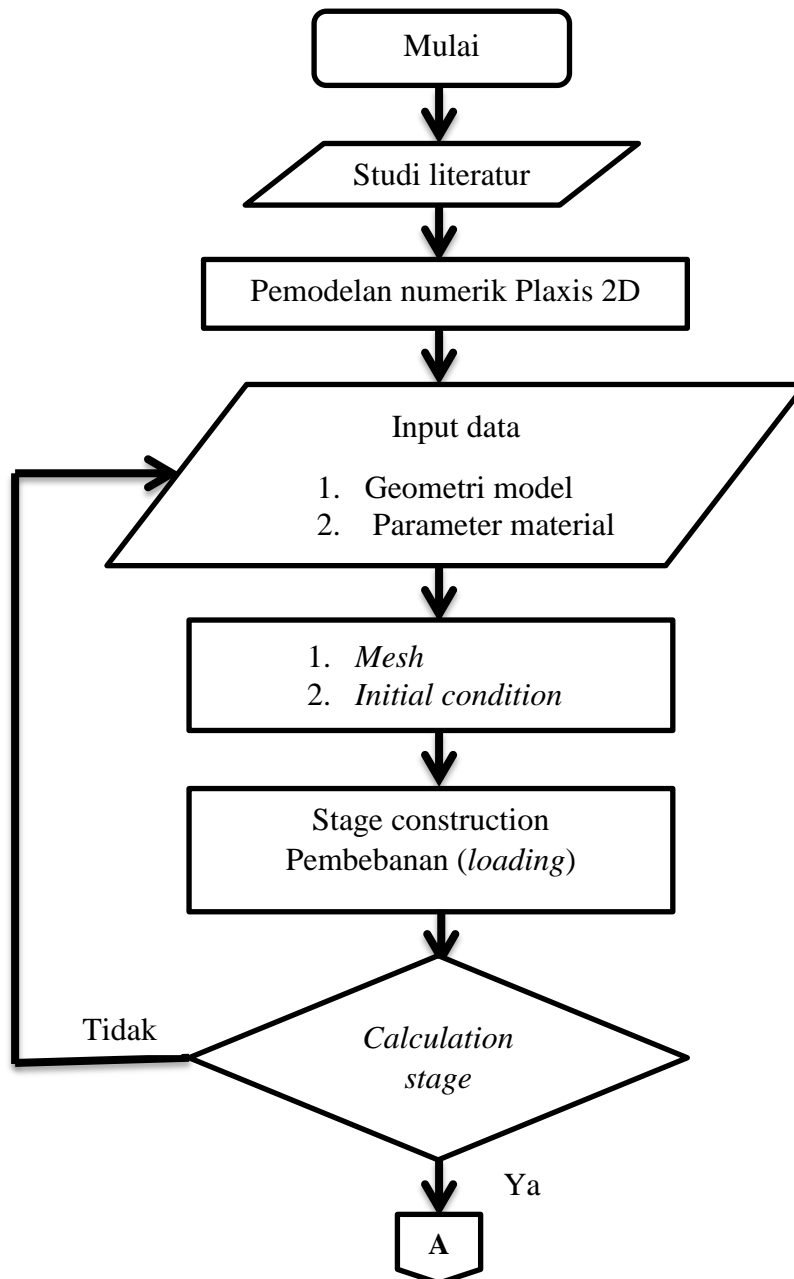


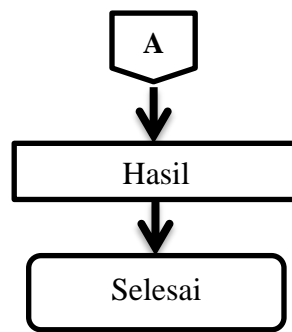
### BAB III METODE PENELITIAN

#### A. Bagan Alir Penelitian

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis dengan program PLAXIS untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada struktur jalan rel. Tahap analisis dan penafsiran data dapat dijelaskan dengan bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



