

KARAKTERISTIK GEOLOGI DAN GEOMEKANIKA MASSA BATUAN UNTUK PENENTUAN DESAIN LERENG OPTIMUM PADA PENAMBANGAN BATU GAMPING

Rukayah^{1*}, Herni Suryani², Cut Adinda Nathasia³

¹Teknik Pertambangan, Fakultas Sains, Teknik, dan Terapan(FSTT), Universitas Pendidikan Mandalika

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

³Sarjana Terapan Transportasi Darat, Politeknik Transportasi Darat Indonesia-STTD

rukayah@undikma.ac.id, herni.suryani@unsulbar.ac.id, adindanathasia@gmail.com

Abstrak

Kegiatan penambangan batu gamping (limestone) di wilayah Sumbawa memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan industri semen, konstruksi, serta material pendukung berbagai sektor ekonomi. Sebagian besar kegiatan penambangan batu gamping dilakukan dengan metode tambang terbuka (open pit mining), di mana keberhasilan operasi sangat dipengaruhi oleh stabilitas lereng tambang. Dalam penelitian ini digunakan metode analisis konseptual (Conceptual Modelling) karena merupakan pendekatan penelitian yang membangun model teoritis atau hipotetik berdasarkan pemahaman ilmiah, data literatur, dan prinsip geoteknik. Metode Analisis Konseptual (Conceptual Analysis Method) adalah pendekatan awal yang sangat penting dalam geomekanika. Metode ini bertujuan untuk menciptakan model geologi dan geomekanika yang disederhanakan dari kondisi nyata di lapangan untuk mempermudah dan memandu analisis kuantitatif berikutnya.

Hasil dari penelitian ini, diketahui bahwa kondisi geologi batu gamping di area pertambangan Pulau Sumbawa menunjukkan bahwa meskipun batu gamping memiliki kuat tekan yang relatif tinggi, stabilitas lerengnya tetap rentan dipengaruhi oleh tingkat rekahan, pelapukan, dan struktur geologi.

Kata Kunci : Conceptual Modelling, Gaya Penggerak, Sudut Lereng Tunggal, Teori Keseimbangan Batas.

Abstract

Limestone mining in the Sumbawa region plays a crucial role in meeting the needs of the cement and construction industries, as well as supporting materials for various economic sectors. Most limestone mining is conducted using open-pit mining, where the success of operations is significantly influenced by the stability of the mine slope. This study employed the conceptual analysis method (CAM) because it is a research approach that constructs theoretical or hypothetical models based on scientific understanding, literature data, and geotechnical principles. The CAM is a crucial initial approach in geomechanics. This method aims to create simplified geological and geo mechanical models of real-world conditions to facilitate and guide subsequent quantitative analysis.

The results of this study indicate that the geological conditions of limestone in the Sumbawa Island mining area indicate that, despite its relatively high compressive strength, its slope stability remains susceptible to fracturing, weathering, and geological structure.

Keywords : Conceptual Modeling, Limit Equilibrium Theory, Driving Force, Single Slope Angle

1. PENDAHULUAN

Pulau Sumbawa (Provinsi Nusa Tenggara Barat) dikenal sebagai salah satu wilayah

dengan potensi mineral dan bahan galian terbesar di Indonesia. Kekayaan tambangnya meliputi emas, tembaga, perak, batu gamping, batuan industri, hingga logam tanah jarang. Pulau Sumbawa memiliki potensi batu gamping yang sangat besar dan tersebar luas di berbagai kabupaten. Endapan batu gamping di pulau ini terbentuk dari proses sedimentasi laut dangkal yang berlangsung sejak masa Miosen hingga Kuarter, menghasilkan batuan karbonat dengan kualitas yang baik dan tebal. Potensi penambangan batu gamping di Sumbawa sangat besar sumber daya yang masih luas dan belum di eksplorasi optimal. Dengan kualitas yang cukup tinggi untuk industri semen dan kapur, lokasi pertambangan cukup dekat dengan transportasi laut sehingga mudah di ekspor antar pulau.

Kegiatan penambangan batu gamping (limestone) di wilayah Sumbawa memiliki peran penting dalam pemenuhan kebutuhan industri semen, konstruksi, serta material pendukung berbagai sektor ekonomi. Sebagian besar kegiatan penambangan batu gamping dilakukan dengan metode tambang terbuka (open pit mining), di mana keberhasilan operasi sangat dipengaruhi oleh stabilitas lereng tambang [1]. Lereng yang tidak direncanakan dengan baik berpotensi mengalami longsor, menyebabkan kerugian material, penurunan produktivitas, kerusakan peralatan, dan yang paling signifikan adalah risiko keselamatan bagi pekerja tambang.

Kondisi geologi di wilayah Sumbawa dikenal cukup kompleks, dengan variasi struktur geologi seperti kekar (joint), sesar minor, pelapukan tidak seragam, serta perubahan kualitas massa batuan dalam skala lokal. Batu gamping juga memiliki sifat mekanik yang bervariasi, dipengaruhi oleh faktor seperti tingkat kristalisasi, porositas, kekar, dan keberadaan rekahan terbuka. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai karakteristik geologi dan geomekanika massa batuan menjadi hal yang sangat penting dalam menentukan desain lereng yang aman dan efisien.

Dalam merancang geometri lereng, diperlukan parameter geomekanika batuan

seperti kekuatan tekan bebas (UCS), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), densitas batuan, serta penilaian kualitas massa batuan menggunakan metode seperti Rock Mass Rating (RMR), Geological Strength Index (GSI), dan sistem lainnya. Parameter tersebut harus diperoleh melalui kombinasi pengamatan lapangan, pengukuran struktur geologi, serta uji laboratorium pada sampel batuan yang representatif [2].

Selain itu, struktur geologi seperti kekar dan sesar memainkan peran besar terhadap stabilitas lereng karena orientasi dan sifat kekar dapat menjadi bidang gelincir potensial. Analisis kestabilan lereng pada tambang batu gamping umumnya mencakup berbagai tipe mekanisme kegagalan, seperti kegagalan planar, runturan baji (wedge failure), toppling, maupun kegagalan rotasional pada massa batuan yang lebih rapuh atau lapuk [2].

