

**PERUBAHAN TEKANAN AIR PORI TANAH AKIBAT BEBAN KEJUT KENDARAAN  
PADA JEMBATAN BANYUMULEK**  
*The Alteration of the Soil's Pore Water Pressure as the Impact of Shock-Load of Vehicles  
on Banyumulek Bridge*

**Khaerul Rizal\*, Didi Supriadi Agustawijaya\*\*, Akmaluddin\*\***

**Abstrak**

*Jembatan Banyumulek merupakan jenis konstruksi jembatan prestressed yang didukung dengan sistem fondasi tiang pancang beton pracetak (Precast Reinforced Concrete Pile). Geologi bawah permukaan pada lokasi penelitian tersusun oleh endapan alluvial berupa lanau hingga pasir. Likuifaksi sangat rentan terjadi pada tanah pasir (non kohesif) dalam keadaan lepas (gradasi seragam). Beban kejut kendaraan dapat meningkatkan tekanan air pori tanah yang mengakibatkan berkurangnya tegangan efektif tanah. Jika tekanan air pori meningkat dan tegangan efektif tanah turun menjadi nol, maka tanah berperilaku sebagai cairan dan tidak mempunyai kekuatan lagi untuk menopang bangunan di atasnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan tekanan air pori tanah akibat beban kejut (tegangan dinamik) kendaraan pada jembatan Banyumulek. Analisis perhitungan tekanan air pori tanah menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak PLAXIS dua dimensi. Dari hasil analisis yang dilakukan, diperoleh nilai perubahan tekanan air pori tanah akibat beban kejut kendaraan sebesar 450 kN/m<sup>2</sup> atau sebesar 1.40 dari kondisi setelah dinormalisasi terhadap beban statis. Perubahan tekanan air pori tersebut mengakibatkan deformasi pada lapisan tanah sebesar 0.247 meter. Semakin besar perubahan tekanan air pori tanah, maka deformasi tanah juga semakin meningkat.*

*Kata kunci : Jembatan, Tanah, Tekanan air pori, Deformasi, PLAXIS.*

**PENDAHULUAN**

Jembatan Banyumulek merupakan jenis konstruksi jembatan *prestressed* yang menghubungkan kota Mataram menuju Bandara Internasional Lombok dan jalur yang menghubungkan arus lalu lintas Pelabuhan Lembar menuju kota Mataram, melintasi sungai Kokok Babak. Dibangun pada tahun 2014 menggunakan sumber dana APBN Tahun 2014, jembatan Banyumulek memiliki total panjang 120 meter (tidak termasuk oprit) dan terdiri atas 3 bagian dengan panjang masing-masing 40 meter. Gelagar dan lantai jembatan ditopang pilar-pilar yang didukung dengan sistem fondasi tiang pancang beton pracetak (*Precast Reinforced Concrete Pile*).

Geologi bawah permukaan di lokasi pembangunan jembatan didasarkan dari hasil pemboran batuan yang dilakukan oleh tim Laboratorium Geoteknik dan Geodesi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram. Hasil pemboran menunjukkan bahwa daerah ini tersusun oleh endapan *alluvial* berupa lanau hingga pasir.

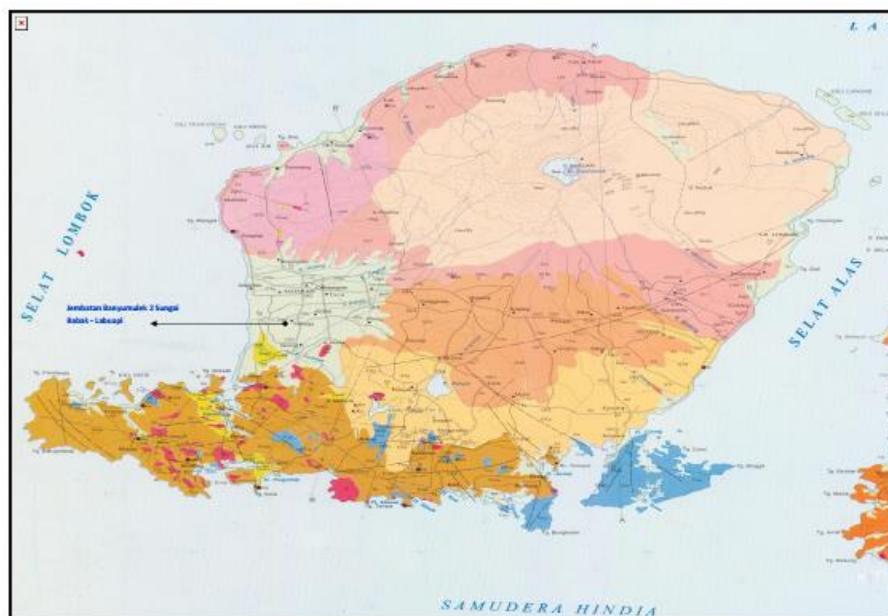
Likuifaksi sangat rentan terjadi pada tanah pasir (*non kohesif*) dalam keadaan lepas (gradasi seragam) dan jenuh air, karena tanah tersebut lebih banyak berpotensi menyimpan air sehingga dapat menyebabkan kehilangan kekuatan geser dan kekakuan pada tanah (Muntohar, 2010). Perilaku beban kejut kendaraan dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser dan kekakuan tanah karena beban kejut kendaraan diduga dapat meningkatkan tekanan air pori tanah yang mengakibatkan berkurangnya tegangan efektif tanah. Jika tegangan efektif tanah turun menjadi nol, maka tanah berperilaku sebagai cairan dan tidak mempunyai kekuatan lagi untuk menopang bangunan di atasnya. Fenomena ini yang seringkali membuat bangunan mengalami keruntuhan.

\* Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram, khaerulrizal34@yahoo.com

\*\* Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram, didiagustawijaya@gmail.com dan akmaluddin@unram.ac.id

Berdasarkan data perencanaan yang ada, pengaruh perubahan tekanan air pori tanah sama sekali tidak diperhitungkan dalam perencanaan Jembatan Banyumulek. Adapun nilai properti tanah seperti nilai kohesi dan sudut geser tanah, hanya digunakan untuk menghitung tekanan tanah aktif dalam perhitungan kombinasi pembebanan dan untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang. Berdasarkan fenomena di atas, maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui perubahan tekanan air pori tanah yang diakibatkan oleh beban kejut (tegangan dinamik) kendaraan pada jembatan Banyumulek, dari nilai perubahan tekanan air pori tersebut dapat diketahui deformasi yang terjadi sehingga dapat diprediksi umur layanan jembatan tersebut.

Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan Juni tahun 2015 dengan mengambil lokasi penelitian di Desa Banyumulek, Kecamatan Labu Api, Kabupaten Lombok Barat. Objek penelitian adalah Jembatan Banyumulek seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Geologi Regional P. Lombok dan Titik Lokasi Jembatan Kokok Babak Pada Satuan Kelompok Batuan *Alluvial* Berumur Holosen

## TINJAUAN PUSTAKA

### Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai/saluran air, lembah atau menyalang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi: aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Sedangkan menurut PP No. 34 Tahun 2006 pasal 86 ayat (3) tentang jalan, menjelaskan bahwa yang dimaksud dengan jembatan adalah jalan yang terletak di atas permukaan air dan/atau di atas permukaan tanah. Jembatan memiliki peranan yang sangat penting dalam menopang sistem transportasi darat yang ada, maka jembatan harus dibuat dengan kuat dan tidak mudah rusak. Kerusakan pada jembatan dapat menimbulkan gangguan terhadap kelancaran lalu lintas jalan.

## Klasifikasi Tanah

Menurut Das (1988), klasifikasi tanah merupakan cara menentukan dan mengidentifikasi jenis tanah yang berbeda-beda berdasarkan sifat-sifat material tanah. Jenis tanah yang sudah teridentifikasi tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan subkelompok pemakaiannya. Klasifikasi tanah dapat dilakukan dengan penyelidikan langsung di lapangan ataupun uji laboratorium. Hasil dari klasifikasi tanah dapat memberikan gambaran mengenai sifat-sifat tanah untuk keperluan desain. Untuk keperluan analisis geoteknik, penentuan kondisi tanah, jenis dan ketebalan lapisan tanah serta kekakuan tanah, dapat dilakukan dengan korelasi antara parameter tanah, baik dari uji laboratorium maupun penyelidikan lapangan. Dari hasil uji laboratorium dapat diketahui sifat fisik dan mekanik tanah, sedangkan penyelidikan lapangan untuk mengetahui secara visual jenis tanah, per lapisan tanah, pengambilan sampel undisturbed dan menentukan letak muka air tanah.

## Deformasi Tanah

Analisis deformasi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besarnya pergeseran dan parameter-parameter deformasi. Dalam analisis deformasi, diperlukan data tentang materi yang mengalami deformasi. Data tersebut meliputi status geometrik dan status fisiknya. Status geometrik terdiri atas posisi, bentuk dan dimensi materi, sedangkan status fisik meliputi sifat materi, tegangan yang terjadi pada materi (*internal stress*) dan hubungan antara gaya dan deformasi yang terjadi.

## Tekanan Air Pori Tanah

Penambahan beban pada lapisan tanah dapat mengakibatkan meningkatnya tekanan air pori dalam tanah. Lapisan tanah yang mendapat tambahan tekanan akibat pembebanan, air pori akan mengalir keluar sehingga terjadi proses pemampatan. Selama berlangsungnya proses pemampatan akan diikuti penyusunan kembali butir-butir tanah tersebut. Jika suatu tanah lempung yang jenuh dan mempunyai permeabilitas yang rendah diberi beban, maka tekanan air pori akan segera naik. Akibat tambahan beban, air pori akan keluar dengan pelan sehingga tanah tersebut mengalami deformasi dalam jangka waktu yang lama.