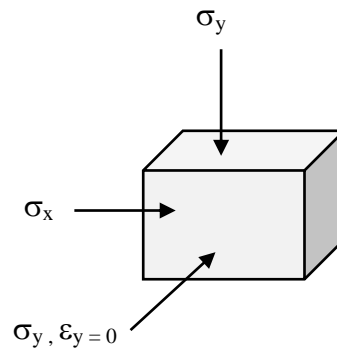
Gambar 3.1 Lanjutan

### B. Studi Literatur

Pada langkah ini penelitian melakukan kajian tentang pustaka atau literatur yang berkaitan dengan struktur jalan rel, buku-buku mengenai rekayasa jalan kereta api dan peraturan-peraturan mengenai struktur jalan rel, serta mencari masukan-masukan dari kegiatan penelitian yang berhubungan dengan analisis dinamik menggunakan PLAXIS. Hasil dari studi literatur digunakan sebagai dasar melakukan langkah berikutnya.

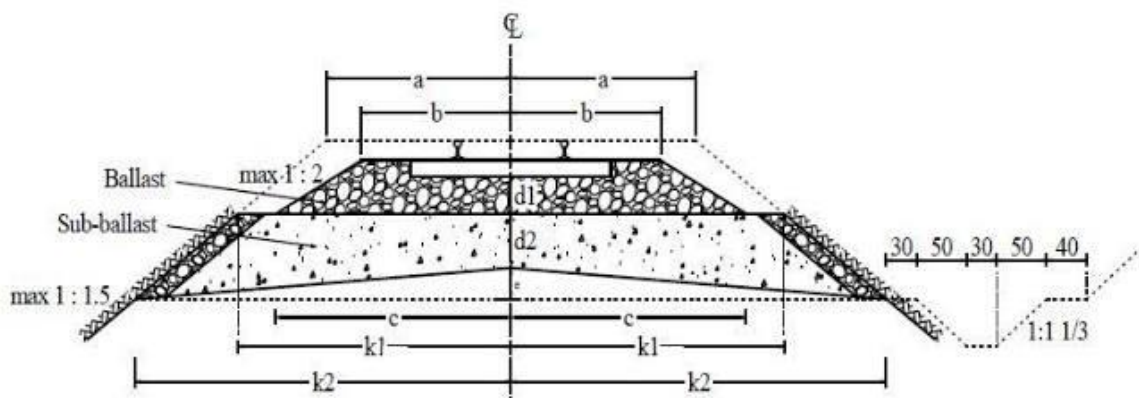
### C. Pemodelan Numerik

Analisis numerik dilakukan dengan memodelkan jalan rel di atas tanah residu sebagai model *plane strain* menggunakan elemen *15-nodes* dalam PLAXIS 2D versi 8.2. Model *plane strain* digunakan untuk model geometri dengan penampang melintang kurang lebih seragam dengan kondisi tegangan dan kondisi pembebanan yang cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang (Gambar 3.2). Analisis yang dilakukan menggunakan analisis PLAXIS dengan beban dinamik (*harmonic loading*) dari getaran yang dihasilkan kereta api. Karena perpindahan yang melibatkan arah sumbu Y ( $\Delta y$ ) bernilai kecil apabila dibandingkan dengan panjang dari arah sumbu lainnya (Budhu, 1999). Sehingga dapat diasumsikan elemen tanah tersebut berada pada kondisi *plane strain*. Sementara penggunaan elemen *15-nodes* digunakan, karena memberikan hasil yang akurat terhadap interpolasi perhitungan 2D dan prediksi tegangan tingkat tinggi untuk masalah yang kompleks (Brinkgreve dkk, 1998).



