

Kajian Kes Analisis Kestabilan Empangan Durian Tunggal, Melaka

Mohd Mawardi Mohd Kamal
Normadiana Mohammad Hanapi
Mohd Fadhiridhwan Mohd Fazuki

ABSTRAK

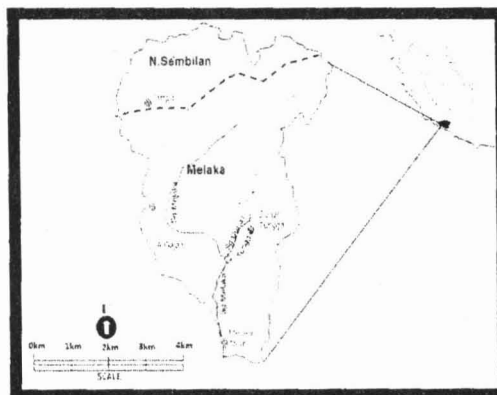
Empangan Durian Tunggal merupakan suatu benteng tanah yang telah direkabentuk untuk penyimpanan sumber air untuk kawasan Melaka. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan empangan Durian Tunggal dengan menggunakan perisian GEOSLOPE dalam menentukan faktor keselamatan (FOS) empangan. Hal ini dikaji untuk memastikan kestabilan empangan ini kerana telah dikelaskan sebagai empangan yang berbahaya oleh USACE. Parameter yang dikaji ialah berdasarkan perubahan paras air pada empangan ini dengan mengambil kira keadaan banjir dan kemarau dan menggunakan parameter ciri tanah kejelekitan dan sudut geseran berdasarkan variasi daripada kajian lepas. Nilai-nilai FOS yang diperolehi diplotkan dalam graf mengikut ketinggian paras air masing-masing, dan keputusan yang diperolehi mendapati kestabilan empangan Durian tunggal pada keadaan yang selamat kerana semua nilai FOS yang diperolehi pada setiap paras air secara puratanya melebihi satu, $FOS > 1$.

Kata Kunci: Cerucuk keping, SEEP/W, SLOPE/W, kejelekitan, Sudut geseran, Kaedah Had Keseimbangan (LEM) dan Kaedah Unsur Terhingga (FEM)

Pengenalan

Empangan Durian Tunggal merupakan yang kedua terbesar di Melaka dan terletak di Simpang Gading lebih kurang 3.7km dari Pekan Durian Tunggal dan 8 km dari muka sauk pam. Empangan Durian Tunggal adalah empangan tadahan bumi, dibina di atas Sungai Durian Tunggal iaitu anak Sungai Melaka. Empangan ini telah siap dibina pada tahun 1974 dan dipertingkatkan lagi keupayaannya pada tahun 1992. Pertambahan tinggi aras air empangan sebanyak 2.5 m dari 25.9 m kepada 28.4 m menjadikan kapasitinya meningkat dari 20,800 ML kepada 32,600 ML. Empangan ini dibina untuk mengawal aliran Sungai Melaka di muka sauk. Keluasan kawasan tadahan air bagi empangan ini ialah 41.4 km persegi yang hanya merupakan 8% dari 505.0 km persegi keluasan kawasan tadahan air Sungai Melaka (Rahimah binti Abdullah, 2008).

Empangan ini terletak pada laitud $2^{\circ} 21' N$ dan pada longitud $102^{\circ} 19'E$. Empangan ini mempunyai kawasan tadahan seluas 41.4 km^2 . Lokasi peta bagi empangan Durian Tunggal adalah seperti Rajah 1 di bawah.



Rajah 1: Lokasi Empangan Durian Tunggal

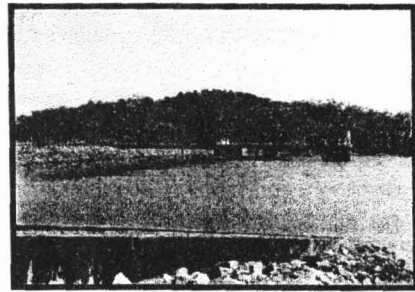
Berdasarkan kriteria daripada *US Army Corps Engineers (USACE)*, empangan Durian Tunggal telah pun dikelaskan sebagai empangan yang berbahaya yang mana akan menyebabkan kehilangan banyak nyawa manusia, kemusnahan ekonomi, gangguan hidupan liar dan persekitaran. Oleh sebab inilah empangan Durian Tunggal ini dipilih sebagai kajian kes untuk mengkaji kestabilan dan kegagalan yang mungkin berlaku pada empangan ini (Rahimah binti Abdullah, 2008).