Oleh karena itu, diperlukan penelitian komprehensif yang mengkaji karakteristik geologi dan sifat geomekanika batuan secara detail untuk menghasilkan desain lereng optimum. Lereng optimum bukan hanya aman dari segi faktor keamanan (Safety Factor), tetapi juga ekonomis, sehingga memungkinkan peningkatan volume penambangan tanpa mengorbankan keselamatan dan keberlanjutan operasi.

Penelitian ini menjadi penting mengingat bahwa setiap lokasi tambang memiliki kondisi geologi khas, sehingga desain lereng tidak dapat disamaratakan. Studi khusus untuk wilayah Sumbawa akan memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan model desain lereng yang sesuai dengan karakteristik batu gamping lokal, serta sebagai referensi bagi kegiatan pertambangan lain yang memiliki kondisi geologi serupa.

2. METODOLOGI

Dalam penelitian ini digunakan metode analisis konseptual (Conceptual Modelling) karena merupakan pendekatan penelitian yang membangun model teoritis atau hipotetik berdasarkan pemahaman ilmiah, data literatur, dan prinsip geoteknik untuk menggantikan data lapangan yang kurang lengkap [3]. Model ini

digunakan untuk mensimulasikan kondisi lereng, mengestimasi kestabilannya, dan merancang desain optimum secara teoretis.

Metode Analisis Konseptual (Conceptual Analysis Method) adalah pendekatan awal yang sangat penting dalam geomekanika. Metode ini bertujuan untuk menciptakan model geologi dan geomekanika yang disederhanakan dari kondisi nyata di lapangan untuk mempermudah dan memandu analisis kuantitatif berikutnya. Kelebihan metode analisis konseptual, adalah sebagai berikut:

Tidak Membutuhkan Data Primer Secara Berlebihan [3], analisis konseptual berfokus pada pemahaman struktur geologi dan diskontinuitas massa batuan (seperti kekar, rekahan, dan perlapisan). Pada tahap awal, dapat menggunakan data sekunder, peta geologi, atau data diskontinuitas hasil pemetaan lapangan yang terbatas untuk membangun model. Ini menghemat waktu dan biaya yang biasanya diperlukan untuk pengujian laboratorium (data primer) secara ekstensif sebelum analisis desain.

Cocok untuk Penelitian Akademik, karena Mendorong pemahaman mendalam (konseptual) tentang mekanisme keruntuhan lereng yang mungkin terjadi pada batu gamping (misalnya, keruntuhan baji, planar, atau toppling), berdasarkan data struktur geologi [4]. Selain itu juga dapat menjadi dasar justifikasi (landasan teori) sebelum melanjutkan ke analisis kuantitatif (seperti Limit Equilibrium atau Finite Element) yang lebih kompleks menggunakan perangkat lunak.

Dapat menghasilkan model lereng optimum secara ilmiah karena analisis konseptual membantu mendefinisikan domain geoteknik (geotechnical domains). Dengan mengelompokkan massa batuan gamping yang memiliki karakteristik serupa (berdasarkan r_{qd} , spasi diskontinuitas, kondisi kekar, dll.), maka dapat dibuat model yang realistis dan ilmiah.

Memungkinkan analisis sensitivitas, setelah model konseptual dibangun, maka dapat dengan mudah mengidentifikasi parameter kunci yang paling mempengaruhi stabilitas. Ini memungkinkan dilakukan analisis sensitivitas, yaitu menguji bagaimana

perubahan kecil pada parameter tertentu (misalnya, sudut gesek dalam batuan, atau ketinggian bench) dapat memengaruhi faktor keamanan (f_k) lereng. Ini sangat krusial untuk menentukan desain lereng optimum yang aman dan efisien.

Beberapa langkah yang harus ditempuh dalam menggunakan metode konseptual yaitu:

1. Studi Literatur

a. Teori Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium Theory*)

Teori Keseimbangan Batas adalah metode analisis stabilitas lereng yang paling umum digunakan dalam geoteknik dan teknik pertambangan. Prinsip dasarnya adalah membandingkan gaya atau momen pendorong (yang menyebabkan keruntuhan) dengan gaya atau momen penahan (yang mencegah keruntuhan) sepanjang bidang atau permukaan longsor potensial [5].

1) Prinsip Keseimbangan Statis, dimana metode ini mengasumsikan bahwa massa batuan atau tanah berada dalam kondisi keseimbangan batas (*limit equilibrium*), yaitu kondisi tepat sebelum keruntuhan (stabilitas minimum).

2) Faktor Keamanan (*Factor of Safety - FoS*), dimana kuantitas utama yang dihitung dalam LEM adalah Faktor Keamanan (FK), yang didefinisikan sebagai rasio antara kekuatan penahan (*Shear Strength*) dengan tegangan geser yang terjadi (*Shear Stress*) pada bidang longsor potensial.

$$FK = \frac{\text{Gaya penahan (Kekuatan geser massa batuan)}}{\text{Gaya Pendorong (Tegangan geser / gaya gravitasi)}}$$

$FK > 1,0$ maka lereng dianggap stabil

FK = 1,0 maka lereng berada dalam kondisi keseimbangan batas (tepat akan longsor)

FK < 1,0 maka lereng dianggap tidak stabil (telah terjadi keruntuhan)

Desain lereng optimum biasanya mensyaratkan nilai FK minimum tertentu (misal $FK \geq 1,2$ hingga $FK \geq 1,5$ tergantung skala resiko)

- 3) Kriteria keruntuhan (*Failure Criteria*), LEM sering menggunakan kriteria Mohr-coulomb untuk mendefinisika kekuatan geser (T) masa batuan yaitu:

$$T = c + \sigma_n \tan(\phi)$$

dimana:

τ = Kekuatan geser massa batuan

c = kohesi massa batuan (kekuatan tarik antar partikel)

σ_n = tegangan normal pada bidang geser

ϕ = sudut gesek dalam massa batuan (kemampuan menahan gesekan)

Untuk massa batuan yang banyak diskontinuitas (seperti pada batu gamping), *Kriteria Hoek-Brown* yang memodelkan keruntuhan non-linear sering digunakan dan dikombinasikan dalam perhitungan LEM.