Gambar 3.2 Kondisi *Plane strain* pada elemen tanah

Penampang jalan rel dimodelkan pada potongan melintang yaitu potongan dengan arah tegak lurus sumbu jalan rel (Gambar 3.3). Dengan ukuran panjang lapisan *subgrade* 10 meter, lapisan subbalas 2,65 meter, lapisan balas 1,5 meter dan lapisan bantalan 1 meter. Struktur perkerasan jalan rel yang dimodelkan terdiri dari 4 lapisan, yaitu lapisan *subgrade* (tanah dasar) setebal 5 meter, lapisan *subbalas* setebal 50 cm, lapisan *balas* dengan beberapa variasi ketebalan, dan lapisan bantalan setebal 20 cm (Tabel 3.1). Untuk lapisan *balas* dilakukan pemodelan dengan beberapa variasi ketebalan yaitu 30 cm, 40 cm dan 50 cm. Pemodelan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai penurunan terkecil dari struktur jalan rel tersebut dengan variasi tebal lapisan balas. Sementara untuk beban kereta api diletakkan pada 1 titik sesuai dengan perletakan roda kereta api pada rel.



Gambar 3.3 Penampang melintang jalan rel

(Sumber: Rosyidi, 2015)

Tabel 3.1 Dimensi penampang melintang jalan rel

Kelas Jalan	V maks (km/j)	d <sub>1</sub> (cm)	b (cm)	c (cm)	k <sub>1</sub> (cm)	d <sub>2</sub> (cm)	e (cm)	k <sub>2</sub> (cm)	a (cm)
I	120	30	150	235	265 – 315	15 – 50	25	375	185–237
II	110	30	150	235	265 – 315	15 – 50	25	375	185–237
III	100	30	140	225	240 – 270	15 – 50	22	325	170–200
IV	90	25	140	215	240 – 250	15 – 35	20	300	170–190
V	80	25	135	210	240 – 250	15 – 35	20	300	170-190

(Sumber: Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012)

#### D. Parameter Material

Model material pada tanah, balas dan subbalas dimodelkan sebagai model *Mohr-Coulumb* karena model ini merupakan pendekatan awal untuk semua jenis material. Tipe material dipilih *drained* karena kondisi aliran air dianggap kurang baik. Parameter material yang digunakan untuk model *Mohr-Coulumb* ditunjukkan pada Tabel 3.2. Untuk material balas (*ballast*), subbalas (*subballast*) dan bantalan (*sleeper*) ditunjukkan pada Tabel 3.3. Nilai modulus elastisita (E) dan momen inersial (I) bantalan diperoleh dari penelitian (Christian M, Julian L, dkk., 2016) untuk menghitung *normal stiffnes* (EA) dan *bending stiffnes* (EI) yang akan dimasukkan diparameter bantalan (*sleeper*).

Tabel 3.2 Material propertis yang digunakan

Parameter	Tanah Lempung	Pasir	Kolom	Subbase course	Base course	Aspal
$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17	20	17	22	21	25
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	22	20	24	23	25
$E^{\text{ref}}$ (MPa)	3,0	6,0	550	200	400	4000
$\nu_u$	0,495	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
c' (kPa)	30	0,01	43	20	30	30
$\phi'$ (degree)	10	30	46	40	40	40
$\psi$ (degree)	-	5	-	10	10	-
Model	MC	MC	Non-Porous	MC	MC	Elastic
Kondisi	Undrained	Drained	Non-Porous	Drained	Drained	Non-Porous

Keterangan:  $E^{\text{ref}}$  = Young's modulus of elastisitas;  $\nu_u$  = the Poisson's ratio; c' = kohesi;  $\phi'$  = sudut gesek internal tanah;  $\psi$  = sudut dilatasi;  $\gamma_{\text{unsat}}$  = berat volume tanah kering;  $\gamma_{\text{sat}}$  = berat volume tanah jenuh air

(Sumber: Muntohar, 2014)