Analisis dan rekabentuk kejuruteraan bagi kestabilan empangan Durian Tunggal selepas takungan air diisikan biasanya disempurnakan dengan menggunakan Kaedah Had Keseimbangan (*Limit Equilibrium Method*) di mana faktor keselamatan permukaan akan dikira. Kaedah ini memberi sedikit maklumat tentang keadaan tekanan dan kecacatan dalam empangan ini. Manakala kawasan resapan (*seepage field*) pula selalunya dianggarkan melalui kaedah termudah dalam praktis kejuruteraan geoteknikal. Namun akhirnya, permasalahan ini masih rumit untuk diselesaikan. Oleh itu, adalah penting untuk mengambilkira faktor keselamatan dan ekonomi dalam merekabentuk sesebuah empangan tanah untuk mengelak berlakunya kegagalan pada empangan tanah yang dibina. Empangan Durian Tunggal dikategorikan sebagai empangan tanah merupakan benteng tanah yang direkabentuk untuk digunakan sebagai takungan air. Empangan ini bergantung kepada beratnya sendiri untuk menahan daya tindakan air, sama seperti empangan jenis graviti yang dibina dengan konkrit. Pada dasarnya, ia bukan hanya bergantung pada beratnya, akan tetapi pada jenis dan kekuatan tanah juga di mana empangan Durian Tunggal ini dibina.

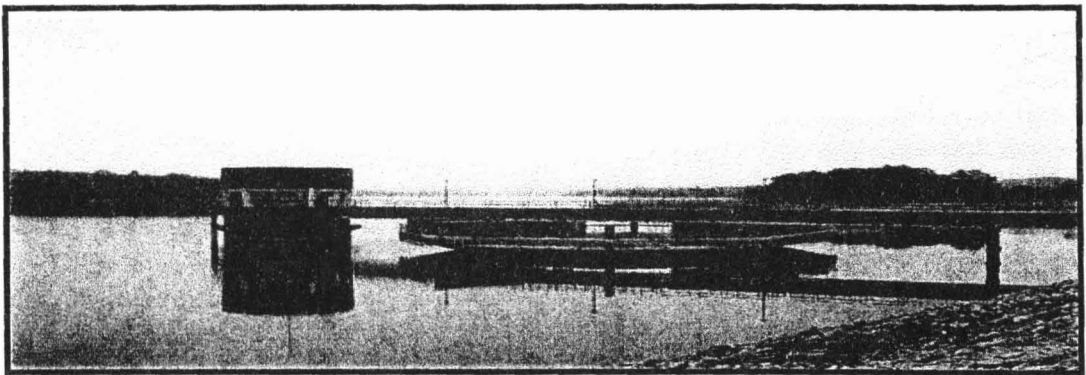
Berdasarkan Rahimah binti abdullah 2008, telah mengkelaskan maklumat teknikal bagi empangan Durian Tunggal dan ciri-ciri tanah bagi empangan Durian Tunggal. Rajah 2, 3, 4 dan jadual 1 di bawah merupakan gambar dan maklumat teknikal bagi empangan ini.



Rajah 2: Empangan Durian Tunggal



Rajah 3: Empangan Durian Tunggal



Rajah 4: Empangan Durian Tunggal

Jadual 1: Ciri-ciri Empangan Durian Tunggal

No	Kriteria	Deskripsi
1	Lokasi	Spg Garing, Durian Tunggal
2	Sistem sungai	Sungai Melaka
3	Jenis empangan	Empangan Tanah
	i) Ketinggian	26m
	ii) Panjang puncak	285m
	iii) Peringkat puncak	31m
	iv) Klasifikasi saiz	Empangan besar
	v) Klasifikasi bahaya	Penting/bahaya
4	Tahun disiapkan	1974
5	Kawasan Tadahan	
	i) Pada kawasan empangan	41.4 km ²
	ii) Pada kawasan tadahan	5.8 km ²

6	Saiz Takungan (Mengikuti aras laut)	
	i) Aras maksimum air	28.4 m
	ii) Aras saliran penuh	28.4 m
	iii) Aras kawalan banjir	30.5 m
	iv) Aras minimum operasi	16.4 m
	v) Lebar Puncak	10 m
	vi) Lebar Tapak	150 m
7	Ciri-ciri Tanah	Tanah baki
	i) Kejelekitan	10.7 kPa – 36.4 kPa
	ii) Sudut geseran	23.4°- 34.5°
	iii) Berat unit	16.37 kN/m ³

Kaedah Kajian

Kajian ini memfokuskan kepada analisa kestabilan empangan tanah dengan menggunakan perisian GEOSLOPE. Perisian komputer ini berdasarkan Kaedah Had Kesimbangan (LEM) dan Kaedah Unsur Terhingga (FEM). Produk GEOSLOPE yang digunakan adalah SEEP/W dan SLOPE/W.

Analisis kestabilan empangan Durian Tunggal dilakukan dengan simulasi perisian GEOSLOPE dan hasil yang diperolehi adalah faktor keselamatan bagi setiap aras air yang berbeza. Bagi analisis kestabilan empangan ini terhadap perbezaan aras air, ia dilakukan dengan menentukan aras air yang maksimum (23 m) dan minimum (11m) bagi empangan ini dan melakukan kajian kepada keadaan banjir dan kemarau, iaitu aras air yang melebihi paras maksimum (25 m) dan paras minimum (9 m). Dalam analisis ini, bentuk empangan ini adalah malar iaitu berdasarkan rekabentuk asalnya, dengan ketinggian 26 m, kelebaran tapak 150 m, kelebaran puncak 10 m. Dalam analisis ini juga, andaian bagi ciri tanah iaitu dengan kejelekitan 10.7 kPa 25.7 kPa dan 36.4 kPa, sudut geseran pula adalah 23.4° dan 34.5° dan berat unit 16.37 kN/m³. Ciri-ciri tanah ini adalah berdasarkan kajian lepas pada empangan durian Tunggal.

Keputusan dan Perbincangan

Berdasarkan analisis penggunaan perisian GEOSLOPE terhadap kestabilan empangan durian Tunggal, didapati hasil data yang diperolehi menunjukkan perubahan nilai faktor keselamatan terhadap nilai parameter perubahan paras air dan perubahan nilai ciri tanah iaitu kejelekitan dan sudut geseran. Nilai faktor keselamatan meningkat berdasarkan peningkatan nilai kejelekitan dan sudut geseran, dan meningkat berdasarkan penurunan paras air. Jadual –jadual di bawah merupakan hasil analisis berdasarkan paras air yang berbeza.

Jadual 2: Nilai FOS Pada Paras 25 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
25 m	10.7	23.4	0.936	1.49
	10.7	34.5	1.269	
	25.7	23.4	1.353	
	25.7	34.5	1.759	
	36.4	23.4	1.615	
	36.4	34.5	2.036	

Jadual 3: Nilai FOS Pada Paras 23 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
23 m	10.7	23.4	0.975	1.56
	10.7	34.5	1.322	
	25.7	23.4	1.408	
	25.7	34.5	1.835	
	36.4	23.4	1.685	
	36.4	34.5	2.135	

Jadual 4: Nilai FOS Pada Paras 21 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
21 m	10.7	23.4	1.007	1.609
	10.7	34.5	1.368	
	25.7	23.4	1.457	
	25.7	34.5	1.888	
	36.4	23.4	1.73	
	36.4	34.5	2.206	

Jadual 5: Nilai FOS Pada Paras 19 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
19 m	10.7	23.4	1.092	1.73
	10.7	34.5	1.501	
	25.7	23.4	1.569	
	25.7	34.5	2.028	
	36.4	23.4	1.846	
	36.4	34.5	2.361	

Jadual 6: Nilai FOS Pada Paras 17 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
17 m	10.7	23.4	1.253	1.90
	10.7	34.5	1.784	
	25.7	23.4	1.666	
	25.7	34.5	2.235	
	36.4	23.4	1.933	
	36.4	34.5	2.521	

Jadual 7: Nilai FOS Pada Paras 15 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
15 m	10.7	23.4	1.362	2.047
	10.7	34.5	1.983	
	25.7	23.4	1.774	
	25.7	34.5	2.401	
	36.4	23.4	2.051	
	36.4	34.5	2.708	

Jadual 8: Nilai FOS Pada Paras 13 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
13 m	10.7	23.4	1.489	2.21
	10.7	34.5	2.183	
	25.7	23.4	1.888	
	25.7	34.5	2.604	
	36.4	23.4	2.169	
	36.4	34.5	2.898	

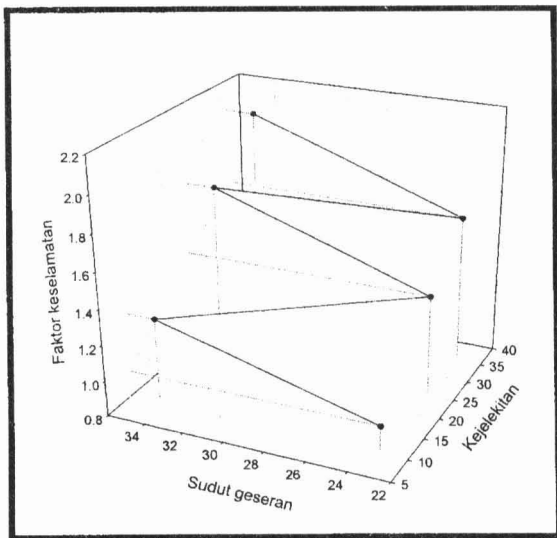
Jadual 9: Nilai FOS Pada Paras 11 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
11 m	10.7	23.4	1.6	2.45
	10.7	34.5	2.369	
	25.7	23.4	2.001	
	25.7	34.5	2.803	
	36.4	23.4	2.281	
	36.4	34.5	3.1	

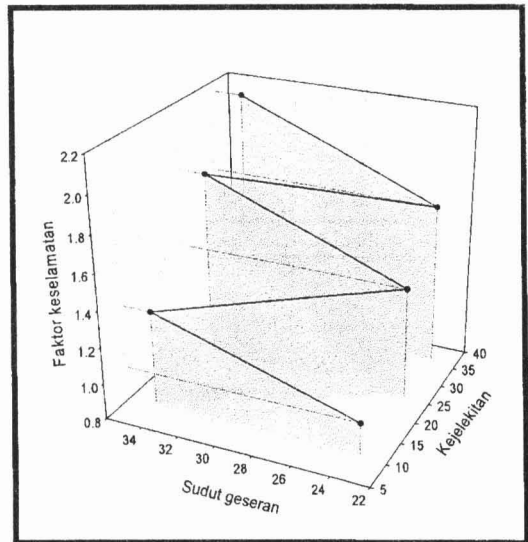
Jadual 10: Nilai FOS Pada Paras 9 meter

Paras Air	Kejelekitan, kPa	Sudut geseran °	Faktor Keselamatan	Faktor Keselamatan Purata
19 m	10.7	23.4	1.485	2.28
	10.7	34.5	2.14	
	25.7	23.4	2.01	
	25.7	34.5	2.664	
	36.4	23.4	2.367	
	36.4	34.5	3.024	

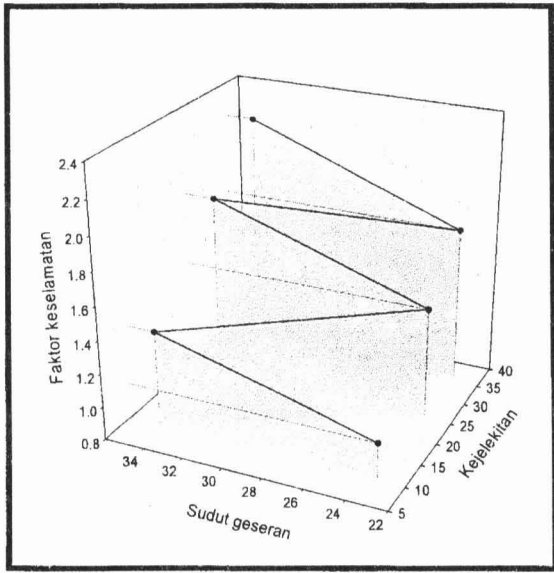
Daripada nilai-nilai FOS yang telah diperolehi pada jadual-jadual di atas, graf 3 dimensi diplotkan untuk menunjukkan kolerasi antara nilai ciri tanah dan faktor keselamatan, yang mana nilai FOS meningkat berdasarkan peningkatan nilai kejelekitan dan sudut geseran dan meningkat dengan penurunan paras air