## Simulasi Numeris

Secara umum, pada analisis yang digunakan untuk penelitian ini, tanah akan dimodelkan dalam bentuk Mohr-Coulumb, model Mohr-Coulumb melibatkan lima parameter masukan yaitu, Modulus Young dan Rasio Poisson untuk menggambarkan elastisitas tanah, sudut geser dan kohesi untuk menggambarkan plastisitas tanah, dan sudut dilatasi dari tanah. Model ini mempresentasikan orde pertama dari perilaku tanah atau batuan. Semua tanah dimodelkan setelah geometri tanah dibuat dengan menggunakan Geometri Line yang membentuk sebuah ruang-ruang yang disebut sebagai *Cluster*. Dalam kondisi tak-terdrainase, seluruh *cluster* akan didefinisikan berperilaku tak-terdrainase, meskipun *cluster* tersebut berada di atas level freatik. Parameter-parameter yang dimasukkan adalah parameter model efektif yaitu: modulus young ( $E$ ), angka poisson ( $\nu$ ), sudut geser ( $\phi$ ), dan kohesi ( $c$ ).

## METODE PENELITIAN

### Studi Literatur

Untuk dapat melakukan penelitian dengan baik, harus dilakukan studi literatur terlebih dahulu. Adapun studi literatur yang dilakukan meliputi perilaku pondasi tiang, struktur jembatan dan berbagai karakteristiknya, cara kerja PLAXIS versi 8.6. Literatur diambil dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan telah dipublikasikan dalam bentuk buku maupun jurnal-jurnal ilmiah.

### Pengumpulan Parameter

Parameter yang harus dikumpulkan adalah data lapisan tanah, denah struktural dan data pembebanan dari jembatan tersebut. Data tersebut diperoleh dari proyek pembangunan jembatan banyumulek 2. Adapun data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan yang sudah dilakukan oleh Tim Laboratorium Geoteknik dan Geodesi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram. Sedangkan data teknis jembatan diperoleh dari hasil perencanaan yang sudah dilakukan oleh Satuan Kerja Non Vertikal Tertentu Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi NTB.

### Analisis PLAXIS

Secara umum, PLAXIS 2 Dimensi sebenarnya merupakan perangkat lunak berbasis pendekatan elemen hingga yang digunakan untuk menganalisis berbagai aplikasi geoteknik. Melalui perangkat lunak ini, tanah dapat dimodelkan untuk menstimulasikan perilaku tanah tersebut. Pada penelitian ini, analisis PLAXIS dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan tanah.

Semua jenis tanah akan dimodelkan ke dalam Mohr-Coulumb dan dianalisis dengan basis perilaku tak-terdrainase.

2. Membuat pemodelan pile cap jembatan.

Pada PLAXIS, komponen pile cap akan dimodelkan menggunakan pelat (*plate*). Untuk memodelkan komponen *pile cap*, harus memasukkan beberapa parameter, yaitu: properti kekakuan, angka poisson, berat, plastisitas.

3. Memodelkan tiang pancang.

Pada PLAXIS, komponen tiang akan dimodelkan menggunakan *Geometri Line*. Untuk memodelkan komponen tiang, harus dimasukkan beberapa parameter, yaitu: modulus elastis tiang, angka poisson, berat isi beton.

4. Membuat pemodelan pembebanan.

Pada penelitian ini, nilai beban statis merupakan beban yang terdistribusi terpusat. Sedangkan untuk beban gempa diambil dari data gempa wilayah Indonesia zona IV pada kondisi batuan lunak. Untuk model beban kejut, nilai percepatan menggunakan data hasil percepatan kendaraan dengan menggunakan persamaan gerak lurus berubah beraturan.

5. Penetapan *Boundary Conditions*.

*Boundary Conditions* yang digunakan merupakan *Standard Fixities* sehingga PLAXIS sendiri yang akan menetapkan kondisi batas agar perilaku pemodelan serealistis mungkin.

6. Penetapan *Initial Conditions*.

Penetapan *initial conditions* melibatkan dua analisis, yaitu analisis *initial pore pressures* dan analisis *initial pressures*. Untuk menganalisis tekanan air pori awal, harus ditetapkan terlebih dahulu kedalaman muka air tanah. Pada penelitian ini, muka air tanah berada pada kedalaman 1.5 meter dari permukaan tanah eksisting.

#### 7. Tahap perhitungan

Jenis analisis yang dipilih adalah analisis plastis dengan input pembebanan *Staged Construction* dimana tahap pertama merupakan konstruksi pile cap, tahap kedua konstruksi tiang, tahap ketiga pemberian beban struktural, tahap keempat pemberian beban gempa, dan tahap kelima merupakan pemberian beban kejut. Oleh karena itu, hasil deformasi yang diperoleh pada akhir perhitungan merupakan deformasi kumulatif dari semua tahap perhitungan.

#### 8. Hasil keluaran

Output data adalah profil deformasi dan tegangan yang terjadi dari masing-masing model.

