

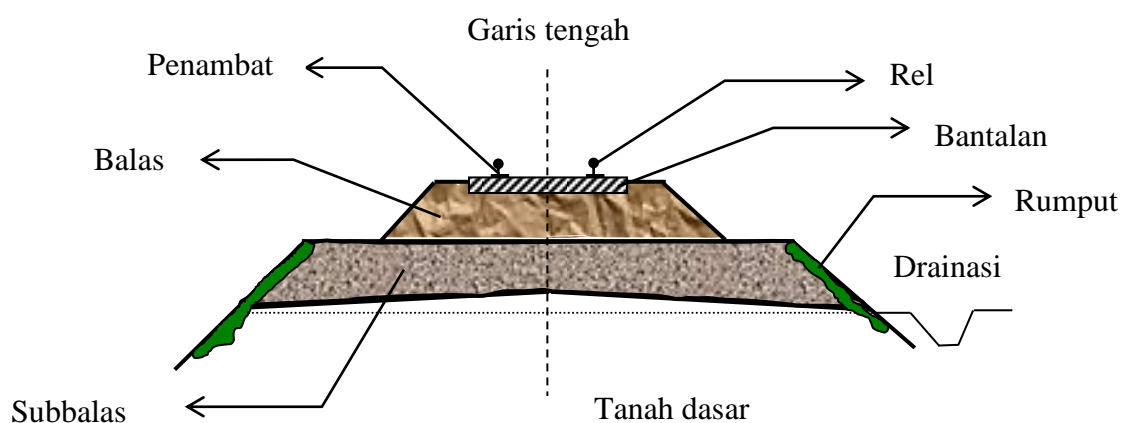
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Struktur Jalan Rel Kereta Api

Struktur jalan rel merupakan suatu konstruksi yang direncanakan sebagai prasarana infrastruktur dan perjalanan kereta api. Konsep struktur jalan rel merupakan rangkaian superstruktur dan sub-struktur menjadi suatu kesatuan yang saling berhubungan untuk menerima dan mendukung pergerakan kereta api secara aman (Rosyidi, 2015).

Adapun komponen struktur jalan rel dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Struktur bagian atas (*superstructure*) yang terdiri dari komponen rel (*rail*) termasuk plat penyambung didalamnya, penambat (*fastening*) dan bantalan (*sleeper, tei, crosstie*). Pada komponen ini beban yang diterima langsung dari lokomotif dan diteruskan penyebaran beban ke struktur jalan rel.
2. Struktur bagian bawah (*substructure*) yang terdiri dari komponen balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*). Untuk lebih jelasnya bisa lihat Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gambar konstruksi jalan rel

Secara umum komponen-komponen penyusun jalan rel dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Rel (*Rail*)

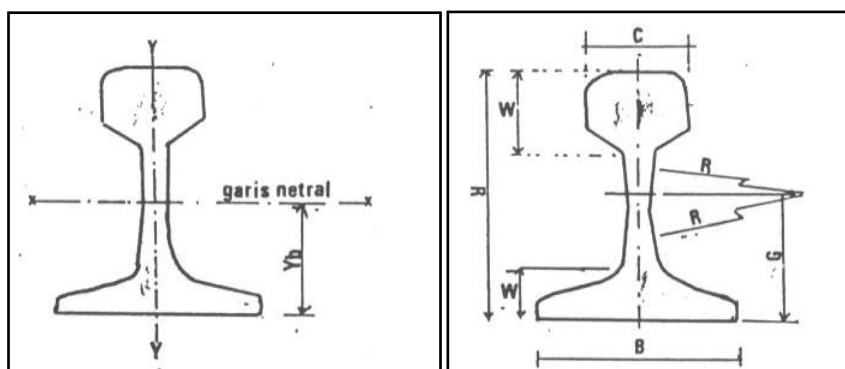
Rel merupakan batang baja longitudinal yang berhubungan secara langsung dan memadu serta memberikan tumpuan terhadap pergerakan roda kereta api secara berterusan. Oleh karena itu, rel juga harus memiliki nilai kekakuan tertentu untuk menerima dan mendistribusikan beban dari kereta api dengan baik. Tipe rel untuk masing-masing kelas jalan tercantum pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Kelas jalan dan tipe rel

Kelas jalan	Tipe Rel
I	R.60 / R.54
II	R.54 / R.50
III	R.54 / R.50 / R.42
IV	R.54 / R.50 / R.42
V	R.42

(Sumber: PM No.60 Tahun 2012)

Masing-masing profil rel memiliki karakteristik penampang yang berbeda, seperti pada Gambar 2.2 dan dijelaskan dalam Tabel 2.2 sesuai dengan PM No. 60 Tahun 2012.



Gambar 2.2 Gambar penampang rel

Tabel 2.2 Karakteristik penampang rel

Besaran Geometrik Rel	Tipe Rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
H (mm)	138	153	159	172
B (mm)	110	127	140	150
C (mm)	68.5	65	70	74.3
D (mm)	13.5	15	16	16.5
E (mm)	40.5	49	49.4	51
F (mm)	23.5	30	30.2	31.5
G (mm)	72	76	74.79	80.95
R (mm)	320	500	508	120
A (cm ²)	54.26	64.2	69.34	76.86
W (kg/m)	42.59	50.4	54.43	60.43
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68.5	71.6	76.2	80.95

(Sumber : PM No. 60 Tahun 2012)

2. Bantalan (*Sleeper/Tie/Crosstie*)

Bantalan memiliki beberapa fungsi yang penting, diantaranya menerima beban dari rel dan mendistribusikannya kepada lapisan balas dengan tingkat tekanan (tegangan) menjadi lebih kecil, mempertahankan sistem penambat untuk mengikat rel pada kedudukan dan menahan pergerakan rel arah longitudinal, lateral dan vertikal. Bantalan terbagi menurut bahan konstruksinya, seperti bantalan besi, kayu maupun beton. Perancangan bantalan yang baik sangat diperlukan supaya fungsi bantalan dapat optimal.

