

ANALISIS PEMBEBANAN SIKLIK PADA PEMODELAN NUMERIK STRUKTUR JALAN KERETA API

Andree Arief Pratama¹, Sri Atmaja P. Rosyidi², Agus Setyo Muntohar³
¹Mahasiswa (20120110242), ²Dosen Pembimbing I, ³Dosen Pembimbing II

Kereta api merupakan salah satu moda transportasi unggulan di berbagai negara untuk melakukan distribusi jasa dan barang. Untuk mobilisasinya, kereta api memerlukan lintasan tersendiri yang mana kita sebut sebagai jalan rel kereta api. Terdiri dari komponen utama, seperti *subgrade*, subbalas, balas, bantalan dan rel. Dalam merancang struktur jalan rel, perlu diperhitungkan rancangan struktur jalan rel yang mempunyai tingkat kestabilan tinggi, agar tidak mengalami penurunan tanah yang ekstrim akibat beban dan kecepatan yang dapat membahayakan pengguna kereta api. Komponen balas yang menerima aliran beban dari rel dan bantalan, cukup sering dijadikan objek penelitian. Ketebalan balas pada penelitian ini dimodelkan bervariasi, yaitu: 30 cm, 40 cm dan 50 cm dengan variasi kecepatan (v) 80 km/jam, 100 km/jam dan 120 km/jam. Dalam pemodelan ini digunakan data sekunder untuk selanjutnya dianalisis menggunakan program Plaxis versi 8.2. *Output* program berupa data besaran deformasi vertikal yang dihasilkan oleh beban akibat kecepatan kereta api menggunakan metode pembebanan siklik (*cyclic loads*). Pembebanan siklik adalah peningkatan/pengurangan beban pada suatu objek secara bertahap dalam batas tertentu sehingga menghasilkan satu/beberapa siklus/putaran. Penerapan beban siklik sebanyak dua siklus dengan tinjauan 10 titik menunjukkan deformasi vertikal terbesar pada *subgrade* (tinjauan pada titik J) sebesar 0.07 m, sedangkan deformasi vertikal terkecil diperoleh pada pinggir subbalas (tinjauan pada titik G) sebesar 0.0016 m. Diperoleh juga, balas dengan ketebalan 40 cm dan 50 cm lebih mampu memperkecil deformasi yang diterima akibat laju kereta api dibanding variasi ketebalan balas 30 cm.

Kata kunci: rel, balas, beban siklik, kereta api, pemodelan numerik

PENDAHULUAN

Struktur jalan rel terbagi menjadi dua bagian, yaitu komponen struktur bagian atas (*superstructure*) yang terdiri dari rel (*rail*), penambat (*fastening*), dan bantalan (*sleeper*). Kedua, komponen struktur bagian bawah (*substructure*) yang terdiri dari balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*) (Gambar 1.1). Dalam perancangan struktur

jalan rel, perlu diperhitungkan rancangan struktur jalan rel yang mempunyai tingkat kestabilan tinggi, agar tidak mengalami penurunan tanah yang ekstrim akibat beban dan kecepatan yang dapat membahayakan pengguna kereta api.

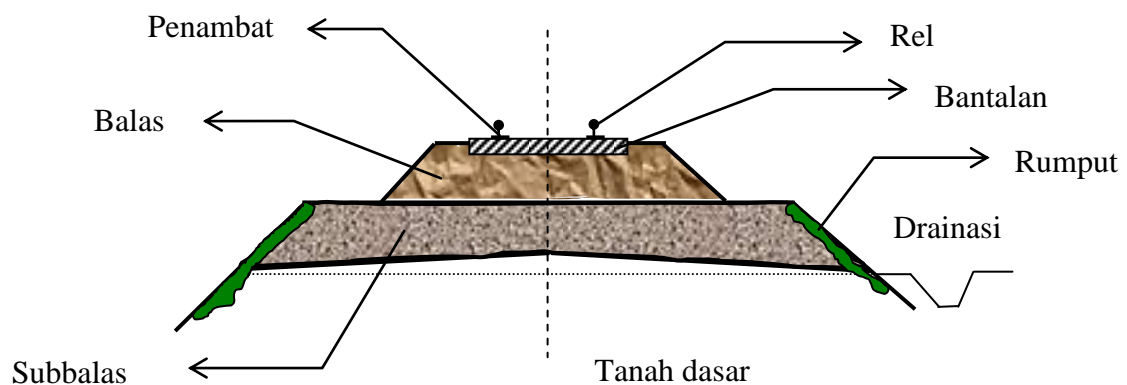
Tanah merupakan komponen paling bawah yang dapat berupa tanah asli maupun tanah yang sudah mengalami perbaikan. Perubahan bentuk

(*deformation*) dari tanah dihasilkan dari distribusi beban oleh lapisan di atasnya seperti balas dan subbalas. Secara umum, tanah akan memampat dan menyebabkan terjadinya penurunan struktur yang ada di atasnya (Muntohar, 2009).