- 4) Metode Irisan (*Method of Slices*), Untuk analisis keruntuhan busur melingkar (rotasional), LEM membagi massa batuan yang berpotensi longsor menjadi irisan-irisan vertikal. Metode yang umum meliputi:

a) Metode Bishop Sederhana (*Simplified Bishop*) untuk memenuhi keseimbangan momen.

b) Metode Spencer untuk memenuhi keseimbangan gaya

dan momen yang dianggap lebih akurat.

- c) Metode Janbu untuk memenuhi keseimbangan gaya horizontal.

- b. Aplikasi pada Karakteristik Geologi & Geomekanika Batu Gamping

Penerapan LEM pada penambahan batu gamping memerlukan karakterisasi detail dari massa batuan. Batu gamping sering kali memiliki diskontinuitas yang jelas (bidang perlapisan, rekahan, sesar, atau kekar), yang menentukan mekanisme keruntuhan [6].

(2)

- 1) Karakteristik massa batuan

Tabel 1: karakteristik massa batuan

Karakteristik	Deskripsi	Peran dalam LEM
Tipe Massa Batuan	Klasifikasi menggunakan sistem seperti RMR (Rock Mass Rating) atau Q-System.	Menentukan parameter kekuatan massa batuan yang tereduksi (c dan ϕ)
	Orientasi (dip/dip direction), jarak antar rekahan, kekasaran, pengisi (infilling), dan kondisi air tanah.	Menentukan mode keruntuhan (bidang, baji, guling) dan parameter geser pada bidang lemah.
Kekuatan Batuan Utuh	UCS (Uniaxial Compressive Strength) batuan gamping.	Menjadi dasar untuk menghitung kekuatan massa batuan (terutama dengan kriteria Hoek-Brown).
Sifat Fisik	Berat volume (γ) batuan dan tanah.	Digunakan untuk menghitung gaya pendorong (berat massa yang berpotensi longsor).
Kondisi Hidrogeologi	Kedalaman muka air tanah dan tekanan air pori (u).	Tekanan air pori (u) mengurangi tegangan normal efektif ($\sigma'_n = \sigma_n - u$), sehingga secara signifikan menurunkan gaya penahan (FK). Ini sangat penting untuk batu gamping yang berpori/mudah berkarst.

- 2) Identifikasi Mekanisme Keruntuhan
Pada massa batuan, terutama batu gamping, LEM digunakan untuk menganalisis tiga mekanisme keruntuhan utama yang dipengaruhi oleh orientasi diskontinuitas [7]:
 - a) Keruntuhan Bidang (*Planar Failure*): Terjadi ketika arah longsor diskontinuitas sejajar atau mendekati kemiringan lereng dan lebih curam daripada sudut gesek dalam diskontinuitas.
 - b) Keruntuhan Baji (*Wedge Failure*): Terjadi di sepanjang perpotongan dua diskontinuitas yang membentuk baji batuan yang dapat meluncur.
 - c) Keruntuhan Busur (*Rotational/Circular Failure*): Umumnya terjadi pada material yang lebih lemah (batuan sangat lapuk atau overburden) atau pada lereng yang sangat tinggi.
 - c. Desain Lereng Optimum dengan LEM
Tujuan akhir dari analisis LEM adalah menentukan geometri lereng yang optimal, yaitu kombinasi sudut dan tinggi lereng yang aman secara teknis (memenuhi FK minimum) dan ekonomis (memaksimalkan perolehan cadangan) [8].
 - 1) Analisis Sensitivitas dan Optimasi.
Dengan menggunakan perangkat lunak geoteknik (misalnya, Slide2, GeoStudio/Slope/W, atau RocPlane/Swedge), LEM memungkinkan:
 - a) Variasi Geometri: Menganalisis stabilitas (FK) pada berbagai kombinasi Tinggi Lereng (*Bench Height*), Sudut Lereng Tunggal (*Face Angle*), dan Sudut Lereng Keseluruhan (*Overall Angle*).
 - b) Analisis Kondisi Air: Membandingkan FK antara kondisi kering (*dry*) dan jenuh (*saturated*) untuk mensimulasikan kondisi terburuk (curah hujan tinggi).
 - c) Analisis Parameter: Melakukan analisis sensitivitas untuk melihat dampak perubahan parameter geomekanika (c dan ϕ) terhadap FK.
 - 2) Rekomendasi Desain
Hasil dari analisis LEM adalah rekomendasi desain yang spesifik, seperti:
 - a) Sudut Lereng Tunggal (*Bench Face Angle*) maksimum yang diizinkan (misalnya, 70°).
 - b) Sudut Lereng Keseluruhan (*Overall Slope Angle*) yang direkomendasikan untuk keseluruhan *pit* tambang (misalnya, 45° sampai 55°).
 - c) Kebutuhan akan pengaturan air tanah/drainase untuk menjaga FK tetap di atas nilai minimum yang disyaratkan.
- Singkatnya, Teori Keseimbangan Batas adalah kerangka kerja analitis yang menggunakan data geologi dan geomekanika batu gamping (kohesi, sudut gesek, diskontinuitas, air tanah) untuk secara kuantitatif menghitung Faktor Keamanan dan memandu para insinyur dalam merancang geometri lereng penambangan yang aman dan efisien. Langkah Menentukan Parameter Geomekanika dari Literatur adalah sebagai berikut:
2. Penentuan Parameter Geomekanika dari Literatur

Menentukan Parameter Geomekanika dari Literatur adalah langkah penting dalam tahap awal penelitian atau desain, terutama ketika data pengujian lapangan atau laboratorium terbatas. Proses ini melibatkan pencarian, pemilihan, dan adaptasi nilai yang dipublikasikan agar sesuai dengan kondisi massa batuan (batu gamping) [9].

a. Melakukan identifikasi jenis material yang relevan dengan cara mencari studi yang secara spesifik membahas Batu Gamping (*Limestone*) dari lokasi geologis yang serupa, terutama yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 1) Formasi Geologi Serupa: Cari literatur yang membahas batu gamping dari periode geologi yang sama (misalnya, Tersier, Kapur) atau formasi yang memiliki kemiripan struktur dan tekstur.
- 2) Tingkat Pelapukan (*Weathering*) dan Kekuatan: Klasifikasikan perkiraan tingkat pelapukan batu gamping Anda dan cari nilai untuk material dengan tingkat pelapukan serupa (misalnya, batu gamping masif, sedikit lapuk, sangat lapuk).
- 3) Kondisi Tekanan: dengan memperhatikan apakah ada nilai literatur berasal dari studi tambang permukaan (tekanan rendah) atau terowongan/sumur dalam (tekanan tinggi).