PM No. 60 tahun 2012 menyebutkan syarat untuk bantalan beton dengan lebar jalan rel 1067 mm sebagai berikut :

- a. Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan

beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kg.m pada bagian dudukan rel dan -930 kg.m pada bagian tengah bantalan.

b. Dimensi bantalan beton

- 1). Panjang : 2.000 mm
- 2). Lebar maksimum : 260 mm
- 3). Tinggi maksimum : 220 mm

3. Balas (*Ballast*)

Konstruksi lapisan balas terletak diatas lapisan subbalas. Lapisan balas mengalami tegangan yang besar akibat lalulintas kereta api, sehingga bahan pembentuknya harus baik dan terpilih. Material balas yang baik berasal dari batuan yang bersudut, pecah, keras, bergradasi yang sama, bebas dari debu dan kotoran serta bentuknya tidak pipih. Lapisan balas berfungsi untuk meneruskan dan menyebarkan beban yang diterima bantalan ke lapisan pondasi bawahnya, menahan bergesernya bantalan dan rel dan meloloskan air sehingga tidak terjadi genangan disekitar bantalan dan rel.

4. Lapisan pondasi bawah atau lapisan subbalas (*subballast*)

Lapisan ini diantara lapisan balas dan lapisan tanah dasar. Lapisan ini berfungsi sebagaimana lapisan balas, diantaranya mengurangi tekanan di bawahbalas sehingga dapat mendistribusikan kepada lapisan tanah dasar sesuai dengan tingkatannya. Material yang biasa digunakan untuk konstruksi subbalas merupakan material yang biasa juga digunakan untuk konstruksi base dan sub-base jalan raya (Rosyidi, 2015).

5. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan tanah dasar merupakan lapisan dasar pada struktur jalan rel yang harus dibangun terlebih dahulu. Lapisan *subgrade* merupakan lapisan yang memiliki fungsi sebagai penerima beban akhir dari kendaraan kereta api, sehingga lapisan ini perlu dirancang dan dipersiapkan untuk mampu menerima beban secara optimum tanpa terjadi adanya deformasi tetap. Menurut ketemuan yang digunakan oleh PT. Kereta Api, kuat dukung tanah dasar (nilai CBR) minimum ialah sebesar 8%. Tanah dasar yang harus

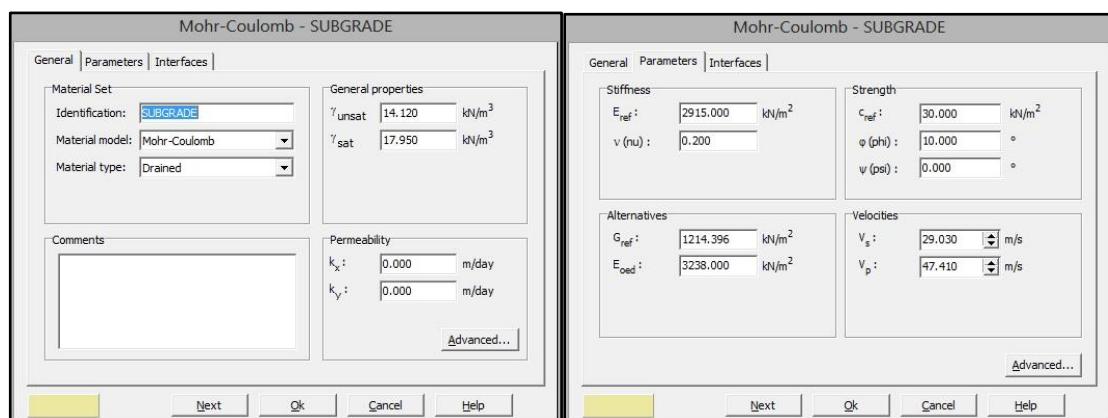
memenuhi syarat minimu CBR 8% tersebut ialah tanah dasar setebal minimum 30cm.

B. Parameter Material

Dalam PLAXIS 2D, input material yang digunakan tergantung dari tipe model yang digunakan sebagai pemodelan. Dalam penelitian ini digunakan model material *Mohr-Coulomb* untuk memodelkan material tanah dasar, lapisan subbalas, dan lapisan balas dari struktur jalan rel. Sementara, untuk bantalan menggunakan *Plates*.

1. Modulus Young (E)

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. *Modulus young* digunakan dalam PLAXIS sebagai modulus kekakuan dasar dalam model elastik dan model *Mohr-Coulomb*. Nilai *modulus young* bisa didapatkan dari kurva tegangan regangan pengujian triaksial. Nilai parameter kekakuan yang digunakan dalam perhitungan memerlukan perhatian khusus karna banyak geometri yang menunjukkan perilaku non-linear dari awal pembebanan. Dalam mekanika tanah, kemiringan awal kurva tegangan regangan diindikasikan sebagai E_0 dan modulus kekakuan pada kekuatan 50% disebut sebagai E_{50} (Gambar 2.3). Secara umum untuk pembebanan tanah menggunakan E_{50} . Nilai perkiraan modulus elastisitas menurut Bowles dapat dilihat pada tabel 2.3.

