

ANALISIS TIANG PANCANG SEBAGAI DINDING PENAHAN TANAH MENGUNAKAN PROGRAM METODE ELEMEN HINGGA

Hans Wilsen Cahyadinata¹ dan Chaidir Anwar Makarim²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
hans.325160072@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
chaidir259@gmail.com

Masuk: 30-06-2020, revisi: 25-07-2020, diterima untuk diterbitkan: 05-08-2020

ABSTRACT

In recent years the number of infrastructure construction in Indonesia is surging. Sometimes soil excavation and filling at the construction site needed to be done. Disturbtion of soil may cause soil instability at the site so in order to prevent it from collapsing constructing a retaining wall is one possible solution like constructing a retaining wall from concrete piles on river flow area to replace the old soil retaining wall that broke down. Rainfall is simulated by staging the rise of both groundwater and river surface level. The concrete piles used have dimension of 400x400 mm and 0,8 m between each pile and topped of with capping beam 0,8 m wide and 0,5 m thick. Calculation is done by program for deflection and moment of pile with Mohr-Coulomb model. Deflection and moment of pile when groundwater level is at -6 meter is 2,376 cm and 115,40 kNm, then 4,245 cm and 199,95 kNm when groundwater level reaches ± 0 meter. The results will then be compared agaisnt maximum deflection and moment allowed for the pile. After analysis is done it is found that both deflection and moment experienced a greater jump in value when groundwater level is nearing top of pile.

Keywords: soil retaining wall; concrete driven pile; river; groundwater level; finite element method

ABSTRAK

Beberapa tahun belakangan banyak pembangunan yang berjalan di Indonesia. Namun terkadang kontur tanah pada lokasi pembangunan kurang sesuai dengan kebutuhan desain sehingga dilakukan penggalian atau pengurugan. Pengubahan kontur tanah dapat menyebabkan ketidakstabilan pada tanah di lokasi sehingga salah satu solusi untuk mencegah terjadinya longsor pada tanah adalah dengan membuat dinding penahan tanah. Salah satu hal yang menarik adalah pembangunan dinding penahan tanah dari tiang pancang beton di daerah aliran sungai untuk menggantikan dinding penahan tanah lama yang rusak. Perhitungan akan mensimulasikan terjadinya hujan sehingga terjadi peningkatan muka air tanah dan permukaan sungai secara bertahap. Tiang yang digunakan pada pemodelan memiliki ukuran 400x400 mm dengan jarak antar tiang 0,8 meter yang dihubungkan oleh capping beam selebar 0,8 meter dan tebal 0,5 meter. Perhitungan dilakukan dengan program untuk mencari defleksi dan momen pada tiang pada pemodelan Mohr-Coulomb. Defleksi dan momen yang terjadi pada tiang saat muka air tanah -6 meter sebesar 2,376 cm dan 115,40 kNm, kemudian saat ± 0 meter sebesar 4,245 cm dan 199,95 kNm. Hasil defleksi dan momen kemudian dibandingkan terhadap syarat batas yang sudah ditentukan sebelumnya. Setelah analisis dilakukan ditemukan bahwa kenaikan defleksi dan momen paling besar terjadi pada tahap dimana air naik mendekati puncak tiang.

Kata kunci: dinding penahan tanah; tiang pancang beton; sungai; muka air tanah; metode elemen hingga

1. PENDAHULUAN

Sekarang ini, banyak pembangunan infrastruktur yang sedang berjalan di Indonesia. Namun kerap kali pada proses pembangunan diperlukan adanya pengubahan kontur tanah supaya sesuai dengan desain yang diberikan. Pengubahan muka tanah seperti penggalian dan pengurugan tanah dapat mempengaruhi kestabilan tanah. Salah satu cara untuk supaya tanah yang kestabilannya terganggu tidak longsor adalah dengan membangun dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah berguna untuk menahan gaya yang diakibatkan oleh tanah di belakang dinding.

Namun seperti struktur lainnya, dinding penahan tanah juga dapat mengalami kegagalan. Kegagalan yang dialami dinding penahan tanah bisa berakibat dari kesalahan desain, pembangunan yang dilakukan dengan tidak hati-hati, dan juga faktor alam seperti hujan atau gempa bumi. Salah satu contoh kasus kegagalan dinding penahan tanah adalah dinding penahan tanah di daerah Depok yang terbuat dari pasangan batu. Hujan lebat yang mengguyur daerah Jakarta dan sekitarnya pada awal tahun 2020 menyebabkan kenaikan muka air pada tanah di belakang dinding. Hujan juga menyebabkan aliran air sungai yang mengalir di sebelahnya semakin deras. Kedua faktor tersebut dapat menjadi alasan kegagalan pada dinding penahan tanah tersebut.