#### 9. Analisis keamanan

Analisis angka aman dengan Plaxis mengacu pada prinsip dasar dari metode *phi-c reduction* yang mana faktor aman dihitung secara global. Metode *phi-c reduction* didasarkan pada asumsi pendekatan dengan mereduksi parameter kuat geser tanah yang tersedia berturut-turut, yaitu  $c$  dan  $\phi$  secara otomatis sampai terjadi keruntuhan pada tanah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Simulasi Numeris Kondisi Awal

Pada penelitian ini, digunakan model kondisi awal jembatan yang dimodelkan secara dua dimensi (*plane strain*) dengan perilaku material tanah menggunakan model Mohr-Coulomb (*elastic perfectly plastic*) dan perilaku material pondasi menggunakan model Elastis Linier. Adapun parameter input material yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Detail Parameter Tanah Dalam Pemodelan PLAXIS 8.6.

Parameter	Satuan	Lapis 1	Lapis 2	Lapis 3	Lapis 4
Kedalaman	M	0–2.5	1.2–11	8–13.5	10.5–20
Model material	-	MC	MC	MC	MC
Tipe perilaku	-	U	U	U	U
Berat isi tanah di bawah MAT ( $\gamma_{sat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	15.00	17.52	16.98	16.50
Berat isi tanah di atas MAT ( $\gamma_{unsat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	14.20	17.30	16.70	15.10
Indeks plastisitas	-	22.16 %	Non plastis	8.67	Non plastis
Koef. Permeabilitas horizontal ( $k_x$ )	m/s	$1.0 \times 10^{-7}$	$8.0 \times 10^{-5}$	$8.0 \times 10^{-7}$	$3.6 \times 10^{-5}$
Koef. Permeabilitas vertikal ( $k_y$ )	m/s	$1.0 \times 10^{-7}$	$8.0 \times 10^{-5}$	$8.0 \times 10^{-7}$	$3.6 \times 10^{-5}$
Modulus young ( $E_{ref}$ )	kN/m <sup>2</sup>	5000	10000	7000	12000
Rasio poisson ( $\nu$ )	-	0.35	0.30	0.25	0.30
Kohesi ( $c_{ref}$ )	kN/m <sup>2</sup>	3.2	4.9	7.9	11.5
Sudut geser ( $\phi$ )	°	4.2	19.6	11.9	18.15
Sudut dilatasi ( $\psi$ )	°	0	0	0	0

Tabel 2. Parameter Beton Dalam Pemodelan PLAXIS 8.6

Parameter	Satuan	Beton pondasi	Pile cap
Kedalaman	M	20	1
Model material	-	Elastic linier	Elastic linier
Tipe perilaku	-	Tidak porous	Tidak porous
Berat isi beton ( $\gamma_{sat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	24	24
Modulus young ( $E_{ref}$ )	kN/m <sup>2</sup>	$3.03 \times 10^7$	
Rasio poisson ( $\nu$ )	-	0.3	0.3
Kekakuan flexural (EI)	kN/m <sup>2</sup> /m	-	$1.01 \times 10^7$
Kekakuan aksial (EA)	kN/m	-	$1.21 \times 10^8$

Lapisan tanah di bawah jembatan tersusun oleh 4 (empat) lapisan dengan material tanah yang berbeda jenis seperti terlihat pada Gambar 2.



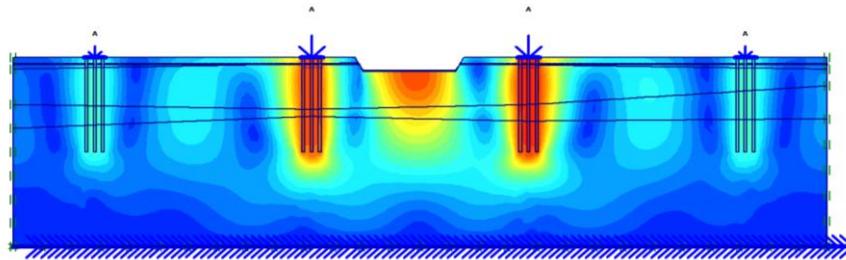
Gambar 2. Set Lapisan Tanah yang Digunakan Dalam Pemodelan

Berdasarkan pada hasil simulasi numeris pada kondisi awal menggunakan parameter input seperti Tabel 2, tekanan air pori pada kondisi awal sebesar  $-385.0 \text{ kN/m}^2$ .

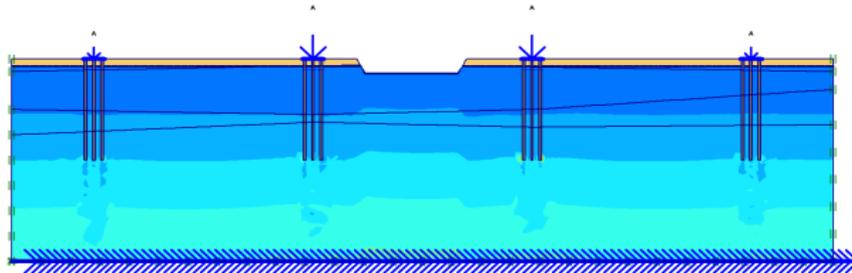
### Hasil Simulasi Model dengan Beban Statis

