

EFFECT OF CHANGING IN FREE WATER LEVEL ON THE STABILITY OF RIVER EMBANKMENT

Agus Feryadi^[1], Nurly Gofar^[2]

^[1] Master Student, Graduate Program Universitas Bina Darma Palembang, Indonesia

^[2] Dosen, PS Magister Teknik Sipil Universitas Bina Darma Palembang, Indonesia

Email: ferrycomexs@gmail.com, nurly_gofar@binadarma.ac.id

Received: 26 August 2021 / **Accepted:** 02 February 2022

DOI [10.28932/jts.v18i1.3933](https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.3933)

How to cited this article:

Feryadi, A., Gofar, N., (2022). Pengaruh Perubahan Muka Air Bebas Terhadap Stabilitas Tanggul Sungai. Jurnal Teknik Sipil, 18(1), 33–50. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.3933>

ABSTRACT

The construction of Levee or river embankment is one method adopted for flood control in Palembang. The stability of the embankment is affected by water seepage inside the embankment due to several factors including rainfall as well as the repeated rise and fall of water surface in the sea due to gravity of moon and sun. Palembang is located 106 km from the east coast of Sumatra, thus the free water surface in Musi river and its tributaries is affected by the sea level. The stability of the levee is affected by the repeated change in the water level which induces changing seepage direction. This paper discusses the stability of levees constructed along Sungai Lacak, one of Musi river tributaries. In this case the stability of the existing levees was evaluated for different conditions of free water level i.e. normal, low tide and high tide. Analysis was also conducted for the case when the levee was constructed following the guidance in Standard Nasional Indonesia (SNI 1724-2015) and Guidelines of Public Work Department (2017). Improvement on the stability was obtained if the embankment was to be rebuilt according to the specification given in the standard. The presence of riprap protects the embankment from the effect of changing seepage direction due to the rise and fall of water level, thus increased the safety factor of the ideal levee during high tide from 1.270 to 2.325.

Keywords: *Levee, Riprap, Tidal movement*

PENGARUH PERUBAHAN MUKA AIR BEBAS TERHADAP STABILITAS TANGGUL SUNGAI

ABSTRAK

Pembangunan tanggul tanah merupakan salah satu upaya penanggulangan banjir di sepanjang daerah limpasan sungai. Kestabilan tanggul dipengaruhi oleh perubahan muka air sungai dan rembesan yang terjadi dalam tanggul itu sendiri yang disebabkan oleh hujan maupun perubahan musim. Di kota Palembang yang berjarak 106km dari pantai, perubahan muka air sungai Musi dan anak anak sungainya juga terjadi akibat pasang surut air laut yang berulang. Artikel ini membahas perubahan kestabilan tanggul sungai Lacak yang berada di kota Palembang karena perubahan muka air sungai yang disebabkan oleh pasang surut. Dalam hal ini dilakukan analisis kestabilan tanggul pada kondisi normal, muka air pasang dan muka air surut. Analisis kestabilan dilakukan terhadap kondisi tanggul yang ada dan dibandingkan dengan kondisi tanggul apabila dibangun sesuai dengan spesifikasi yang diberikan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 1724-2015) dan Pedoman Kementerian PUPR-2017. Peningkatan faktor keamanan yang cukup besar didapatkan apabila

pembangunan tanggul betul betul dilaksanakan sesuai dengan spesifikasi SNI. Adanya riprap sangat membantu melindungi tanggul dari pengaruh perubahan arah rembesan air karena perubahan muka air sungai. Penggunaan riprap meningkatkan faktor keamanan tanggul ideal pada saat muka air pasang dari 1,270 menjadi 2,325.

Kata kunci: Pasang surut, Riprap, Tanggul sungai,

1. PENDAHULUAN

Sebagian besar air hujan yang turun ke permukaan tanah akan menjadi aliran permukaan yang mengalir ke tempat yang lebih rendah. Dalam proses pengaliran, air permukaan akan meresap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan perkolasi, selebihnya melimpah ke danau atau laut. Proses pengaliran tersebut menyebabkan terjadinya suatu alur yang panjang yang disebut alur sungai dan anak anak sungai (Asdak, 2002). Muka air sungai berubah ubah sepanjang tahun akibat hujan dan perubahan musim. Faktor yang mempengaruhi muka air sungai adalah pasang surut air laut yaitu fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu disebabkan oleh gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Pasang surut merupakan salah satu bentuk dari gelombang dengan periode gelombang panjang antara 3 jam 1 hari (Triatmodjo, 2003).

Dalam kegiatan penanganan sungai secara struktural diperlukan bangunan-bangunan prasarana sungai beserta kelengkapannya antara lain tanggul, tembok penahan banjir, pengarah arus/krib, perkuatan tebing, ambang datar, dll. Tanggul adalah bangunan pengendali sungai yang dibangun dengan persyaratan teknis tertentu untuk melindungi daerah sekitar sungai terhadap limpasan air sungai (Kementrian PUPR-2017). Tanggul digunakan di kota Palembang untuk menanggulangi luapan debit banjir dari sungai sehingga muka air sungai tidak meluap pada saat pasang naik. Meskipun kebanyakan tanggul di kota Palembang dibangun dengan dinding penahan tanah yang dibuat dari beton, pada beberapa lokasi masih terdapat tanggul yang di bangun dengan material tanah atau disebut tanggul tanah.

Kondisi pasang dan surut yang menyebabkan variasi elevasi muka air sungai dapat mengakibatkan kelongsoran tanggul sungai. Pengaruh naiknya muka air laut terhadap kestabilan dermaga diteliti oleh Alfa dan Pattipawej (2014) memperlihatkan pengaruh yang tidak terlalu signifikan. Beberapa studi juga telah dilakukan untuk meneliti pengaruh variasi muka air sungai terhadap kestabilan tanggul sungai di antaranya oleh Rizka dkk. (2015) di Kali Serang, Kabupaten Grobogan di Jawa Tengah dan Prayuda dkk (2017) di

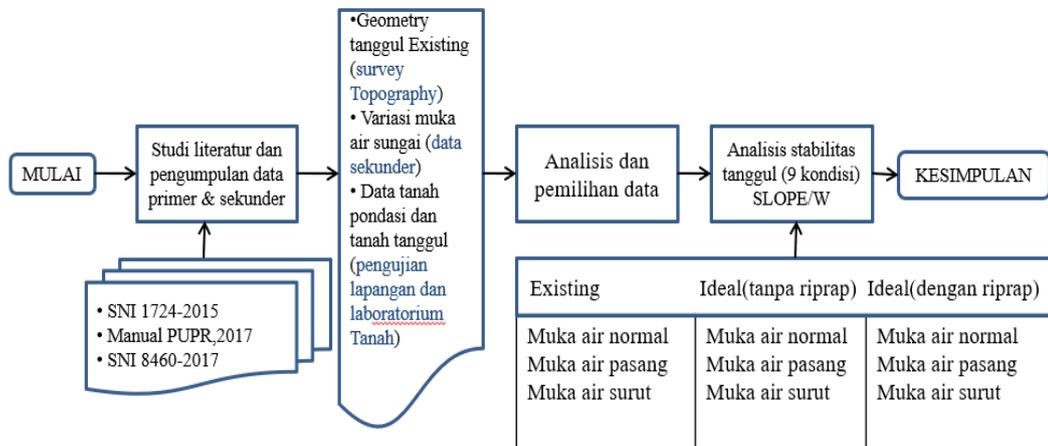
sungai Cimanuk Jawa Barat. Penelitian tersebut hanya membahas tentang kondisi tanggul yang dipengaruhi oleh perubahan muka air sungai, tidak membahas tentang akibat perubahan yang berulang dikarenakan pasang surut. Pengaruh perubahan muka air yang berulang akibat pasang surut dipelajari oleh Jadid dkk (2020) terhadap *Prentice levee* di Amerika Serikat. Hasil penelitian menunjukkan naik turunnya muka air sungai yang berulang akibat pasang surut menyebabkan penurunan kuat geser tanah pembentuk tanggul sehingga stabilitas tanggul menurun seiring waktu.