Tabel 3.3 Parameter material yang digunakan dalam PLAXIS

<b><i>Parameter</i></b>	<b><i>Subballas</i></b>	<b><i>Ballas</i></b>	<b><i>Sleeper</i></b>
Type	<i>Soil &amp; interfaces</i>	<i>Soil &amp; interfaces</i>	<i>Plates</i>
Model material	<i>Mohr-Coulomb</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>	-
Type material	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Elastic</i>
$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	16	17	-
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	22	-
$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	20	30	-
$\phi'$ (degree)	40	40	-
$\psi$ (degree)	10	10	-
$E_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	1400	14000	-
<b><i>Parameter</i></b>	<b><i>Subballas</i></b>	<b><i>Ballas</i></b>	<b><i>Sleeper</i></b>
EA (kN/m)	-	-	3.615.727,88
EI (kN/m <sup>2</sup> /m)	-	-	12.004,12447
$w$ (kN/m/m)	-	-	7,90513834
$d$ (m)	-	-	0,2
$\nu$ (nu)	0,4	0,4	0,2

Tabel 3.4 Parameter material lapisan tanah dasar (*Subgrade*)



<b><i>Parameter</i></b>	<b><i>Subgrade</i></b>
Type	<i>Soil &amp; interfaces</i>
Model material	<i>Mohr-Coulomb</i>
Type material	<i>Drained</i>
$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	14,12
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,95
$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	30
$\phi'$ (degree)	10
$\psi$ (degree)	0
$E_{\text{ref}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	2914,55
$\nu$ (nu)	0,4

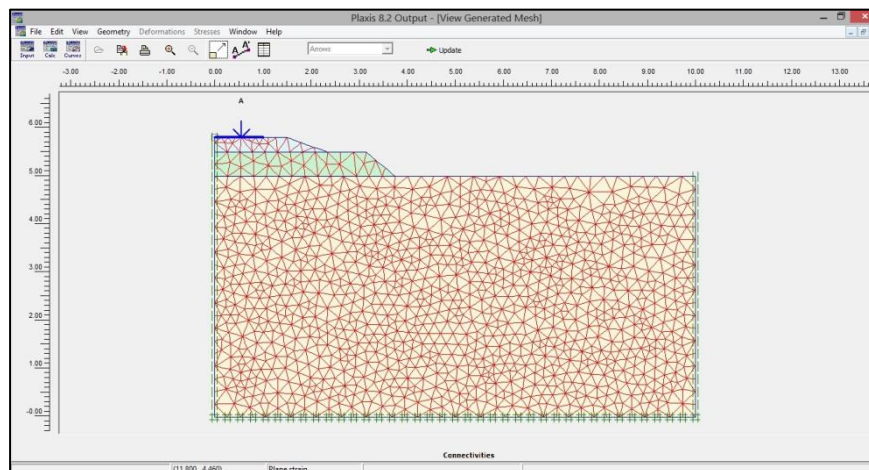
(Sumber: Dewi S, 2015)

## E. Tahapan Simulasi

Setelah membuat geometri dan memasukan parameter-parameter material untuk setiap lapisan struktur jalan rel dimulai dari bantalan sampai tanah dasar, tahapan simulasi dimulai dengan urutan sebagai berikut :



### 1. *Mash*

Pemberian *mesh* dilakukan dengan cara klik ikon *generate mesh*  hingga muncul jendela baru (Gambar 3.4) secara otomatis. Kemudian klik *update*  untuk memasukan hasil *mesh* kedalam geometri model. Proses *mesh* dilakukan untuk membagi model kedalam elemen-elemen lebih kecil sehingga mempermudah dalam proses perhitungan.