Pada konstruksi jembatan yang dianalisis pada penelitian ini, bentuk pembebanannya seragam. Dengan demikian, beban-beban terpusat yang berada pada satu barisan yang sama dibagi dengan lebar jembatan. Pembagian beban dengan lebar jembatan dianggap perlu dilakukan mengingat input pembebanan terpusat pada pemodelan plane-strain di PLAXIS Versi 8.6 merupakan beban per satuan meter arah sumbu z atau lebar jembatan. Pembebanan yang dijadikan input sudah merupakan beban garis sepanjang arah sumbu z yang terbobot, dimana pada posisi abutmen beban yang bekerja sebesar 50% m dari beban maksimal yang ada yaitu sebesar  $476 \text{ kN/m}$ , sedangkan pada posisi pilar beban yang bekerja sebesar 100% yaitu sebesar  $952 \text{ kN/m}$ .

Perpindahan tanah arah horizontal paling banyak terjadi pada daerah pilar sisi Utara maupun Selatan, sedangkan perpindahan arah vertikal banyak terjadi di bawah sungai. Adapun perubahan tekanan air pori tanah banyak terjadi di ujung tiang pancang pilar sisi Selatan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 dan 4 hasil output pemodelan PLAXIS Versi 8.6.



Gambar 3. Perpindahan Total Tanah (Utot) Akibat Beban Statis



Gambar 4. Tekanan Air Pori Total Tanah Akibat Beban Statis

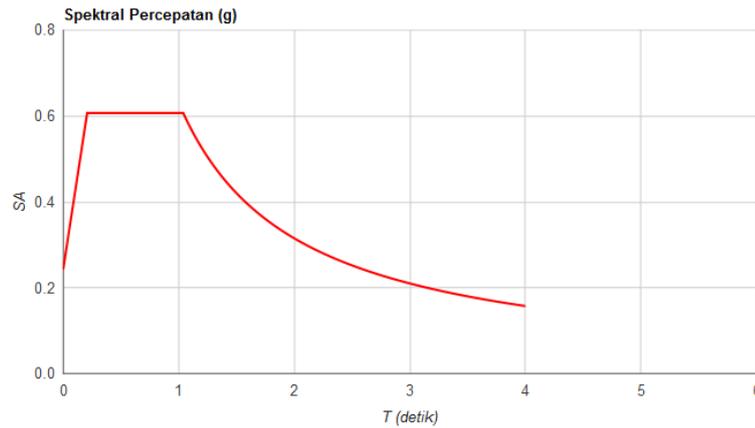
Berdasar pada hasil simulasi numeris pada kondisi penambahan beban statis, diperoleh nilai deformasi tanah sebesar 0.035 meter, sedangkan tekanan air pori tanah sebesar -1130.0 kN/m<sup>2</sup>.

### Hasil Simulasi Model dengan Beban Gempa

Untuk mengetahui perilaku deformasi tanah, maka dilakukan simulasi dengan penambahan beban gempa yang dianggap mungkin bisa terjadi pada lapisan tanah. Pemberian beban gempa dilakukan untuk mensimulasikan pengaruh gaya gempa terhadap tanah. Gaya akibat gempa merupakan sebuah beban yang bersifat sementara yang dikategorikan sebagai kejadian khusus dan luar biasa, dimana dampak yang ditimbulkan bisa tidak berpengaruh sampai memberikan efek kerusakan.

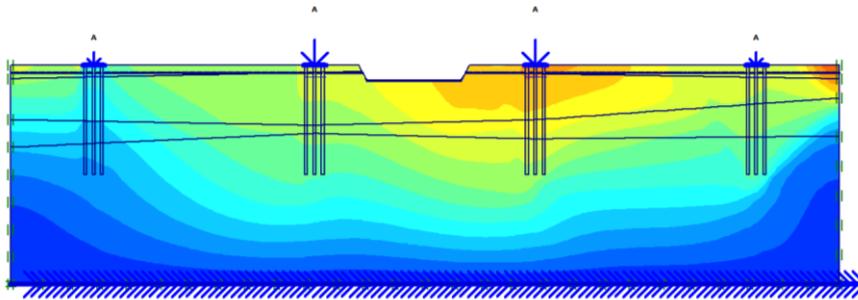
Pada penelitian ini, simulasi gempa dilakukan menggunakan data Nilai Spektral Percepatan Di Permukaan Dari Gempa Risk-Targeted Maximum Consider Earthquake Dengan Probabilitas Keruntuhan Bangunan 1% dalam 50 Tahun Lokasi: Mataram ( Lat: -8.576 , Long: 116.100 ) dengan percepatan puncak batuan dasar (PGA) sebesar 0,15g – 0,60g (SNI 03-1726-2002, Badan Standardisasi Nasional. [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)) seperti terlihat pada Gambar 5.