Setelah kejadian tersebut, tentu diperlukan pembangunan dinding penahan tanah yang baru. Dinding penahan tanah tersebut harus didesain agar kejadian yang sama tidak terulang kembali. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, banyak metode baru yang dikembangkan yang bermanfaat dalam mendesain struktur. Salah satu metode tersebut adalah metode elemen hingga (*finite element method*). Selain metode-metode baru, juga mulai diciptakan program-program yang dapat memudahkan perhitungan metode elemen hingga. Dalam analisis ini program akan digunakan untuk mencari besar defleksi dan momen pada tiang, kemudian hasil tersebut akan dibandingkan dengan ketentuan-ketentuan yang ada.

Dinding penahan tanah

Dinding penahan tanah merupakan struktur yang biasa dibangun pada tempat yang tanahnya memiliki kemiringan atau lereng sehingga menjadi kurang stabil. Tanah yang ditahan oleh dinding penahan tanah, baik tanah hasil urugan maupun tanah asli, akan memberikan tekanan tanah lateral kepada dinding tersebut sehingga dibangun dinding penahan tanah.

Dalam mendesain dinding penahan tanah, diperlukan pengambilan dimensi sehingga desain dinding penahan tanah mungkin untuk dikerjakan, stabil dan kokoh. Sehingga bentuk dinding penahan tanah sesuai dengan bentuk lereng dan tanah yang akan ditahan, serta memastikan adanya ruang pekerjaan yang cukup pada lokasi saat pembangunan dinding. Kemudian juga diperlukan pengecekan stabilitas dinding penahan tanah terhadap guling, geser, dan keruntuhan daya dukung.

Tiang pancang

Pondasi tiang pancang berfungsi untuk menyalurkan beban dari struktur yang berdiri di atasnya ke dalam lapisan tanah yang berada di bawahnya. Seperti bila tanah di tempat bangunan berdiri tidak memiliki daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk menahan beban dari bangunan dan bebannya, atau tanah keras dengan daya dukung yang cukup terletak jauh di bawah permukaan tanah (Sardjono, 1984).

Apabila tiang pancang dipancang melewati lapisan tanah dengan daya dukung yang rendah hingga ujung tiang menembus sedikit ke dalam lapisan tanah dengan daya dukung yang cukup, tiang tersebut dinamakan *bearing pile*. Apabila tiang dipancang pada lapisan-lapisan tanah dengan daya dukung yang terbatas lalu kemudian mendapatkan daya dukungnya dari gesekan antara tiang dengan tanah yang mengelilinginya, maka tiang tersebut dinamakan dengan *friction pile*.

Capping beam

Capping beam adalah balok yang terbuat dari baja dan beton untuk mengikat tiang-tiang pancang atau bor dan juga sebagai balok pengunci pada konstruksi *sheet pile*. Pada umumnya tiang-tiang dengan *capping beam* akan menerima beban vertikal yang berasal dari struktur di atasnya dan beban horizontal dari angin, ombak, tekanan tanah, dan gempa.

Metode elemen hingga

Metode elemen hingga adalah prosedur numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah kontinum dengan tingkat ketelitian yang baik dan dapat diterima oleh rekayasawan. Contohnya dapat diterapkan pada masalah-masalah fisika yang luas seperti variabel dari aljabar, diferensial, maupun persamaan integrasi (Cook, 1990).

Mencari solusi untuk suatu masalah untuk dapat memenuhi persamaan diferensial suatu daerah dan memenuhi syarat-syarat batasnya, meskipun tidak terlalu rumit, tidaklah mudah. Kesulitan tersebut dapat diatasi dengan penggunaan metode elemen hingga yang akan membagi suatu kontinum menjadi bagian-bagian kecil yang disebut dengan elemen sehingga fungsi yang digunakan untuk memecahkan masalah juga terbagi-bagi dan menjadi lebih sederhana. Elemen-elemen tersebut kemudian dihubungkan kembali secara matematis agar kompatibel, kontinu, dan memenuhi syarat batas yang ditentukan sebelumnya (Hadipratomo, 2005).