Lapisan balas berguna mempertahankan komponen bantalan pada tempatnya dan meneruskan beban yang disalurkan dari bantalan menuju ke tanah dengan pola distribusi beban yang lebih merata. Lapisan balas terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan terbesar akibat lalu lintas kereta api, oleh karena itu pemilihan lapisan balas harus tepat. Desain jenis material dan tebal lapisan balas akan mempengaruhi kondisi

struktur jalan rel secara umum (Rosyidi, 2015). Oleh karena itu diperlukan suatu pemodelan balas untuk menentukan ketebalan lapisan balas yang efektif.

Terdapat tiga gaya yang ditimbulkan dari pembebanan pada struktur jalan rel seperti gaya vertikal, gaya transversal (*lateral*) dan gaya longitudinal. Oleh karena itu, analisis pembebanan sewaktu perancangan jalan rel berguna untuk meminimalisir resiko kerusakan yang disebabkan oleh respon jalan rel akibat beban yang diterima. Perhitungan beban dan gaya perlu dipahami secara benar untuk dapat merencanakan dimensi, tipe dan desain jalan rel, bantalan, balas dan seterusnya.



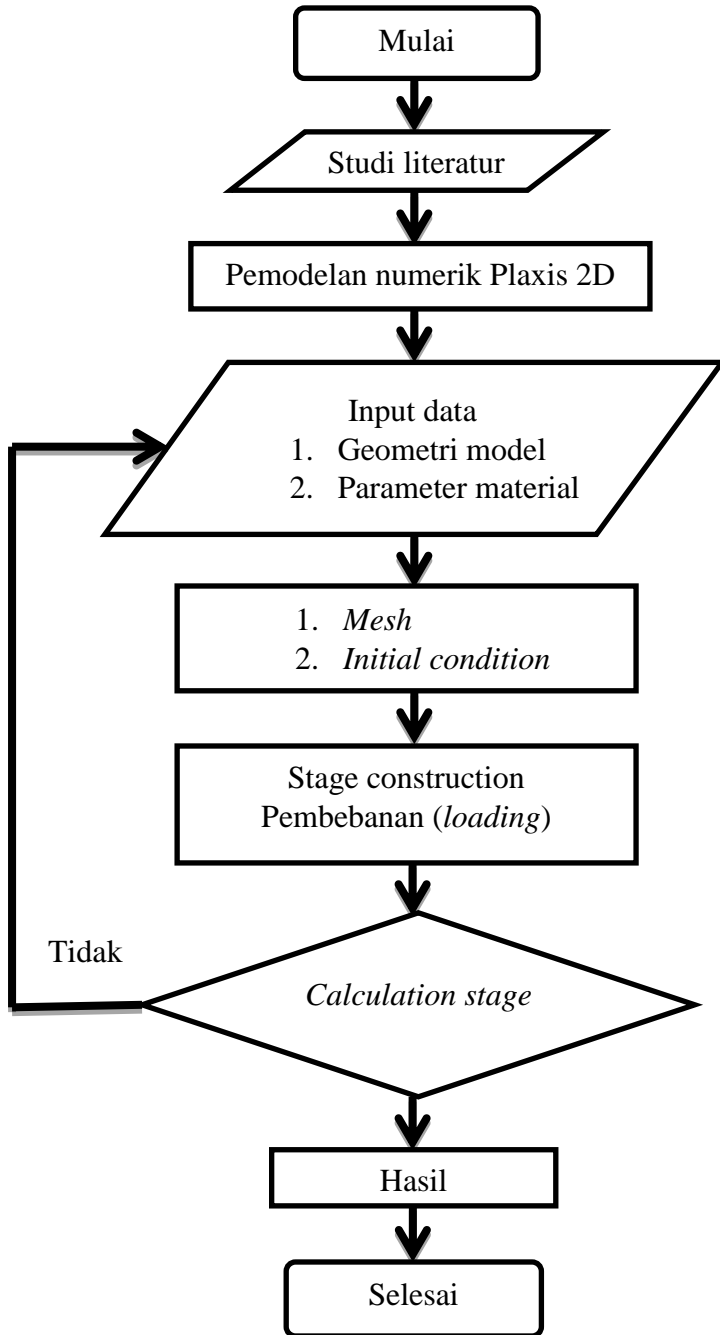
Gambar 1.1 Gambar konstruksi jalan rel

METODE PENELITIAN

1. Bagan Alir Penelitian

Metode penelitian dimulai dengan mengumpulkan studi literatur yang berkaitan dengan pembahasan sebagai acuan dalam penelitian berupa referensi

dari buku dan penelitian-penelitian sebelumnya. Bagan alir dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

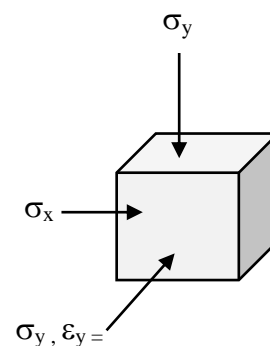
2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan acuan dan gambaran mengenai topik penelitian sebagai dasar dalam pembahasan dan penyelesaian masalah. Penelitian ini menggunakan data

sekunder yang meliputi data mengenai ukuran struktur jalan rel, parameter material dan pembebanan. Penelitian dan penyusunan laporan berdasarkan pada buku mekanika tanah, buku rekayasa jalan rel kereta api dan jurnal Teknik Sipil yang berkenaan dengan pokok bahasan yang dikaji.

