

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DOSEN PEMULA
UNIVERSITAS LAMPUNG**



**INTEGRASI GEOMORFOLOGI DAN GEOLOGI TEKNIK UNTUK
PENATAAN WILAYAH RAWAN LONGSOR KOTA BANDAR LAMPUNG**

TIM PENGUSUL

(Rahmi Mulyasari, M.T.

SINTA ID: 6644967)

(Aminudin Syah, S.T., M.Eng.

SINTA ID: 6709386)

(Dr. Nandi Haerudin, M.Si.

SINTA ID: 5976952)

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN DOSEN PEMULA UNIVERSITAS LAMPUNG

Judul Penelitian : Integrasi Geomorfologi dan Geologi Teknik untuk Penataan Wilayah Rawan Longsor Kota Bandar Lampung

Manfaat sosial ekonomi : Sebagai upaya mitigasi struktural bencana longsor dan upaya pengurangan risiko bencana longsor di Kota Bandar Lampung

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Rahmi Mulyasari, M.T.
b. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli
c. Program Studi : Teknik Geofisika
d. SINTA ID : 6644967
e. Nomor HP : 085266795393
f. Alamat surel (e-mail) : rahmi.mulyasari@eng.unila.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Aminudin Syah, S.T., M.Eng.
b. Jabatan Fungsional : -
c. SINTA ID : 6709386
d. Program Studi : Teknik Sipil

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap : Dr. Nandi Haerudin, M.Si.
b. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
c. SINTA ID : 5976952
d. Program Studi : Teknik Geofisika

Jumlah mahasiswa yang terlibat : 3 orang
Jumlah alumni yang terlibat : 0 orang
Jumlah staf yang terlibat : 0 orang
Lokasi kegiatan : Kota Bandar Lampung
Lama kegiatan : 6 Bulan
Biaya Penelitian : Rp. 15.000.000,-
Sumber dana : DIPA BLU Unila

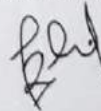
Bandar Lampung, 16 September 2021

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik,



(Prof. H. Suharno, Ph.D, I.P.U., ASEAN.Eng.)
NIP 196207171987031002

Ketua Peneliti,



(Rahmi Mulyasari, M.T.)
NIP 199102072018032001

Menyetujui,
Ketua PPM Universitas Lampung,



(Dr. Lusmeilia Afriani, D.E.A.)
NIP 196505101993032008

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI	iii
RINGKASAN	iv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Khusus	2
1.3 Urgensi (keutamaan) Penelitian.....	3
1.4 Temuan yang Ditargetkan dan Kontribusinya	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>State of the art</i>	4
2.2 Peta Jalan Penelitian (<i>Road Map</i>).....	8
BAB 3. METODE PENELITIAN	11
3.1. Alat dan Bahan Penelitian	11
3.2. Tahapan Penelitian.....	12
3.3. Lokasi Penelitian.....	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1. Kajian Geomorfologi	17
4.2. Investigasi Geoteknik	22
BAB 5. KESIMPULAN	28
REFERENSI	29

RINGKASAN

Bandar Lampung merupakan wilayah perkotaan padat penduduk yang terdiri atas daratan dan perairan dengan beberapa dataran tinggi dan pegunungan yang terbentang di wilayah ini. Untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan di sebuah kawasan kota, diperlukan konsep penataan ruang yang mempertimbangkan segala aspek, salah satunya dari aspek potensi bencana. Salah satu bencana yang berpotensi terjadi di Kota Bandar Lampung adalah gerakan massa/longsor. Berdasarkan penelitian sebelumnya, di daerah ini terekam beberapa titik sejarah longsor, namun belum ada mitigasi/penanggulangan khususnya. Pada penelitian ini akan dilakukan integrasi geomorfologi dalam menghasilkan peta dan geologi teknik untuk memprediksi kestabilan lereng serta menentukan teknik perkuatan lereng yang efektif digunakan pada daerah tersebut. Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah untuk penataan wilayah berbasis potensi bencana. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan peta kerentanan gerakan tanah dengan pendekatan geomorfologi dan rekomendasi mitigasi struktural berdasarkan analisis kestabilan lereng, salah satu upaya mitigasi bencana untuk mendukung penataan ruang dan pembangunan yang berkelanjutan. Penelitian dilaksanakan pada bulan April s.d. September 2021. Adapun tahapan dari penelitian ini meliputi studi pustaka, survei pendahuluan, survei lapangan dan pengambilan data primer, analisis dan pengolahan data, perencanaan penanganan gerakan massa, serta laporan. Temuan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah peta kerentanan gerakan tanah Kota Bandar Lampung dan rekomendasi mitigasi struktural bencana gerakan tanah dengan integrasi pendekatan geomorfologi dan geologi teknik pada daerah rawan longsor sebagai rekomendasi untuk pengembangan wilayah.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Longsoran atau gerakan massa merupakan suatu peristiwa geologi, yaitu terjadinya perpindahan massa tanah hingga batuan yang disebabkan oleh gaya gravitasi bumi (Varnes, 1978 dalam Karnawati, 2005). BNPB mencatat, longsor merupakan salah satu bencana yang paling banyak menelan korban dengan frekuensi kejadian yang terus meningkat setiap tahunnya (CNN Indonesia, 2021). Berdasarkan data Indeks Rawan Bencana Tanah Longsor, sekitar 179 kabupaten merupakan lokasi rawan bencana longsor di Indonesia, termasuk di dalamnya Kota Bandar Lampung yang memiliki kelas risiko tinggi dan menempati peringkat 18 se-Indonesia (BNPB, 2011).