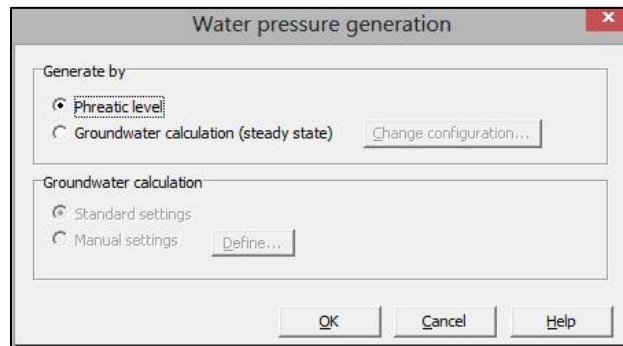
Gambar 3.4 Tampilan setelah dilakukan *mesh*

### 2. *Initial Condition*

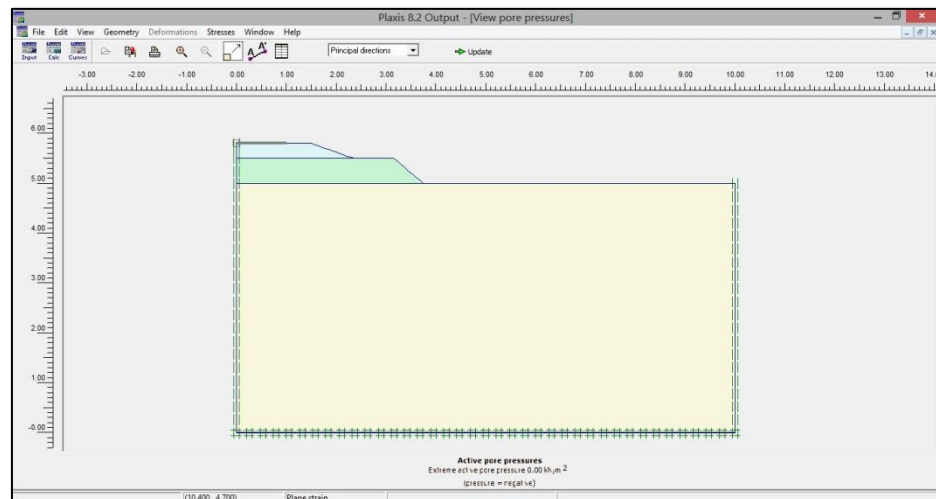
*Initial condition* diperlukan untuk memberikan kondisi awal pada tanah sesuai keadaan aslinya. Terdapat dua kondisi awal yang bisa diberikan yaitu tekanan air pori (*water pressure*) dan tegangan awal (*initial stress*). Kondisi awal tekanan air pori diberikan dengan tekanan hidrostatik pada lapisan tanah dasar dibawah 5 meter, dengan cara klik ikon *phreatic level*  dan diatur sedemikian rupa hingga lapisan tanah dasar dibawah 5 meter tepat berada dibawah garis *phreatic*. Kemudian klik ikon *generate water pressures*  pada jendela *initial conditions*. Pilih kondisi *phreatic level* dan klik *OK* (Gambar 3.5) sehingga muncul jendela

*pore pressure generation* secara otomatis (Gambar 3.6) kemudian klik *update*

Update dan selanjutnya muncul jendela *Initial condition* klik *calculate* Calculate .



Gambar 3.5 Jendela *initial conditions* untuk *generate water pressure*

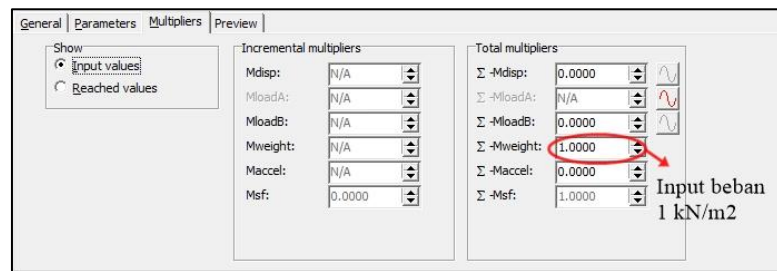


Gambar 3.6 Tampilan *pore water pressure*


### 3. *Calculations (Stage construction)*

Tahapan perhitungan (*calculation*) dilakukan tiga tahap yaitu tahap pertama ‘kondisi awal’ dengan pembebanan  $1 \text{ kN/m}^2$ , tahap kedua ‘*Initial load*’ dengan beban sesuai dengan kecepatan kereta api dan tahap ketiga yaitu *Dynamic Load (Harmonic)* dengan pemberian beban harmonik.