Model yang digunakan dalam simulasi ini adalah kondisi tanah setelah mengalami pembebanan. Selanjutnya, model ditambahkan beban gempa beserta kondisi batas untuk beban gempa. Kondisi batas yang digunakan adalah standard earthquake boundary dengan memberikan perpindahan 0.01 meter pada dasar model dan batas penyerap untuk batas samping. Data gempa yang digunakan berdasarkan file spektrum gempa dengan PGA sebesar 0,15775 g atau 157.75 cm/detik<sup>2</sup> dan durasi 4 detik.

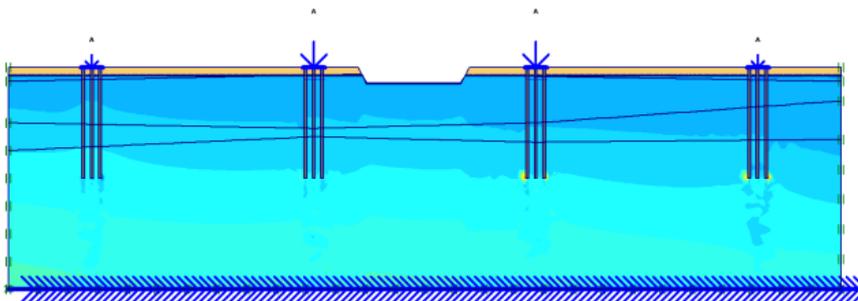


Gambar 5. Kurva Spektrum Gempa

Dari hasil simulasi numeris yang dilakukan, terjadi perubahan tekanan air pori yang sangat signifikan sehingga deformasi yang terjadi juga sangat besar artinya pondasi mengalami keruntuhan akibat gempa yang terjadi. Perpindahan terbesar terjadi pada posisi pilar sisi Selatan sebesar 0.261 meter, sedangkan nilai tekanan air pori tanahnya sebesar  $-1610 \text{ kN/m}^2$  seperti yang ditunjukkan dalam bentuk keluaran hasil simulasi pada Gambar 6 dan 7.



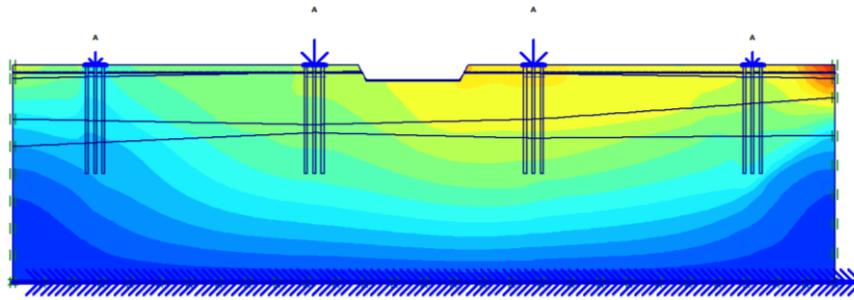
Gambar 6. Total Perpindahan Tanah Hasil Simulasi Penambahan Beban Gempa



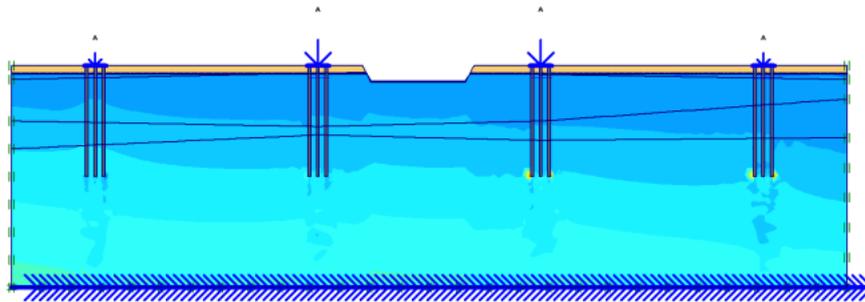
Gambar 7. Tekanan Air Pori Tanah Hasil Simulasi Penambahan Beban Gempa

### Hasil Simulasi Numeris dengan Beban Stasis dan Beban Kejut

Untuk model beban kejut, nilai percepatan menggunakan data hasil percepatan kendaraan dengan menggunakan persamaan gerak lurus berubah beraturan. Berdasarkan hasil percobaan lapangan menggunakan data percepatan kendaraan jenis truck ready mix, dimana didapat nilai percepatan kendaraan sebesar  $0.118 \text{ m/s}^2$ . Simulasi numeris ini dilakukan untuk mengevaluasi perilaku tanah pada kondisi eksisting yaitu kondisi saat dimulainya penelitian.