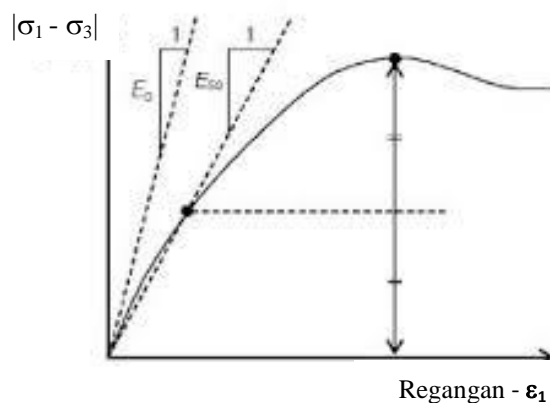


Gambar 2.3 Jendela parameter untuk *Mohr-Coulomb* pada material *Subgrade*

Tabel 2.3 Nilai perkiraan modulus elastisitas (Bowles, 1997)

Macam tanah	Modulus elastisitas, E (kg/cm ²)
Lempung	
-Sangat lunak	3 – 30
-Lunak	20 – 40
-Sedang	45 – 90
-Berpasir	300 – 425
Pasir	
-Berlanau	50 – 200
-Padat	100 – 250
-Tidak padat	500 – 1000
Pasir dan kerikil	
-Padat	800 – 2000
-Tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

(Sumber: Mekanika Tanah II Hary C. Hardiyatmoko, 1994)



Gambar 2.4 Definisi E_0 dan E_{50} untuk standar hasil uji triaksial (Brikgreve dkk., 1998).

2. *Poisson Ratio* (ν)

Nilai poisson ratio didefinisikan sebagai rasio regangan aksial terhadap regangan lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasar jenis tanah yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.4 Hubungan antara jenis tanah dan *poisson ratio* (Bowles, 1997)

Jenis Tanah	Poisson Ratio (ν)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

(Sumber: *Mekanika Tanah II Hary C. Hardiyatmoko, 1994*)

3. Kohesi (c)

PLAXIS dapat memproses pasir tanpa kohesi ($c = 0$), tetapi beberapa opsi tidak dapat berjalan dengan baik. Sehingga untuk menghindari hal tersebut disarankan untuk tetap menggunakan nilai kohesi kecil ($c > 0,2$ kPa).

4. Sudut gesek internal (ϕ)

Sudut gesek internal (ϕ) dimasukkan dalam derajat. Sudut gesek internal yang tinggi, yang kadang ditemukan dalam pasir padat, akan menambah beban kerja perhitungan komputasi. Sehingga sudut gesek internal yang tinggi disarankan dihindari agar waktu perhitungan tidak bertambah.

5. Sudut dilatansi (ψ)

Sudut dilatansi, ψ (psi), ditentukan dalam derajat. Tanah liat cenderung memiliki dilatansi kesil ($\psi = 0$), sementara untuk pasir tergantung pada kepadatan dan sudut geser. Secara umum, sudut dilatansi tanah jauh lebih kecil daripada sudut gesernya. Untuk pasir kurus, sudut dilatansinya adalah $\psi = \phi -$

30°. Untuk nilai ϕ lebih kecil dari 30°, sudut dilantasi sebagian besar bernilai nol. Nilai negatif pada ψ hanya terdapat terjadi pada pasir sangat longgar.

6. Berat volume tanah (γ)

Berat isi tanah (γ) adalah berat suatu volume tanah dalam keadaan utuh, dinyatakan dalam kN/m³. Jenis dan karakteristik dari suatu tanah dapat mempengaruhi nilai dari berat volumenya, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.5. Persamaan perhitungan untuk mencari nilai berat volume tanah dinyatakan sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{w}{v} \quad (2.1)$$

dengan, w = berat total tanah (kN)

$$v = \text{volume tanah (m}^3\text{)}$$

Tabel 2.5 Nilai tipikal berat volume tanah

Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)
Kerikil	20 – 22	15 – 17
Pasir	18 – 20	13 – 16
Lanau	18 – 20	14 – 18
Lempung	16 – 22	14 – 21

(Sumber : Terzaghi, 1996)

Pada bagian bantalan dari struktur jalan rel dimodelkan menggunakan *Plates*. *Plates* merupakan objek struktural yang digunakan untuk memodelkan struktur yang ramping dengan kekakuan lentur dan kekakuan normal. Parameter yang digunakan untuk *Plates* bisa dilihat pada gambar 2.5 antara lain:

1. Parameter kekakuan lentur/*bending stiffness* (EI)

Untuk menghitung nilai parameter kekakuan lentur/*bending stiffness* (EI) pada model *plane strain* dengan persamaan sebagai berikut :

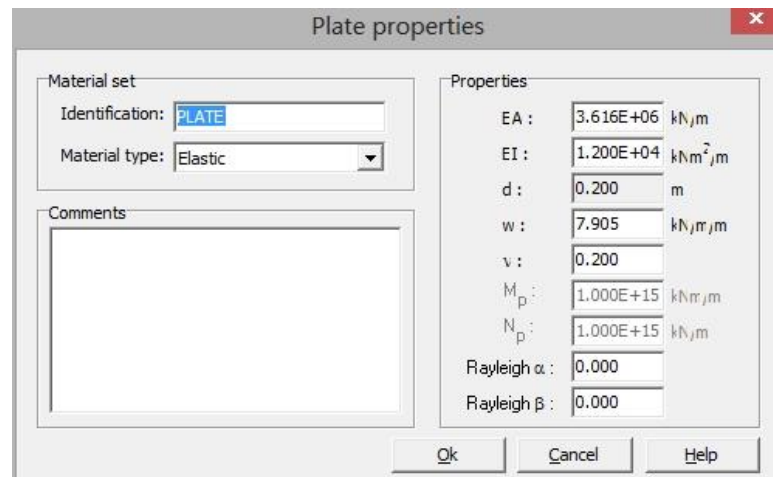
$$EI = E \times I \quad (2.2)$$

dimana,

EI = Kekakuan lentur untuk bantalan *plane strain* (kN/m²/m)

E = Modulus elastisitas (kN/m²)

I = Momen inersial (m)



Gambar 2.5 Jendela parameter *Plate*

2. Parameter kekakuan normal/*normal stiffness* (EA)

Untuk menghitung nilai parameter kekakuan normal/*normal stiffness* (EA) pada model *plane strain* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$EA = E_s \times A \quad (2.3)$$

dimana,

EA = Kekakuan normal untuk bantalan *plane strain* (kN/m²/m)