- a) Tahap pertama atau Kondisi awal dengan *calculation type Plastic* dan menggunakan *loading input Total Multipliers* selanjutnya klik *define* dan mengaktifkan beban *gravity loading*  $1 \text{ kN/m}^2$  pada kolom yang telah disediakan (Gambar 3.7).

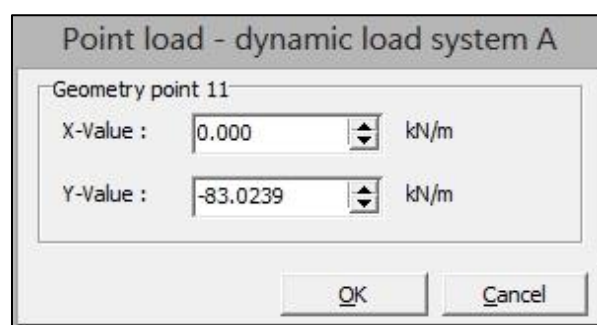


Gambar 3.7 Input beban kondisi awal

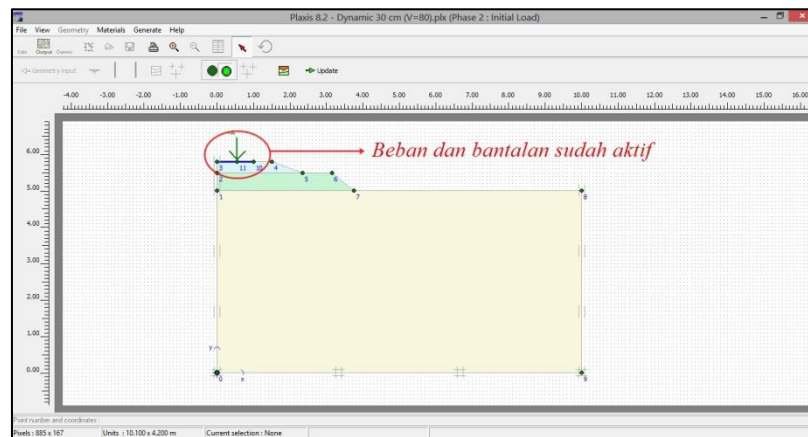
- b) Tahap kedua, pembebanan (*loading*) dilakukan dengan memberikan *point load* sesuai dengan tekanan roda kereta api yang dihasilkan dengan kecepatan yang berbeda-beda (Tabel 3.5). Perhitungan distribusi beban ke bantalan untuk masing-masing kecepatan bisa dilihat pada Lampiran 1 dengan persamaan TALBOT. Input beban dimulai dengan memilih menu *parameters* pada toolbars kemudian klik *define* pada jendela *calculations*, selanjutnya muncul jendela *input* fase *Initial Load* dan klik 2 kali pada tengah pusat beban sehingga muncul jendela *input dynamic load system A* (Gambar 3.7). Beban berubah warna menjadi biru apabila sudah aktif (Gambar 3.8) kemudian klik *update* .

Tabel 3.5 Distribusi beban ke bantalan


Kecepatan (km/jam)	Tipe Rel	Q1 (kN/m)
80	R54	83,0239
100	R54	91,2339
120	R54	99,4424