Berdasarkan uraian pada latar belakang diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari variasi muka air sungai sepanjang tahun dan penyebab variasi tersebut; menganalisis stabilitas tanggul existing pada kondisi normal dan pada kondisi kritis (muka air pasang dan muka air surut) dan mengevaluasi pengaruh posisi muka air sungai terhadap muka air tanah dan kestabilan tanggul. Penelitian tentang kestabilan lereng telah dilakukan oleh banyak peneliti antara lain Nugraha dan Susanto (2019) menggunakan perangkat lunak Geo5; dan Ariesta (2019) menggunakan SLOPE/W. Dalam penelitian ini dilakukan analisis kondisi tanggul di salah satu lokasi tanggul di kota Palembang menggunakan program SLOPE/W (Geoslope International, 2012). Sebagai input untuk analisis stabilitas tanggul existing, dilakukan survey topografi untuk mengetahui geometri tanggul, penyelidikan tanah untuk mengetahui karakteristik tanah, dan pengumpulan data sekunder untuk mengetahui tinggi muka air sungai pada kondisi normal, surut dan pasang naik. Hasil analisis stabilitas tanggul existing dibandingkan dengan stabilitas tanggul yang dibangun sesuai persyaratan yang diberikan dalam SNI 1724-2015 dan Kementrian PUPR-2017 pengujian lapangan dan laboratorium untuk mengetahui kondisi tanah serta analisis kestabilan tanggul.

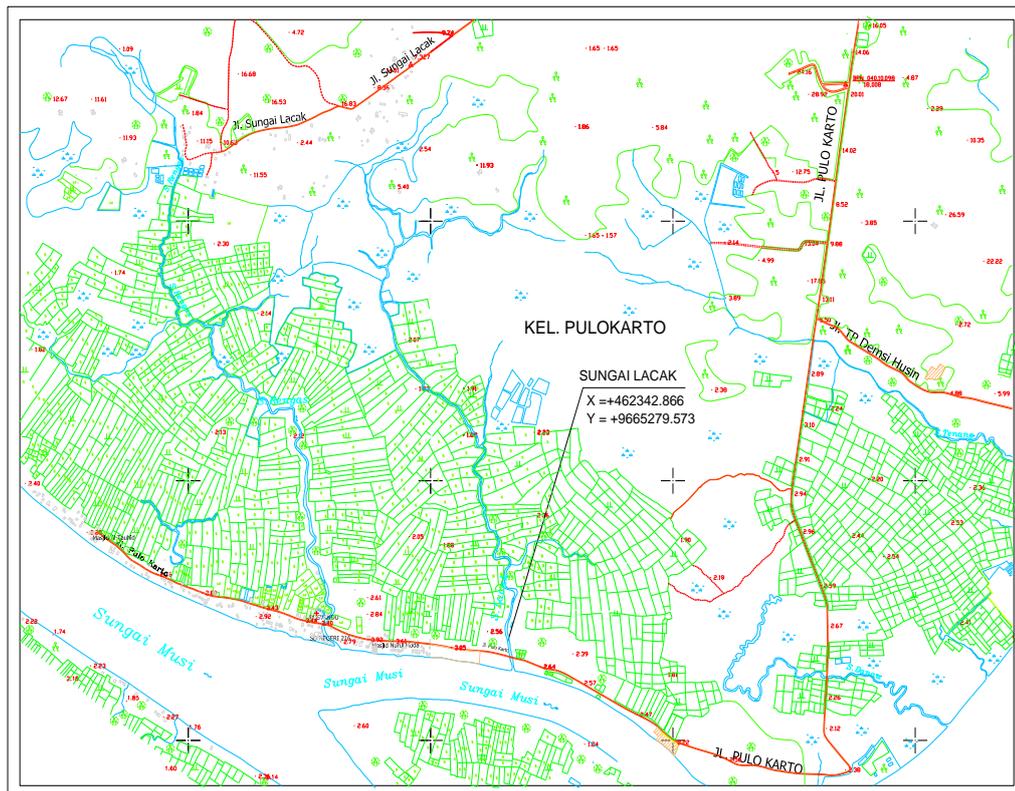
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan tiga metode penelitian yang dilakukan sesuai dengan tahap penelitiannya. Diagram alir penelitian diberikan pada Gambar 1. Langkah pertama adalah metode observasi termasuk tinjauan lapangan tentang tanggul tanah yang ada di kota Palembang dan pengumpulan data data sekunder yang diperlukan untuk analisis yaitu perubahan muka air sungai sesuai musim. Dalam tahap ini ditentukan lokasi penelitian dimana konstruksi tanggul dipilih sesuai tujuan penelitian yaitu tanggul Sungai Lacak yang terletak di bagian barat Kota Palembang (Gambar 2). Dalam penelitian ini dilakukan analisis stabilitas lereng tanggul pada beberapa kondisi muka air sungai yang di akibatkan oleh pasang surut. Untuk melakukan analisis stabilitas lereng diperlukan (a) data geometri

tanggul, (b) data tanah pondasi dan tanah pembentuk tanggul dan (c) variasi muka air sungai sepanjang tahun.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Peta Lokasi Sungai Lacak di Kota Palembang

Dengan demikian pada tahap ke dua dilakukan survey lapangan untuk mengetahui geometri tanggul serta data data penunjang seperti variasi muka air sungai setempat dan

material konstruksi tanggul itu sendiri. Karakteristik tanah asli dan tanah pembentuk tanggul yang diperlukan untuk analisis dilakukan di laboratorium terhadap sampel tanah terganggu dan tidak terganggu (sampel tabung) yang didapatkan di lokasi tinjauan. Pengujian laboratorium yang dilakukan adalah analisis distribusi ukuran butiran tanah dan *Atterberg Limit* untuk mengetahui jenis tanah setempat dan jenis tanah pembentuk tanggul. Kemudian juga dilakukan pengujian kekuatan geser tanah menggunakan uji geser langsung. Semua pengujian laboratorium dilakukan mengacu kepada prosedur yang diberikan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) yang sesuai.