Gambar 8. Perpindahan Total Tanah Akibat Penambahan Beban Kejut Kendaraan



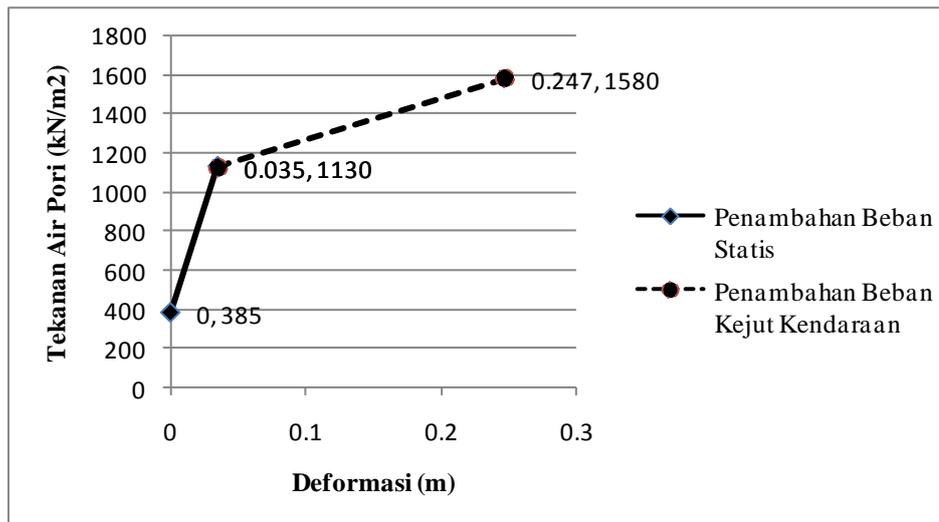
Gambar 9. Tekanan Air Pori Tanah Akibat Penambahan Beban Kejut Kendaraan

Hasil output simulasi numeris seperti pada Gambar 8 menunjukkan adanya deformasi tertinggi sebesar 0.247 meter terjadi di daerah opit jembatan sisi selatan (arah Gerung). Sedangkan perubahan tekanan air pori yang signifikan sebesar  $-1580 \text{ kN/m}^2$  terjadi di ujung tiang pancang abutmen sisi Selatan (arah Gerung) dan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Adapun nilai tegangan total tanah sebesar  $1840 \text{ kN/m}^2$ . Dari hasil tersebut menghasilkan perbandingan antara tekanan air pori dengan tegangan total tanah sebesar 85.9 %. Nilai tersebut sangat memberikan peluang untuk terjadinya likuifaksi, karena jika nilai tekanan air pori mendekati nilai tegangan total tanah maka tegangan efektif dari tanah tersebut tidak ada atau nol. Kondisi tersebut di atas mengakibatkan lapisan tanah sudah berubah kondisi menjadi cair, sehingga lapisan tanah tersebut tidak memiliki kekuatan lagi untuk menopang bangunan yang ada di atasnya.

## Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis numeris, perubahan tekanan air pori tanah tersebut memberikan peluang terjadinya likuifaksi pada daerah penelitian, sehingga sangat mempengaruhi umur layan jembatan. Setiap penambahan beban, tekanan air porinya juga mengalami peningkatan dan diikuti dengan peningkatan deformasi pada lapisan tanah maupun pada pondasi jembatan. Adapun dari hasil analisis numeris yang dilakukan, posisi pilar dan abutmen jembatan sisi selatan merupakan daerah yang paling labil dibandingkan dengan posisi pilar dan abutmen sisi Utara.

Hasil analisis numeris menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan air pori tanah, maka deformasi tanah juga akan mengalami peningkatan baik akibat beban statis maupun beban dinamis yang diakibatkan oleh penambahan beban kejut atau tegangan dinamik kendaraan. Deformasi tanah yang paling signifikan terjadi pada kondisi lapisan tanah menerima penambahan beban kejut, dimana pada saat lapisan menerima beban statis tekanan air porinya sebesar 0.035 meter, namun pada saat penambahan kejut deformasi meningkat menjadi 0.247 meter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva Hubungan Antara Tekanan Air Pori Tanah – Deformasi Tanah Kondisi Penambahan Beban Pada Lokasi Pembangunan Jembatan Banyumulek

Berdasarkan hasil analisis numeris, jika dinormalisasi pada kondisi setelah menerima beban statis diperoleh peningkatan tekanan air pori tanah sebesar 1.40 seperti pada tabel di bawah ini:

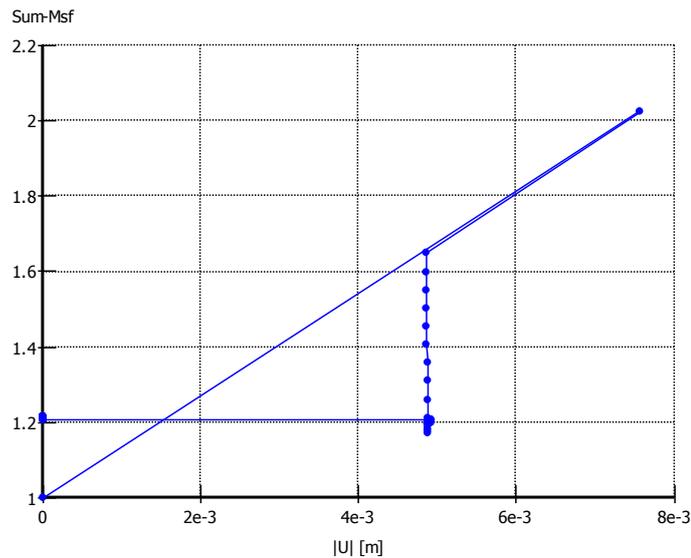
Tabel 3. Normalisasi Tekanan Air Pori Tanah Terhadap Kondisi Beban Statis

