

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Terowongan

Menurut Raharjo (2004) bahwa terowongan transportasi bawah kota merupakan grup tersendiri diantara terowongan lalu –lintas, dapat berupa terowongan kereta api maupun terowongan jalan raya. Dalam tahap konstruksinya, terowongan memerlukan pengawasan yang lebih, karena adanya sedikit kesalahan metode atau *sequence of work* dapat mengakibatkan keruntuhan *tunnel*. Pelaksanaan galian terowongan dapat dikerjakan dengan bantuan alat s- alat berat (*excavator* dengan perlengkapan-perlengkap an *clampsell, backhoe, shovel*, dan juga *crawler loader*), sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dalam waktu relatif cepat dan memperkecil kemungkinan runtuh.

3.2 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal atau miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah kebawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat di kerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan bangunan seperti jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah. (Hardiyatmo, 2014)

Analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsoran lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam dan pengaruh luar. Pengaruh luar yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat

geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori dalam lereng. (Hardiyatmo, 2014)

Kelongsoran lereng dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiup angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat.
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air.
6. Gempa bumi atau getaran berlebihan.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air didalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.3 Analisis Stabilitas Lereng Dengan Metode Fellenius

Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1936) dalam Hardiyatmo (2014) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dinyatakan pada Persamaan 3.3.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.3)$$

Faktor aman di definisikan pada Persamaan 3.4.

$$SF = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}}$$

$$SF = \frac{\sum Mr}{\sum Md} \quad (3.4)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah R dan Θ , dapat dilihat pada Persamaan 3.5.

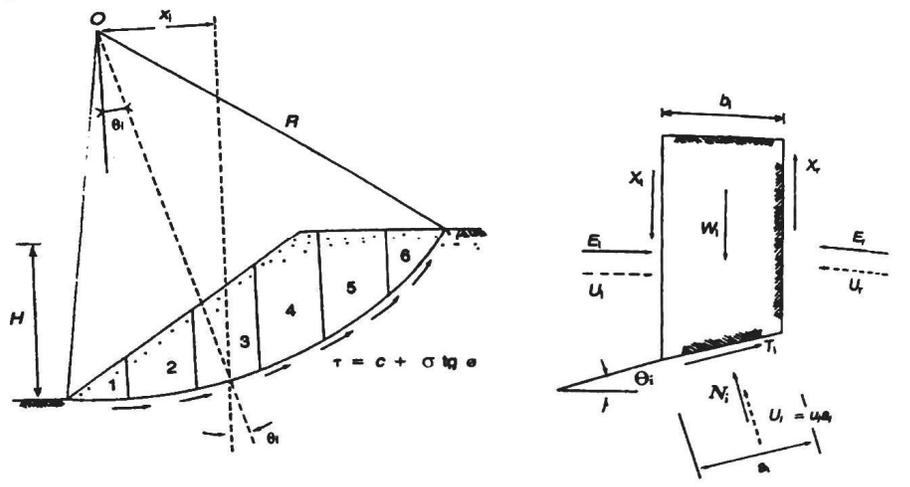
$$\sum Md = R \sum W_i \sin \theta_i \quad (3.5)$$

dengan,

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

W_i = berat massa tanah urutan ke- i

θ_i = sudut yang didefinisikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan
(Hardiyatmo, 2014)

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah akan longsor, dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

$$\sum Mr = R \sum (ca + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.6)$$

Sehingga persamaan untuk faktor aman dapat dilihat pada Persamaan 3.7.

$$SF = \frac{\sum (ca + \text{tg } \varphi)}{\sum W_i \text{Sin } \theta_i} \quad (3.7)$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan 3.6 ke Persamaan 3.7, diperoleh Persamaan 3.8.

$$SF = \frac{\sum ca + (W_i \text{Cos } \theta_i - u_{ia}) \text{tg } \theta}{\sum W_i \text{Sin } \theta_i} \quad (3.8)$$

dengan,

SF = faktor aman

c = kohesi tanah (kN/m^2)

φ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)

a_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2)

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 3.1 ($^\circ$)

Jika terdapat gaya-gaya selain berat tanahnya sendiri, seperti beban bangunan diatas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

Metode Fellenius menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Besarnya nilai kesalahan dapat tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan analisis masih merupakan

fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkaran. Cara ini telah banyak digunakan dalam praktek, karena cara hitungan sederhana dan kesalahan hitungan yang dihasilkan masih pada sisi yang aman.