3. Penyusunan Geometri Lereng Hipotetik

Geometri Lereng Hipotetik adalah rancangan bentuk lereng yang dibuat secara teoritis atau simulatif sebelum diterapkan pada desain tambang yang sebenarnya. Lereng ini tidak langsung digunakan di lapangan, melainkan digunakan sebagai model percobaan untuk:

a. Menganalisis stabilitas lereng berdasarkan parameter geologi dan geomekanika.

Proses analisis untuk menentukan stabilitas lereng berdasarkan parameter

geologi dan geomekanika dalam kegiatan penambangan terbuka dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1) Mengumpulkan Data Geologi dengan proses identifikasi litologi sebagai berikut:

- a) Menentukan jenis batuan (misalnya batu gamping, serpih, breksi).
- b) Memeriksa tingkat pelapukan, densitas, porositas, dan tekstur batuan.
- c) Analisis struktur geologi, yang sangat berpengaruh terhadap arah dan tipe kelongsoran. Parameter penting dalam tahapan ini meliputi orientasi kekar (*strike-dip*), Sesar, Perlapisan, Persistensi retakan, Spasi dan aperture rekahan.
- d) Menentukan kondisi hidrogeologi yang meliputi kondisi Muka air tanah, Tekanan air pori (*pore pressure*), Kondisi rembesan dan kondisi air meningkatkan risiko longsor dengan menurunkan tegangan efektif.

2) Mengumpulkan Data Geomekanika Massa Batuan

3) Analisis Kinematika Lereng

4) Analisis Stabilitas Menggunakan Metode Limit Equilibrium (LEM)

5) Analisis Numerik (FEM / DEM)

6) Evaluasi Hasil dan Penentuan Geometri yang Aman

b. Menguji berbagai kombinasi geometri (tinggi jenjang, sudut lereng, lebar berm, dan overall slope angle).

c. Menentukan konfigurasi lereng yang paling aman sekaligus ekonomis untuk penambangan.

4. Analisis Kestabilan (Lereng Konseptual)

Analisis kestabilan lereng adalah proses untuk menilai apakah suatu lereng—alami maupun buatan—aman dari potensi longsor. Tujuannya untuk mengetahui apakah gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak yang menyebabkan tanah bergerak [10]. Dalam proses ini dilakukan analisis terhadap:

- a. Gaya Penggerak (*Driving Forces*) atau gaya-gaya yang cenderung menyebabkan lereng longsor seperti berat sendiri tanah, tekanan air pori, beban tambahan (misal : bangunan, kendaraan, dan timbunan), serta getaran seperti gempa [11].
- b. Gaya penahan (*resisting forces*) yang merupakan gaya yang mampu menahan pergerakan tanah seperti kohesi tanah (c), sudut geser (ϕ), gesekan antar partikel tanah, dan struktur perkuatan seperti *sheetpile*, *retaining wall*, dan *geotekstil*.
- c. Faktor keamanan tersebut dapat dihitung dengan cara :

$$\text{FoS} = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya penggerak}}$$

Interpretasi dari proses tersebut adalah:

- $\text{FoS} < 1$ maka lereng gagal / tidak stabil
 - $\text{FoS} = 1$ sd 1,3 maka lereng dalam kondisi kritis
 - $\text{FoS} > 1,3$ maka lereng dalam kondisi stabil (statis)
 - $\text{FoS} \geq 1.1$ maka lereng pada kondisi stabil meskipun ada getaran (gempa)
- d. Faktor kegagalan suatu lereng secara konseptual terdapat beberapa jenis mode longsor, yaitu:
 - Rotasional yang sering terjadi pada tanah lempung. Pada umumnya hal ini terjadi apabila bidang gelincir berbentuk lengkung / melingkar
 - Translasi yang umumnya terjadi pada area berpasir atau batuan

berlapis. Kondisi ini sering terjadi pada bidang gelincir yang relatif datar

- Longsoran batu (*rock fall*) yang terjadi karena batuan terlepas dari tebing
 - Aliran tanah (*soil flow*) yang terjadi apabila tanah bergerak menyerupai cairan (air jenuh).
- e. Faktor faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah faktor geologi, faktor hidrogeologi, faktor geometri lereng, dan faktor eksternal. Faktor geologi meliputi jenis tanah (pasir, lempung, lanau), struktur geologi (retakan, bidang berlapis), kerapatan dan pelapukan. Untuk faktor hidrogeologi meliputi tinggi muka air tanah, permeabilitas, dan tekanan air pori.
 Faktor geometri lereng terdiri dari ketinggian lereng, kemiringan lereng, dan bentuk lereng. Sementara untuk faktor eksternal terdiri dari curah hujan, gempa, beban bangunan diatas lereng dan erosi.

5. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas adalah proses untuk melihat seberapa besar pengaruh perubahan parameter tanah terhadap nilai Faktor Keamanan (FoS) lereng. Tujuan dari analisis sensitivitas ini adalah untuk mengetahui parameter mana yang paling berpengaruh terhadap kestabilan dan Tingkat ketidakpastian karena data tanah yang bervariasi. Tujuan lain dari analisis sensitivitas ini juga dapat membantu memilih strategi penguatan yang lain efektif.

Cara kerja analisis sensitivitas ini dilakukan secara konseptual dengan tahapan sebagai berikut:

- a. Menentukan FoS awal
- b. Merubah satu parameter secara bertahap (misal dengan mengurangi

kohesi (10% sampai dengan 40%) lalu memperhatikan nilai perubahan FoS.