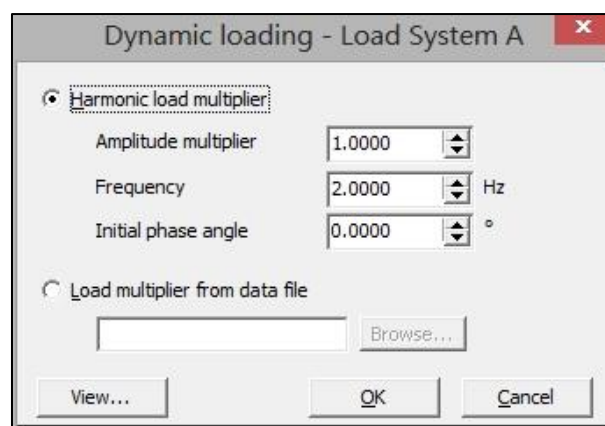
Gambar 3.8 Jendela *input* beban



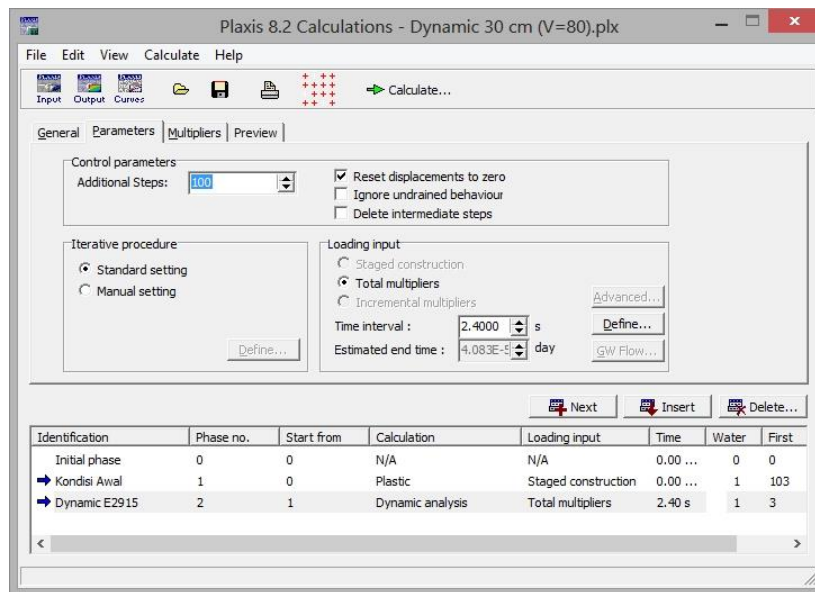


Gambar 3.9 Tampilan setelah beban diaktifkan

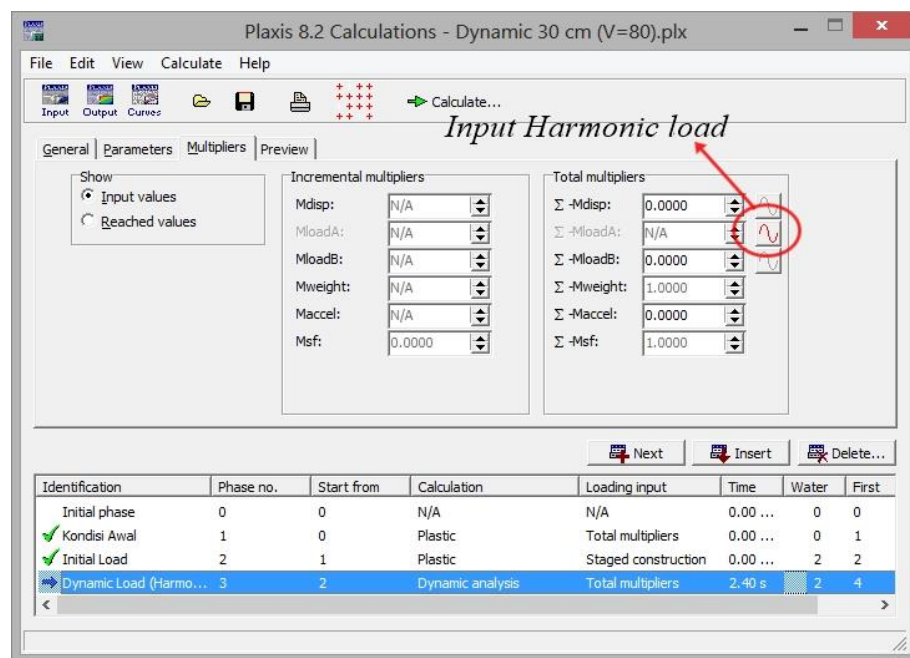
- c) Tahapan ketiga adalah perhitungan dinamis (*dynamic loading*). Perhitungan ini digunakan apabila beban yang bekerja bukan beban statik, melainkan beban gerak (dinamis). Parameter beban dinamik bergantung dari amplitudo dan frekuensi (*harmonic load*). Nilai amplitudo, frekuensi dan waktu dinamik (*time dynamic*) diperoleh dengan pengujian menggunakan alat *geophones* yang dilakukan oleh (J. A. Priest and W. Powrie, 2009). Tahapan langkahnya dimulai dengan memasukkan nilai-nilai di menu *parameters* pada jendela *calculations* kemudian memasukkan angka pada *additional step* yaitu 100 sebagai kontrol perhitungan dan waktu dinamik sebesar 2,4 detik (Gambar 3.11). Untuk memasukkan nilai *dynamic loading* klik menu *multipliers* dan pilih ikon  pada kotak dialog *total multipliers* (Gambar 3.13).