Kota Bandar Lampung merupakan wilayah perkotaan padat penduduk yang terdiri atas daratan dan perairan dengan beberapa dataran tinggi dan pegunungan yang terbentang di Kota Bandar Lampung (Pemerintah Kota Bandar Lampung, 2017). Berdasarkan Peta Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993), ditunjukkan kondisi geologi di Kota Bandar Lampung berada pada pengaruh sesar/patahan. Pada peta tersebut terlihat jelas beberapa patahan yang melintasi Kota Bandar Lampung. Keberadaan patahan tersebut tercermin pada kondisi morfologinya yang berupa perbukitan dengan kelerengan yang curam. Litologi yang mendominasi daerah ini merupakan tanah bekas endapan pantai dan sungai yang tersebar di sekitar Teluk Lampung dan di sekitar Tanjung Karang didominasi oleh tanah lapukan hasil kegiatan gunung api muda dari Formasi Lampung yang umumnya berupa batuan tuff. Kondisi geologi yang demikian dengan tingkat curah hujan yang tinggi, menyebabkan daerah tersebut rentan terjadinya longsoran.

Berdasarkan data yang dihimpun PVMBG pada tahun 2018, kecamatan di Kota Bandar Lampung memiliki potensi gerakan tanah/ longsor menengah hingga tinggi (<http://www.vsi.esdm.go.id>). Kecamatan Kemiling, Sukabumi, Sukarame, Tanjungkarang Barat, Tanjungsenang, Telukbetung Barat, Telukbetung Selatan, Telukbetung Timur dan Telukbetung Utara memiliki potensi gerakan tanah

menengah, adapun Kecamatan Panjang memiliki potensi gerakan tanah menengah-tinggi.

Penelitian pendahuluan terkait longsor di Kota Bandar Lampung, khususnya pada Kecamatan Panjang, telah dilakukan oleh penulis baik dengan pendekatan geologi, geomorfologi serta geofisika (Mulyasari dkk., 2018a; Mulyasari dkk., 2018b, Mulyasari dkk., 2019). Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan peta zonasi potensi gerakan tanah, indikasi litologi serta bidang gelincir di beberapa titik longsor. Data dari penelitian tersebut memberikan informasi dasar yang masih butuh kajian lebih lanjut untuk penanggulangan longsor ke depannya.

Oleh sebab itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan memadukan kajian geomorfologi lereng dan aspek geologi teknik dari tanah/batuan terhadap kestabilan lereng. Penelitian ini akan dilakukan di beberapa titik yang memiliki zona kerentanan gerakan tanah menengah-tinggi, dengan menganalisis kestabilan lereng dan memberikan alternatif penanganan potensi gerakan tanah. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi terhadap upaya mitigasi bencana gerakan tanah, meminimalkan kerugian baik jiwa atau material di masa yang akan datang serta mampu memberikan masukan bagi pemangku kebijakan di Kota Bandar Lampung.

1.2. Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah:

- a. Memperbaharui peta kerentanan gerakan tanah Kota Bandar Lampung dengan pendekatan geomorfologi untuk mendukung penataan ruang dan pembangunan yang berkelanjutan.
- b. Memberikan rekomendasi terhadap upaya mitigasi struktural bencana gerakan tanah dengan pendekatan geologi teknik.

