekan antara dasar bronjong dengan tanah (δ).

Sudut gesekan dasar merupakan salah satu parameter yang digunakan dalam analisis stabilitas dinding penahan tanah terhadap geser. Sudut ini menggambarkan besarnya gesekan yang terjadi antara permukaan dasar dinding penahan tanah dengan tanah di bawahnya. Gesekan tersebut berfungsi sebagai gaya penahan yang membantu menjaga dinding agar tidak mengalami pergeseran akibat adanya tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding.

Besarnya sudut gesekan dasar dipengaruhi oleh kondisi dan jenis tanah dasar serta sifat permukaan dasar dinding. Semakin besar gesekan antara dasar dinding dengan tanah, semakin besar pula gaya yang dapat menahan dinding terhadap pergeseran. Oleh karena itu, sudut gesekan dasar perlu diperhitungkan dalam analisis keamanan dinding penahan tanah.

Dalam perhitungan, apabila nilai sudut gesekan dasar tidak diperoleh secara langsung dari hasil pengujian, nilai tersebut dapat diperkirakan berdasarkan sudut geser dalam tanah. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah nilai sudut gesekan dasar sebesar dua pertiga dari sudut geser dalam tanah, yang dinyatakan dengan persamaan:

$$\delta = \frac{2}{3} \phi \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

δ = Sudut gesekan dasar ($^{\circ}$)

ϕ = Sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

C. Menghitung gaya penahan geser

Gaya penahan geser merupakan gaya yang bekerja untuk menahan dinding penahan tanah agar tidak mengalami pergeseran akibat tekanan tanah lateral. Pada dinding penahan tanah bronjong, gaya penahan geser terutama berasal dari gaya gesekan antara dasar

dinding dengan tanah dasar serta kohesi tanah pada dasar dinding, apabila kohesi diperhitungkan dalam analisis.

Besarnya gaya penahan geser dipengaruhi oleh berat dinding, kondisi tanah dasar, kohesi tanah, dan sudut gesekan dasar. Secara umum, gaya penahan geser dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$R = W \times \tan \delta \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

R = Gaya penahan geser (kN/m)

W = Berat bronjong (kN/m)

$\tan \delta$ = Sudut gesekan dasar

3.2.2 Faktor Keamanan terhadap Guling

Faktor keamanan terhadap guling digunakan untuk memastikan bahwa dinding tidak berputar atau terguling akibat tekanan tanah.

Faktor keamanan ini merupakan perbandingan antara:

momen penahan dengan momen pengguling Nilai faktor keamanan terhadap guling umumnya disyaratkan $\geq 2,0$.

Tekanan tanah yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat pondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas pelat pondasi. Perhitungan dapat didefinisikan sebagai:

A. Menghitung faktor keamanan terhadap guling

$$FS = \frac{\Sigma \text{ Momen Penahan}}{\Sigma \text{ Momen Pengguling}} < FS \text{ ijin} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

FS = Faktor akibat penggulingan

Σ Momen Penahan	= Jumlah momen vertikal (kg.m)
Σ Momen Pengguling	= Jumlah momen horisontal (kg.m)
FS ijin	= Faktor aman akibat penggulingan

B. Menghitung Momen pengguling

Momen pengguling merupakan momen yang menyebabkan dinding penahan tanah berpotensi mengalami perputaran atau terguling akibat adanya tekanan tanah yang bekerja pada dinding. Tekanan tanah dari timbunan di belakang dinding menghasilkan gaya horizontal yang mendorong dinding ke arah depan. Gaya tersebut dapat menyebabkan dinding berputar terhadap titik ujung dasar dinding yang dianggap sebagai titik putar.

Dalam analisis stabilitas dinding penahan tanah, momen pengguling perlu dihitung untuk mengetahui kemampuan struktur dalam menahan kecenderungan terjadinya guling. Semakin besar momen pengguling yang bekerja, semakin besar pula kecenderungan dinding untuk mengalami guling. Oleh karena itu, momen pengguling harus dibandingkan dengan momen penahan yang dihasilkan oleh berat dinding dan beban yang bekerja pada dinding.

Momen pengguling dihitung berdasarkan besarnya gaya tekanan tanah aktif dan jarak titik kerja gaya tersebut terhadap titik putar. Persamaan yang digunakan adalah:

1. Menentukan titik kerja gaya tanah

Tekanan tanah aktif berbentuk segitiga, sehingga gaya resultan bekerja pada:

$$y = \frac{H}{3} \dots\dots\dots (9)$$

Artinya, gaya tanah aktif bekerja 1 meter di atas dasar bronjong.