E_s = Modulus elastik (kN/m²)

A = Luasan penampang bantalan (m²)

Sementara persamaan yang digunakan untuk menghitung berat dari bantalan *plane strain* yaitu :

$$W_{\text{psp}} = W_p \times \frac{n_{\text{p-row-i}}}{L_r} \quad (2.4)$$

dimana, W_{psp} = Berat untuk bantalan *plane strain* (kN/m²/m)

W_p = Berat untuk satu bantalan (kN/m²/m)

C. Beban Kereta Api

Beban kereta api merupakan beban lalu lintas yang akan diterima rel selama masa layanan. Beban kereta api bervariasi tergantung beban muatan kereta apinya. Ukuran, jumlah dan jarak gerbong kereta api berpengaruh terhadap pendistribusian beban kereta api ke dalam rel kereta. Beban kereta api di Indonesia menggunakan kriteria pembebanan dalam PM No.60 Tahun 2012 yaitu sebesar 18 ton untuk beban gandar maksimum.

Beban dinamik merupakan beban getar yang diakibatkan oleh perjalanan kereta api, nilai dinamik bisa diperoleh dengan mengungur langsung getaran dan biasanya melibatkan parameter kecepatan kendaraan atau kereta api. Pada pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* PLAXIS 2D, karena kereta api menghasilkan beban dinamik yang diterima struktur jalan rel. Nilai parameter untuk analisis dinamik (*dynamic load*) pada PLAXIS diambil dari pengujian yang dilakukan oleh J. A. Priest dan W. Powrie (2009) ditunjukkan dalam jurnal *Determination of Dynamic Track Modulus from Measurement of Track Velocity during Train Passage*.

Distribusi pembebanan pada kereta api dimulai dari dasar rel ke bantalan dengan perantara pelat andas ataupun alas karet (Gambar 2.3). selanjutnya, beban vertical dari bantalan akan didistribusikan ke lapisan balas dan subbalas menjadi lebih kecil dan melebar. Pola distribusi beban yang melebar akan menghasilkan tekanan yang lebih kecil yang dapat diterima oleh lapisan tanah dasar. Gaya vertikal yang dihasilkan beban gandar oleh lokomotif, kereta dan gerbong merupakan beban statik, sedangkan pada kenyataannya, beban yang terjadi pada struktur jalan rel merupakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh faktor aerodinamik (hambatan udara dan beban angin), kondisi geometrik dan kecepatan pergerakan rangkaian kereta api. Oleh karena itu, diperlukan transformasi gaya statik ke gaya dinamik untuk merencanakan beban yang lebih realistis. Persamaan TALBOT (1918) merupakan transformasi gaya berupa pengkali faktor dinamis sebagai berikut :

$$P_d = I_d + P_s \quad (2.5)$$

dimana, P_d = beban roda dinamik rencana (kN/kg)
 P_s = beban roda statik dari kereta api (kN/kg)
 I_d = faktor atau indek beban dinamik *dimesnsionless*
 (nilainya > 1)

Persamaan TALBOT : Persamaan Talbot (1918) memberikan transformasi gaya berupa pengkalai faktor dinamis sebagai berikut :

$$I_p = 1 + 0,01 \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) \quad (2.6)$$

dimana,

I_p = faktor/indek beban dinamis (dimensioless/tidak berdimensi)
 V = kecepatan rencana (dalam km/jam)

Persamaan TALBOT di atas, adalah persamaan yang digunakan sebagai standar perencanaan struktur jalan kereta api di Indonesia (Peraturan Dinas No. 10 tahun 1986, dan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 tahun 2012).

Rel didesain menggunakan konsep “*beam on elastic foundation model*” dengan mengasumsikan bahwa setiap rel akan berperilaku sebagai balok menerus (*infinite beam*) yang diletakkan di atas tumpuan elastic linier (Rosyidi, 2015). Ketika beban eksternal (beban dari roda kendaraan) disalurkan di atas balok (rel) yang diletakkan di atas fondasi elastic linier, maka gaya reaksi pada fondasi nilainya adalah proporsional terhadap nilai defleksi yang terjadi pada setiap titik pada balok tersebut. Asumsi ini menjadi dasar perhitungan model *beam on elastic foundation* (BoEF). Pembebanan pada bantalan diperhitungkan menggunakan rumus:

$$Q_1 = 0,786 \times \frac{P_d \times S}{x_1} \quad (2.7)$$

dimana, Q_1 = Distribusi beban ke bantalan (kg)

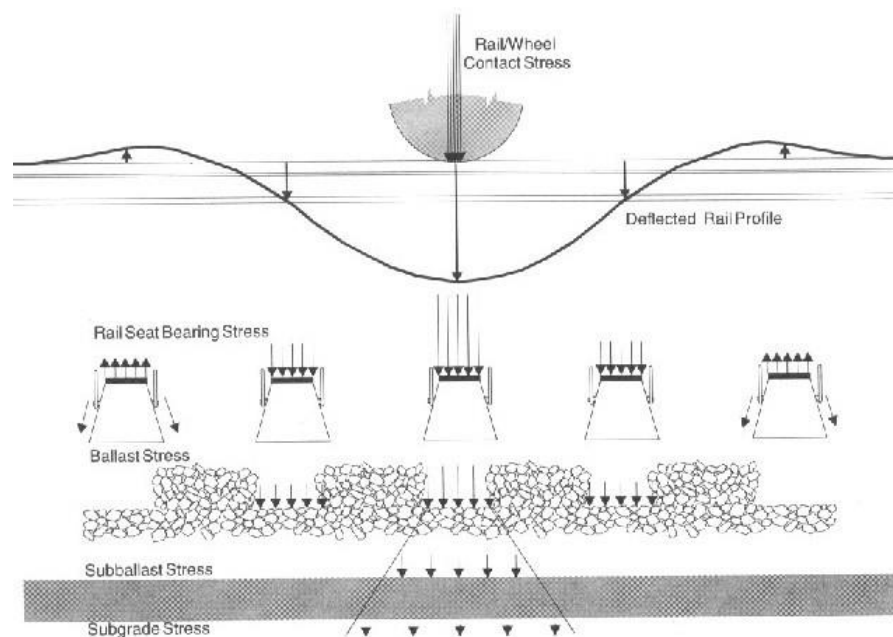
P_d = Beban roda dinamik rencana (kN/kg)