3. Pemodelan Numerik

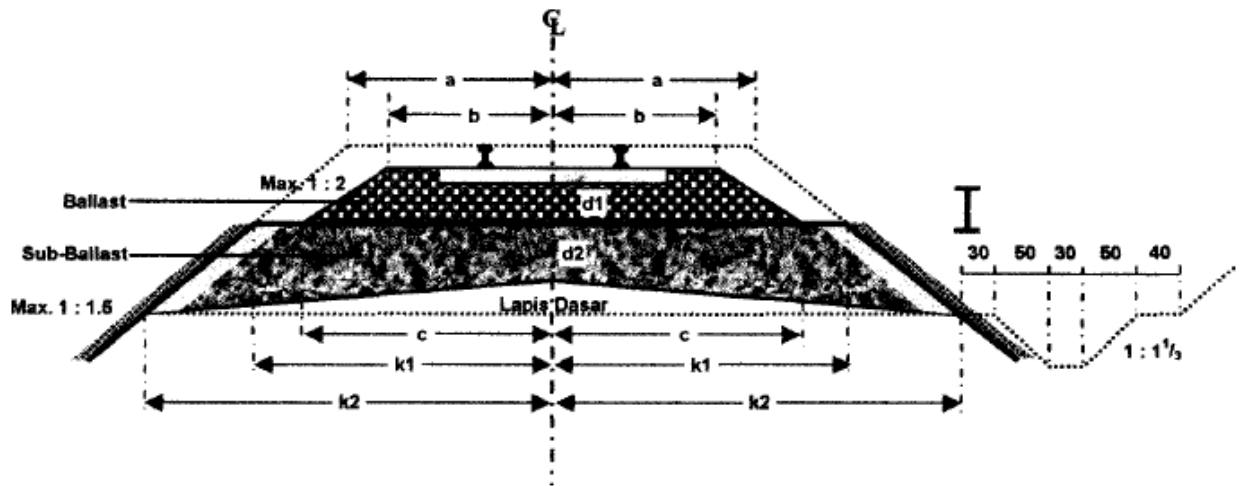
Analisis numerik dilakukan dengan memodelkan jalan rel sebagai model *plane strain* menggunakan elemen *15-nodes* dalam PLAXIS 2D versi 8.2. Model *plane strain* digunakan pada kondisi tanah dengan regangan pada satu arah bernilai nol (Gambar 3.2). Karena perpindahan yang melibatkan arah sumbu Y (Δy) bernilai kecil apabila dibandingkan dengan panjang dari arah sumbu lainnya (Budhu, 1999). 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 2.2 Model *plane strain*

Penampang jalan rel dimodelkan pada potongan melintang yaitu potongan dengan arah tegak lurus sumbu jalan rel (Gambar 2.3). 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 2.1). 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 2.3 Penampang melintang jalan rel

Tabel 2.1 Dimensi penampang melintang jalan rel

KELAS JALAN	V Maks (km/jam)	d1 (cm)	b (cm)	c (cm)	k1 (cm)	d2 (cm)	e (cm)	k2 (cm)
I	120	30	150	235	265	15 – 50	25	375
II	110	30	150	235	265	15 – 50	25	375
III	100	30	140	225	240	15 – 50	22	325
IV	90	25	140	215	240	15 – 35	20	300
V	80	25	135	210	240	15 – 35	20	300

4. Parameter Material

Material tanah dan lapisan jalan rel dimodelkan sebagai model *plane strain*. Parameter subgrade, subbalas, balas dan bantalan diambil dari berbagai literatur (Tabel 2.2). Berat volume tanah pada subgrade menunjukkan jenis tanah berupa lempung, sedangkan pada subbalas dan

balas adalah kerikil, data diperoleh dari penelitian sebelumnya (Dewi, 2015). Modulus elastisitas pada subbalas dan balas dirujuk dari penelitian (Dahlberg, 2010). Nilai *poisson ratio* untuk subgrade, subbalas dan balas diambil dari penelitian (Rose, 2004).