2. Rumus momen pengguling

$$M_g = P_a \times y \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

M_g = Momen pengguling (kN.m/m)

P_a = Gaya tekanan tanah aktif (kN/m)

Y = Jarak gaya terhadap titik guling (m)

3. Menghitung momen penahan (M_r)

Momen penahan berasal dari berat sendiri bronjong, berat bronjong bekerja pada *titik berat penampang* karena bentuk bronjong dianggap persegi panjang:

$$X = \frac{B}{2} \dots\dots\dots (11)$$

Rumus momen penahan :

$$M_r = W \times X \dots\dots\dots (12)$$

Diamana :

X = Titik berat penampang(m)

B = Lebar Bawah Pondasi (m)

W = Berat Bronjong (Kn/m)

3.2.3 Faktor Keamanan terhadap Daya Dukung Tanah

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa tanah di bawah pondasi mampu menahan beban dinding.

Faktor keamanan daya dukung adalah perbandingan antara:

Daya dukung ultimit tanah dengan tekanan yang terjadi di bawah pondasi Nilai faktor keamanan daya dukung tanah umumnya disyaratkan $\geq 3,0$.

3.2.4 Faktor Keamanan Stabilitas Global

Stabilitas global berkaitan dengan kemungkinan terjadinya longsor yang melibatkan : Dinding penahan tanah, pondasi, dan massa tanah di sekitarnya.

Analisis stabilitas global dilakukan dengan metode analisis lereng untuk mengetahui faktor keamanan terhadap kelongsoran menyeluruh. Nilai faktor keamanan stabilitas global umumnya disyaratkan $\geq 1,3$ hingga 1,5, tergantung standar yang digunakan.

3.3 Perkuatan Dinding Penahan Tanah

Perkuatan dinding penahan tanah adalah usaha untuk membuat dinding penahan menjadi lebih kuat dan lebih stabil, sehingga tidak mudah roboh atau bergeser akibat tekanan tanah di belakangnya. Perkuatan ini penting terutama pada lokasi dengan tanah yang lemah, lereng yang curam, atau tinggi dinding yang besar.

Gaya-gaya horisontal dan vertikal pada dinding akan menimbulkan tekanan pada tanah. Apabila tegangan yang timbul melebihi tegangan ijin tanah, maka akan terjadi penurunan tanah. Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah didefinisikan sebagai berikut:

$$FS = \frac{q_{ult}}{q_{maks}} < FS_{ijin} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

FS = faktor akibat keruntuhan kapasitas dukung tanah

q_{ult} = kapasitas daya dukung ultimit (kg/m^2)

q_{maks} = kapasitas daya dukung maksimum (kg/m^2)

FS_{ijin} = faktor aman akibat keruntuhan kapasitas dukung tanah (diambil 2,5)

Selain itu, perlu dilakukan pengecekan terhadap eksentrisitas momen yang terjadi terhadap lebar kaki dinding penahan tanah. Hal tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$X = \frac{\Sigma Md - \Sigma Ma}{\Sigma V} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana:

- X = jarak garis netral dari tepi dinding (m)
- ΣMd = jumlah momen terhadap berat sendiri dinding (kg.m)
- ΣMa = jumlah momen terhadap tekanan tanah aktif (kg.m)
- ΣV = jumlah gaya vertikal (kg)

Setelah didapatkan nilai X untuk garis netral dari tepi dinding, maka dapat diperhitungkan tingkat eksentrisitas gaya dengan persamaan:

$$e = \frac{B}{2} - X \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:

- e = eksentrisitas gaya terhadap garis netral (m)
- B = lebar bawah pondasi (m)
- X = jarak garis netral dari tepi dinding (m)

Kemudian dapat disimpulkan bentuk tekanan kontak berdasarkan hasil dari nilai eksentrisitas gaya dengan:

- Bila $e < B/6$, maka bentuk diagram tekanan kontak berupa trapesium.
- Bila $e = B/6$, maka bentuk diagram tekanan kontak berupa segitiga.
- Bila $e > B/6$, maka bentuk diagram tekanan kontak berupa dua segitiga.

Jika menggunakan lebar efektif pondasi (Mayerhof)

$$q = \frac{\Sigma V}{B'} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana:

- q = Kapasitas daya dukung (kg/m^2)
- ΣV = Total gaya vertikal (kg)
- B' = Lebar efektif pondasi (m^2) dengan rumus $B' = B - 2e$

Jika distribusi tekanan kontak antar tanah dasar pondasi dianggap linier

$$q = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \dots \text{bila nilai } e < B/6$$

$$q = \frac{2 \times \Sigma V}{3(B - 2e)} \dots \text{bila nilai } e > B/6 \dots \dots \dots (17)$$

Dimana:

q = Kapasitas daya dukung (kg/m²)

ΣV = Total gaya vertikal (kg)

B = Lebar pondasi tiap satuan meter panjang (m²)

e = Jarak eksentrisitas gaya terhadap garis netral 38

Dalam perencanaan, lebar pondasi dinding penahan (B) sebaiknya dibuat sedemikian hingga $e < (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi pondasi maksimum dan perbedaan tekanan pondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar (untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan).