

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pada kondisi muka air tanah aktual, yaitu MAT 2,0 m untuk data BH-2 dan MAT 0,5 m untuk data CPTu-2, hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat keamanan dinding CCSP berbeda bergantung pada metode analisis yang digunakan.
 - a. Pada data BH-2, gaya *strutting* sebesar 115,40 kN/m untuk LEM dan 121,45 kN/m untuk FEM, masih di bawah kapasitas 122,40 kN/m; Momen lentur maksimum sebesar 370,04 kN.m/m untuk LEM dan 171,90 kN.m/m untuk FEM, dengan hasil LEM yang telah melampaui kapasitas momen CCSP W-450 B 1000 sebesar 307 kN.m/m sedangkan hasil FEM masih aman; Faktor keamanan global (SF) sebesar 1,486 untuk LEM dan 2,385 untuk FEM, dengan hasil LEM yang berada di bawah nilai minimum 1,5; Deformasi lateral hasil FEM sebesar 0,02192 m memenuhi syarat batas izin 0,02500 m, serta faktor keamanan *basal heave* sebesar 1,885 lebih besar dari nilai minimum 1,25.
 - b. Pada data CPTu-2, gaya *strutting* sebesar 134,29 kN/m untuk LEM dan 140,96 kN/m untuk FEM, dengan hasil LEM dan FEM yang melampaui kapasitas 122,40 kN/m; Momen lentur maksimum sebesar 390,96 kN.m/m untuk LEM dan 251,30 kN.m/m untuk FEM, dengan hasil LEM yang melampaui kapasitas momen CCSP W-450 B 1000 sebesar 307 kN.m/m; Faktor keamanan global (SF) sebesar 1,029 untuk LEM dan 1,624 untuk FEM, dengan nilai 1,029 pada LEM mengindikasikan kondisi mendekati ambang keruntuhan global; Deformasi lateral hasil FEM sebesar 0,02638 m, sedikit melampaui batas izin 0,02500 m, serta faktor keamanan piping sebesar 2,490 lebih besar dari nilai minimum 1,50.

Dengan demikian, keamanan desain eksisting CCSP tidak dapat disimpulkan secara tunggal. Berdasarkan LEM, kapasitas gaya *strutting* pada CPTu-2, kapasitas lentur dinding pada BH-2 dan CPTu-2 serta

stabilitas global (SF) pada CPTu-2 belum memenuhi persyaratan minimum, sehingga desain eksiting terindikasi tidak sepenuhnya layak apabila dievaluasi secara konservatif. Berdasarkan FEM, kondisi eksiting secara umum masih memenuhi persyaratan stabilitas, kecuali gaya *strutting* dan deformasi lateral pada CPTu-2 yang melampaui batas kapasitas. Data CPTu-2 secara konsisten menjadi kondisi paling kritis dibandingkan data BH-2 pada kedua metode.

2. Variasi muka air tanah terbukti berpengaruh signifikan terhadap seluruh parameter stabilitas dinding CCSP pada kedua metode dan kedua data tanah. Semakin dangkal muka air tanah, semakin besar kontribusi tekanan air pori pada sisi aktif, sehingga tekanan tanah lateral, gaya *strutting*, momen lentur dan deformasi lateral meningkat, sementara faktor keamanan global menurun secara konsisten. Kondisi paling kritis secara konsisten terjadi pada MAT 0,5 m, sedangkan kondisi paling stabil terjadi pada MAT 6,0 m.
 - a. Pada data BH-2, gaya *strutting* meningkat dari 109,36 kN/m menjadi 134,16 kN/m untuk LEM dan dari 104,92 kN/m menjadi 125,90 kN/m untuk FEM; Momen lentur meningkat dari 322,65 kN.m/m menjadi 415,92 kN.m/m untuk LEM dan 161,80 kN.m/m menjadi 179,30 kN.m/m untuk FEM; Faktor keamanan global (SF) menurun dari 1,826 menjadi 1,365 untuk LEM dan dari 2,421 menjadi 2,361 untuk FEM; Deformasi lateral meningkat dari 0,02016 m menjadi 0,02294 m, sementara faktor keamanan *basal heave* konstan sebesar 1,890 pada seluruh variasi MAT.
 - b. Pada data CPTu-2, gaya *strutting* meningkat dari 108,61 kN/m menjadi 134,29 kN/m untuk LEM dan dari 132,06 kN/m menjadi 140,96 kN/m untuk FEM; Momen lentur meningkat dari 296,24 kN.m/m menjadi 390,96 kN.m/m untuk LEM dan dari 236,20 kN.m/m menjadi 251,30 kN.m/m untuk FEM; Faktor keamanan global (SF) menurun dari 1,415 menjadi 1,029 untuk LEM dan dari 1,661 menjadi 1,624 untuk FEM; Deformasi lateral meningkat dari 0,02560 m menjadi 0,02638 m, sementara faktor keamanan *piping* menurun dari 3,185 pada MAT 2,0 m menjadi 2,490 pada MAT 0,5, dan tidak lagi berkembang pada MAT 6,0

m karena tidak terdapat perbedaan elevasi muka air tanah pada kedua sisi dinding.