N-SPT

Standard penetration test (SPT) adalah tes lapangan yang paling banyak digunakan untuk mendeskripsikan properti dari tanah. Alasan mengapa *standard penetration test* banyak digunakan adalah karena kemudahan pelaksanaannya, yaitu dengan memasukkan bor yang berada di dalam tanah dengan menjatuhkan palu dari ketinggian tertentu. Jumlah pukulan yang diperlukan untuk masukkan bor sampai kedalaman tertentu ke dalam tanah menentukan seberapa lunak atau keras tanah tersebut.

Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai parameter tanah lainnya dengan cara korelasi. Contoh parameter tanah lainnya yang bisa didapatkan yaitu kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan lain-lain.

Berat volume

Berat volume dari tanah menunjukkan perbandingan dari berat tanah terhadap berat total volume tanah beserta berat air dan udara yang mengisi rongga-rongga antar butiran tanah. Berat volume tanah dapat menunjukkan kepadatan tanah tersebut. Apabila rongga-rongga pada tanah terisi penuh oleh udara maka berat volume yang terbentuk dinamakan berat volume kering (γ_{dry}) dan jika terisi penuh oleh air maka dinamakan berat volume tersaturasi (γ_{sat}). Tabel 1 menunjukkan hubungan antara jenis tanah dengan berat volume.

Tabel 1. Hubungan nilai berat volume dengan jenis tanah

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

(Sumber: Budhu, 2000)

Modulus young (Es)

Besarnya nilai modulus *young* yang dimiliki tanah dapat menunjukkan seberapa elastis tanah tersebut. Semakin besar nilai modulus *young* tanah maka regangan yang terjadi pada tanah ketika diberikan tegangan akan semakin kecil. Untuk mengetahui nilai modulus *young* dapat dilakukan tes triaksial pada sampel tanah atau dengan mengkorelasikan hubungan antara jenis tanah dengan modulus *young* seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hubungan nilai modulus young dengan jenis tanah

Jenis Tanah	Es (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	300 – 425
PASIR	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
LANAU	
	20 – 200

(Sumber: Das, 2011)

Lanjutan Tabel 2. Hubungan nilai modulus young dengan jenis tanah

Jenis Tanah	Es (Kg/cm ²)
LOESS	150 – 600
CADAS	1400 – 14000

(Sumber: Das, 2011)

Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik-menarik yang terjadi antara partikel-partikel tanah. Ada tidaknya kohesi pada tanah tergantung dari ukuran butiran tanah. Tanah berbutir kasar merupakan tanah granular dan non-kohesif seperti pasir dan kerikil. Butir-butir tanah butiran halus biasanya tidak dapat dilihat menggunakan mata telanjang seperti lempung dan lanau. Perbedaan dari tanah lempung dan lanau berada pada kohesi keduanya. Apabila lanau memiliki nilai kohesi yang kecil atau bahkan tidak ada sama sekali, lempung memiliki nilai kohesi yang cukup besar sehingga lempung juga memiliki yang disebut dengan plastisitas.

Nilai kohesi dari tanah bisa didapatkan dengan melakukan *direct shear test* dan *triaxial test* di laboratorium. Nilai kohesi juga bisa didapatkan dari korelasi dengan N-SPT yang ditunjukkan oleh tabel 3.

Tabel 3. Hubungan nilai kohesi dengan N-SPT

N-SPT	c (kN/m ²)
< 2	12,5
2 – 4	12,5 – 25
4 – 8	25 – 50
8 – 15	50 – 100
15 – 30	100 – 200
> 30	> 200

(Sumber: Ameratunga, Sivakugan, & Das, 2015)

Poisson ratio (ν)

Poisson ratio adalah nilai dari perbandingan antara perubahan arah aksial dan transversal yang terjadi akibat gaya yang diberikan pada benda tersebut. Nilai *poisson ratio* juga merupakan rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai material. Tabel 4 menunjukkan hubungan antara jenis tanah dengan *poisson ratio*.

