

## Penentuan Faktor Keamanan pada Lereng Facies Delta

**Totok Sulisty, Sunarno**

Jurusan Teknik Sipil,

Politeknik Negeri Balikpapan

Jl. Soekarno Hatta Km.8 Balikpapan Tlp. (0542) 860895 Fax. 861107

Email : totok.sulisty@poltekba.ac.id

### **Abstract**

*This study determines safety factor of slope and qualitative model of subsidence in deltaic facies in Balikpapan City based on geotechnics, geologic and geomorphologic data. This study is carried out because deltaic deposits have characteristics in both texture and structure which possibly has correlation with subsidence phenomenon.*

*The Aims of this research are determine safety factor of critical slope and genetics of subsidence in research area, so that it could be taken into account in selecting of suitable prevention method and describes phases of subsidence of deltaic facies.*

*This study was carried out by Desk Study of secondary data, field observation and measurement, sampling and laboratory test, their results were processed with software to obtain safety factor of slope. That was continued with analysis and drawing of conclusion.*

*Result of slope stability analysis safety factor of slope in research area less than 1.2 and can be classified as highly vulnerable slope, eventhough subsidence in research area is caused by geomorphologic processes whics is formation of void/megaphore due to the subsurface erosion which triger the depression of land surface.*

*Keywords : Landslide, Subsidence, Deltaic Facies*

### **Abstrak**

*Penelitian ini dilakukan untuk menentukan faktor keamanan (FK) lereng serta model kualitatif berupa genesa penurunan pada sedimen facies delta di Kota Balikpapan berdasarkan data geoteknis, geologis dan geomorfologis. Penelitian ini dilakukan mengingat endapan delta mempunyai karakteristik dalam tekstur dan struktur, yang dimungkinkan mempunyai korelasi dengan adanya fenomena subsidence.*

*Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng kritis, menentukan genesa gerakan tanah dan penurunan tanah (subsidence), sehingga akan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan metode penanggulangan yang sesuai, serta menggambarkan tahapan dan mekanisme menjadi model gerakan tanah dan penurunan tanah pada facies delta.*

*Penelitian ini dilakukan melalui tahapan Desk Study dari data sekunder dan literatur, pengamatan dan pengukuran lapangan, pengambilan contoh batuan dan pengujian laboratorium, data hasil studi tersebut akan diolah dengan perangkat lunak untuk memperoleh nilai factor keamanan (FK) dari lereng. Dilanjutkan dengan analisis dan penarikan kesimpulan.*

*Dari hasil analisis kestabilan lereng Faktor keamanan lereng di lokasi penelitian kurang dari 1.2 dimana moment pendorong lebih besar dari momen penahan dan dapat dikelompokan dalam lereng dengan kerentanan sangat tinggi, namun demikian faktor yang menyebabkan subsidence adalah proses geomorfologi yaitu adanya erosi bawah permukaan yang membentuk rongga yang menyebabkan depresi pada permukaan tanah.*

*Kata kunci : Gerakan Tanah, Subsidence, Facies Delta*

## 1. Pendahuluan

Balikpapan merupakan daerah dengan topografi berupa perbukitan, serta mempunyai ciri litologi yang didominasi oleh endapan delta (*deltaic facies*) berupa batulempung dan batupasir serta pasir kuarsa lepas (*loose materials*), dimana kondisi hidrogeologi pada sebagian daerah lereng merupakan daerah penurapan (*discharge area*), yang dicirikan oleh exfiltrasi berupa mata air atau sumur artesis yang menandai adanya akifer tertekan dengan tekanan pizometrik lebih tinggi dari muka air tanah. Interaksi semua faktor tersebut seringkali menyebabkan gerakan tanah dan penurunan tanah yang pada daerah pemukiman ataupun badan jalan. Fenomena gerakan tanah tersebut sering menyebabkan terjadinya bencana dan mengganggu aktivitas kota dan juga menyebabkan kerugian ekonomi.

Pergerakan massa tanah adalah proses geologi sebagai hasil interaksi beberapa kondisi seperti morfologi, geologi, struktur geologi, hidrogeologi dan penggunaan lahan. Kondisi tersebut saling berpengaruh dan membuat kondisi lereng cenderung bergerak atau longsor (Karnawati, 2002).

Batasan permasalahan dalam penelitian ini adalah pencarian jawaban terhadap permasalahan Bagaimana mengetahui Faktor Keamanan (FK) lereng kritis serta Genesa Gerakan Tanah dan Penurunan Tanah pada Facies Delta. Penelitian telah dilakukan di Jl. Soekarno-Hatta KM.8, Kelurahan Batu Ampar, Balikpapan Kalimantan Timur dengan batasan area penelitian adalah daerah pada koordinat UTM 487.047- 487.187 mU dan 9.867.075 - 9.867.196 mT. UTM zona 50. Namun demikian hasil penelitian ini dapat digunakan untuk kondisi geologi, geomorfologi dan geomekanika yang sama.

## Metoda Penelitian

Metoda yang dipakai dalam penelitian ini berupa langkah kerja serta rangkaian kegiatan sebagai berikut :

Penelitian ini diawali dengan tinjauan pustaka serta pengumpulan data sekunder yang tersedia yang terdiri dari Peta Geologi, Peta Topografi, Peta penggunaan Lahan dan juga data geoteknik yang telah tersedia di beberapa lokasi penelitian. Data Sekunder ini dapat diperoleh dari beberapa institusi terkait seperti BAPPEDA, Badan Meteorologi dan Geofisika, Badan Pusat Statistik dan lainnya.

Data spasial yang telah dikumpulkan meliputi peta geologi, peta topografi, peta geomorfologi, peta penggunaan lahan, peta kelerengan dan peta rencana tata ruang wilayah di tumpang tindihkan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk mendeliniasi daerah rawan longsor serta menentukan lokasi studi.

Penelitian lapangan dimaksudkan untuk memperoleh data primer melalui pengamatan dan pengukuran, pengumpulan sample untuk uji laboratorium yang selanjutnya data yang diperoleh akan dipakai sebagai masukan input dalam analisis kestabilan lereng. Pengukuran Topografi dilakukan pada lereng untuk membuat peta topografi dengan interval kontur 1 m. Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan dengan GPS.

Beberapa data dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium terhadap sample tanah atau batuan. Uji laboratorium yang dilaksanakan dalam penelitian ini meliputi beberapa uji tanah berupa uji geser langsung (*direct shear*) untuk memperoleh sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ). Uji sifat fisik tanah untuk menentukan berat isi tanah ( $\gamma$ ), Serta penentuan batas Atterberg untuk menentukan Batas cair (LL), Batas Plastis (PL) dan Indek Plastisitas (PI). Hasil uji laboratorium akan digunakan sebagai data masukan *input* dalam analisis serta perhitungan penentuan factor keamanan lereng. Untuk penentuan Genesa Gerakan tanah dan Penurunan tanah akan dilakukan uji petrografis untuk mengetahui tekstur dan komposisi batuan,

serta analisis dari data yang diperoleh dilapangan.

Dalam perhitungan factor keamanan ini digunakan metoda perhitungan Morgenstern-Price karena metoda ini memperhitungkan baik gaya dan moment pendorong maupun moment penahan dalam suatu bidang gelincir. Hasil dari analisis kestabilan lereng ini akan di letakan dalam peta sesuai dengan koordinatnya dan sebagai pembuktian hipotesis awal.

Tabel 1. Kondisi Pemenuhan Kesetimbangan Statis Dari Berbagai Metoda.

Metoda	Kesetimbangan Gaya		Kese  timbangan Momen
	Arah pertama (misal vertical)	Arah kedua (misal horisontal)	
Ordinary or Fellenius	Yes	No	Yes
Bishop's Simplified	Yes	No	Yes
Janbu Simplified	Yes	Yes	No
Spencer	Yes	Yes	Yes
Morgenstern-Price	Yes	Yes	Yes**
GLE	Yes	Yes	Yes
Corp of Engineers	Yes	Yes	No
Lowe-Karafiath	Yes	Yes	No
Janbu Generalized	Yes	Yes	No
Sarma	Yes	Yes	Yes
** Momen keseimbangan pada irisan digunakan untuk menghitung gaya antar irisan			

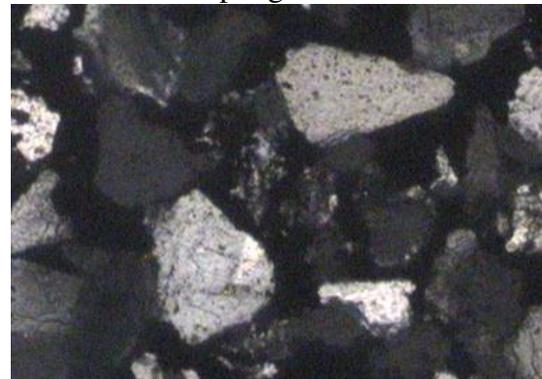
Sumber : GEO-SLOPE International Ltd.

**Hasil Penelitian**

Lokasi penelitian terletak pada dalam Cekungan Kutai dan merupakan Formasi Kampung baru yang terdiri dari batupasir lempungan sisipan batupasir. Pemerian litologi pada lokasi penelitian adalah sebagai berikut: batupasirlempungan, struktur masif, warna abu-abu kuning, masif, ukuran butir lebih kecil 1/4 mm, pasir halus, pemilahan buruk, kemas terbuka, mineral kuarsa, mineral lempung. Kedudukan batuan pada lokasi pengamatan tidak dapat diukur karena pada umumnya batuan sudah lapuk menjadi soil dan kontak antar sisipan bukan merupakan kontak tegas tetapi kontak berangsur.

Hasil analisis petrografi dari batupasir pada lokasi pengamatan menunjukkan Quartz Wacke dengan komposisi sebagai berikut: Grain terdiri mineral kuarsa (72%), putih, relief rendah, ukuran butir

0,25- 0,5mm, warna interferensi putih abu-abu, pemadaman bergelombang, Matrik lempung (27%), hitam kecoklatan, rusty color merupakan campuran oksida besi dan mineral lempung.



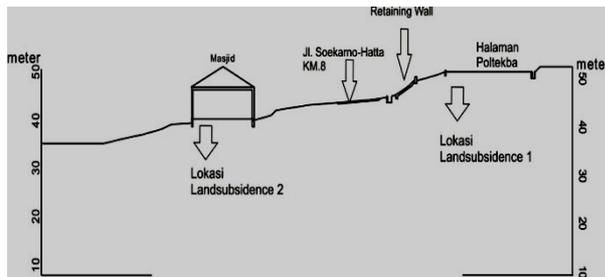
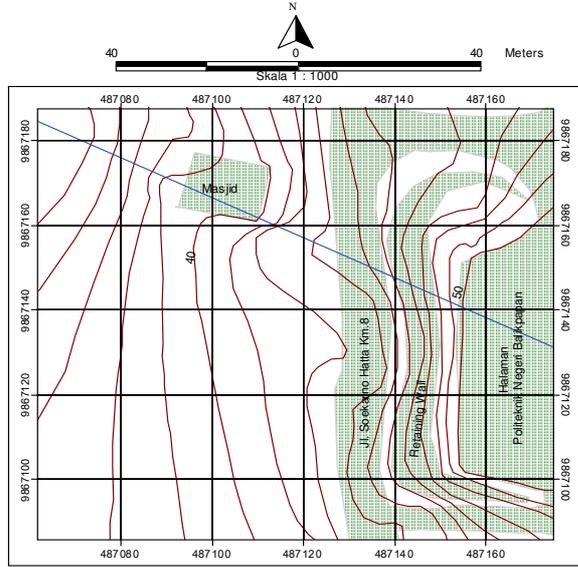
Gambar 1. Foto Sayatan Litologi Daerah Penelitian.

Hasil pengamatan dan pengukuran di lokasi penelitian memperlihatkan beberapa cekungan akibat amblesan yang ber diameter antara 1 sampai dengan 3 meter, subsidence tersebut terjadi pada halaman yang ber paving conblock Gedung Direktorat Politeknik Negeri Balikpapan dan pada lantai Masjid Nurul Hidayah di Jalan Soekarno Hatta KM.8 Balikpapan Utara, sehingga cekungan yang terjadi cukup expresif secara visual karena lokasi disekitarnya merupakan permukaan tanah yang datar. Halaman Gedung Direktorat Politeknik Negeri Balikpapan beberapa kali mengalami amblesan dan beberapa kali mengalami perawatan selama tiga tahun terakhir. Bukti-bukti cekungan subsidence berupa foto.



Gambar 2. Foto Fenomena Subsidence

PETA TOPOGRAFI DAERAH PENELITIAN  
JL. SOEKARNO HATA KM.8

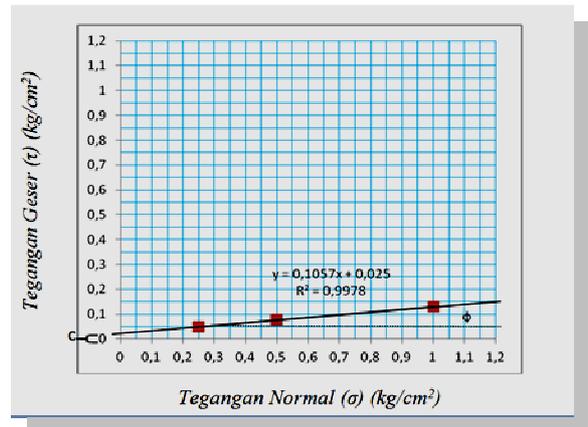


Gambar 3. Peta dan Penampang Topografi

Pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi pengujian sifat fisik dan sifat mekanis tanah yaitu berat volume, Batas Atterberg dan uji geser langsung terhadap sampel tanah dari lereng lokasi penelitian pada ketinggian kontur 35 m pada koordinat UTM 487071mU , 9867178mT. Hasil pengujian Geser Langsung (*Direct Shear*) sample tanah yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Samarinda menunjukkan data seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian Direct Shear

Tegangan	Besaran (kg/cm <sup>2</sup> )		
Tegangan Normal (σ)	0,25	0,50	1,0
Tegangan Geser (τ)	0,05	0,08	0,13



Gambar 4. Selubung Kuat Geser Coulomb dari Contoh Tanah Daerah Penelitian

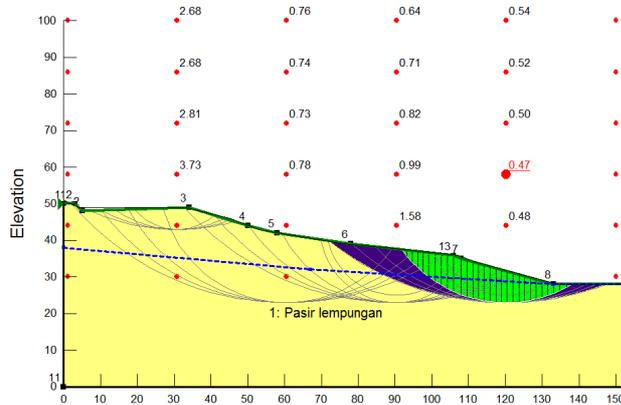
Dari hasil Analisis dengan menggunakan *spreadsheet* di dapatkan persamaan Garis Selubung Kuat Geser Coulomb adalah  $\tau = c + \sigma \tan \phi$  didapatkan  $y = 0,025 + 0,1057x$  apabila kita rubah  $y$  menjadi  $\tau$  dan  $x$  menjadi  $\sigma$ , maka kita dapatkan nilai kohesi ( $c$ ) sama dengan  $0,025 \text{ kg/cm}^2$  dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) adalah  $\arctan 0,1057$  sama dengan  $6,033^\circ$ . Tabel 3 adalah hasil dari seluruh pengujian parameter fisik dan mekanik sample tanah yang siap digunakan sebagai inputan ke perangkat Geostudio.

Tabel 3. Hasil Analisis Pengujian Lab

Parameter	Nilai	Hasil konversi
Batas Cair (LL)	57.85 %	
Batas Plastis (PL)	27.71%	
Indek Plastisitas (PI)	30.14	
Berat Volume (γ)	1.50 gr/cm <sup>3</sup>	13,6 kN/m <sup>3</sup>
Kohesi (c)	0.02 kg/cm <sup>2</sup>	1.9617 kPa
Sudut geser dalam (φ)	6.033°	

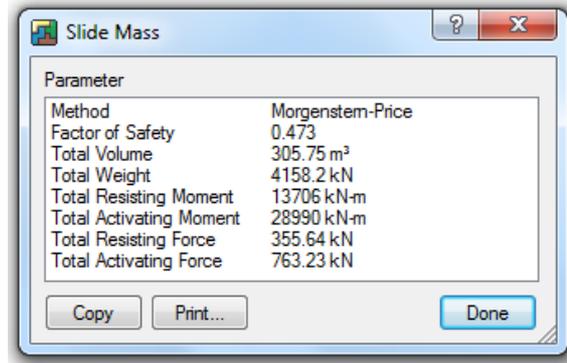
Hasil pengujian kestabilan lereng berdasarkan metode Morgenstern – Price dengan perangkat lunak Geostudio dengan input data dari hasil pengujian laboratorium dan muka air tanah yang diambil dari elevasi topografi dilapangan, menunjukkan bahwa lereng dengan kerentanan tinggi  $FK > 1.2$ , dengan tingkat kerentanan gerakan tanah sangat rendah

berdasarkan klasifikasi Kerentanan Gerakan Tanah Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No: 1452 K/10/MEM/2000. Adapun hasil pengujian kestabilan lereng tersebut adalah sebagaimana dalam gambar 5.



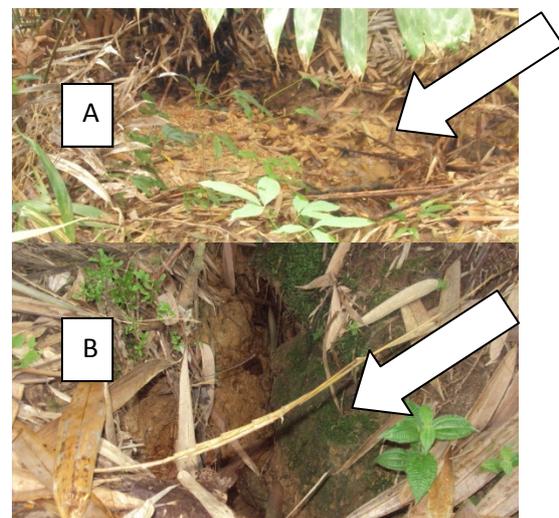
Gambar 5. Bagian Lereng Paling Kritis (Percobaan ke 49 dari 106)

Pemodelan gerakan tanah adalah dengan pemodelan bidang gelincir berupa bidang imajiner yang berbentuk busur (*circular*), bukan planar dikarenakan tanah yang menyusun lereng adalah tanah berkoheesi dan tidak ditemuinya litologi dan tanah yang berbeda pada sepanjang lereng sehingga di asumsikan litologi adalah homogen berupa pasir lempungan dengan sifat fisik dan mekanik homogen pula. Percobaan bidang gelincir dilakukan oleh software sebanyak 106 kali dan diidentifikasi bidang gelincir yang paling kritis adalah bidang gelincir pada percobaan ke 49. Dengan Ouput Analisis dari perangkat lunak *Geostudio 2007 student licence* berupa faktor keamanan, berat total, volume, moment pendorong, gaya pendorong serta moment dan gaya penahan dari bidang gelincir paling kritis sebagaimana ditampilkan dalam gambar 6 berikut :



Gambar 6. Ouput Analisis Kestabilan Lereng

Dari hasil observasi lapangan diketahui morfologi daerah penelitian adalah daerah perbukitan bergelombang dengan lereng  $\pm 10^\circ$ , dijumpai bentukan-bentukan erosi gully pada bagian bawah lereng. diketahui bahwa gejala amblesan yang terjadi tidak hanya menunjukkan gejala gerakan tanah akibat *circular sliding*, tetapi fenomena subsidence yang terjadi dilapangan mempunyai bentuk tidak beraturan dengan pola penyebaran bersifat sporadis. Dikaki slope ditemukan beberapa mata air dengan sedimen debris dan juga lubang-lubang sinkhole, yang merupakan data pendukung terjadinya proses geomorfologis berupa erosi bawah permukaan yang menyebabkan terjadinya jaringan rongga (*megapores*), yang ikut memicu terjadinya proses subsidence di lokasi penelitian.

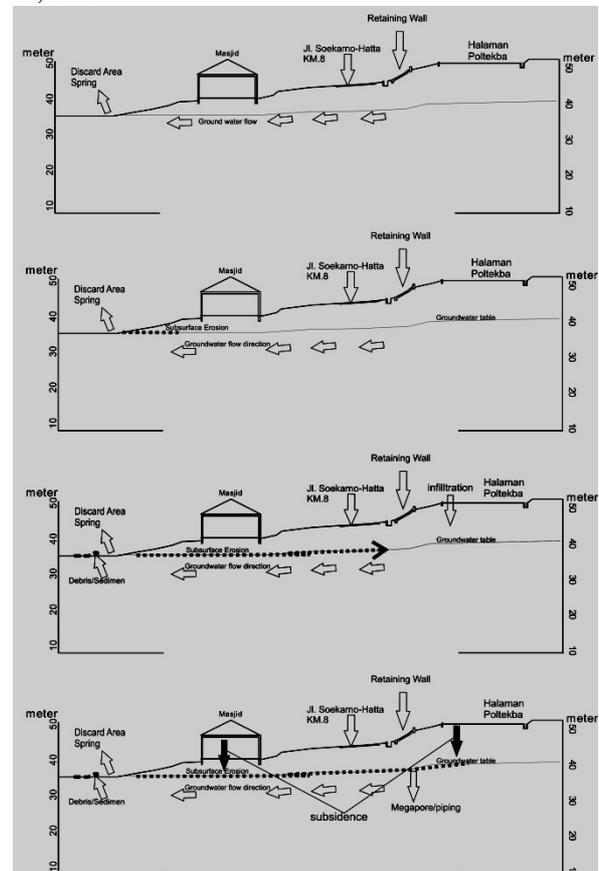


Gambar 7 . A. Foto Sedimen Debris Di Muka Mataair, B. Foto Sinkhole

Dari hasil analisa kestabilan lereng melalui metoda Morgenstence-Price Faktor Keamanan (FK) lereng pada lokasi pengamatan pada jarak datar ( $x$ ) = 90 meter sampai dengan 140 meter dari penampang lereng lokasi penelitian adalah 0.47 atau kurang dari 1,2 sehingga lereng kita kelompokkan sebagai lereng yang sangat rentan terhadap gerakan tanah karena baik moment penahan maupun gaya penahan jauh lebih kecil dibandingkan moment maupun gaya pendorong. Namun demikian proses subsidence yang terjadi, tidak menunjukkan gejala longsor *circular* yang akan ditunjukkan gejala awal berupa depresi yang berbentuk membusur yang khas terjadi pada litologi plastis dan berkohesi. Gejala akibat proses geomorfologis nampak lebih dominan yaitu berupa erosi bawah permukaan yang menyebabkan terjadinya megapore atau rongga yang menyerupai pipa (*pipe like*) dibawah permukaan yang memicu terjadinya amblesan karena runtuhnya rongga dibawah permukaan yang disupport oleh tanah pasir lempungan.

Genesa amblesan/*subsidence* yang terjadi lokasi penelitian berdasarkan data geomorfologi yang ditemukan lebih disebabkan oleh erosi bawah permukaan yang menyebabkan terjadinya rongga dibawah permukaan (*Subsurface Piping Erosion*) yang dapat dijelaskan melalui ilustrasi Gambar 3.23 melalui tahapan sebagaiberikut; 1. Pada lereng lokasi penelitian terdapat mata air sebagai exfiltrasi air tanah, yang menyebabkan potensi mulai terjadinya erosi, 2. Exfiltrasi tersebut menyebabkan terjadinya erosi yang dimulai dari bagian paling luar dari aliran mata air. Hal ini dibuktikan dengan adanya sedimen debris hasil erosi pada bagian luar mata air. Hal tersebut identik dengan rongga keluar (*Pipe Outlet*) pada klasifikasi Verachter et. al, 2010, 3. Kemajuan erosi bawah permukaan semakin kedalam dan membentuk rongga seperti pipa (*Subsurface Piping Erosion*), 4. Akibat beban dan berkembangnya

rongga sebagian dari atas rongga runtuh kebawah sehingga menyebabkan terjadinya cekungan dipermukaan yang identik dengan depresi rapat (*Close Depression*) pada klasifikasi Verachter et. al, 2010.



Gambar 8. Erosi Bawah Permukaan

## Kesimpulan

Faktor keamanan lereng lokasi penelitian adalah 0.47 lebih kecil dari 1,2 sehingga dapat diklasifikasikan kedalam lereng dengan kerentanan sangat tinggi terhadap gerakan tanah.