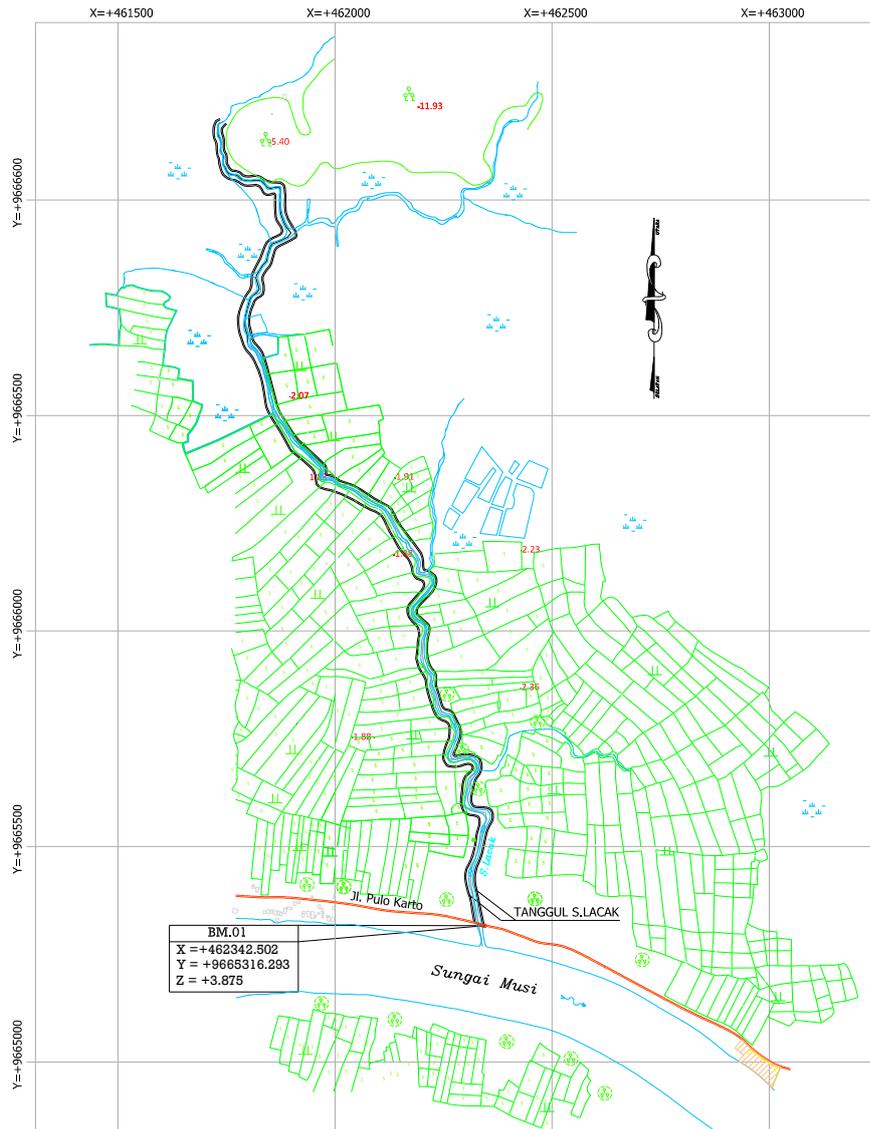
Pada tahap ke tiga dilakukan analisis stabilitas tanggul dilakukan menggunakan aplikasi SLOPE/W (Geoslope International, 2012). Program SLOPE/W dikembangkan untuk analisis stabilitas lereng berdasarkan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) menggunakan berbagai metode untuk kondisi *steady state* maupun *transient*. Dalam penelitian ini dilakukan analisis *steady state* untuk tiga (3) variasi muka air sungai yang telah ditentukan sebelumnya yaitu Muka air sungai Normal, Muka air sungai saat surut dan Muka air sungai saat pasang naik. Posisi muka air sungai ditentukan berdasarkan data BBWSS VIII pada Oktober 2014 sampai Januari 2015. Metoda Bishop sederhana (*Simplified Bishop method*) dengan bidang gelincir berupa lingkaran digunakan dalam penelitian ini. Posisi muka air tanah di belakang tanggul ditentukan berdasarkan hasil pengeboran di lapangan. Hasil analisis stabilitas tanggul yang ada (*existing*) kemudian dibandingkan dengan kondisi tanggul ideal seperti yang disarankan dalam SNI 1724-2015 dan oleh Kementerian PUPR (2017). Untuk tanggul ideal dilakukan analisis pada dua kondisi yaitu (1) tanpa rip rap dan (2) dengan riprap pada dasar tanggul. Tujuannya adalah untuk memperlihatkan efektifitas riprap sebagai proteksi tanggul terhadap akibat dari naik turunnya muka air sungai yang mengakibatkan rembesan yang bertukar arah dalam badan tanggul.

3. LOKASI KAJIAN

3.1 Gambaran Umum Lokasi Kajian

Tanggul banjir sungai Lacak terdapat pada daerah aliran sungai (DAS) Rengas Lacak yang bermuara ke sungai Musi, merupakan salah satu DAS di Kota Palembang, provinsi Sumatera Selatan. Berdasarkan kondisi geologi, kota Palembang memiliki relief yang beraneka ragam terdiri dari tanah yang berupa lapisan aluvial dan lempung berpasir. Di bagian selatan kota, batuan berupa pasir lempung yang tembus air, sebelah utara berupa batuan lempung pasir yang kedap air, sedangkan sebelah barat berupa batuan lempung

kerikil, pasir lempung yang tembus air hingga kedap air. Sungai Lacak yang memiliki panjang 2.460 m tersebut melalui area persawahan dan daerah pemukiman penduduk. Kondisi topografi DAS Sungai Lacak relatif datar sehingga dipengaruhi oleh pasang surut Sungai Musi. Pada saat pasang, air akan menggenangi area di sekitar Sungai Lacak tersebut dan mengakibatkan banjir serta merugikan penduduk baik moril maupun materil. Gambar 3 memperlihatkan situasi Sungai Lacak sebagai salah satu anak Sungai Musi.



Gambar 3 Situasi Tanggul Sungai Lacak

Geometri tanggul didapatkan dari kegiatan survei pengukuran topografi menggunakan alat Theodolith dan Waterpass terhadap profil memanjang (*long-section*)

dan profil melintang (*cross-section*) tanggul sehingga bisa digambarkan suatu kondisi geometri tanggul yang akan di analisis. Profil memanjang diukur setiap 50 m pada tempat yang lurus dan < 25 m pada tikungan atau pada daerah yang dianggap perlu. Pengukuran penampang memanjang dilaksanakan dengan alat ukur Ni2, NaK atau yang sederajat. Ketelitian sipat datar $10\sqrt{D}$, dimana D adalah jarak dalam kilometer diukur pergi pulang setiap seksi dengan pembacaan benang yang lengkap. Peta situasi pada potongan memanjang dapat diperoleh dari *tracing* hasil reduksi pada kompilasi peta situasi skala 1:5000 dan plot hasil pengukuran. Penggambaran potongan memanjang dengan skala horizontal 1:2000 dan skala vertikal 1:100 dilakukan dengan program AutoCad. Pengukuran penampang melintang dilakukan tegak lurus sumbu sungai dengan lebar penampang 50 m ke kanan dan 50 m ke kiri sungai. Interval penampang 50 m pada tempat yang lurus dan pada tikungan sungai dirapatkan sesuai dengan kondisi tikungan 25 m. Penggambaran potongan melintang dilakukan dengan program AutoCad, dengan skala vertikal 1: 100 dan skala horizontal 1: 100.

3.2 Kondisi Tanah

Data tanah yang diperlukan untuk analisis di uji di laboratorium terhadap sampel tanah terganggu dan tidak terganggu (sampel tabung) yang didapatkan di lokasi tinjauan. Pengambilan contoh tanah terganggu dilakukan dengan pemboran secara manual dengan menggunakan mata bor tipe *Iwan Auger* berdiameter 10 cm, yang mampu mengambil tanah setiap kedalaman 25 cm. Mata bor dipasang pada ujung stang bor yang mempunyai panjang stang 1 m diputar searah dengan jarum jam dengan tenaga manusia hingga kedalaman maksimum 5 m atau sampai pada kedalaman lapisan tanah keras dimana pemboran tidak dapat diperdalam lagi. Tanah hasil pengambilan dengan mata bor dideskripsi mengenai jenis, warna, dan konsistensi/kepadatannya dan dicatat dalam *Boring Log*.

Pada kedalaman tertentu dari lubang pemboran diambil contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) dengan menggunakan tabung baja tipis (*thin wall tube*) berdiameter 6.8 cm. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara ditekan sampai seluruh tabung masuk kedalam tanah. Kemudian tabung tersebut diputar setiap 180° untuk memutus sampel. Setelah diangkat ke permukaan tanah, kedua ujung tabung yang berisi tanah tersebut ditutup dengan parafin supaya terjamin keasliannya.

Uji laboratorium yang telah dilakukan sesuai dengan petunjuk manual standar dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Adapun uji laboratorium yang telah dilaksanakan adalah pengujian Index Properties yang terdiri dari Berat isi (γ_m), Berat Jenis (Gs) (SNI 1964-

2008), Kadar Air Asli (Wn) (SNI 1965-2008), klasifikasi tanah (SNI 6371-2015) yang terdiri dari pengujian *Grain Size Analysis* menggunakan metode wet sieving (SNI ASTM C117-2012), dan pengujian *Atterberg Limits* yaitu batas plastis (SNI 1966-2008) dan batas cair (SNI 1967-2015). Adapun sifat rekayasa tanah yaitu kekuatan geser yang diperlukan untuk analisis kestabilan tanggul didapatkan melalui pengujian Direct shear (SNI 2813-2008).

3.3 Muka Air Sungai

Karena sungai Lacak bermuara ke sungai Musi, maka air sungai Lacak turut mengalami pasang surut. Elevasi muka air sungai sepanjang tahun merupakan data sekunder dalam penelitian ini yang didapat dari Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera Selatan (BBWSS) VIII, Kementrian PUPR. Data yang digunakan adalah data dari tanggal 24 Oktober 2014 sampai 25 Januari 2015.

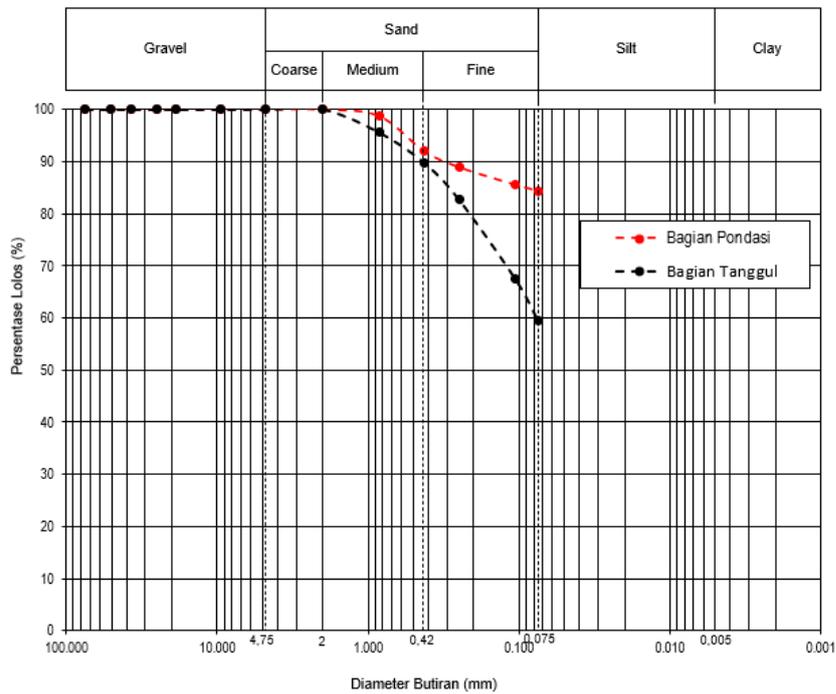
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Tanah

Dari observasi di lapangan dan hasil pengujian laboratorium, didapatkan bahwa tanah pembentuk tubuh tanggul berasal dari tanah setempat dengan kondisi tidak dipadatkan dengan baik. Kekuatan geser tanah pondasi dan tanah pembentuk tanggul di dapatkan dari hasil pengujian geser langsung. Hasil pengujian laboratorium terhadap contoh tanah diberikan pada Tabel 1 dan grafik distribusi ukuran butiran diberikan pada Gambar 4. Terlihat bahwa tanah yang digunakan pada tubuh tanggul hampir sama dengan tanah pondasi, hanya dicampur dengan pasir sehingga plastisitasnya menjadi lebih rendah. Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada tanah pembentuk tubuh tanggul ada penambahan pasir sekitar 25% terhadap tanah asli.

Tabel 1. Karakteristik tanah untuk analisis kestabilan tanggul

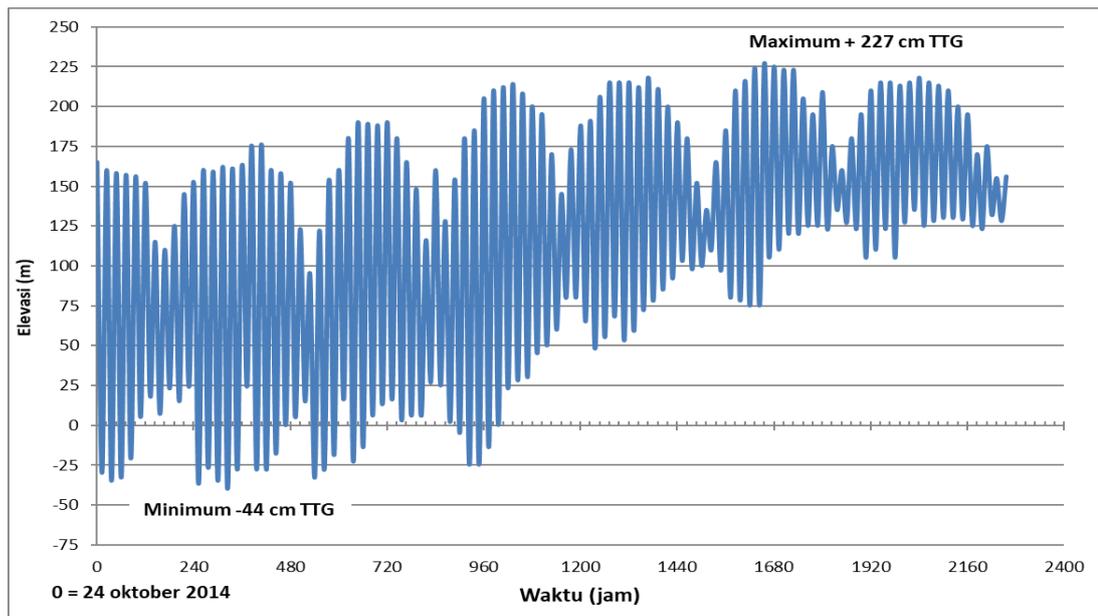
Parameter tanah	Satuan	Tanah pondasi	Tanggul
Kadar Air	%	38,43	26,65
Berat Jenis (Gs)		2,67	2,67
LL	%	53,97	22,79
PL	%	30,46	14,30
PI	%	23,51	8,49
Berat isi tanah basah	kN/m ³	18,30	19,80
Analisis Saringan			
No.3/8	%	100	100
No.4	%	100	100
No.10	%	98,76	95,62
No.40	%	91,97	87,73
No.200	%	84,35	59,55
Klasifikasi tanah (USCS)		CH	CL
Kohesi c' (kPa)	kPa	10	5
Sudut geser dalam ϕ'	°	20°	30°



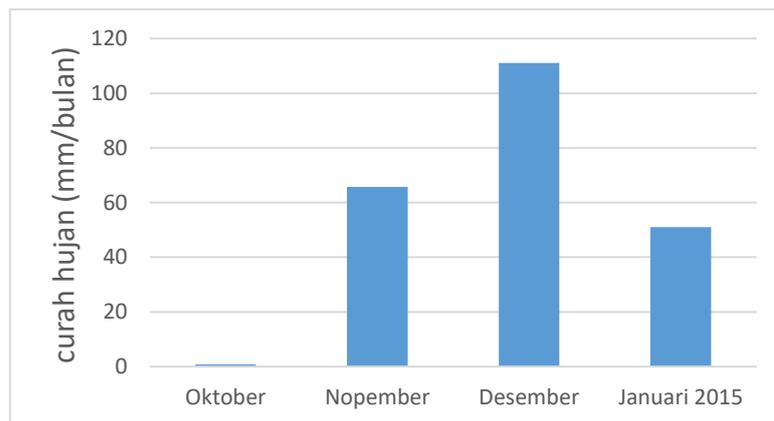
Gambar 4. Gradasi butiran tanah pembentuk pondasi dan tubuh tanggul

4.2 Variasi Muka Air Sungai Lacak

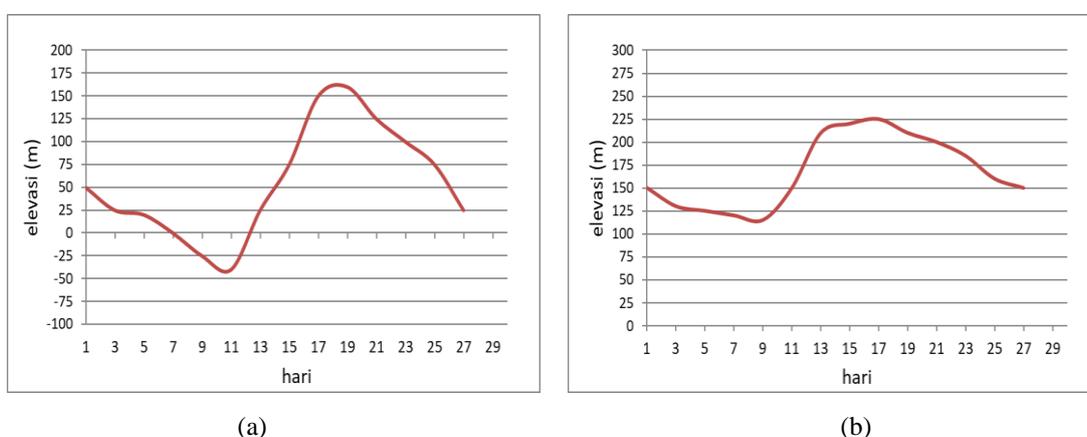
Dalam penelitian ini dilakukan analisis untuk variasi muka air Sungai Lacak dari tanggal 24 Oktober 2014 sampai 25 Januari 2015 seperti diperlihatkan pada Gambar 5 dimana muka air sungai terendah di dapat pada bulan Oktober 2014 sedangkan tertinggi pada bulan Desember 2014. Kondisi ini didukung oleh kondisi curah hujan di kota Palembang dalam kurun waktu yang sama seperti diperlihatkan pada Gambar 6, dimana hampir tidak ada curah hujan pada bulan Oktober 2014, sedangkan pada bulan Desember 2014 curah hujan mencapai 111 mm. Terlihat bahwa curah hujan juga berpengaruh terhadap ketinggian muka air sungai dimana peningkatan yang cukup besar dari tinggi muka air adalah pada bulan Nopember dan Desember. Gambar 7 memperlihatkan perbandingan grafik pasang naik dan pasang surut pada (a) musim penghujan dan (b) musing kering. Dari Gambar 5 dan 7 dapat disimpulkan elevasi Mula air sungai Lacak terendah (surut) adalah -0.44 MDPL sedangkan elevasi muka air sungai tertinggi (pasang) adalah $+ 2,27$ MDPL.



Gambar 5. Variasi muka air sungai tanggal 24 Oktober 2014-25 Januari 2015



Gambar 6. Curah hujan kota Palembang bulan Oktober 2014 – Januari 2015



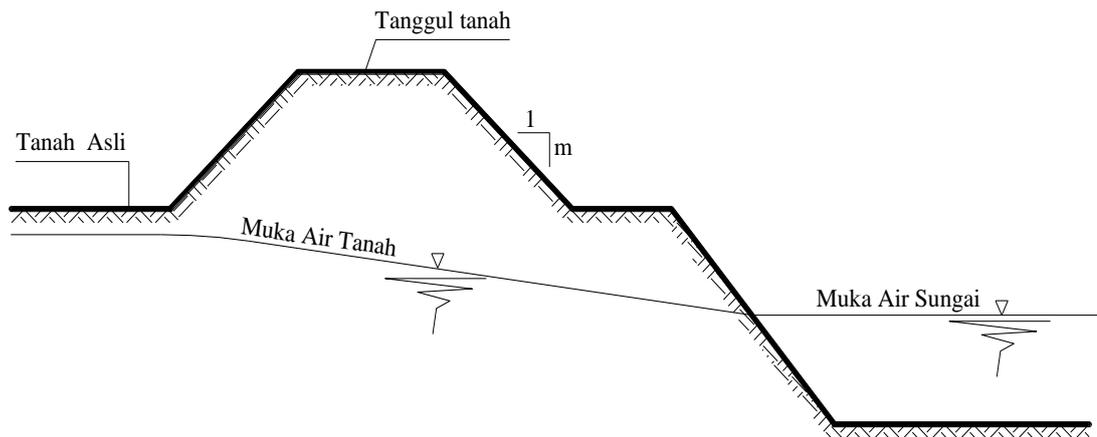
Gambar 7. Variasi muka air sungai (a) pada saat kemarau dan (b) musim penghujan

4.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanggul

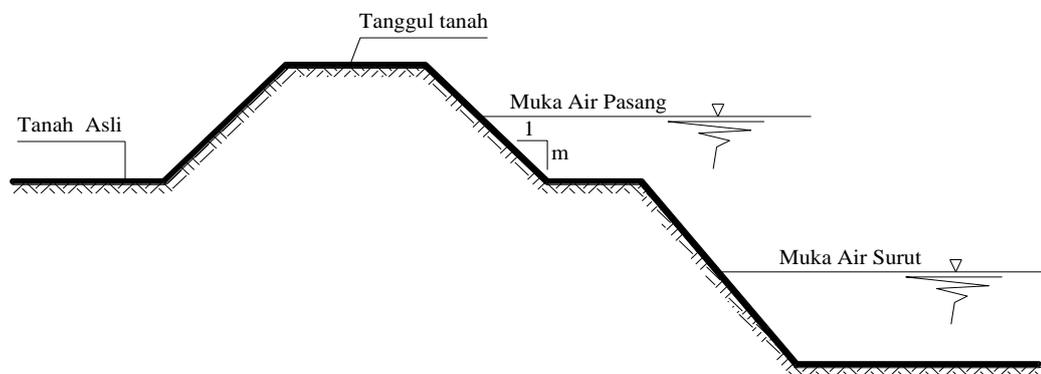
Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan program Slope/W (Geoslope International, 2012). Dalam hal ini dilakukan analisis steady state yaitu analisis dilakukan pada kondisi yang telah ditetapkan, dalam hal ini muka air pasang (MAP), muka air normal (MAN) dan muka air surut (MAS). Analisis dilakukan terhadap tanggul existing dan tanggul yang dibangun mengikuti kriteria yang diberikan oleh Department PU (2017) dengan dan tanpa riprap. Gambar 8 dan Gambar 9 memperlihatkan penampang melintang sungai dan tanggul sungai Lacak yang di analisis dalam penelitian ini. Ada tiga kondisi yang di tinjau yaitu kondisi normal (Gambar 8), serta kondisi saat pasang dan kondisi pada saat surut (Gambar 9).