Tabel 4. Hubungan nilai *poisson ratio* dengan jenis tanah

Jenis Tanah	ν
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 – 0,30
Lempung Berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir	0,10 – 1,00
Batuan	0,10 – 0,40
Umum dipakai untuk tanah	0,30 – 0,40

(Sumber: Das, 2011)

Sudut geser (ϕ)

Sudut geser merupakan sudut yang terbentuk oleh hubungan tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah. Sudut tersebut terbentuk akibat gaya yang bekerja pada material tersebut melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser suatu material, maka semakin besar pula kemampuan material tersebut untuk

menerima gaya yang dikenakan terhadapnya. Nilai sudut geser tanah dapat diestimasi berdasarkan jenis tanahnya seperti yang ditunjukkan tabel 5.

Tabel 5. Hubungan nilai sudut geser dengan jenis tanah

Jenis Tanah	ϕ (°)
<i>Gravel</i>	> 37
<i>Sand</i>	37 – 38
<i>Loamy Sand</i>	31 – 34
<i>Sandy Loam</i>	31 – 34
<i>Loam</i>	28 – 32
<i>Silt Loam</i>	25 – 32
<i>Sandy Clay Loam</i>	31 – 34
<i>Clay Loam</i>	18 – 32
<i>Silty Clay Loam</i>	18 – 32
<i>Sandy Clay</i>	31 – 34
<i>Silty Clay</i>	18 – 32
<i>Clay</i>	18 – 28

(Sumber: Minnesota Department of Transportation, Pavement Design, 2017)

Sudut dilatasi (ψ)

Sudut dilatasi merupakan perbandingan hubungan dari perubahan ketebalan sampel tanah dengan pergeseran tegangan lateral maksimum. Faktor yang dapat mempengaruhi sudut dilatasi adalah kuat geser tanah dan tegangan-regangan tanah. Umumnya pada tanah lempung tidak ditunjukkan adanya dilatasi, sedangkan pada tanah pasir sudut dilatansinya bergantung pada sudut geser. Namun pada sebagian besar kasus sudut dilatasi menunjukkan angka 0.

Permeabilitas

Permeabilitas tanah adalah sifat kemampuan tanah untuk meloloskan air dan udara sehingga permeabilitas tanah dipengaruhi oleh ukuran partikel tanah dan *void ratio* (e). Tanah yang berbutir kasar seperti pasir akan memiliki nilai permeabilitas yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah yang butirannya halus seperti lempung. Nilai permeabilitas tanah dapat digunakan untuk menghitung rembesan air di bawah struktur hidrolik dan banyaknya air saat *dewatering*. Nilai permeabilitas tanah dapat ditentukan dari jenis tanah seperti yang ditunjukkan oleh tabel 6.

Tabel 6. Hubungan nilai permeabilitas tanah dengan jenis tanah

Jenis Tanah	k (cm/det)
<i>Clean gravels</i>	1,0-10
<i>Coarse and medium sand</i>	10^{-3} -1,0
<i>Fine sand and loose silt</i>	10^{-5} - 10^{-3}
<i>Dense silt and clayey silt</i>	10^{-6} - 10^{-5}
<i>Silty clay and clay</i>	10^{-9} - 10^{-6}

(Sumber: Hukum Darcy)

2. METODE PENELITIAN

Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini:

- Pertama, mengumpulkan data-data berupa parameter tanah, ketinggian air sungai dan bentuk kontur tanah di lokasi, dan juga spesifikasi tiang pancang dan *capping beam* untuk dinding penahan tanah.
- Kedua, mencari informasi seputar penelitian yang berasal dari jurnal, buku, dan tutorial yang sudah ada.

- Ketiga, melakukan korelasi pada data yang didapat untuk mendapatkan parameter-parameter tanah lainnya yang diperlukan oleh program metode elemen hingga.
- Keempat, melakukan perhitungan dengan program berdasarkan data-data yang sudah didapat dan dikorelasikan kemudian menganalisis hasil perhitungan berupa defleksi dan momen pada tiang.
- Kelima, menerangkan hasil analisis yang didapat dan memastikan bahwa desain dinding penahan tanah dengan ukuran tiang dan *capping beam* yang digunakan memenuhi syarat yang ditentukan SNI 8460:2017 dan brosur spesifikasi tiang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa pada program metode elemen hingga akan dilakukan terhadap dinding penahan tanah yang terbuat dari tiang. Berdasarkan hasil *boring log*, lapisan tanah dibagi menjadi 5 lapisan yang dapat dilihat pada tabel 7. Data-data parameter tanah yang terdapat pada tabel 7 merupakan data-data parameter tanah yang dibutuhkan oleh program metode elemen hingga.