S = Jarak bantalan (cm)

x_1 = Jarak momen 0 ke momen maksimal (cm)

maka, $X_1 = \frac{\pi}{4\lambda}$ dengan $\lambda = \left[\frac{k}{4EI} \right]^{\frac{1}{4}}$ (2.8)

dimana, E = Modulus elastisitas jalan rel (kg/cm^2)
 I = Momen Inersia (cm^4)
 K = Modulus jalan rel (MPa)



Gambar 2.6 Pola distribusi beban kereta api pada struktur jalan rel
 (Sumber: Rosyidi, 2015)

D. Metode Elemen Hingga

Prinsip dasar dari Metode Elemen Hingga adalah diskretisasi yaitu prosedur dimana problem kompleks yang besar dibagi-bagi menjadi satu ekivalen yang lebih kecil atau komponen. Secara garis besar ada beberapa langkah yaitu :

1. Diskretisasi

Yaitu pembagian suatu *continuum* menjadi sistem yang lebih kecil yang disebut sebagai *finite lement*. Pada metode elemen hingga, masing-masing elemen dianalisis secara tersendiri menggunakan persamaan konstitutif sehingga persamaan sifat dan kekakuan masing-masing elemen diformulasi.

2. Pemilihan fungsi aproksimasi

Langkah ini digunakan untuk menentukan perpindahan setiap elemen menggunakan polynomial berderajat n . Semakin tinggi n , semakin tinggi ketelitiannya. Perpindahan satu node ditulis sebagai

$$\{u\} = [N] [q], \quad (2.9)$$

dimana : N = matrik fungsi interpolasi, q = vektor perpindahan simpul

3. Penurunan persamaan elemen

Menggunakan metode variational atau residual (missal metode Galerkin). Persamaan elemen dapat ditulis sebagai

$$[k] [q] = \{Q\}, \quad (2.10)$$

dimana : $[k]$ = matrik properti elemen, $\{Q\}$ = vektor gaya node

4. Assembling properti elemen ke persamaan global

Persamaan-persamaan elemen pada langkah 3 dikombinasikan sehingga menghasilkan *stiffness relation* untuk seluruh elemen. Langkah ini dibuat untuk mendapatkan kompatibilitas *displacement* setiap node.

Stiffness relation ditulis :

$$[K] [r] = \{R\}, \quad (2.11)$$

dimana : K = *global stiffness matriks*, r = *global nodal displacement vector*, dan R = *global nodal force vector*

5. Komputasi *strain* dan *stress*

Persamaan yang telah ada diselesaikan atau dipecahkan untuk mendapatkan besaran-besaran yang tidak diketahui, baik primer (perpindahan) maupun sekunder (regangan, tegangan, momen dan geser), dengan menggunakan rumus tambahan :

$$\{\varepsilon\} = [B] [q] \quad (2.12)$$

$$\{\sigma\} = [C] [B] [q] \quad (2.13)$$

Salah satu hal yang sangat penting dalam permodelan menggunakan elemen hingga adalah menentukan model material. Model material adalah sekumpulan persamaan matematika yang menjelaskan hubungan antara tegangan-regangan. Suatu material harus dimodelkan secara mekanis menggunakan persamaan konstitutif. Penentuan model suatu material dibuat sesuai dengan kondisi material yang ditinjau serta derajat keakuratan yang diinginkan.

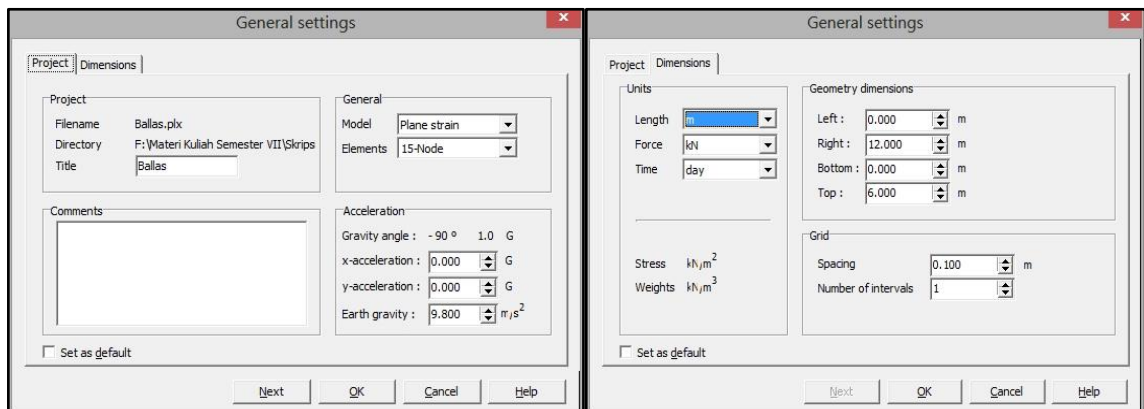
Beberapa model material yang digunakan dalam material tanah dan batuan adalah *Isotropic Elasticity (Hooke's Law)*, *Mohr-Coulomb* atau *Elastic plastic (MC)*, *Hardening-Soil (HS)*, *soft-Soil-Creep (SSC)*, *Cam Clay (CC)*, *Modified Cam Clay (MCC)*, *Nonlinier Elasticity (Hiperbolic)*, *Strain Softening*, *Slip Surface*, *Soft Soil (SS)*, *Jointed Rock (JR)*.