- c. Mencatat perubahan FoS meskipun itu berupa perubahan kecil yang dapat menyebabkan FoS turun cukup drastis.

Contoh interpretasi sensitifitas adalah sebagai berikut:

Tabel 2: Perubahan parameter tanah terhadap nilai Faktor Keamanan (FoS) lereng.

Parameter	Perubahan	FoS
Kohesi (c)	-20%	FoS turun dari 1,25 → 1,00
Sudut geser (ϕ)	-20%	FoS turun ke 1,18
Berat isi (γ)	+10%	FoS turun ke 1,22
Muka air tanah naik 1 m		FoS turun ke 0,95

Interpretasi dari data tersebut adalah sebagai berikut:

- Muka air tanah merupakan parameter yang paling sensitif karena kenaikan kecil saja ($FoS < 1$)
- Kohesi tampaksangat sensitif
- Sudut geser dan berat isi berpengaruh tetapi tidak sebesar muka air tanah dan kohesi.

6. Penentuan Desain Lereng Optimum

Penentuan desain lereng optimum adalah proses teknis untuk menentukan geometri lereng (kemiringan, tinggi jenjang, lebar jenjang, sudut *overall slope*) yang aman, ekonomis, dan efisien bagi suatu proyek seperti tambang terbuka, jalan, bendungan tanah, ataupun konstruksi lereng lainnya. Tujuan utama dari penentuan desai lereng optimum ini adalah menemukan titik keseimbangan antara keamanan geoteknik dan efisiensi biaya dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kondisi geologi dan geoteknik yang meliputi jenis batuan atau tanah, struktur geologi (sesar, kekar, lipatan), sifat fisik mekanis material (kohesi,

sudut geser dalam, densitas) dan tingkat pelapukan. Semakin lemah suatu material, maka semakin landai lereng yang diperlukan.

2. Kondisi hidrogeologi yang meliputi tinggi muka air tanah, tekanan pori, dan kelulusan (permeabilitas) batuan / tanah. Dalam hal ini, air merupakan salah satu faktor paling kritis dalam kestabilan lereng. Semakin tinggi tekanan pori, maka semakin kecil nilai faktor keamanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan karakteristik geologi dan geomatika massa batuan untuk penentuan lereng optimum pada penambangan batu gamping di Pulau Sumbawa ini meliputi beberapa bagian sesuai dengan metodologi sebagai berikut:

1. Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium*), Faktor Keamanan (*Factor of Safety - FoS*), Kriteria keruntuhan (*Failure Criteria*), dan Metode Irisan (*Method of Slices*).

a. Keseimbangan Batas (*Limit Equilibrium*)

Kondisi Area Pertambangan Batu Gamping (*Limestone*) di Pulau Sumbawa memiliki karakteristik geologi batu gamping yang terbentuk melalui sedimentasi laut dangkal. Hal ini terlihat karena batu gamping di Pulau Sumbawa memiliki ciri ciri sebagai berikut:

- Kuat tekan relatif tinggi tetapi bervariasi tergantung tingkat rekahan
- Mudah mengalami pelapukan pada zona dekat permukaan
- Umumnya memiliki struktur rekahan vertikal yang cukup curam akibat aktivitas tektonik regional
- Beberapa lokasi terdapat kekar, sesar kecil, dan zona pelapukan karst yang dapat melemahkan kestabilan lereng.



Gambar 1: Batu gamping dan ilustrasi pertambangan batu gamping

b. Faktor Keamanan (*Factor of Safety - FoS*)

Berikut gambaran praktis dan terperinci untuk pertambangan batu gamping di Pulau Sumbawa yang mencakup kondisi geologi, implikasi kestabilan lereng (FK), desain umum, risiko khas, serta langkah mitigasi dan monitoring. Perilaku kestabilan dan target kestabilan lereng (FK) untuk pertambangan batu gamping di pulau sumbawa dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Zona kompak pada kondisi kering / terdrainase dimana FK tipikal bisa $\geq 1,3$ sampai dengan 1,5 untuk geometrik lereng yang konservatif
- Zona terkah / terlapuk dan terdapat rongga dengan kestabilan lereng yang sering turun sampai antara 1,1 – 1,3 sehingga memerlukan tindakan mitigasi.
- Jika $FK < 1,0$ maka kondisi runtuh sudah terjadi dan mungkin segera terjadi (perlu ada tindakan darurat).



Gambar 2: Batu gamping dan ilustrasi pertambangan batu gamping

Rekomendasi Geometri Awal untuk Tambang Terbuka Batu Gamping (Kisaran umum)

- Sudut overall slope: sering dirancang 45° – 55° untuk massa

batuan relatif baik; diperkecil jika rekahan dominan.

- Sudut bench (face angle): 60° – 80° untuk bench pada batuan kompak, tetapi dilakukan scaling rutin.
- Tinggi bench: 5–15 m (tergantung peralatan dan kondisi muka).
- Lebar bench (berm/haul road): cukup untuk keselamatan dan akses (mis. 5–10 m atau sesuai ukuran alat).

Catatan: angka-angka di atas bersifat indikatif — analisis lokasi-spesifik wajib.

c. Kriteria keruntuhan (*Failure Criteria*)

Penentuan parameter Hoek-Brown (m_b , s , dan a) berdasarkan nilai Indeks Kekuatan Geologis (GSI), yang kemudian digunakan untuk menghitung kuat tekan batuan massa (ocm).

Tabel 3: Penentuan parameter Hoek-Brown

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan	Deskripsi
Kuat Tekan Uniaxial Batuan Utuh	σ_{ci}	75	MPa	Diperoleh dari uji lab batuan inti.
Konstanta Material Batuan Utuh	m_i	15	-	Konstanta material berdasarkan jenis batuan (misalnya Granit).
Indeks Kekuatan Geologis	GSI	45	-	Kualitas batuan massa (nilai sedang, antara 25-50).
Faktor Kerusakan	D	0.5	-	Kerusakan akibat peledakan atau penggalan (0 = utuh, 1 = sangat rusak).