Menurut Bowles (1984) dalam Hardiyatmo (2014) membedakan tingkat longsor berdasarkan faktor aman dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai Faktor Aman Terhadap Bidang Longsor

Faktor Aman	Kejadian
$SF \leq 1,07$	Longsor sering terjadi (lereng labil)
$1,07 \leq SF \leq 1,25$	Longsor dapat terjadi (lereng kritis)
$SF \geq 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

(Sumber: Bowles, 1984)

3.4 *New Austrian Tunneling Method*

New Austrian Tunneling Method (NATM) menonjolkan sistem klasifikasi batuan secara kualitatif yang harus diperhitungkan di dalam konteks secara keseluruhan dari NATM. NATM adalah pendekatan atau filosofi yang memadukan prinsip perilaku massa batuan yang mengalami beban dan pemantauan (*monitoring*) unjuk laku penggalian di bawah tanah pada saat konstruksi. Kata-kata metode di dalam NATM sering pengertiannya menimbulkan salah pengertian. Kenyataannya NATM tidak memberikan teknik penggalian dan penyanggaan yang spesifik. Banyak orang percaya jika menggunakan *shotcrete* dan *rockbolt* sebagai penyangga, mereka sudah menerapkan NATM. Ini jauh dari kebenaran. NATM mengikut sertakan kombinasi dari berbagai cara yang ada untuk penggalian dan penerowongan, tetapi perbedaannya adalah pemantauan yang terus menerus dari gerakan batuan dan revisi penyangga untuk memperoleh lining yang paling stabil dan ekonomis. Bagaimanapun juga, berbagai aspek lainnya berhubungan juga di dalam membuat NATM lebih bersifat konsep atau filosofi dibandingkan dengan hanya suatu metode. NATM dikembangkan di Austria diantara tahun 1957 sampai tahun 1965 dan diberi nama NATM di Salzburg tahun 1962 untuk membedakan

dari pendekatan penerowongan Austria yang lama dan tradisional. Kontributor utama dari pengembangan NATM adalah Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Muller dan Franz Pacher.

Yang utamanya, NATM adalah suatu pendekatan scientific empiris, yang melibatkan pengalaman praktek yang disebut empirical dimensioning (Rabcewicz, 1964). Ini merupakan dasar teoritis yang melibatkan hubungan antara tegangan dan deformasi di sekeliling terowongan (lebih dikenal dengan konsep kurva ground-reaction). Pada awalnya ini merupakan dasar teoritis yang diberikan oleh dua orang Austria, yaitu Fenner dan Kastner.

Metode ini menggunakan instrumentasi in-situ dan pemantauan yang canggih dan menginterpretasikan pengukuran ini secara scientific. Muller (1978) menganggap NATM sebagai suatu konsep yang mengamati prinsip-prinsip tertentu. Walaupun ia menulis tidak kurang dari 22 prinsip, tetapi ada 7 ciri yang paling penting yang menjadi dasar NATM.

1. Mobilisasi dari kekuatan massa batuan. Kekuatan massa batuan di sekitar terowongan dijaga sebagai komponen utama penyangga terowongan. Penyangga primer secara langsung memungkinkan batuan itu menyangga dirinya sendiri. Ini diikuti dengan penyangga yang harus mempunyai karakteristik load-deformation yang cocok dan dipasang tepat pada waktunya.
2. Perlindungan oleh *shotcrete*. Dalam rangka menjaga kemampuan massa batuan untuk menahan beban, lepasnya batuan dan deformasi batuan yang berlebihan harus dikurangi sekecil mungkin. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan lapisan *shotcrete* yang tipis, kadang-kadang bersama-sama dengan sistem yang cocok dari *rock bolting*, segera setelah penggalian. Sangat penting bahwa sistem penyangga yang digunakan kontak langsung secara keseluruhan dengan massa batuan dan mengalami deformasi bersama-sama dengan batuan.
3. Pengukuran. NATM membutuhkan pemasangan instrumentasi yang canggih pada saat *shotcrete* lining awal dipasang, untuk memantau deformasi galian dan timbulnya beban di penyangga. Akan didapat informasi mengenai