Dengan demikian, kenaikan muka air tanah tidak selalu mengubah status kelayakan pada parameter yang sejak kondisi awal telah tergolong kritis. Momen lentur pada data BH-2 hasil LEM tetap melampaui kapasitas 307 kN.m/m, faktor keamanan global (SF) pada data CPTu-2 hasil LEM tetap di bawah 1,50 dan deformasi lateral hasil FEM tetap melampaui batas izin 0,02500 m pada seluruh variasi MAT. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyebab utama ketidaklayakan pada parameter tersebut bukan hanya pada posisi muka air tanah, melainkan karakteristik tanah itu sendiri, terutama pada data CPTu-2, sehingga perbaikan kondisi hidraulik saja tidak akan cukup untuk memenuhi seluruh syarat keamanan.

3. Perbandingan kedua metode pada seluruh variasi muka air tanah menunjukkan bahwa LEM dan FEM secara konsisten mengidentifikasi MAT 0,5 m sebagai kondisi paling kritis dan MAT 6,0 m sebagai kondisi paling stabil, meskipun kedua metode menghasilkan distribusi tekanan tanah lateral yang berbeda.
 - a. Pada momen lentur maksimum dan faktor keamanan global (SF), LEM secara konsisten lebih konservatif dibandingkan FEM pada seluruh skenario variasi muka air tanah dan kedua data tanah. Momen lentur hasil LEM berada pada rentang 296,24 – 415,92 kN.m/m, lebih besar dibandingkan hasil FEM sebesar 161,80 – 251,30 kN.m/m; Sebaliknya, faktor keamanan global (SF) hasil LEM berada pada rentang 1,029 – 1,826, lebih kecil dibandingkan hasil FEM sebesar 1,624 – 2,421.
 - b. Pada gaya *strutting*, hubungan hasil kedua metode tidak menunjukkan pola yang seragam sebagaimana pada momen lentur maksimum dan faktor keamanan global (SF). Pada data BH-2, hasil LEM dan FEM saling bersilangan pada setiap variasi muka air tanah tanpa arah dominasi yang konsisten, sedangkan pada data CPTu-2, hasil FEM secara konsisten lebih besar dibandingkan LEM pada seluruh skenario variasi muka air tanah.

- c. Deformasi lateral hanya dapat dievaluasi melalui FEM, sedangkan stabilitas dasar galian berupa *basal heave* dan *piping* pada penelitian ini hanya dievaluasi melalui analisis manual, karena analisis numerik FEM tidak menghasilkan satu nilai faktor keamanan yang ekuivalen dengan pendekatan analitis, melainkan memerlukan interpretasi terhadap respons deformasi maupun aliran air pori secara mendalam.

Dengan demikian, perbedaan karakteristik hasil kedua metode membawa implikasi terhadap kesimpulan kelayakan desain. LEM mengindikasikan momen lentur pada BH-2 dan faktor keamanan global pada CPTu-2 belum memenuhi persyaratan pada seluruh variasi MAT, sedangkan FEM mengindikasikan bahwa kedua parameter tersebut masih memenuhi persyaratan, kecuali deformasi lateral pada CPTu-2. Oleh karena itu, metode LEM tetap relevan sebagai evaluasi awal yang konservatif untuk mengidentifikasi potensi risiko pada tahap perencanaan, namun tetap memerlukan verifikasi lebih lanjut menggunakan simulasi numerik FEM untuk desain final, khususnya dalam memperhitungkan deformasi lateral dinding dan interaksi tanah struktur yang tidak dapat diperoleh melalui pendekatan manual.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan pemodelan tiga dimensi (3D) agar pengaruh efek tiga dimensi, seperti *corner effect* pada area sudut galian dapat diperhitungkan, sehingga perilaku dinding dapat direpresentasikan lebih realistis.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data monitoring piezometer selama proses konstruksi untuk memperoleh perubahan muka air tanah dan tekanan air pori secara aktual yang terjadi di lapangan.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data hasil monitoring inklinometer sehingga hasil deformasi lateral pada dinding dapat divalidasi terhadap deformasi aktual yang terjadi di lapangan.