Tabel 2.2 Parameter material subgrade, subbalas, balas dan bantalan

Parameter	Subgrade	Subbalas	Balas	Bantalan
Type	<i>Soil & interfaces</i>	<i>Soil & interface</i>	<i>Soil & interface</i>	<i>Plates</i>
Model material	<i>Hardening soil</i>	<i>Linier elastic</i>	<i>Linier elastic</i>	-
Type material	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Elastic</i>
γ_{unsat} (kN/m ³)	21	16	17	-
γ_{sat} (kN/m ³)	22	20	22	-
E_{ref} (kN/m ²)	29145,5	30000	100000	-
E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	29145,5	-	-	-
E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	58290	-	-	-
EA (kN/m)	-	-	-	1846800
EI (kN/m ² /m)	-	-	-	910800
w (kN/m/m)	-	-	-	7,90513834
d (m)	-	-	-	0,2
ν (nu)	0,4	0,35	0,3	0,2

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kalkulasi pembebanan siklik

Kalkulasi pembebanan siklik pada pemodelan ini menggunakan dua fase yang terdiri dari dua siklus pembebanan. Pertama, diberikan fase “kondisi awal” untuk mengaktifkan *gravity loading* dengan cara masukkan angka 1 pada Σ -Mweight. Kedua, fase pembebanan, diberikan beban secara bertahap dalam persentase mulai dari 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Nilai beban secara bertahap untuk kecepatan (v) 120 km/jam sebesar 1 kN/m, 24.86 kN/m, 49.72 kN/m, 74.58 kN/m dan 99.44 kN/m menggunakan *loading input: total multipliers*. Setelah

mencapai beban 100%, beban dikurangi bertahap menjadi 75%, 50%, 25% dan 0%. Hal tersebut berguna untuk menghasilkan satu siklus pada kalkulasi. Untuk memberikan siklus selanjutnya, lakukan pengulangan di atas.

B. Besar deformasi vertikal terhadap variasi kecepatan (v) kereta dan ketebalan balas

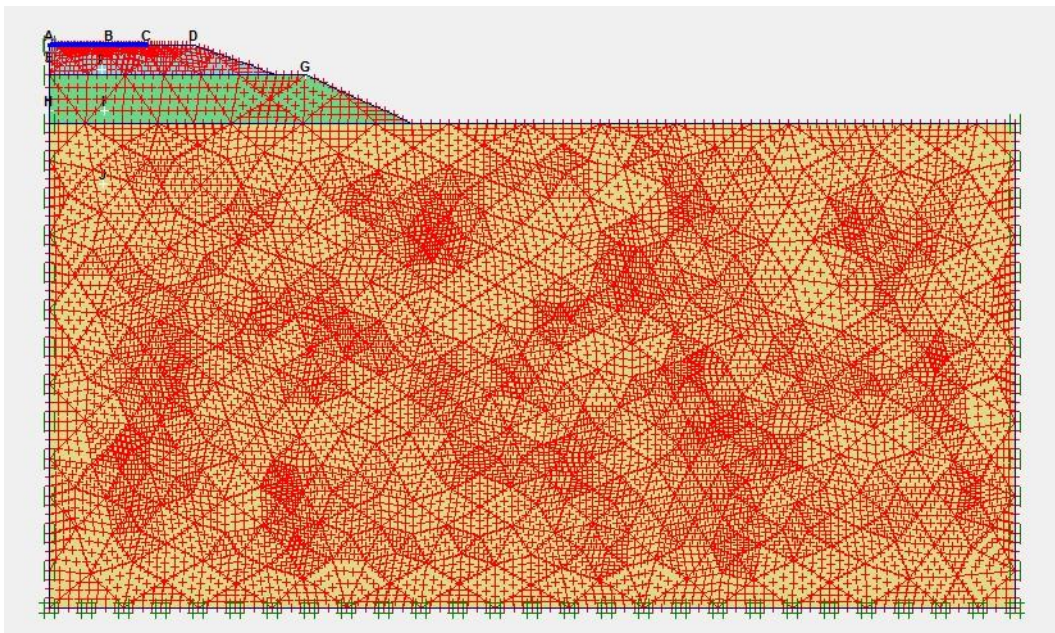
Pemodelan dilakukan dengan tiga variasi kecepatan (v), antara lain: 80 km/jam, 100 km/jam dan 120 km/jam. Variasi ketebalan juga diberikan pada balas sebesar 30 cm, 40 cm dan 50 cm. Dengan perhitungan BoEF, kecepatan dikonversi sehingga diperoleh beban yang

diterima untuk setiap kecepatan. Secara berturut kecepatan 80 km/jam, 100 km/jam dan 120 km/jam menghasilkan beban 83.02 kN/m, 91.23 kN/m dan 99.44 kN/m. Peninjauan pada pemodelan ini dilakukan dengan melihat respon pembebanan pada beberapa titik tinjauan.

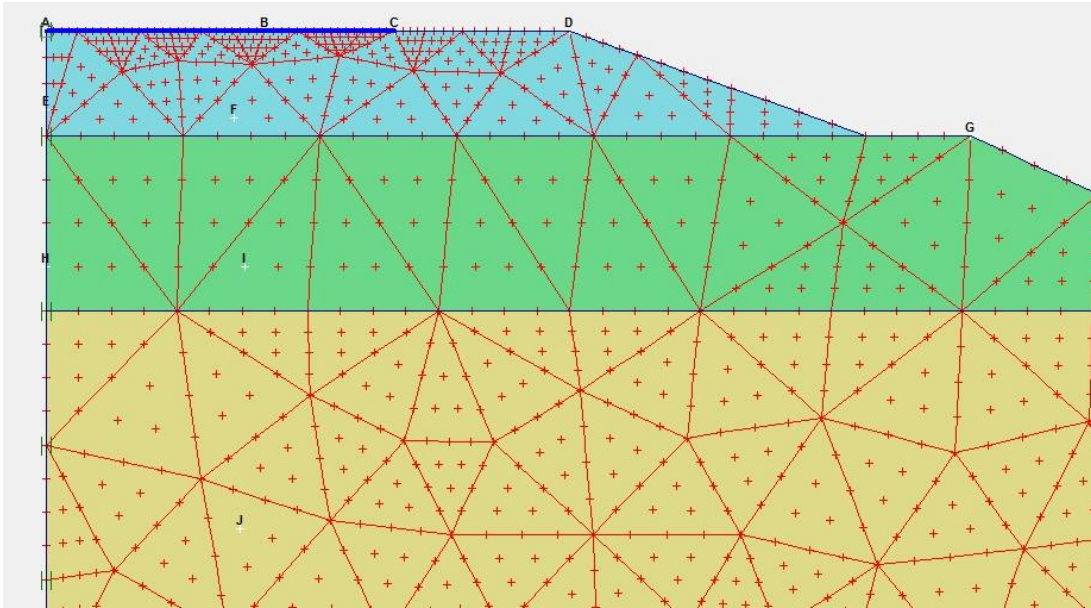
Deformasi vertikal (U_y) terbesar untuk semua variasi kecepatan dan tebal lapisan balas terjadi pada titik J dari 10 titik tinjauan. Secara umum, deformasi vertikal terbesar ditemukan pada model dengan ketebalan balas 30 cm yang diberi kecepatan 120 km/jam sebesar 0.07 m.

Tebal balas yang kecil dibanding variasi lainnya memungkinkan pemampatan tanah yang lebih cepat ketika diberi beban maksimum.

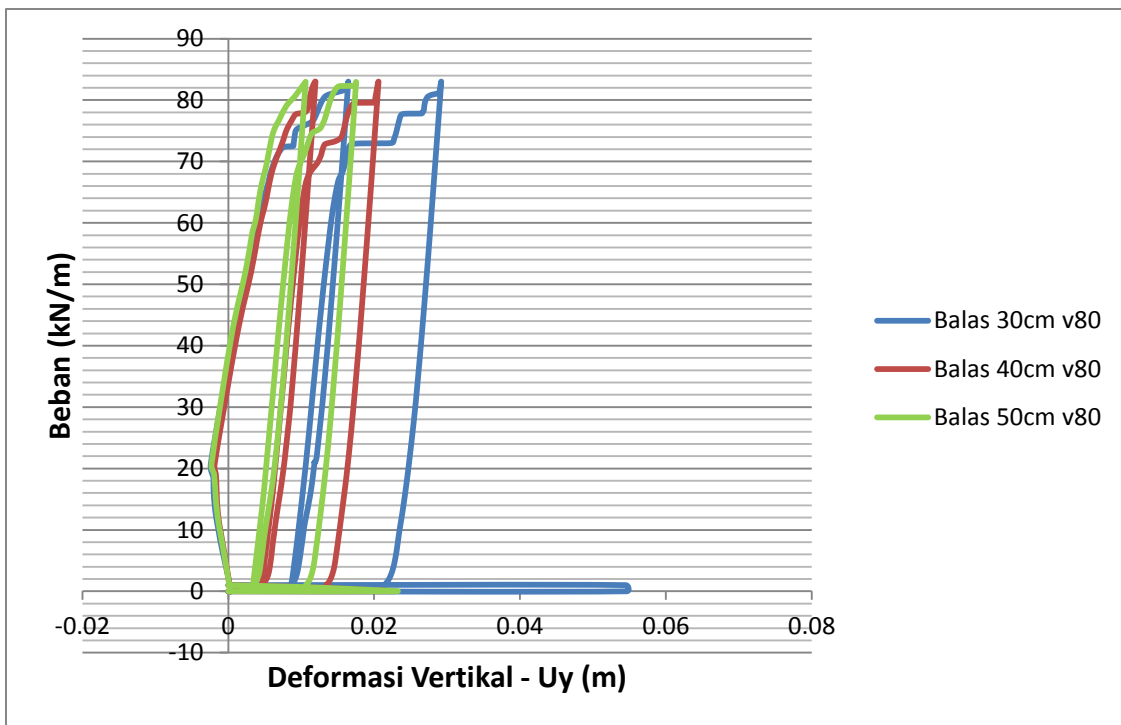
Deformasi vertikal (U_y) terkecil untuk semua variasi kecepatan dan tebal lapisan balas terjadi pada titik G dari 10 titik tinjauan. Secara umum, deformasi vertikal terkecil ditemukan pada model dengan ketebalan balas 40 cm yang diberi kecepatan 80 km/jam sebesar 0.0016 m. Titik G berada di pinggir subbalas dan cukup jauh dari pusat beban sehingga penurunan tanah yang terjadi kecil.



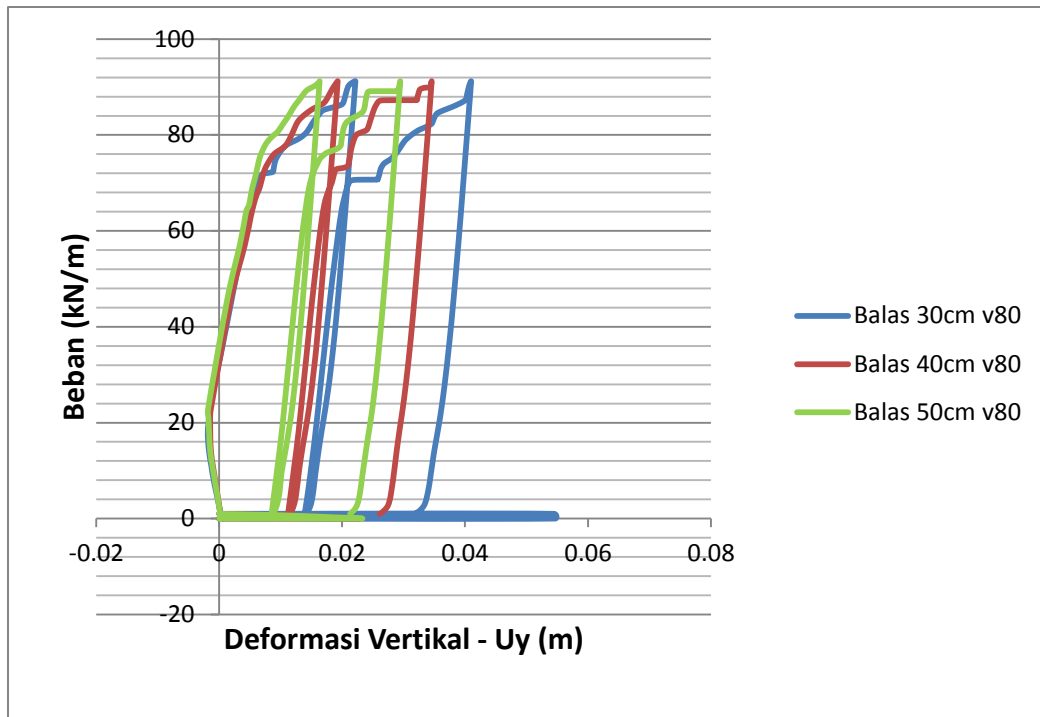
Gambar 3.1 Tampilan geometri setelah dilakukan *Mesh Generate*



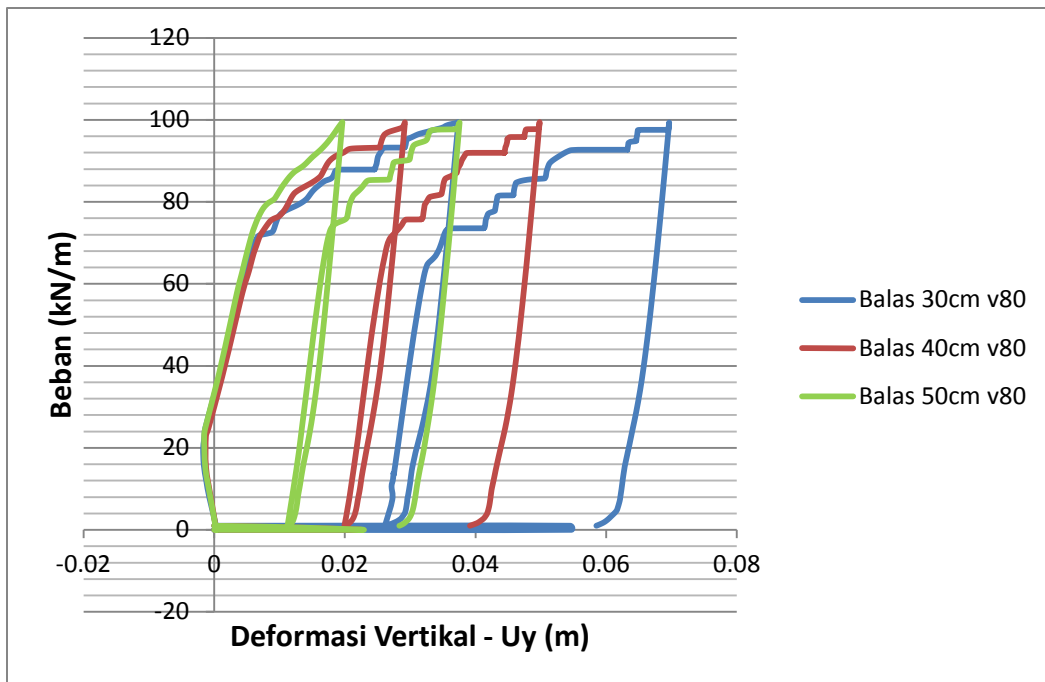
Gambar 3.2 Peninjauan dilakukan pada 10 titik (A-J)



Gambar 3.3 Grafik deformasi vertikal dengan kecepatan 80 km/jam



Gambar 3.4 Grafik deformasi vertikal dengan kecepatan 100 km/jam

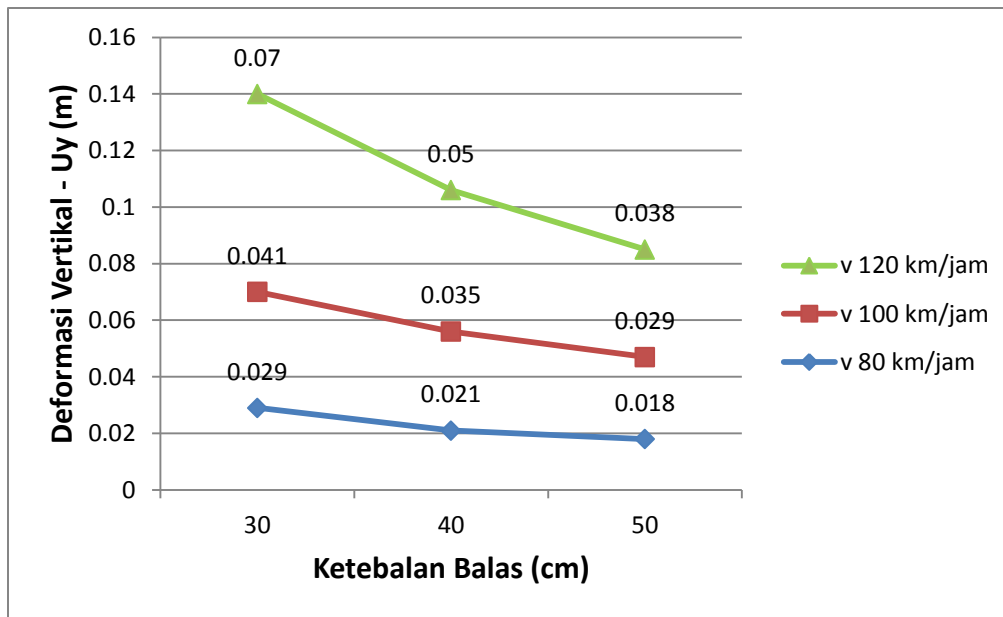


Gambar 3.5 Grafik deformasi vertikal dengan kecepatan 120 km/jam

C. Hubungan antara tebal lapisan balas dengan nilai deformasi vertikal

Hubungan yang diberikan pada grafik menunjukkan deformasi vertikal berkurang seiring bertambahnya tebal lapisan balas dan sebaliknya (Gambar 3.6). Nilai deformasi vertikal mengalami banyak penurunan ketika tebal lapisan balas ditambah 10 cm dari 30 cm menjadi 40

cm, sedangkan pada lapisan balas yang ditambah 10 cm dari 40 cm menjadi 50 cm hanya mengalami sedikit penurunan. Berdasarkan variasi kecepatan yang diberikan juga dapat diketahui bahwa semakin kecil kecepatan, maka semakin kecil deformasi vertikal yang terjadi pada semua variasi ketebalan balas.