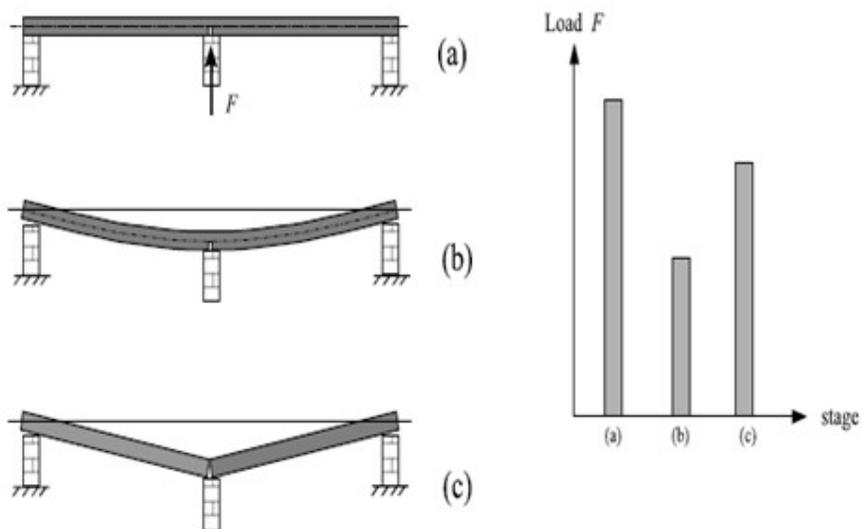
kestabilan terowongan dan memungkinkan untuk mengoptimasikan formasi load-bearing ring dari lapisan batuan. Waktu penempatan penyangga adalah sangat penting.

4. Penyangga yang fleksibel. NATM membutuhkan penyangga terowongan yang fleksibel, bukan yang kaku. Dianjurkan penyangga yang aktif dan penguatannya bukan oleh dinding beton yang tebal tetapi oleh kombinasi yang fleksibel dari *rockbolt*, *wiremesh* dan *steel rib*. Penyangga primer akan merupakan sebagian atau seluruh penyangga yang dibutuhkan dan ukuran dari penyangga sekunder tergantung dari hasil pengukuran.
5. Penutupan invert. Karena terowongan dianggap sebagai pipa berdinding tebal, penutupan invert untuk membentuk suatu load-bearing ring dari massa batuan adalah penting. Akan lebih sulit jika penerowongan dilakukan di soft ground, invert harus segera ditutup, tidak boleh ada bagian yang tidak segera disangga meskipun untuk sementara. Untuk terowongan di batuan, penyangga tidak boleh dipasang terlalu awal/cepat karena kemampuan dukung massa batuan belum termobilisir secara penuh. Massa batuan harus diijinkan untuk melakukan deformasi secukupnya sebelum penyangga bekerja penuh.
6. Pengaturan kontrak. Prinsi-prinsip utama NATM akan sukses jika dibuat pengaturan kontrak yang khusus. Karena NATM didasarkan pada hasil pemantauan, perubahan penyangga dan metode kontruksi harus memungkinkan. Hal ini hanya mungkin jika sistem kontrak mengijinkan perubahan-perubahan selama konstruksi.
7. Klasifikasi massa batuan sebagai penentu ukuran penyangga. Penentuan penyangga didasarkan pada klasifikasi massa batuan sesudah tiap siklus pemboran dan peledakan. Di beberapa negara cara ini tidak dapat diterima secara kontraktual, oleh karena itu di Amerika Serikat metode ini diterima secara terbatas. NATM mengharuskan semua yang terlibat di dalam rancangan dan kontruksi proyek terowongan untuk menerima dan mengerti pendekatan ini dan bekerja sama di dalam pengambilan keputusan dan pemecahan masalah. Pemilik proyek, enjinir perancang, dan kontraktor harus

bekerja sama sebagai satu tim. Di dalam praktek, klasifikasi NATM menghubungkan kondisi massa batuan, prosedur penggalian dan kebutuhan penyangga terowongan. Klasifikasi yang merupakan bagian dari kontrak, dapat digunakan untuk proyek yang baru berdasarkan pengalaman sebelumnya dan investigasi geoteknik rinci.