Sebagai perbandingan digunakan bentuk tanggul yang disarankan oleh Kementerian PU (2017). Gambar 10 memperlihatkan bentuk tipikal penampang melintang tanggul ideal. Selain bentuk tipikal tersebut. Manual juga menyarankan sifat tanah yang dapat digunakan

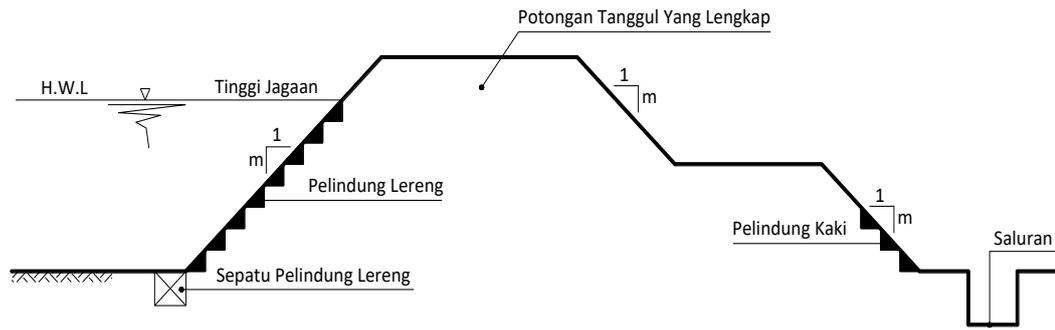
untuk pembangunan tanggul yaitu tanah kepasiran (*cohesionless*) dengan sudut geser dalam $> 30^\circ$. Parameter tanah yang digunakan dalam analisis tanggul eksisting diberikan pada table 4.2 sedangkan untuk tanggul ideal digunakan parameter tanah yaitu berat isi $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, kohesi $c' = 0 \text{ kPa}$ dan sudut geser dalam $\phi' = 35^\circ$. Untuk riprap digunakan parameter material batu dengan berat isi $\gamma = 22 \text{ (kN/m}^3)$, kohesi $c' = 0 \text{ kPa}$ dan sudut geser dalam $\phi' = 42^\circ$.



Gambar 8. Penampang melintang tanggul pada saat muka air normal

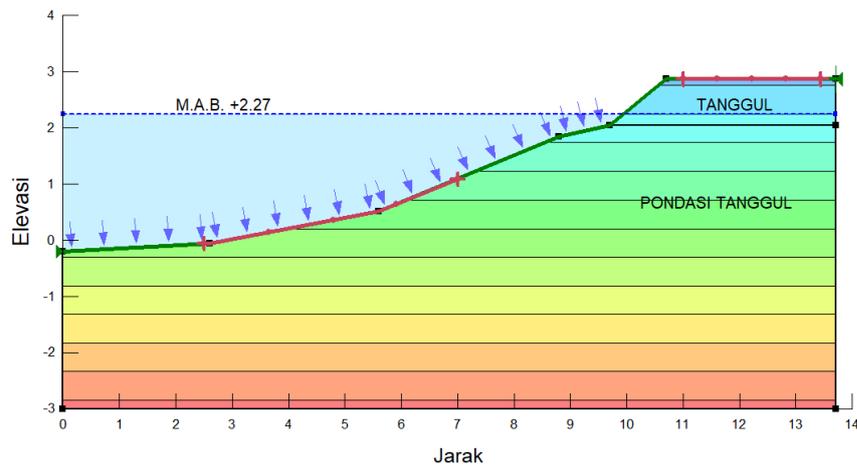


Gambar 9 Penampang melintang tanggul pada saat muka air pasang dan surut

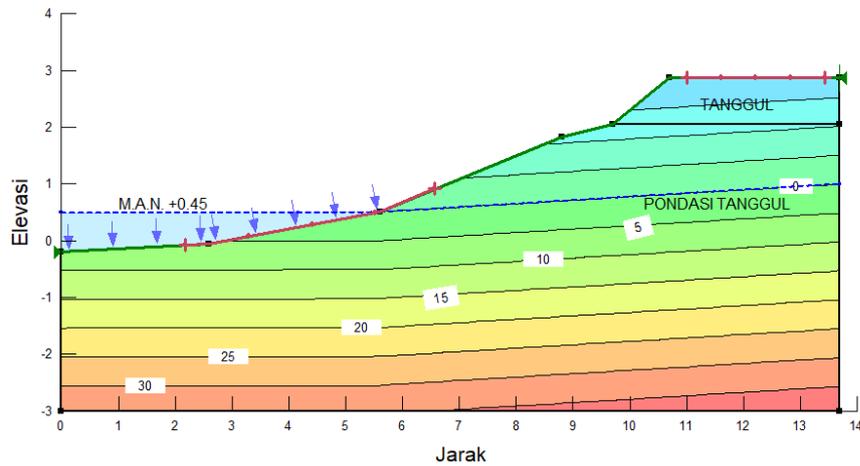


Gambar 10. Tipikal penampang melintang tanggul ideal (Kementerian PU 2017)

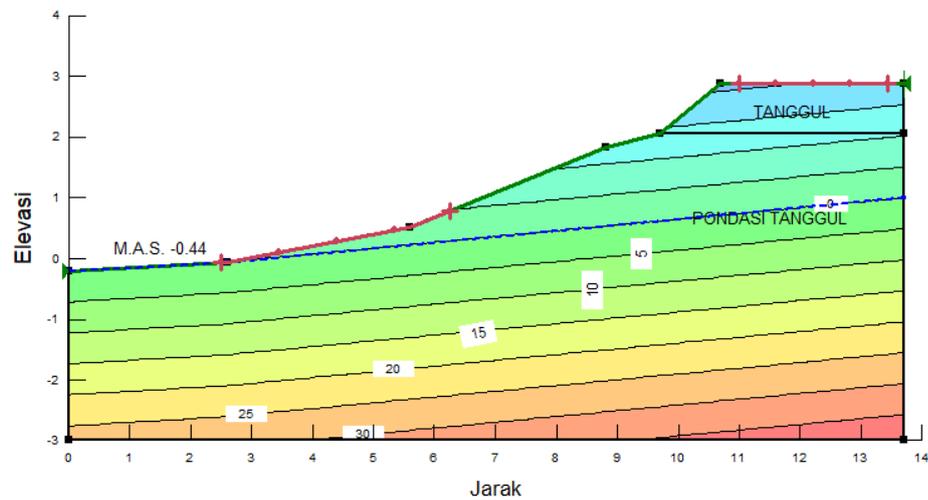
Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13 memperlihatkan pemodelan tanggul existing pada saat muka air pasang (MAP), muka air normal (MAN) dan muka air surut (MAS). Muka air tanah (MAT) didapatkan dari hasil pemboran pada saat yang sesuai dengan kondisi MAN, MAS dan MAP.