Tabel 7. Data tanah

Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah	γ_{dry} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Es (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)	ν	Ψ (°)	K (m/day)
0 – 6	5	Silt	14,4	18,2	3800	31,25	25,7	0,35	0	0,01
6 – 8	12	Silt	15,0	18,5	6300	78,571	26,7	0,35	0	0,01
8 – 12	38	Clay	17,6	19,1	28000	146,667	25,3	0,45	0	0,0001
12 – 16	50	Sand	16,0	20,0	50000	-	41,0	0,1	0	0,1
16 – 20	50	Silt	16,6	19,3	20000	250	32,0	0,3	0	0,001

Data-data parameter tanah tersebut kemudian dimasukkan ke dalam program metode elemen hingga. Selain itu data-data tiang dan *capping beam* berupa dimensi dan mutu beton juga dibutuhkan oleh program metode elemen hingga. Tiang yang digunakan memiliki dimensi 400x400 mm dengan jarak antar tiang 0,8 meter. *Capping beam* yang digunakan untuk menghubungkan tiang-tiang tersebut memiliki lebar 800 mm dan tinggi 500 mm. Baik tiang maupun *capping beam* memiliki mutu beton K-500.

Setelah proses input data dilakukan pada program metode elemen hingga, selanjutnya dilakukan penentuan kondisi awal. Muka air tanah pada kondisi awal berada di kedalaman -6 meter dan tinggi permukaan sungai berada 4 meter dari dasar sungai. Kemudian saat proses perhitungan akan dilakukan simulasi hujan sehingga ketinggian muka air tanah dan permukaan sungai meningkat.

Untuk itu, tahap kalkulasi akan dibagi menjadi beberapa fase:

- Pemasangan tiang dan *capping beam* (kondisi muka air tanah normal -6 meter)
- Ketinggian muka air tanah bertambah menjadi -5 meter
- Ketinggian muka air tanah bertambah menjadi -4 meter
- Ketinggian muka air tanah bertambah menjadi -3 meter
- Ketinggian muka air tanah bertambah menjadi -2 meter
- Ketinggian muka air tanah bertambah menjadi -1 meter
- Ketinggian muka air tanah mencapai kondisi kritis ± 0 meter

Setiap kenaikan muka air tanah setinggi 1 meter (1 fase) permukaan sungai juga akan mengalami kenaikan sebesar 15 cm. Pada proses kalkulasi dengan program metode elemen hingga juga dibuat interval waktu sebesar 0,1 hari pada setiap fasenya. Sehingga dari fase pertama hingga fase ketujuh tinggi muka air tanah akan mengalami kenaikan sebesar 6 meter dan tinggi permukaan sungai akan mengalami kenaikan sebesar 90 cm dalam selang waktu 0,6 hari.

Setelah program metode elemen hingga melakukan kalkulasi, akan dihasilkan banyak *output*. *Output* yang digunakan adalah defleksi dan momen yang terjadi pada tiang. Kemudian defleksi dan momen tersebut akan dibandingkan dengan syarat batasnya masing-masing. Berdasarkan SNI 8460:2017 didapatkan batas defleksi maksimum sebesar 8,5 cm dan berdasarkan brosur spesifikasi PC pile didapatkan batas momen ultimit sebesar 224,2 kNm. Tabel 8 dan 9 merangkum hasil defleksi dan momen yang didapat dari setiap fase,

membandingkannya dengan syarat batas, dan juga memperlihatkan persentase kenaikan defleksi dan momen dari satu fase ke fase berikutnya.

Pelat beton yang berada diantara tiang (*lagging*) tidak perlu dimodelkan lagi karena kekakuan yang diberikan oleh pelat-pelat tersebut sudah otomatis ditambahkan oleh program. Sehingga pada saat perhitungan di spasi antar tiang sudah terdapat pelat yang akan ikut dihitung.

Karena pemancangan tiang pada proyek ini membutuhkan tiang menembus tanah keras, titik tempat tiang akan dipancang akan terlebih dahulu dilakukan *pre-boring* agar tiang tidak mengalami kerusakan pada proses pemancangan. *Pre-boring* adalah proses penggalian tanah hingga kedalaman tertentu untuk kemudian dipasang tiang ke dalam lubang galian tersebut. Agar friksi tiang yang didapat tetap maksimal, pada proses *pre-boring* biasa digunakan mata bor dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan ukuran tiang pancang yang akan dipakai.