3.5 Sistem Perkuatan Terowongan

Lapisan terowongan tidak terkena oleh tegangan langsung dimana awal hubungannya adalah dengan tanah. Untungnya, tegangan awal (atau primer) berkurang oleh deformasi tanah yang terjadi saat penggalian tetapi juga setelah pemasangan *lining* (*lining* yang dimaksud adalah *shotcrete*). Di sini kita akan mempertimbangkan fenomena penting bahwa dengan adanya deformasi batuan/tanah menyiratkan pengurangan tegangan primer. Ini adalah manifestasi dari *arching*. Karena deformasi tanah dihubungkan dengan deformasi *lining*, maka beban yang bekerja pada *lining* bergantung pada deformasi itu sendiri. Hal ini selalu terjadi pada interaksi struktur tanah dan merupakan kesulitan yang melekat pada desain karena beban bukan merupakan variabel independen, dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penjelasan Prinsip Penyanggaan
(Dimitrios Kolymbas dalam *Tunnelling and Tunnel Mechanics*, 2006)

Pertimbangan deformasi pada *tunneling* adalah manfaat NATM. Batu secara simbolis mewakili *beam*. Penggalian dan pemasangan penyangga disini direpresentasikan dengan menghilangkan kolom tengah yang digantikan oleh kolom lain yang lebih rendah. Dengan kata lain, kolom tengah (yang melambangkan penyangga) dipindahkan ke bawah sehingga, menerima beban yang lebih kecil. Tentu saja, prinsip 'tekanan berkurang oleh deformasi' harus diterapkan dengan hati-hati. Deformasi yang berlebihan dapat menjadi kontraproduktif yang menyebabkan kenaikan tekanan yang kuat pada konstruksi. Untuk menunjukkan hal ini adalah manfaat lain dari NATM: pelunakan (dan pelonggaran terkait) geomaterial merupakan isu penting. Namun, perlu ditekankan, bahwa pelunakan ini tidak mengacu pada pengurangan tegangan secara halus setelah puncak, seperti yang diperoleh dalam tes laboratorium pada sampel tanah yang padat. Sebaliknya, pengurangan kekuatan drastis yang diamati di batuan buruk akibat hilangnya kohesi struktural.

Failure merupakan deformasi yang terlalu besar. Bagaimanapun, deformasi besar harus dihindari. Ada dua cara: penyangga awal dan kaku (yang tidak ekonomis) atau dengan menjaga sedikit penurunan rongga setelah penggalian. Pilihan terakhir dikejar dalam tunneling. Ada dua cara untuk melakukannya, yaitu sebagai berikut :

1. penggalian parsial bukan penggalian wajah penuh
2. langkah maju kecil

Tentu saja, langkah penggalian yang terlalu kecil tidak akan ekonomis. Jadi, seni *tunneling* terdiri dari langkah-langkah penggalian seluas mungkin dan dengan memanfaatkan kekuatan batuan.

3.5.1 Shotcrete

Perbedaan antara *shotcrete* dan beton cor bukanlah kekuatan produk akhir melainkan proses penempatannya. Dalam *tunneling*, *shotcrete* diterapkan untuk menutup permukaan yang terbuka akibat pengeboran dan untuk mendukung rongga. Karakteristik *shotcrete* hampir sama dengan beton biasa. Namun, modulus Young agak lebih rendah dari pada beton konvensional.

Sampai usia 28 hari kekakuan dan kekuatan shotcrete berkembang seperti pada beton cor. Setelah itu, dengan kelembaban yang cukup, kekuatannya meningkat karena pasca hidrasi. Sampai usia dua tahun itu meningkat sekitar 50%. Kekuatan beton penyemprotan cepat meningkat seiring waktu dapat dilihat pada Tabel 3.2.

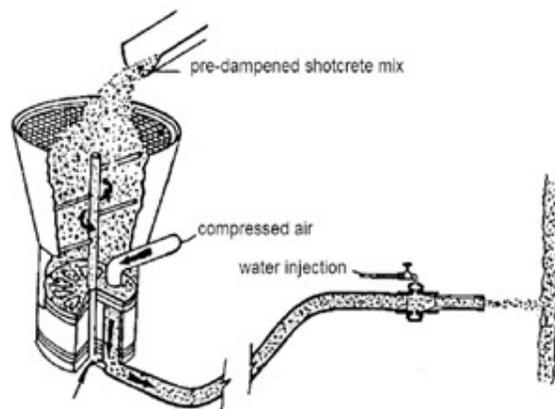
Tabel 3.2 Peningkatan Kekuatan *Shotcrete* terhadap Waktu

Umur	Kekuatan (MPa)
6 menit	0,2-0,5
1 jam	0,5-1
24 jam	8-20
7 hari	30-35

(Dimitrios Kolymbas dalam Tunnelling and Tunnel Mechanics, 2006)

Ada dua metode pada penyemprotan shotcrete sebagai berikut.