Gambar 3.10 Jendela *input dynamic loading*

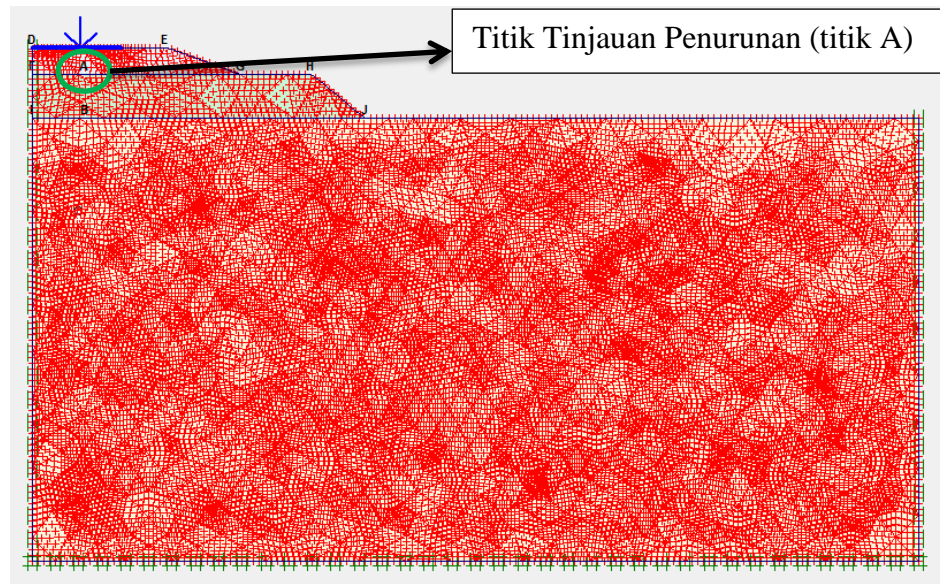


Gambar 3.11 Jendela untuk memasukan parameter langkah-langkah perhitungan dan waktu interval (*dynamic time*)



Gambar 3.12 Jendela *multipliers* untuk *input dynamic loading*

Langkah selanjutnya adalah menentukan kurva penurunan pada struktur jalan rel kereta api dengan cara mengklik *select points for curves*  pada jendela *calculations* dan akan muncul jendela baru (Gambar 3.12) dan kemudian tentukan titik-titik untuk mengetahui kurva penurunannya setelah menentukan titik-titik penurunannya kemudian *update* .



Gambar 3.13 Jendela untuk menentukan penurunan pada titik-titik tertentu