Gambar 11. Tanggul existing pada saat muka air pasang

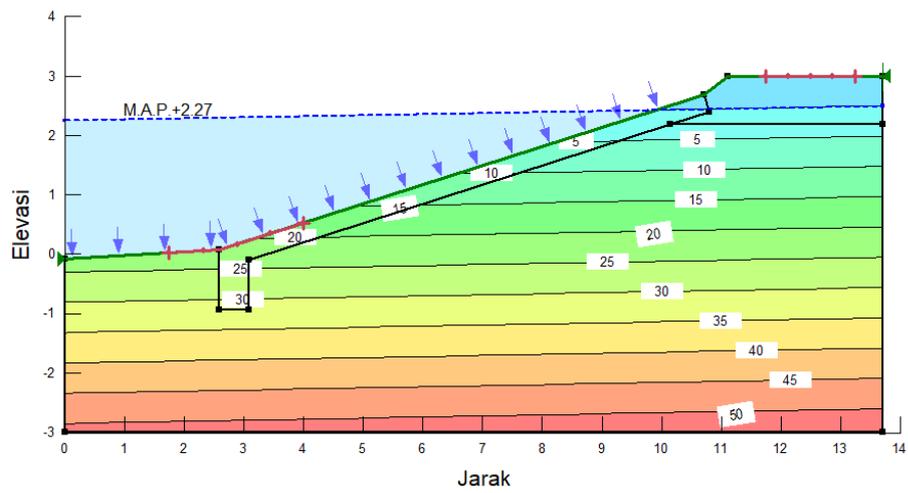


Gambar 12. Tanggul existing pada saat muka air normal

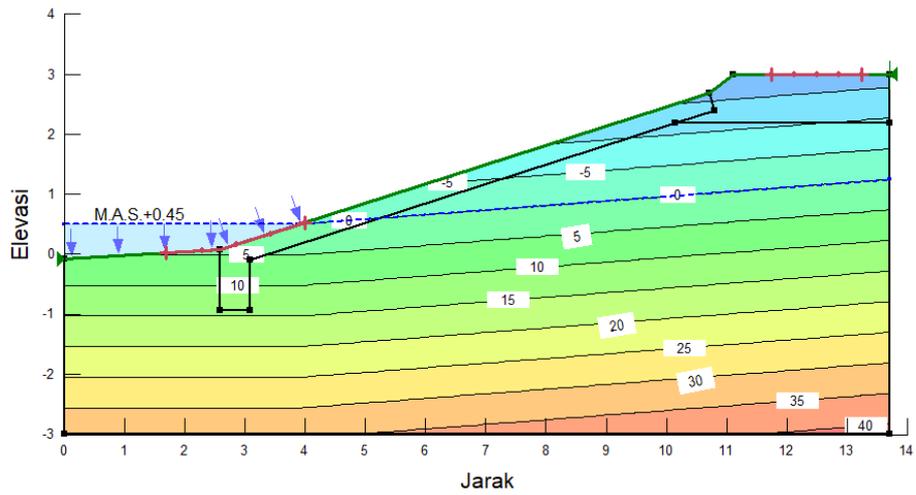


Gambar 13. Tanggul existing pada saat muka air surut

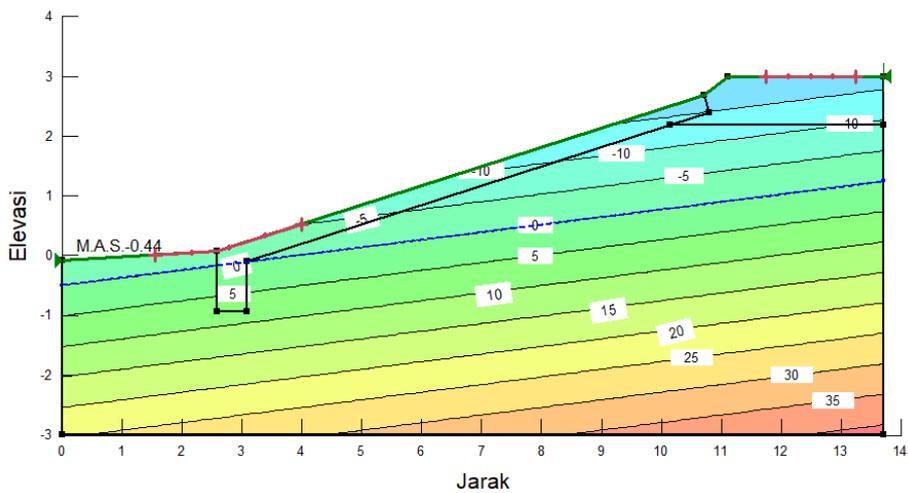
Seperti dijelaskan sebelumnya, nalisis stabilitas tanggul ideal dilakukan pada dua keadaan (1) tanpa riprap dan (2) dengan riprap. Untuk keadaan 1, geometri tanggul sama dengan tanggul existing, hanya karakteristik tanah yang diubah sesuai dengan persyaratan tanggul ideal (SNI 1724-2015 dan Kementerian PUPR, 2015). Untuk keadaan 2, ditambahkan riprap yang dibangun lebih tinggi dari muka air pasang dan kondisi ini mencegah terjadinya rembesan air melalui tanggul. Gambar 14, Gambar 15 dan Gambar 16 memperlihatkan pemodelan tanggul ideal dengan riprap pada saat muka air pasang (MAP), muka air normal (MAN) dan muka air surut (MAS). Muka air tanah (MAT) didapatkan dari hasil pemboran pada saat yang sesuai dengan MAN dan MAS kecuali pada kondisi pasang di andaikan bahwa posisi MAT sejajar dengan muka air sungai.