1. Campuran kering: semen kering dan agregat diangkut secara pneumatik, dan air ditambahkan pada nosel (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Sketsa sistem *shotcrete dry mix*

(Dimitrios Kolymbas dalam Tunnelling and Tunnel Mechanics, 2006)

2. Campuran basah: beton campuran siap dipompa ke nosel digerakkan oleh udara bertekanan. Karena bertambahnya berat nosel, campuran basah lebih baik disemprot dengan robot.

Keuntungan dari campuran kering adalah sebagai berikut :

1. mesin lebih kecil dan lebih murah

2. menurunkan biaya pembersihan dan perawatan
3. berhenti dan memulai kembali *shotcreting* lebih sederhana
4. jarak semprot yang jauh
5. beton lebih baik
6. komposisi air dapat dikurangi saat diaplikasikan pada tanah basah.

Keuntungan dari campuran basah adalah sebagai berikut :

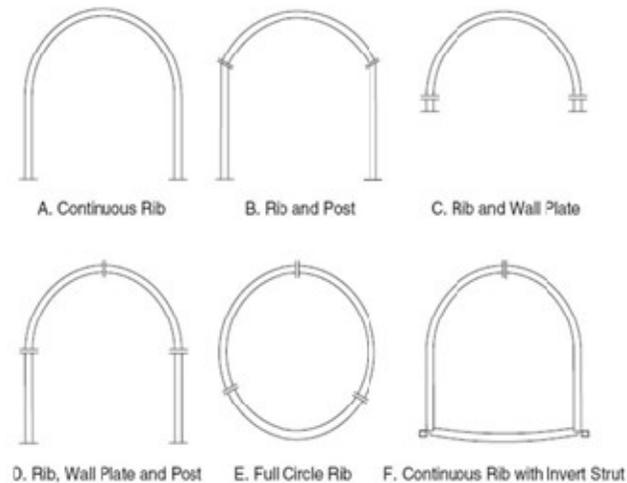
1. mengurangi produksi debu
2. mengurangi pantulan material
3. mengurangi penyebaran beton
4. kapasitas yang lebih tinggi.

3.5.2 Mesh Kawat (*Wiremesh*)

Mesh kawat yang sering digunakan adalah *chailink mesh* dan *weld mesh*. *Chailink mesh* digunakan pada permukaan karena kuat dan fleksibel, sedangkan *weld mesh* terdiri atas kabel baja yang diatur dengan pola segiempat atau bujur sangkar dan disambung dengan cara dipatri pada titik- titik perpotongnya, serta memperkuat beton tembak dan lebih kaku. Dalam hal ini, mesh kawat yang digunakan di terowongan notog adalah jenis *weld mesh*. Hal itu disebabkan untuk memenuhi fungsinya untuk memperkuat beton tembak agar lebih kaku, selain itu untuk mengikat material batuan yang kecil dan menahannya agar tidak jatuh.

3.5.3 *Steel Rib*

Steel rib merupakan salah satu jenis penyangga konstruksi terowongan yang terbuat dari baja. Tipe *steel rib* dapat dilihat dalam Gambar 3.4 (Singh dan Rajnish, 2006).



Gambar 3.4 Tipe Steel Rib
(Sumber: Singh dan Rajnish, 2006)

3.5.4 Rockbolt

Menurut Singh, 2006, *rockbolt* adalah bahan batang yang terbuat dari baja, berpenampang bulat yang digunakan untuk menyangga massa batuan. Kekuatan *rockbolt*, biasanya diukur dengan melaksanakan uji tarik (*pull test*) di lapangan. Berdasarkan *Handbook of Road Power*, 2006, kekuatan perkuatan ini ditentukan oleh beberapa parameter diantaranya diameter, panjang, dan jarak antar *rockbolt*.