- 1) Hitungan m_b (Konstanta Gesek Batuan Massa) sebagai berikut:

$$m_b = 15 \cdot \exp \frac{GSI - 100}{28 - 14D}$$

$$mb = 15 \cdot \exp \frac{45-100}{28-14 \times 0,5} \approx 1,092$$

- 2) Hitungan s (konstanta kohesi batuan massa)

$$s = EK = \exp \left(\frac{GSI-100}{9-3D} \right)$$

$$s = EK = \exp \left(\frac{45-100}{9-3 \times 0,5} \right) \approx 0,00065$$

- 3) Hitungan a (konstanta eksponen)
Untuk $GSI > 25$, maka $a = 0,5$
Karena $GSI = 45 (>25)$, maka $a = 0,5$
- 4) Hitungan kuat tekan uniaxial batuan massa (σ'_3)
Kuat tekan batuan massa adalah kekuatan batuan yang sudah terganggu di lapangan, dihitung dengan menetapkan tegangan utama minimum (σ'_3) sama dengan nol dalam persamaan hoek
 $\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot S^a$

$$\sigma_{cm} = 75 \text{ MPa} \cdot (0.0255) = 1,91 \text{ MPa}$$

2. Merubah sudut lereng

Sudut lereng sering harus diubah karena sudut inilah faktor geometri yang paling kuat memengaruhi kestabilan lereng karena :

- Sudut lereng (β) punya pengaruh langsung terhadap gaya penggerak. Semakin curam sudut lereng maka komponen gaya gravitasi yang menarik material ke bawah semakin besar, sehingga gaya perlawanan menjadi relatif kecil. Selain itu, akan menyebabkan FS (Factor of Safety) turun. Pada lereng 50° , gaya geser jauh lebih besar dibanding 35° , sehingga walaupun sifat tanah sama, FS bisa jatuh $<1,0$.
- Mengubah sudut lereng adalah cara paling efektif meningkatkan FS apabila

tanah lunak, kohesi kecil, dan sudut geser rendah, atau ada tekanan air pori yang tinggi.

- Banyak kasus tambang atau lereng alami memang tidak stabil pada sudut curam. Pada pit tambang, *overall slope* yang terlalu besar (mis. $>50^\circ$) sering menghasilkan potensi longsor blok besar, ketidakstabilan *face to face*, retakan dan creep.

Sudut lereng diubah agar FS mencapai nilai aman (mis. ≥ 1.2 untuk kondisi operasi, $\geq 1.3-1.5$ untuk jangka panjang). Mengubah sudut adalah solusi paling sederhana, murah, dan paling efektif dibanding rekayasa lainnya, dengan perhitungan sebagai berikut:

Merubah sudut lereng (mengurangi β ke 35° dan c' lebih besar, maka Parameter yang menjadi acuan adalah $\beta = 35^\circ$, $z = 5 \text{ m}$ $c' = 20 \text{ Kpa}$ (sedikit tanah lebih kohesif / perbaikan), $\omega' = 30^\circ$, $\gamma = 20$, $r-u = 0,10$.

Berdasarkan data tersebut, maka apabila $\sin 35^\circ = 0,5740$, $\cos 35^\circ = 0,81292$, dan $\tan 35^\circ = 0,7002$, maka:

- Term 1 = $20 / (20.5.0,5740.0,81292) = 20 / (100.0,4701) = 20 / 47,01 = 0,4254$
- Term 2 = $0,57735 / (0,7002. 0,9) = 0,7423$

Sehingga $FS = 0,4254 + 0,7423 = 1,1677$ yang berarti dalam kondisi aman ($FS \geq 1,0$) dan pada umumnya target adalah $FS \geq 1,2$ untuk kondisi tertentu sehingga dapat ditingkatkan lagi dengan pembentukan drainase.

3. Analisis sensitivitas.

Perhitungan sensitivitas dilakukan dengan menggunakan model *infinite slope* karena lebih mudah dipahami dan sering dipakai untuk ilustrasi sensitivitas. Model *infinite slope* ini menggunakan parameter dasar dimana FoS awal $\approx 1,25$, kohesi -20% , sudut geser (ϕ) -20% , berat isi $+10\%$, dengan asumsi bahwa muka air tanah naik 1 m.

Proses analisis tersebut dilaksanakan sebagai berikut:

- Penentuan parameter dasar agar FoS $\approx 1,25$.

$$\beta = 45^\circ \text{ maka } \sin \beta = \cos \beta = 0,70710678, \tan \beta = 1$$

$$z = 5 \text{ m}$$

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 9 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 50^\circ \rightarrow \tan \phi' = 1,1917536$$

$$r_u = 0,10$$

Hitung komponen:

Term kohesi:

$$A = \frac{c'}{\gamma z \sin \beta \cos \beta} = \frac{9}{20 \cdot 5 \cdot 0,7071 \cdot 0,7071} = \frac{9}{50} = 0,18$$

Term gesek:

$$B = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} (1 - r_u) = 1,1917536 \cdot (1 - 0,10) = 1,0725782$$

Jadi FoS dasar:

$$FS_0 = A + B = 0,18 + 1,0725782 = 1,2526 \approx 1,25.$$

- Sensitivitas untuk ubah satu parameter tiap kali dan hitung FoS baru.

Kohesi -20%

$$c'_{new} = 9 \times 0,8 = 7,2 \text{ kPa}$$

$$A_{new} = 7,2/50 = 0,144 \text{ (term gesek tetap sama)}$$

$$FS = 0,144 + 1,0725782 = 1,2166 \approx 1,22$$

Hasil: FoS turun dari 1,25 $\rightarrow$ 1,22.

- Sudut geser (ϕ) -20%

Terdapat dua pendekatan untuk sudut geser yaitu dengan mengurangi derajat ϕ sebesar 20% ($\phi = 0,8 \cdot \phi$) atau perkiraan linier pada $\tan \phi$.

$$\phi'_{new} = 50^\circ \times 0,8 = 40^\circ \text{ dimana}$$

$$\tan 40^\circ = 0,8390996$$

$$B_{new} = 0,8390996 \cdot (1 - 0,10) = 0,7551896$$

- Term kohesi tetap 0,18 $\rightarrow$

$$FS = 0,18 + 0,7551896 = 0,93519 \approx 0,94$$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, terlihat bahwa kondisi saat ini untuk sudut geser FoS turun dari 1,25 $\approx$ **0,94** atau pada posisi tidak aman.