Subsidence di Lokasi Penelitian Jl. Soekarno-Hatta Km.8 Kota Balikpapan dari ekpresi sebaran dan dimensinya yang tidak berbentuk busur merupakan gejala subsidence yang disebabkan *Subsurface Piping Erosion* atau erosi bawah permukaan yang menyebabkan rongga memanjang dan menyebabkan runtuhnya beban diatasnya dan menyebabkan terjadinya subsidence dipermukaan. Penyebab terjadinya Erosi

bawah permukaan adalah litologi daerah penelitian adalah facies delta dengan litologi pasir lempungan (*quartz wacke*) dan merupakan material pasir kuarsa dengan matrik mineral lempung tanpa kandungan semen dan adanya lereng yang memotong muka air tanah, dan adanya exfiltrasi atau mata air yang berlangsung cukup lama.

Untuk mengurangi angka erosi bawah tanah pada musim hujan, dapat dilakukan menutup dengan lapisan impermeable pada halaman politeknik balikpapan yang merupakan elevasi tertinggi dari konfigurasi lereng daerah tersebut, untuk mengurangi infiltrasi.

### Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut analisis kestabilan lereng dengan perangkat lunak geostudio yang berlisensi agar dapat dibuat simulasi retaining wall serta back filling, sehingga akan didapatkan FK lebih akurat.

Data informasi genetik landsubsidence dapat dikaji lebih lanjut untuk menentukan metode pencegahan dan penanggulangan yang sesuai dengan karakteristik landsubsidence.

Diperlukan kolaborasi interdisipliner lebih lanjut antara ahli geoteknik, geomorfologi dan ahli geologi, dan ahli lainnya untuk dapat memberikan outcome penelitian yang lebih mudah diterapkan dalam berbagai aspek pembangunan kota.

### Daftar Pustaka

Abramson L. W, Thomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn m Boyce, 1996, *Slope Stability and Stabilization Methods*, wiley-Interscience Publication John Willey & Sons, Inc. 629 pages.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N., 1960. *Stability coefficients for earth slopes*.

*Geotechnique*, Vol. 10, No. 4, pp. 164-169.

Carey and Woo, 2002, *Hydrogeomorphic Relation Among Soil Pipes, Flow Pathways, And Soil Detachments Within a Permafrost*

*Hillslope*, Physical Geography, 23, 2, Winston & Son, Inc, pp. 95-114.

Ruilin.L.Hu,Z.Q.Yue,L.C.Wang,S.J.Wang,2004, *Review on current status and challenging issues of land subsidence in China*, Engineering Geology, Vol.76, No. pp65-77(SCI&EI).

Hoek, E., Bray, J.W., 1974. *Rock Slope Engineering – Appendix 3*. Published for the Institute of Mining and Metallurgy., pp. 352 – 354.

Hasanuddin Z. 2011 *Study on Causes and Impacts of Land Subsidence in Bandung Basin, Indonesia*. FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco.

Karnawati, 2002, Pengenalan Daerah Rentan Gerakan Tanah dan Upaya Mitigasinya, Makalah Seminar Nasional Mitigasi Bencana Alam Tanah Longsor, Semarang 11 April 2002. Pusat Studi Kebumihan Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro.

Morgenstern, N.R., and Price, V.E., 1965. *The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces*. Geotechnique, Vol. 15, pp. 79-93.

Totok Sulistyono, 2012, *Study On Slope Stability In Vulnerable Landslide Area For Evaluation Of General City Spatial Arrangement Plan In South Balikpapan*, Journal Ilmiah Poltekba. No. 1. Vol.4.

Verachtert E, Van Den Eekhaut, Poesen, Deckers, 2010 “ *Factors Controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils : A case study from central Belgium*. Geomorphology Journal No.118. Elsevier pp 339 -348.

Whitlow R, 1983, *Basic Soil Mechanics*, Contruction Press, London, New York, 439 pages.

\_\_\_\_\_, 2000, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1452 K/10/MEM/2000 Tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Tugas Pemerintah di Bidang Inventarisasi Sumberdaya Mineral dan Energi, Penyusunan Peta Geologi, dan Pemetaan Zona Kerentanan Gerakan Tanah.

\_\_\_\_\_, 2002, Kajian Geologi untuk Evaluasi Penataan Wilayah dan Pengembangan Kota Balikpapan, BAPPEDA Balikpapan.