No.	Uraian	Aktive Pore Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Normalisasi Tekanan Air Pori Tanah
1	Kondisi awal	385.00	0.34
2	Kondisi menerima beban statis	1130.4	1.00
3	Kondisi penambahan beban gempa	1610.0	1.42
4	Kondisi penambahan beban kejut kendaraan.	1580.0	1.40

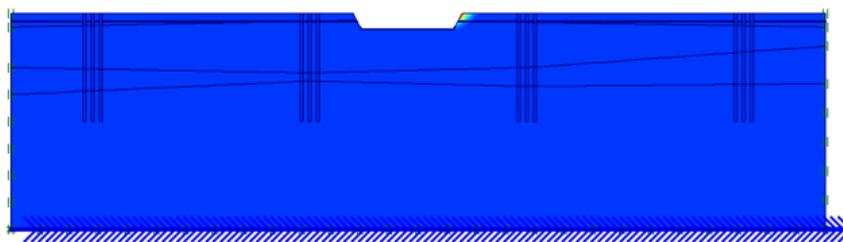
### Analisis Faktor Keamanan

Analisis angka aman dengan Plaxis mengacu pada prinsip dasar dari metode phi-c reduction yang mana faktor aman dihitung secara global. Metode phi-c reduction didasarkan pada asumsi pendekatan dengan mereduksi parameter kuat geser tanah yang tersedia berturut-turut, yaitu c dan  $\phi$  secara otomatis sampai terjadi keruntuhan pada tanah.

Berdasarkan analisis numeris yang dilakukan diperoleh angka keamanan sebesar 1.215 pada saat terjadi keruntuhan akibat penambahan beban gempa maupun beban kejut kendaraan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Adapun kondisi bidang runtuh yang terbentuk terjadi pada sekitar bibir sungai seperti pada Gambar 12.



Gambar 11. Evaluasi faktor keamanan untuk kedua tahapan konstruksi



Gambar 12. Bidang Runtuh Akibat Beban yang Bekerja

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Perilaku tanah pada jembatan banyumulek setelah mengalami penambahan beban kejut (tegangan dinamik) kendaraan pada saat terbebani beban maksimal mengalami perubahan tekanan air pori tanah yang signifikan sebesar  $450.00 \text{ kN/m}^2$  atau sebesar 140 % dari kondisi setelah menerima beban statis. Manakala nilai tekanan air pori tersebut dibandingkan dengan tegangan total tanah yang terjadi, maka dihasilkan nilai perbandingan sebesar 85.9 %, sehingga dari nilai perbandingan tersebut lapisan tanah pada lokasi penelitian berpeluang untuk terjadinya likuifaksi. Akibat perubahan tekanan air pori tanah tersebut di atas, lapisan tanah pada daerah penelitian mengalami deformasi sebesar 0.247 meter pada kondisi penambahan beban kejut kendaraan. Dari analisis keamanan secara numeris diperoleh angka keamanan pada kondisi runtuh akibat beban statis dan beban kejut (tegangan dinamik) kendaraan sebesar 1.215. Nilai angka aman tersebut masih kurang dari syarat yang ditetapkan sehingga pondasi kurang stabil menerima beban maksimal dengan penambahan beban kejut kendaraan.

### Saran

Untuk mencegah terjadinya longsoran pada lereng sungai, maka perlu dilakukan stabilisasi pada lereng sungai tersebut. Adapun untuk menjaga umur layan jembatan, disarankan kepada instansi

terkait dalam hal ini Balai Pembangunan Jalan dan Jembatan Nasional VIII untuk melakukan pengecekan tekanan air pori secara berkala pada lokasi Jembatan Banyumulek, sehingga bisa dilakukan penanganan lebih lanjut sebelum terjadi deformasi yang berlebihan. Disarankan untuk kedepannya dalam merencanakan suatu konstruksi bangunan baik gedung maupun jembatan, sangat perlu diperhitungkan parameter perubahan tekanan air pori tanah, apalagi pada kondisi lapisan tanah pasir lepas.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Das, B.M., 1988, " Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1 ", Mochtar. N.E. & Mochtar, L.B., Erlangga, Jakarta
- Muntohar, A.S., 2010, " Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Deformasi Tanah Akibat Gempa Bumi " Laporan Penelitian UMY, Yogyakarta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 tahun 2006 pasal 86 ayat (3) tentang jalan, 2006, Jakarta
- Standar Nasional Indonesia, 2002, " Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002) ", Badan Standardisasi Nasional, Jakarta. [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)
- Supriyadi, B. Muntohar A.S., 2007, " Jembatan ", Beta Offset, Yogyakarta
- Syabhana, A.J. Sugianti, K., 2013, " Pemodelan 2D perubahan tekanan air pori hubungannya dengan Likuifaksi: Studi kasus Kabupaten Bantul ", Daerah Istimewa Yogyakarta, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 4 No. 3 Desember 2013:63–177