3.5.5 Grouting

Grouting adalah penerapan cairan pengerasan atau mortar ke tanah untuk memperbaiki kekakuan, kekuatan dan / atau impermeabilitas. Ada berbagai pola penerapan *grouting* ke dalam tanah sebagai berikut.

1. *Low pressure grouting (permeation grouting):* *Grout* merambat ke dalam pori-pori tanah namun membiarkan tanpa merubah kerangka butiran. Daerah yang dihasilkan berbetuk *spherical*, jika tanahnya homogen dan isotropic, dan jika sumbernya dapat dianggap sebagai titik.
2. *Compensation grouting:* Bila tekanan *grouting* yang diterapkan terlalu tinggi, *grout* tidak menyebar ke pori-pori tanah. Sebagai gantinya, tanahnya retak dan *grout* menyebar ke celah tersebut (atau dalam kasus tanah lunak, tanah tersebut terdorong ke depan). Jenis pemasangan ini diterapkan untuk

membalikkan (mengimbangi) penurunan permukaan (misalnya pada *tunneling*). Penerapan *Compensation grouting* untuk membalikkan penurunan permukaan yang diakibatkan *tunneling* harus sangat hati-hati. Karena tekanan yang diterapkan dapat memberikan beban pada lapisan terowongan. Pemberian tekanan berlebih dapat menyebabkan pergerakan lapisan yang berlebihan.

3. *Jet grouting*: *Jet grout* disemprotkan dari nosel ke tanah sekitarnya dengan tekanan awal antara 300 dan 600 bar. Hal tersebut mencetak kembali tanah dengan tercampur *grout* yang diterapkan, dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pembebanan pada lapisan terowongan pada *compensation grouting*

(Dimitrios Kolymbas dalam *Tunnelling and Tunnel Mechanics*, 2006)

3.6 Metode Elemen Hingga Menggunakan Program *Plaxis*

Pada saat ini perkembangan teknologi memunculkan berbagai struktur yang rumit sehingga pada analisa yang sedemikian kompleks, metode eksak akan sulit digunakan. Sebagai solusi, maka orang sudah mulai mengembangkan berbagai metode yang lebih baik dan lebih mudah.

Metode numerik yang merupakan suatu metode pendekatan terhadap solusi eksak seteliti mungkin. Metode numerik adalah suatu rekayasa matematika yang mentransformasikan ekspresimekanika kontinyu (bentuk kalkulus dan persamaan diferensial) menjadi mekanika diskrit (bentuk matrik). Salah satu metode numerik yang telah dikembangkan dalam analisa numerik adalah Metode Elemen Hingga (Dyatama, 2008).

Plaxis adalah program elemen hingga yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Perkembangan *plaxis* dimulai pada tahun 1987 di *Delft University of Technology* sebagai inisiatif Kementerian Pekerjaan Umum dan Pengelolaan Air (Rijkswaterstaat) Belanda. Tujuan semula adalah untuk mengembangkan kode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk analisis tanggul sungai di tanah lunak dari dataran rendah Belanda. Dalam beberapa tahun berikutnya, *plaxis* diperluas untuk mencakup sebagian besar wilayah lain untuk rekayasa geoteknik. Karena terus berkembang, perusahaan *plaxis (Plaxis bv)* dibentuk pada tahun 1993.

Dengan *plaxis* 2D geometri model dapat dengan mudah didefinisikan dalam mode tanah dan struktur, setelah model padat independen secara otomatis dapat dipotong dan menyatu. Modus konstruksi dipentaskan memungkinkan untuk simulasi proses konstruksi dan penggalian dengan mengaktifkan dan menonaktifkan *cluster* tanah dan objek struktural. Perhitungan kernel memungkinkan simulasi realistis dari linear, waktu perilaku non tergantung dan anisotropik tanah dan / atau *rock*. Karena tanah merupakan bahan multi-fase, prosedur khusus memungkinkan untuk perhitungan yang berhubungan dengan tekanan hidrostatik pori dan non hidrostatik dalam tanah. *Output* terdiri dari rangkaian lengkap dari alat visualisasi untuk memeriksa rincian model tanah-struktur 2D bawah tanah.