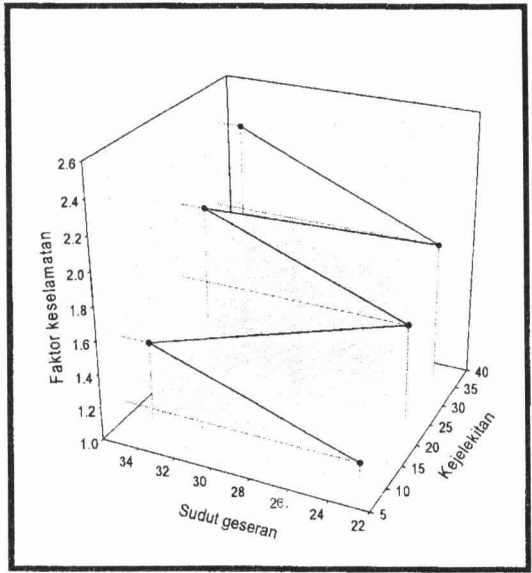
Graf 1: Paras 25 meter



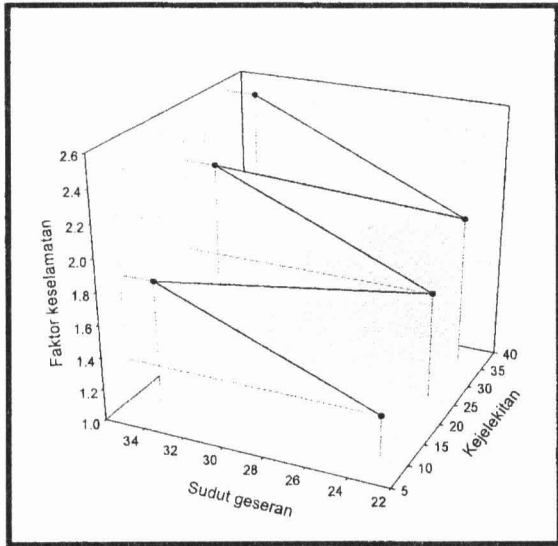
Graf 2 :Paras 23 meter



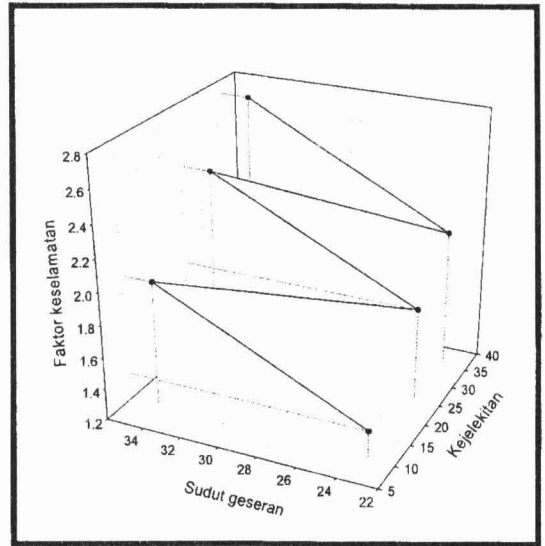
Graf 3 : Paras 21 meter



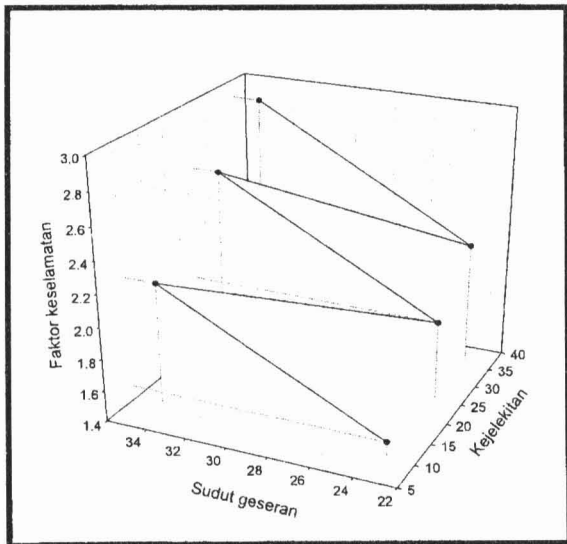
Graf 4 : Paras 19 meter



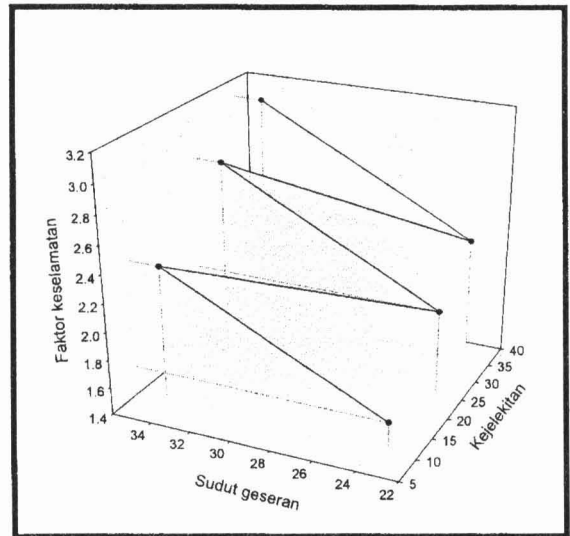
Graf 4: Paras 17 meter



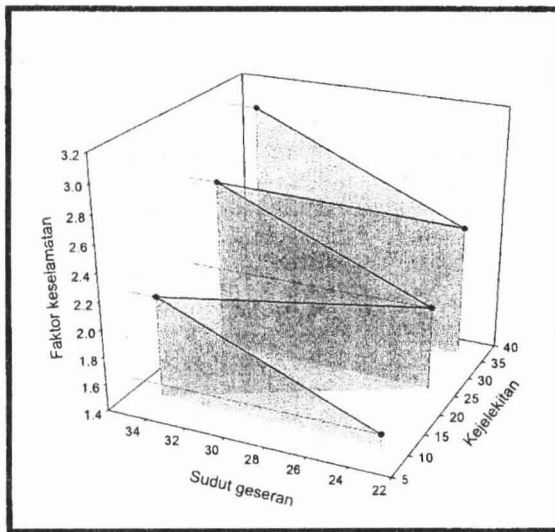
Graf 5: Paras 15 meter



Graf 6: Paras 13 meter

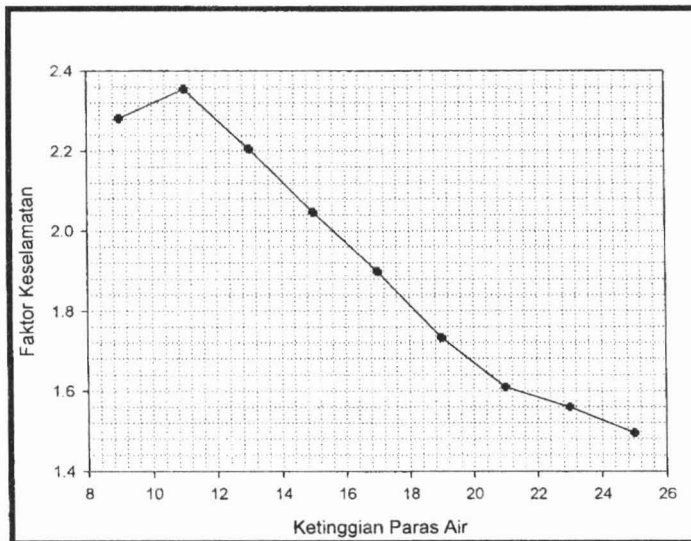


Graf 7: Paras 11 meter



Graf 8 : Paras 9 meter

Perubahan Faktor Keselamatan Pada Paras Air Yang Berbeza Secara Purata



Rajah 5: FOS secara purata melawan ketinggian paras air empangan Durian Tunggal

Empangan yang selamat adalah empangan yang mempunyai faktor keselamatan satu dan ke atas, $FOS > 1$. Manakala bagi empangan yang mempunyai faktor keselamatan kurang daripada satu adalah empangan yang gagal dan tidak selamat. Graf yang telah diplot pada rajah 5 di atas merupakan graf bagi FOS secara purata yang melawan ketinggian berbeza bermula daripada paras air 25 meter sehingga paras air 9 meter. Daripada graf yang diperolehi ini menunjukkan nilai FOS secara purata untuk setiap paras air pada empangan Durian Tunggal adalah melebihi daripada satu termasuk pada keadaan banjir iaitu pada 25 meter, dan kemarau pada 9 meter, masing-masing mempunyai nilai FOS melebihi satu iaitu 1.495 dan 2.28. Pada paras 11 meter pula, empangan Durian Tunggal ini paling stabil dengan nilai FOS secara puratanya 2.45.