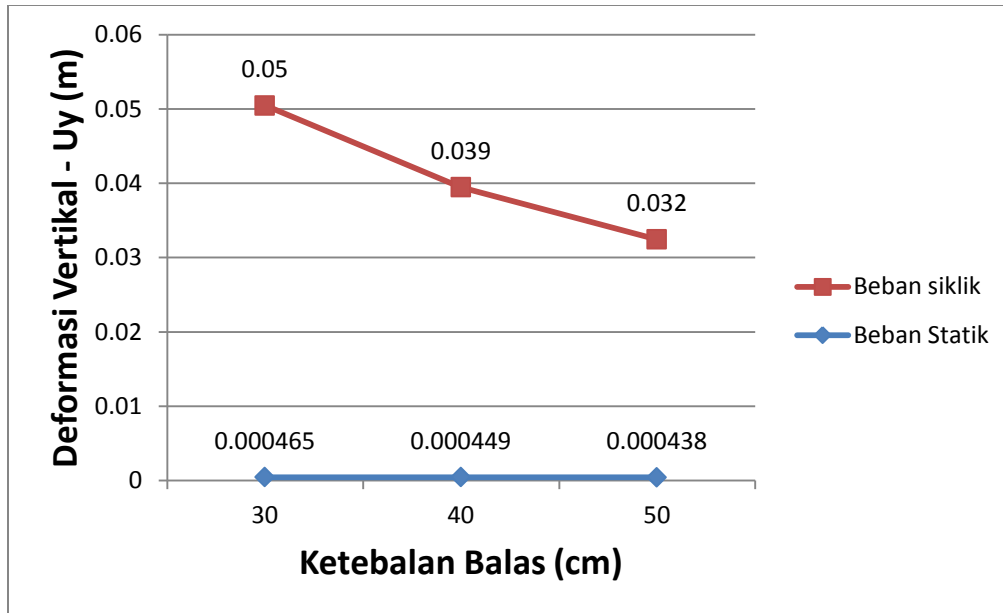


Gambar 3.6 Grafik hubungan deformasi vertikal dan ketebalan balas (tinjauan titik J)

D. Perbandingan antara pembebanan statik dan pembebanan siklik

Penelitian sebelumnya (Dewi, 2015) menghasilkan kesimpulan bahwa deformasi vertikal terbesar untuk semua variasi tebal lapisan balas, terjadi pada bagian tengah bantalan. Sementara untuk nilai deformasi vertikal terkecil untuk semua variasi tebal lapisan balas, terjadi pada bagian ujung bantalan. Membandingkan dengan

penelitian ini, penambahan ketebalan balas cenderung memperkecil deformasi yang terjadi dan sebaliknya. Pada titik tinjauan bagian bantalan yang terkena rel, deformasi vertikal yang diperoleh jauh berbeda (Gambar 3.7). Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan asumsi data material yang digunakan, metode pembebanan dan jumlah beban yang dimasukkan.



Gambar 3.9 Grafik perbandingan pembebanan statik dan siklik (tinjauan titik B)

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada pemodelan numerik struktur jalan rel kereta api menggunakan Plaxis v 8.2, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Menggunakan pembebanan siklik (*cyclic loads*) sebanyak 2 siklus dengan tinjauan 10 titik diperoleh deformasi vertikal terbesar pada titik J sebesar 0.07 m, sedangkan deformasi vertikal terkecil diperoleh pada titik G sebesar 0.0016 m.
2. Variasi ketebalan balas yang dimodelkan menunjukkan pentingnya menentukan ukuran balas yang tepat untuk digunakan. Balas dengan ketebalan 40 cm dan 50 cm lebih mampu memperkecil deformasi yang diterima akibat laju kereta api dibanding variasi 30 cm.

SARAN

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Pemilihan metode numerik yang sesuai dan data yang tepat, akan membuat hasil pemodelan semakin mendekati kondisi di lapangan.
2. Lakukan pengukuran deformasi langsung di lapangan menggunakan *strain gauge*.
3. Perlu dilakukan penilaian pada mutu lapis jalan rel yang diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

Dahlberg, T., 2010. *Railway Track Stiffness Variations – Consequences and Countermeasures*. Jurnal Internasional.

Desai, C.S., 1996. *Dasar – Dasar Metode Elemen Hingga*. Alih Bahasa: Sri Jatno Wirjosoedirdjo, Ph.D. Erlangga, Jakarta.

Dewi, S. 2015. *Pengaruh Ketebalan Balas Terhadap Permodelan Numerik Struktur Jalan Rel: Studi Kasus KM. 117+600 dan KM. 117+800 Stasiun Ketapang, Lampung Utara*. Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C., 1994. *Mekanika Tanah II*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Moorman, C., 2016. *Numerical Investigations on Track-Substructure System Considering the Effect of Different Train Speeds*. Jurnal Internasional, Universitas Stuttgart: Jerman.

Muntohar, A.S., 2009. *Mekanika Tanah*. Lembaga Pengembangan Pendidikan, Penelitian dan Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Natasya, B., 2011. *Studi Pemakaian Tiang Rakit Pada Sebuah Proyek Apartemen di Jakarta Dengan Menggunakan Metode Konvensional Poulos Dan Plaxis Dua Dimensi*. Skripsi, Universitas Indonesia.

Nugraha, R.A., 2015. *Tugas Akhir Pemodelan Numerik Sistem Fondasi Jalan Raya Dengan Teknik Kolom – SiCC*. Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Peraturan Menteri Perhubungan. 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. PM No. 60 Tahun 2012.

Razaq, A., 2011. *Penurunan Struktur Rel Kereta Api Di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Geosintetik*. Tugas Akhir, Universitas Sebelas Maret: Surakarta.

Rose, J.G., 2004. *Comparisons of Railroad Track and Substructure Computer Model Predictive Stress Values and In-Situ Stress Measurements*. Jurnal Internasional, Universitas Kentucky: USA.

Rosyidi, S.A.P., 2015. *Rekayasa Jalan Kereta Api Tinjauan Khusus Jalan Rel*. Lembaga Penelitian, Publikasi dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.