E. Pemodelan Numerik PLAXIS 2D

PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah suatu program yang dikembangkan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas tanah serta material geoteknik dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga. Melalui input yang sederhana, mampu melakukan perhitungan elemen hingga yang kompleks serta menyediakan fasilitas *output* tampilan yang cukup detail dan hasil perhitungan yang akurat sehingga mampu membantu dalam memecahkan suatu masalah yang berkaitan dengan tanah dan geoteknik.




1. General setting

Tahapan awal ini berfungsi untuk mendefinisikan nama, model, jumlah *node* elemen, satuan dimensi area PLAXIS yang akan digunakan untuk pemodelan (Gambar 2.7)

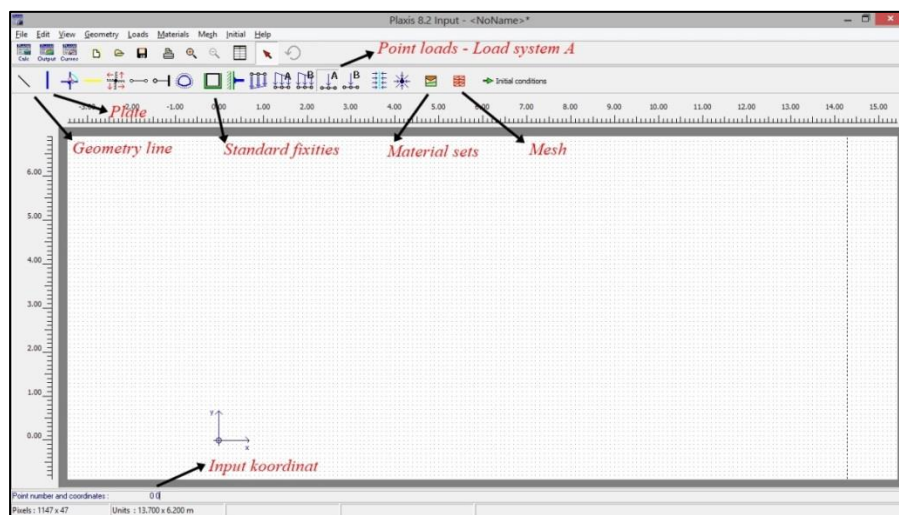


Gambar 2.7 Jendela *general setting* PLAXIS

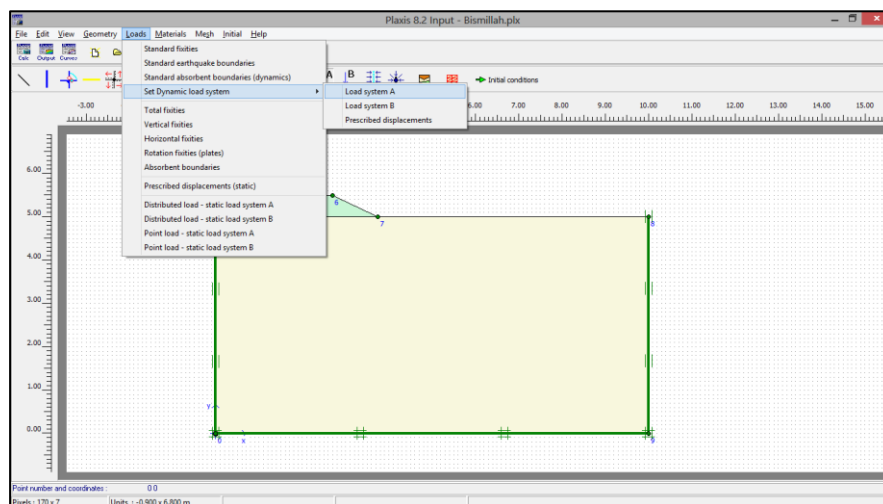
2. Geometri model and loading

Pada tahapan ini, pemodelan dimulai dengan cara memasukan geometri sehingga model  berbentuk seperti setengah potongan melintang jalan rel dimulai dari bantalan sampai dengan subgrade menggunakan  *geometry line* (Gambar 2.8). Bisa dilakukan dengan cara menarik garis 

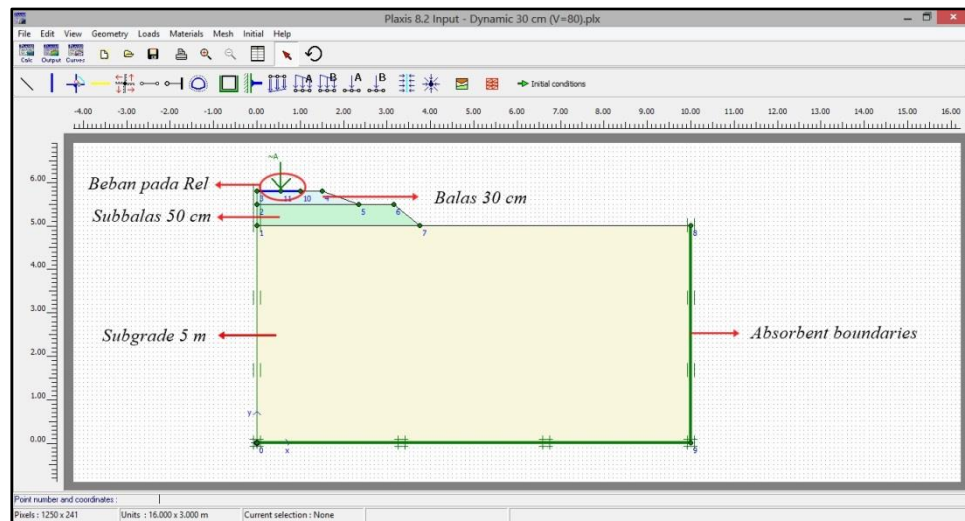
pada *grid-grid* yang sudah ada dengan cara mengetikkan setiap titik koordinat untuk memperoleh hasil yang akurat. Setiap lapisan tanah dan elemen yang terkait dilapangan, dimodelkan dalam tahapan ini. Ketika koordinat sudah selesai dimasukan, maka diberi batasan dengan *standard fixities*. Selain itu pada tahapan ini juga diberikan posisi beban yang akan bekerja pada lapisan jalan rel kereta api dan tanah menggunakan *point load* dan input setiap titik koordinat beban seperti sebelumnya. Setelah memberikan posisi beban pada koordinat yang ditentukan kemudian diubah tipe pembebanan yang semula statik ke dinamik, dengan cara mengklik *Loads* pada toolbar dan klik *Set Dynamic load system* kemudian pilih *Load system A*.