Tabel 8. Defleksi pada tiang di setiap fase

Fase	Defleksi (cm)	Memenuhi Syarat Defleksi (< 8,5 cm)	Kenaikan Defleksi (%)
1	2,376	Ya	-
2	2,572	Ya	2,3
3	2,848	Ya	3,2
4	3,198	Ya	4,1
5	3,642	Ya	5,2
6	4,016	Ya	4,4
7	4,245	Ya	2,7

Tabel 9. Momen pada tiang di setiap fase

Fase	Momen (kNm)	Memenuhi Syarat Momen (< 224,2 kNm)	Kenaikan Defleksi (%)
1	115,40	Ya	-
2	122,65	Ya	3,2
3	135,03	Ya	5,5
4	151,44	Ya	7,3
5	171,52	Ya	9,0
6	188,69	Ya	7,7
7	199,95	Ya	5,0

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan dengan program metode elemen hingga dan melakukan analisis terhadap defleksi dan momen pada tiang, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Tiang mengalami defleksi sebesar 2,376 cm saat kondisi awal dan 4,245 cm saat kondisi kritis dan menerima momen sebesar 115,4 kNm saat kondisi awal dan 199,95 kNm saat kondisi kritis. Berdasarkan hasil tersebut besar defleksi dan momen pada tiang akibat tanah yang ditahan masih memenuhi syarat batas yang ditentukan berdasarkan SNI 8460:2017 sebesar 8,5 cm untuk defleksi dan brosur PC pile sebesar 224,2 kNm untuk momen.
2. Model dinding penahan tanah menggunakan tiang berdimensi 400x400 mm dengan jarak antar tiang 0,8 meter. *Capping beam* yang digunakan untuk menghubungkan tiang memiliki lebar 800 mm dan tinggi 500 mm. Ketinggian muka air tanah awal di -6 meter dan permukaan sungai setinggi 4 meter dari dasar sungai. Muka air tanah akan naik perlahan-lahan dan setiap kenaikan muka air tanah setinggi 1 meter, permukaan sungai akan ikut naik setinggi 15 cm.

3. Besarnya kenaikan rata-rata defleksi dan momen pada tiang masing-masing sebesar 3,7% dan 6,3%. Kenaikan defleksi dan momen pada tiang paling besar terjadi ketika muka air tanah mendekati puncak tiang dengan kenaikan defleksi dan momen masing-masing sebesar 5,2% dan 9%.

Saran

Supaya analisis pada penelitian berikutnya dapat menjadi lebih akurat, diperlukan data-data yang lebih lengkap. Data curah hujan, peta daerah tangkapan air, perhitungan limpasan air, dan perhitungan perkolasi dari tanah dapat membuat perhitungan kenaikan muka air tanah dan permukaan sungai lebih akurat. Selain itu dikarenakan analisis dilakukan pada struktur yang berada di daerah aliran sungai yang ketinggian air dan kecepatan arusnya dapat berubah-ubah, sebaiknya juga memperhitungkan adanya hidrodinamika dalam perhitungan analisis.

Dalam hal mencari parameter tanah sebaiknya didapatkan dari beberapa sumber yang berbeda agar dapat dibandingkan. Contohnya untuk mendapatkan nilai N-SPT dapat menggunakan *boring log* dan data sondir. Selain itu juga melakukan tes di laboratorium untuk mendapatkan data lab dari parameter-parameter tanah yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- Ameratunga, Jay, Nagaratnam Sivakugan dan Braja M. Das. *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. India: Springer, 2015.
- Budhu, Muni. *Soil Mechanics and Foundations*. United States of America: John Wiley and Sons, 2000.
- Cook, Robert D. *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Bandung: Eresco, 1990.
- Das, Braja M. *Principles of Foundation Engineering Seventh Edition*. United States of America: Cengage Learning, 2011.
- Hadipratomo, Winarni. *Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*. Bandung: Danamartha Sejahtera Utama, 2005.
- Minnesota Departement of Transportation. "Pavement Design Chapter 5-3." 2007. *MnDOT Pavement Design Manual*. <http://www.dot.state.mn.us/materials/pvmtdesign/docs/2007manual/Chapter_5-3.pdf>.
- Sardjono, H. S. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1*. Surabaya: Sinar Wijaya, 1984.