- Berat isi (γ) +10%, dimana

$$\gamma_{new} = 20 \times 1,10 = 22 \text{ kN/m}^3$$

Untuk term kohesi: denominator $\gamma z \sin \beta \cos \beta$ bertambah proporsional sehingga:

$$A_{new} = \frac{9}{22 \cdot 5 \cdot 0,5} = \frac{9}{55} = 0,1636364$$

Posisi r_u pada umumnya dihitung sebagai $u/(\gamma z)$. Apabila terdapat perubahan γ maka tanah menjadi lebih berat. Akan tetapi berhubung tekanan pori u tetap sama, maka r_u menurun sedikit sehingga r_u tetap 0,10 yang berarti aproksimasi umum untuk ilustrasi menjadi term gesek tetap $\approx 1,0725782$.

$$FS = 0,1636364 + 1,0725782 = 1,2362 \approx 1,24$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diatas, maka terlihat bahwa hasil FoS turun dari 1,25 menjadi $\approx 1,24$ yang berarti efeknya lebih kecil kecil dibanding perubahan kohesi/ ϕ .

- Kondisi apabila muka air tanah naik 1m. Kenaikan muka air meningkatkan tekanan pori u sehingga r_u naik. Perubahan r_u (aproksimasi) tersebut akan terlihat dari perhitungan tersebut dibawah ini:

$$\Delta r_u \approx (\gamma_w \Delta h) / \gamma z$$

$$\text{dengan } \gamma_w \approx 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\Delta h = 1 \text{ m, maka}$$

$$\Delta r_u = \frac{9,81 \times 1}{20 \times 5} = \frac{9,81}{100} = 0,0981.$$

$$\text{Jadi } r_u^{new} = 0,10 + 0,0981 = 0,1981.$$

Term gesek baru:

$$B_{new} = 1,1917536 \cdot (1 - 0,1981) = 1,1917536 \cdot 0,8019 = 0,95550$$

Term kohesi tetap 0,18 maka
 $FS = 0,18 + 0,95550 = 1,1355 \approx 1,14$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, terlihat bahwa FoS turun dari 1,25 menjadi 1,14 yang berarti muka air ini cukup sensitif kenaikan 1 m menurunkan komponen gesek cukup nyata.

Dari beberapa perhitungan sensitivitas yang dilakukan dengan menggunakan model *infinite slope*, maka terlihat beberapa hal sebagai berikut:

- Bahwa model *infinite slope* perlu menggunakan LEM software untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
- Saat melakukan sensitivitas, perlu proses perubahan parameter dengan mengurangi ϕ dalam derajat, atau mengurangi $\tan\phi$.
- Proses analisis parametrik dilakukan dengan membuat tabel/plot FoS dibandingkan dengan variasi parameter (seperti c' dari -40% sampai +10%, ϕ dari -30% sampai +10%, dan ru dari 0 sampai 0,3) agar terlihat relatif lebih sensitivitas.
- Perlu memperhatikan hubungan antara y dan ru apabila mengubah y secara nyata (karena $r_u = u/(y z)$ akan berubah apabila u konstan).

4. KESIMPULAN

- Kondisi geologi batu gamping di area pertambangan Pulau Sumbawa menunjukkan bahwa meskipun batu gamping memiliki kuat tekan yang relatif tinggi, stabilitas lerengnya tetap rentan dipengaruhi oleh tingkat rekahan, pelapukan, dan struktur geologi. Batu gamping pada lokasi ini terbentuk dari sedimentasi laut dangkal sehingga memiliki karakteristik yang tidak homogen—beberapa zona masih keras dan masif, tetapi banyak bagian lain yang telah mengalami pelapukan, rekahan vertikal,

kekar, dan sesar kecil akibat proses tektonik maupun pelapukan karst.

- Keberadaan rekahan dan zona pelapukan tersebut dapat menurunkan kekuatan geser batuan secara signifikan dan dapat menjadi bidang lemah yang memicu ketidakstabilan lereng. Oleh karena itu, dalam analisis Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium), kondisi rekahan, pelapukan, dan struktur geologi harus dimodelkan secara cermat karena aspek-aspek tersebut berpotensi mengurangi Faktor Keamanan (FoS) dan meningkatkan kemungkinan terjadinya keruntuhan lereng.
- Stabilitas lereng pada pertambangan batu gamping di Pulau Sumbawa sangat dipengaruhi oleh kondisi massa batuan, di mana zona batuan yang kompak dan kering umumnya mampu mencapai FoS aman ($\geq 1,3-1,5$), sedangkan zona yang telah terkekarkan, terlapukkan, atau memiliki rongga karst menunjukkan penurunan FoS hingga 1,1–1,3 sehingga memerlukan tindakan mitigasi; jika FoS turun di bawah 1,0, kondisi tersebut mengindikasikan potensi runtuh yang sudah terjadi atau sangat kritis sehingga diperlukan penanganan darurat segera.
- Berdasarkan nilai GSI = 45 dan parameter Hoek–Brown yang dihasilkan ($m_b \approx 1,092$; $s \approx 0,00065$; $a = 0,5$), diperoleh kuat tekan batuan massa (σ_{cm}) sebesar $\pm 1,91$ MPa, yang menunjukkan bahwa meskipun batuan intak ($\sigma_{ci} = 75$ MPa) tergolong kuat, kondisi massa batuan telah mengalami degradasi signifikan akibat rekahan dan pelapukan sehingga kekuatannya turun sangat drastis; hal ini menegaskan bahwa kualitas massa batuan jauh lebih menentukan stabilitas lereng daripada sifat batuan intaknya.
- Analisis sensitivitas dengan model *infinite slope* menunjukkan bahwa dengan parameter dasar tertentu ($\beta = 45^\circ$, $c' = 9$

kPa, $\phi' = 50^\circ$, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $z = 5 \text{ m}$, dan $r_u = 0,10$), lereng memiliki Faktor Keamanan awal sekitar 1,25; nilai ini menjadi acuan dasar untuk menilai seberapa besar perubahan FoS yang terjadi ketika setiap parameter geoteknik diubah, sehingga perhitungan ini memberikan gambaran jelas tentang parameter mana yang paling berpengaruh terhadap penurunan atau peningkatan stabilitas lereng.