Secara keseluruhannya, didapati nilai FOS meningkat berdasarkan peningkatan nilai kejelekitan dan sudut geseran pada setiap paras air yang berbeza dan nilai FOS ini juga meningkat dengan penurunan paras air sehingga pada paras yang minimum sahaja. Apabila paras air melebihi paras minimum, nilai FOS ini semakin menurun, tetapi masih pada takat yang selamat kerana tidak kurang daripada satu. Oleh yang demikian, dapat dirumuskan bahawa empangan Durian Tunggal ini adalah pada keadaan yang stabil pada paras air yang paling maksimum atau pun pada keadaan paras air yang paling minimum. Namun begitu, oleh kerana nilai FOS pada keadaan yang banjir, iaitu pada paras 25 meter menghampiri kegagalan rekabentuk empangan ini, disarankan agar pihak yang berkaitan mengambil langkah berjaga-jaga jika berlakunya bencana banjir di empangan Durian Tunggal ini.

Penutup

Secara keseluruhannya, kajian ini telah dijalankan dengan lancar dari bermulanya pencarian sumber maklumat untuk kajian literatur hingga ke analisis yang dijalankan. Hasil daripada kajian ini memberi keputusan yang agak memuaskan. Kajian ini juga telah berjaya memenuhi tujuan dan objektif utama kajian yang telah dirancang iaitu menganalisis kestabilan empangan Durian Tunggal dengan menggunakan perisian GEOSLOPE.

Hasil analisis yang telah dijalankan, didapati bahawa kestabilan empangan Durian Tunggal adalah pada keadaan yang stabil atau selamat kerana nilai FOS yang diperolehi untuk setiap paras air adalah melebihi satu, $FOS > 1$. Daripada analisis ini juga, didapati paras maksimum air yang telah ditukar daripada paras asalnya iaitu daripada 25.4 meter ke 28.4 meter mengikut ketinggian paras laut atau jika mengikut ketinggian empangan ialah daripada 21 meter kepada 23 meter adalah dalam keadaan yang stabil. Ini bererti kenaikan paras air maksimum yang baru adalah masih pada takat yang stabil bagi empangan Durian Tunggal.

Rujukan

- Tien-kuen Huang. (1995). Stability Analysis Of an Earth Dam Under Steady State Seepage. *Computer & Structure* Vol. 58, No. 6, pp. 1075-1082.
- Maosong Huang, Cang-Qin Jia. (2008). Strength Reduction FEM in Stability Analysis of Soil Slopes Subjected to Transient Unsaturated Seepage. *Computer and Geotechnich*, doi: 10.1016/j.compgeo.2008.03.006
- Yuzhen Yu, Liqun Xie, Bingyin Zhang. (2005). Stability of Earth-Rockfill Dams: Influence of Geometry on The Three-Dimensional Effect. *Computer and Geotechnics*, doi: 10.1016/j.compgeo.2005.03.003
- Rahimah Binti Abdullah. (2008). DAM BREAK ANALYSIS A case study at Durian Tunggal Dam. USACE. 2009. Dam Safety. Location of Dam Hazard Classification by U.S. Army Corps of Engineers.
- Sabri bin Hassan. (2002). Dam Safety Surveillance-DID Perspective. Paper presented at National Training Course on Use of Isotopes as Alternative Techniques in Dam Safety and Dam Sustainability, Malaysian Institute for Nuclear Technology Research (MINT), Bangi.
- SMHB. (1989). Projek Bekalan Air Baru Melaka Peringkat 1. Design Report on the Rising of Durian Tunggal Dam.

MOHD MAWARDI BIN MOHD KAMAL, NORMADIANA MOHAMMAD HANAPI, MOHD FADHIL RIDHWAN MOHD FAZUKI. Universiti Teknologi MARA Pahang. mawardikamal@pahang.uitm.edu.my, normadiana@pahang.uitm.edu.my, fadhilfazuki@pahang.uitm.edu.my