Gambar 14. Tanggul ideal dengan riprap pada saat muka air pasang

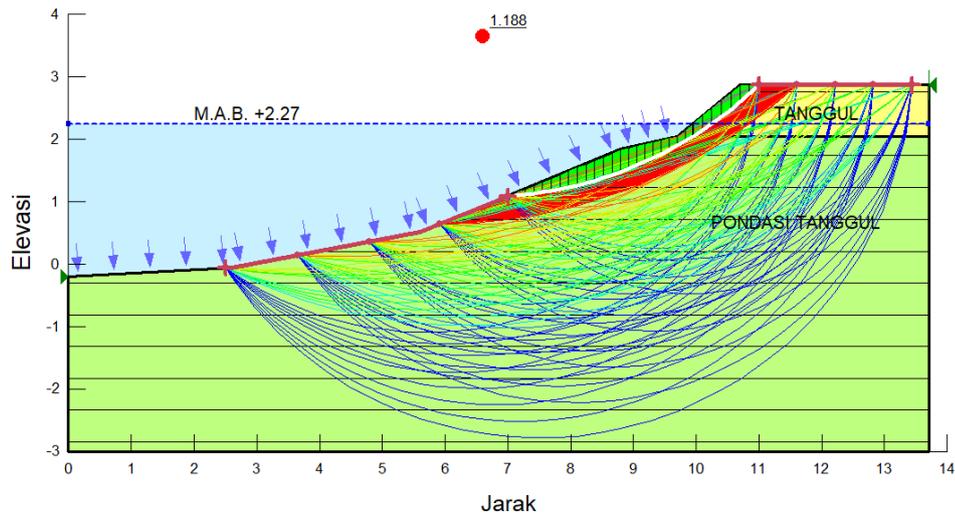


Gambar 15 Tanggul ideal dengan riprap pada saat muka air normal

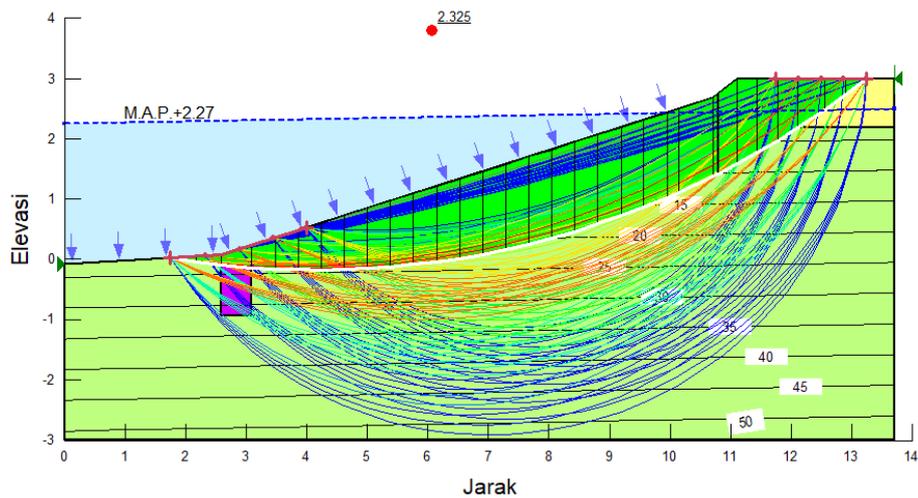


Gambar 16 Tanggul ideal dengan riprap pada saat muka air surut

Hasil analisis stabilitas lereng tanggul sungai Lacak menggunakan metode Bishop yang terintegrasi dalam program SLOPE/W untuk tanggul pada kondisi existing dengan muka air pasang dapat dilihat pada Gambar 17 sedangkan untuk kondisi ideal dengan riprap diperlihatkan pada Gambar 18. Faktor keamanan untuk semua kondisi diperlihatkan pada Tabel 2.



Gambar 17 Hasil analisis untuk kondisi existing dengan muka air pasang



Gambar 18 Hasil analisis untuk kondisi ideal+riprap dengan muka air pasang

Dapat dilihat dari Tabel 2 bahwa tanggul eksisting berada pada kondisi dengan faktor keamanan sedikit di atas 1 tapi masih lebih rendah dari 1,5. Namun berdasarkan kriteria SNI 8460 (2017) lereng tanggul dapat dinyatakan sebagai tidak aman dan perlu perbaikan

terutama berkaitan dengan kondisi muka air pasang. Kestabilan lereng dapat diperbaiki apabila tanggul dibangun dengan tanah yang diperbaiki dan dipadatkan dengan baik sesuai kriteria pemadatan. Dapat dilihat bahwa faktor keamanan sedikit meningkat namun masih dibawah kriteria yang ada yaitu $FK \leq 1,5$. Pemasangan riprap sangat membantu untuk meningkatkan faktor keamanan sehingga menjadi > 1.5 pada semua keadaan, terutama pada kondisi pasang dimana air ditahan untuk tidak merembes kebadan tanggul.

Tabel 2. Hasil analisis stabilitas tanggul

Tanggul	Muka Air	Hasil Analisis	<=>	SF	Keterangan
EKSISTING	Pasang	1.188	<	1.5	Tidak aman
	Normal	1.380	<	1.5	Tidak aman
	Surut	1.395	<	1.5	Tidak aman
IDEAL	Pasang	1.270	<	1.5	Tidak aman
	Normal	1.397	<	1.5	Tidak aman
	Surut	1.450	<	1.5	Tidak aman
IDEAL	Pasang	2.325	>	1.5	Aman
+	Normal	1.993	>	1.5	Aman
RIPRAP	Surut	2.128	>	1.5	Aman

5. KESIMPULAN

Dari analisis *steady state* stabilitas lereng tanggul yang telah dilakukan menggunakan metode *Modified Bishop* yang terintegrasi dalam program SLOPE/W, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Lereng tanggul *existing* pada sungai Lacak berada dalam kondisi kritis ($FK \leq 1,5$) baik pada saat muka air pasang, normal maupun pada saat surut.
2. Kestabilan tanggul dapat diperbaiki dengan penggunaan tanah yang sesuai standar SNI sebagai bahan konstruksi. Dapat dilihat disini bahwa faktor keamanan lereng tanggul meningkat dari 1.188 menjadi 1.270 pada saat muka air pasang. Akan tetapi angka keamanan tersebut belum mencapai faktor keamanan yang disyaratkan dalam SNI, maka perlu ditambahkan riprap agar mencapai faktor keamanan yang baik.

3. Pemasangan riprap bertujuan untuk memperdalam bidang keruntuhan sehingga meningkatkan faktor keamanan yang lebih besar dari 1.5 (dalam hal ini faktor keamanan meningkat sampai 2.325 pada saat pasang).

Studi ini menyimpulkan bahwa konstruksi tanggul yang dilakukan dengan seksama mengikuti persyaratan standar akan sangat membantu dari segi stabilitas lereng dan pemeliharaan. Tanggul yang didisain mengikuti standar memiliki stabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap perubahan muka air sungai. Pemasangan riprap bertujuan untuk memperdalam bidang keruntuhan sehingga meningkatkan faktor keamanan

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada staff Laboratorium Mekanika Tanah Geotech Pratama yang membantu pengujian tanah, Program S2 Teknik Sipil Universitas Bina Darma serta *Reviewer* dan Editor yang telah membantu menyempurnakan manuskrip ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Alfa, G. & Pattipawaej, O. (2014.) Stabilitas Dermaga akibat Kenaikan Muka Air Laut (Studi Kasus: Pelabuhan Perikanan Nusantara Pemangkat Kalimantan Barat) . *Jurnal Teknik Sipil* 10(1):16-35.
- Ariesta, D. (2019). The Effect of Initial Groundwater Table and Rainfall Wetting towards Slope Stability. *Journal of Civil Engineering Forum* 5(2):149 – 159.
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. SNI 8460:2017.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). Analisis Hidrologi, Hidrolik dan Kriteria Desain Bangunan Sungai. SNI 1724:2015
- BBWSS VIII (2020). *Laporan Survey Investigasi dan Desain Pengendalian Banjir pada Wilayah sub-DAS sungai Musi kota Palembang*.
- Geoslope International Ltd. 2012. *Seepage Modelling with SLOPE/W*. Calgary, Canada.
- Jadid, R., Montoyaa, B.M., Benneth, V. & Gabr, M.A. (2020) Effect of repeated rise and fall of water level on seepage-induced deformation and related stability analysis of Princeville levee. *Engineering Geology* 266 - 105458
- Kementrian PUPR (2017). *Modul Dasar-Dasar Perencanaan Alur Dan Bangunan Sungai Dan Perencanaan Teknis Sungai*. PPSDA dan Konstruksi.
- Nugraha, A.S., & Sutanto, A.K. (2019). Pengaruh Sudut Kemiringan Lereng terhadap Angka Stabilitas Lereng Tanah Kohesif berdasarkan Kurva Taylor dan Software GEO5. *Jurnal Teknik Sipil* 15(2):87 – 148.
- Prayuda, D.D. & Wahyudin, M.A (2017) Stabilitas Lereng Tanggul Sungai Cimanuk Kabupaten Indramayu. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur* 1(6): 279-321
- Rizka A., Jennifer G.P., Sapto, P. & Dwi K. (2015) Perencanaan Tanggul Banjir Sungai Lusi Hilir, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(1):186 – 196
- Triatmodjo, B. (2003) *Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.