Gambar 2.8 Jendela utama input PLAXIS 2D




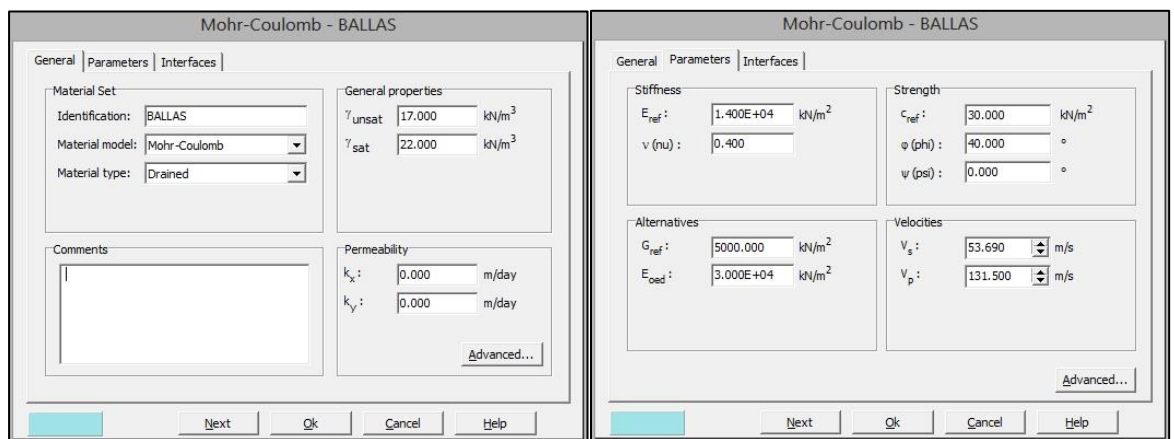
Gambar 2.9 Set dynamic load system pada input beban



Gambar 2.10 Pemodelan setengah potongan melintang struktur jalan rel

3. Material

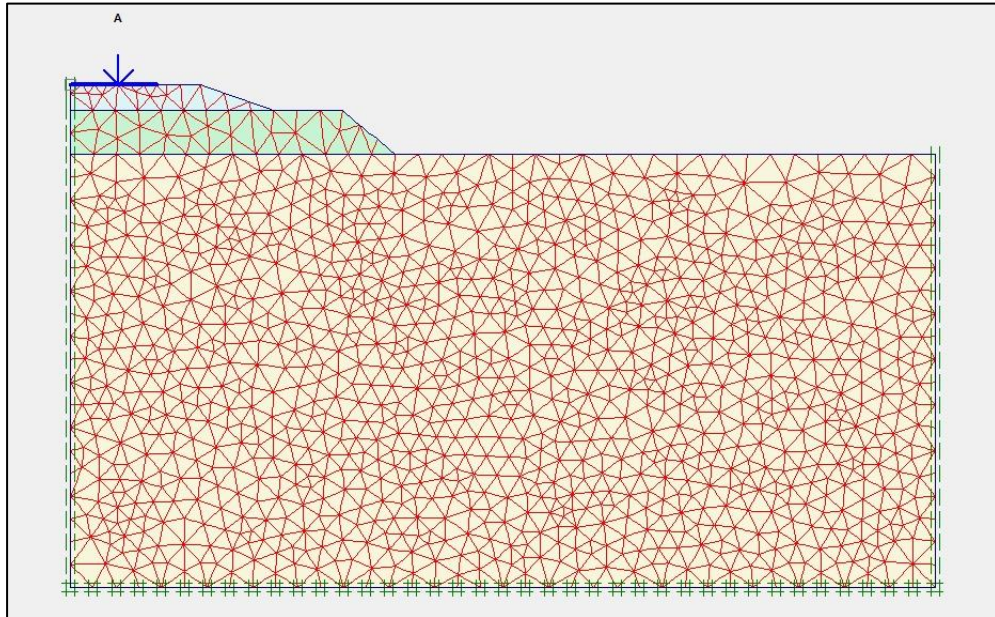
Setiap jenis material didefinisikan dalam tahapan ini. Mulai dari model material, tipe material hingga parameter-parameter teknis yang akan digunakan pada tahapan perhitungan nanti pada menu *material sets* . Nilai diperoleh dari data lapangan yang telah diuji sebelumnya oleh pemilik proyek (Gambar 2.9).



Gambar 2.11 Jendela *material sets* untuk tipe *soil & interfaces* dengan model material *Mohr-Coulomb*

4. *Mesh*

Mesh dilakukan untuk membagi element menjadi bagian yang lebih kecil berbentuk jaring-jaring segitiga (Gambar 2.10). Tujuannya untuk memudahkan perhitungan dengan metode elemen hingga dan memperoleh hasil yang lebih akurat. *Mesh* dilakukan setelah tahapan pemodelan geometri dan input material selesai.