Dari beberapa model tanah dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang digunakan adalah *Model Mohr Coulomb*. *Model Mohr Coulomb* adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter yaitu, E dan ν untuk memodelkan elastis tanah, Φ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan Ψ sebagai sudut dilatasi. *Model Mohr Coulomb* ini disarankan untuk digunakan dalam analisis pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir jenis ini perilaku yang digunakan adalah perilaku terdrainase dan perilaku tidak terdrainase. Dengan perilaku terdrainase ini maka tekanan air pori berlebih tidak akan dibentuk sama sekali, perilaku ini jelas untuk diterapkan pada kasus-kasus tanah kering. Pilihan ini juga dapat digunakan untuk pemodelan perilaku jangka panjang. Dengan perilaku tak terdrainase maka

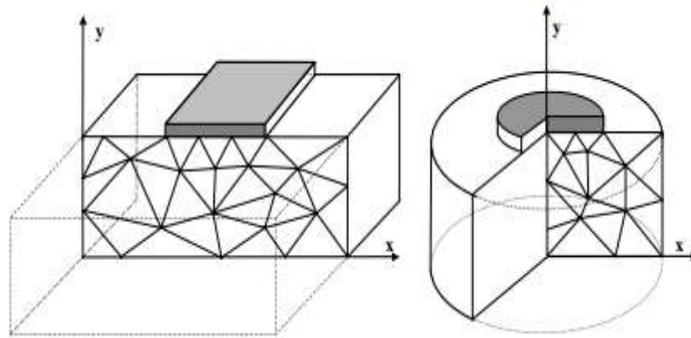
baik tekanan air pori awal tidak diperhitungkan sama sekali. Aplikasi dari pemodelan ini adalah material beton atau perilaku obyek struktural. Dengan metode elemen hingga telah banyak di gunakan dalam permasalahan geoteknik disebabkan karena kemampuannya dapat membantu menyelesaikan beberapa hal berikut :

1. keheterogenitasan struktur tanah
2. kenon–linieran dan tingkah laku tanah
3. interaksi tanah–struktur
4. metode konstruksi.

Analisa keseimbangan dalam sistem diskrit secara umum dapat ditulis dalam bentuk matriks : $\{F\} = [K] \{U\}$

Pada matrik dimana K adalah matriks kekakuan, U adalah variabel yang tidak diketahui yaitu peralihan nodal, dan F adalah variabel yang diketahui yaitu vektor pembebanan nodal K sebagai matriks yang mengkarakterisasikan sistem pada pemodelan masalah geoteknik dapat berupa parameter Modulus Young (E), kohesi (c), sudut geser (ϕ), angka poisson (ν), sedangkan parameter-parameter lainnya disesuaikan dengan model yang dilakukan.

Pada parameter model yang dapat kita gunakan adalah *plane strain* dan *axisimetri*. Pada *plane strain* ini digunakan untuk geometri dengan potongan melintang dengan tanah yang seragam pada kondisi dimana skema pembebanan yang telah disamakan untuk posisi arah tegak lurus terhadap potongan yang melintang (sumbu z). Dimana *displacement* dan tegangan arah (z) yang diasumsikan dengan bernilai 0. Pada model axisimetri ini digunakan untuk sirkular dengan potongan seragam, radial dimana deformasi dan tegangan diasumsikan sama di semua radial. Pemodelan axisimetri sumbu (x) merepresntasikan radius dan sumbu (y) disamakan dengan sumbu simetri pada aksial pemodelan. Contoh pemodelan *Plane-Strain* dan *Axsimetri* terlihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Contoh Pemodelan *Plane-Stain* dan *Axsimetri*
(Sumber: Brinkgreve, 2007)

Pada pemodelan tanah dimodelkan sebagai elemen triangular 2 dimensi dengan memiliki hanya dua derajat kebebasan pernodal. Jadi pada setiap elemen tanah didefinisikan oleh 15 buah nodal geometri. Dimana dipilihlah 15 nodal untuk setiap elemen agar dapat memperoleh perhitungan yang lebih akurat dan akan lebih rumit dalam menyelesaikannya (Brinkgreve, 2007).

3.7 Beban Gempa Statis

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statis, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya statis yang ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Methode*). Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horizontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara suatu konstanta berat atau massa dari elemen struktur tersebut. (SNI 03-1726-2003)