- f. Penurunan parameter geoteknik sebesar 20% memberikan dampak signifikan terhadap kestabilan lereng. Pengurangan kohesi menyebabkan FoS turun dari 1,25 menjadi sekitar 1,22, sementara penurunan sudut geser jauh lebih kritis dengan FoS turun menjadi sekitar 0,94, yang berada di bawah batas aman. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lereng sangat sensitif terhadap perubahan sudut geser, dan pada kondisi terdegradasi, lereng dapat berada dalam keadaan tidak stabil atau berpotensi longsor. Oleh karena itu, diperlukan mitigasi seperti redesign lereng, perbaikan geoteknik, atau peningkatan monitoring untuk menjaga keamanan operasional tambang.
- g. Kenaikan berat isi material sebesar 10% hanya menurunkan nilai FoS dari 1,25 menjadi sekitar 1,24, sehingga pengaruhnya terhadap kestabilan lereng relatif kecil dibandingkan perubahan parameter lain seperti kohesi atau sudut geser. Dengan demikian, kenaikan berat isi bukan faktor paling kritis dalam menurunkan stabilitas lereng pada kondisi geologi dan desain tambang batu gamping tersebut. Namun, meskipun efeknya kecil, perubahan ini tetap perlu dipantau terutama bila terjadi kondisi jenuh atau peningkatan kadar air yang dapat memperbesar pengaruh γ terhadap kestabilan lereng secara keseluruhan.
- h. Kenaikan muka air tanah sebesar 1 meter terbukti memiliki dampak yang cukup

signifikan terhadap kestabilan lereng, dengan nilai FoS turun dari 1,25 menjadi sekitar 1,14. Penurunan ini terutama disebabkan oleh meningkatnya tekanan pori (r_u), yang secara langsung mengurangi komponen gaya gesek tanah. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi hidrologi—khususnya fluktuasi muka air tanah—merupakan faktor kritis pada tambang batu gamping di Sumbawa, sehingga pengelolaan drainase, kontrol air permukaan, dan monitoring muka air tanah harus menjadi prioritas untuk menjaga kestabilan lereng dan keamanan operasi tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- Permen ESDM No. 26 Tahun 2018 tentang Kaidah Teknis Pertambangan yang Baik Mengatur perencanaan tambang, termasuk desain lereng open pit.
- [2] Irwandi Arif, Pengantar Teknik Pertambangan, ITB (2014)
 - [3] Haslanger, S. (2012). *Resisting Reality: Social Construction and Social Critique*. Oxford University Press.
 - [4] Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley.
 - [5] Hardiyatmo, Hary Christady. (2012). *Stabilisasi Lereng Tanah*. Gadjah Mada University Press.
 - [6] Purwanto, S. & Rahardjo, P. Modul kuliah Geoteknik Tambang / Geologi Teknik (tersedia di berbagai universitas teknik Indonesia). (UGM).
 - [7] Irwan Winarto. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Tanah Residual Batuan Vulkanik Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas. Tesis (Institut Teknologi Bandung - ITB).
 - [8] Purbokusumo, C. A., & Yudiantoro, S. R. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Batuan Berdasarkan Klasifikasi Massa Batuan RMR dan Analisis Kinematik. Jurnal Teknologi Mineral Universitas Islam Bandung (Unisba).

- [9] Hartanto, B. A. (2014). *Analisis Kestabilan Lereng dan Penentuan Geometri Lereng Optimum Tambang Batubara dengan Metode Kesetimbangan Batas*. Tesis (Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta - UPN).
- [10] Arfial, P., & Suparman. (2020). Identifikasi Potensi Longsoran Lereng pada Kuari Batugamping Menggunakan Analisis Kinematika. *Jurnal Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara (Jurnal Eksplorasi Tambang)*.
- [11] Hary Christady Hardiyatmo. (2017). *Mekanika Tanah I dan II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

CONTOH DAFTAR PUSTAKA

- Borglet, C, 2003, Finding Association Rules with Apriori Algorithm, <http://www.fuzzy.cs.uniagdeburg.de/~borglet/apriori.pdf>, diakses tgl 23 Februari 2007.
- Castleman, Kenneth R., 2004, Digital Image Processing, Vol. 1, Ed.2, Prentice Hall, New Jersey.
- Ivan, A.H., 2005, Desain target optimal, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Proyek Multitahun, Dikti, Jakarta.
- Prasetya, E., 2006, Case Based Reasoning untuk mengidentifikasi kerusakan bangunan, *Tesis*, Program Pasca Sarjana Ilmu Komputer, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wallace, V. P., Bamber, J. C. dan Crawford, D. C. 2000. Classification of reflectance spectra from pigmented skin lesions, a comparison of multivariate discriminate analysis and artificial neural network. *Journal Physical Medical Biology*, No.45, Vol.3, 2859-2871.
- Wyatt, J. C, dan Spiegelhalter, D., 1991, Field Trials of Medical Decision-Aids: Potential Problems and Solutions, Clayton, P. (ed.): Proc. 15th Symposium on Computer Applications in Medical Care, Vol 1, Ed. 2, McGraw Hill Inc, New York.
- Wyatt, J. C, Spiegelhalter, D, 2008, Field Trials of Medical Decision-Aids: Potential Problems and Solutions, Proceeding of

15th Symposium on Computer Applications in Medical Care, Washington, May 3.

- Xavier Pi-Sunyer, F., Becker, C., Bouchard, R.A., Carleton, G. A., Colditz, W., Dietz, J., Foreyt, R. Garrison, S., Grundy, B. C., 1998, Clinical Guidelines on the identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults, *Journal of National Institutes of Health*, No.3, Vol.4, 123-130, http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/1998/11001/paper_treatment_of_obesity.pdf.
- Yusoff, M, Rahman, S., A., Mutalib, S., and Mohammed, A., 2006, Diagnosing Application Development for Skin Disease Using Back propagation Neural Network Technique, *Journal of Information Technology*, vol 18, hal 152-159.