Gambar 2.12 Hasil setelah dilakukan *mesh*

5. *Initial Condition*

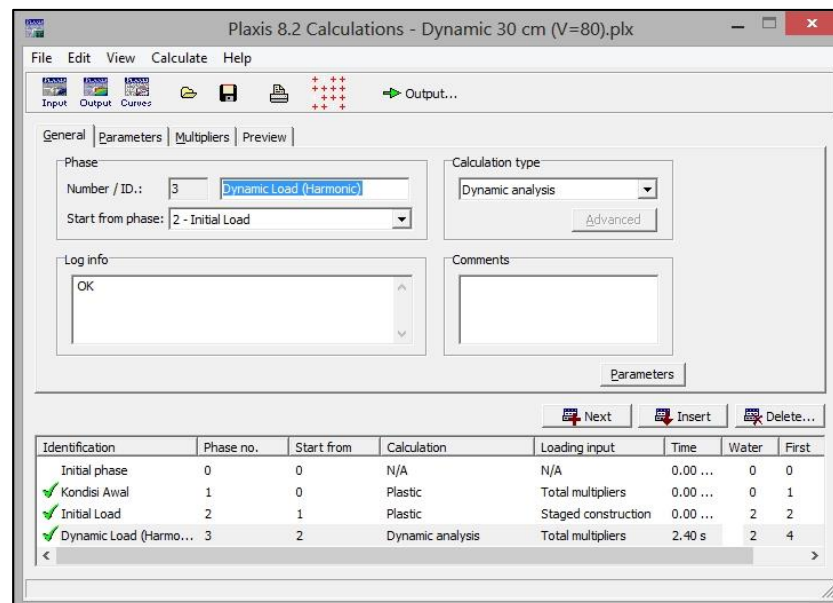
Initial condition diperlukan untuk memberikan kondisi awal pada tanah sesuai keadaan aslinya. Terdapat dua kondisi awal yang bisa diberikan yaitu tegangan awal (*initial stress*) dan tekanan air pori (*water pressure*) (Gambar 2.11). Pada kondisi awal ini sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan akhir. Pada *initial stress* digunakan untuk kondisi lapangan datar atau sudut kemiringan, contohnya untuk pemodelan struktur jalan raya. Dipemodelan ini kondisi awal yang digunakan *water pressure* karna struktur jalan rel mempunyai kemiringan dan tidak dapat menggunakan *initial stress* karnah dapat mempengaruhi hasil akhir.



Gambar 2.13 Tampilan untuk *pore water pressure*

6. Calculation

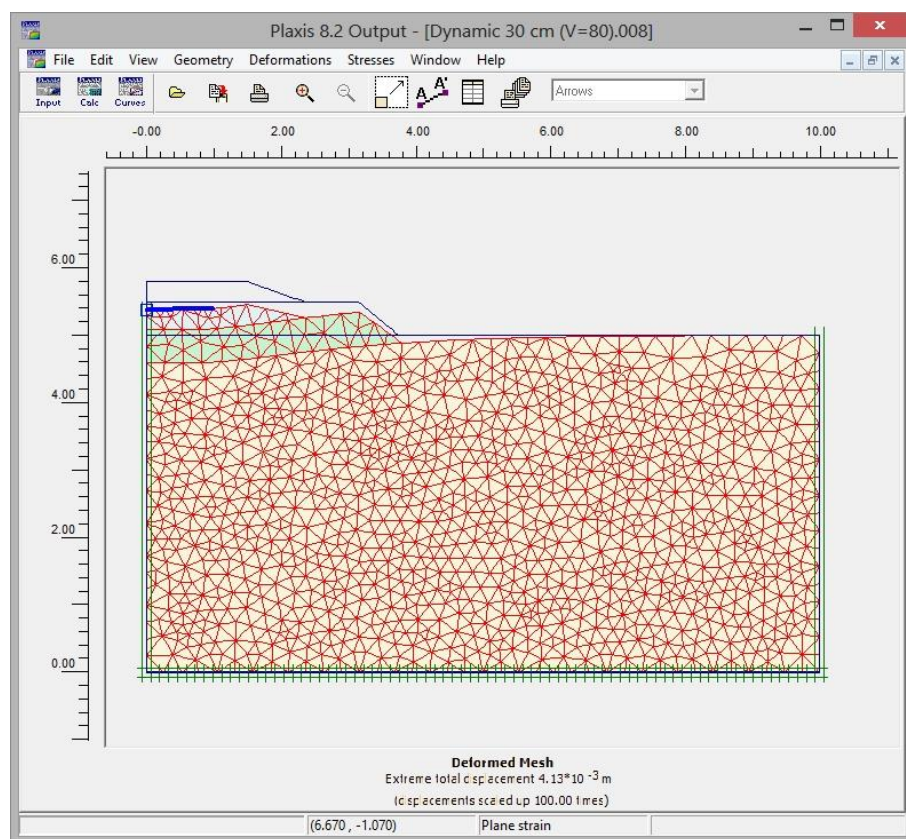
PLAXIS dapat melakukan perhitungan sesuai dengan urutan proses pekerjaan (*stage construction*) dilapangan (Gambar 2.12). Setiap proses urutan pekerjaan dapat dikondisikan secara individu dan saling terkait secara berurutan. Pada tahapan *calculation* ini juga diperlukan input data *harmonic load* untuk menghasilkan grafik *displacement* terhadap waktu. Sehingga PLAXIS dapat dikatakan juga berfungsi untuk mensimulasikan masalah-masalah yang dijumpai dilapangan.



Gambar 2.14 Jendela *calculation* pada PLAXIS

7. Output

Output dalam bentuk gambar pola deformasi yang terjadi, grafik *displacement* terhadap waktu dan tabel-tabel yang berisikan data hasil analisis. Dari tiap model dengan variasi kecepatan akan diplot grafik *time dynamic* (sumbu-x) dan *displacement* tanah secara bersamaan dalam satu grafik, guna melihat deformasi terbesar (maksimum *displacement*) dengan varian kecepatan 80 km/jam, 100 km/jan dan 120 km/jam.



Gambar 2.16 *Output* dalam bentuk gambar deformasi yang terjadi