1.3. Urgensi Penelitian

Urgensi dari penelitian ini adalah sebagai upaya mitigasi struktural bencana longsor dan sebagai upaya meminimalkan kerugian baik jiwa atau material akibat bencana longsor di masa yang akan datang. Selain itu, hasil rekomendasi penanggulangan bencana longsor ini dapat dijadikan masukan bagi Pemerintah Daerah dan BPBD dalam upaya pengurangan risiko bencana longsor di Kota Bandar Lampung.

1.3. Luaran/ Temuan yang ditargetkan

Luaran/temuan yang ditargetkan adalah:

- a. Rekomendasi mitigasi struktural bencana gerakan tanah dengan integrasi pendekatan geomorfologi dan geologi teknik pada daerah rawan longsor sebagai rekomendasi untuk pengembangan wilayah.
- b. Jurnal nasional terindeks SINTA 4 (Jurnal Geofisika Eksplorasi), serta sebagai pemakalah maupun pembicara dalam kegiatan ilmiah tahunan (Seminar Nasional/Internasional).

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *State of the art*

Varnes (1978 dalam Karnawati 2005) mendefinisikan gerakan massa/ longsoran sebagai gerakan material penyusun lereng ke arah bawah atau keluar lereng dibawah pengaruh gravitasi bumi. Menurut Cruden (1991) dalam Karnawati (2005), gerakan massa adalah perpindahan suatu massa batuan, tanah, atau bahan rombakan material penyusun lereng menuruni lereng. Karnawati (2005) menyebutkan, gerakan massa sebagai gerakan menuruni atau keluar lereng oleh massa tanah atau batuan penyusun lereng, ataupun pencampuran keduanya sebagai bahan rombakan, akibat gangguan kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut.

Proses Bergeraknya massa tanah atau batuan pada lereng (longsoran) dapat disebabkan oleh adanya pengaruh dari faktor-faktor: geomorfologi, litologi, struktur geologi, hidrogeologi, serta penggunaan lahan. Menurut Pramumijoyo dan Karnawati (2009), meskipun suatu lahan atau kawasan berdasarkan kondisi alamnya rentan untuk bergerak atau longsor, potensi gerakan tanah ini dapat diminimalkan dengan beberapa teknik mitigasi sebagai berikut:

1. Identifikasi zona yang rentan bergerak,
2. Identifikasi faktor kunci penyebab gerakan tanah,
3. Menerapkan rekayasa untuk meminimalkan pemicu/ pengaruh pemicu atau memperkuat lereng.

Penelitian terkait longsoran telah banyak diteliti oleh para peneliti dari berbagai bidang keilmuan dengan upaya untuk melakukan identifikasi karakteristik longsoran dan berusaha mencari teknik mitigasinya. Berbagai macam pendekatan telah digunakan oleh peneliti sebagai upaya untuk melakukan penilaian secara sistematis terhadap potensi longsoran di suatu tempat dan/atau area. Penilaian longsor bisa dianalisis pada suatu tempat atau titik yang mengalami longsoran ataupun suatu area yang lebih luas. Penilaian potensi bahaya longsoran tersebut biasanya dilakukan dengan pendekatan empiris, seperti yang dilakukan oleh Romana dkk. (2015), menggunakan metode SMR (*Slope Mass Rating*) yaitu

teknik menilai suatu lereng dengan klasifikasi massa batuan. Pendekatan eksperimen juga dapat dilakukan untuk penilaian suatu longsoran. Pendekatan Geometri juga dapat dilakukan untuk menggambarkan mekanisme longsoran yang terjadi (Sadarviana dkk. 2015). Pendekatan lain yang juga banyak diaplikasikan oleh peneliti adalah pendekatan statistik (Arabameri dkk., 2020 Wu dan Song, 2018), observasi (Psomiadis dkk., 2020), analitik (Pasierb dkk., 2019) serta numerik.

Pendekatan analitik merupakan suatu pendekatan untuk menganalisis kestabilan lereng dengan menganalisis kekuatan geser, berat isi, bidang lemah yang teridentifikasi, pendekatan ini menerapkan metode kesetimbangan batas dan berusaha menganalisis longsor dengan menilai *safety Factor*/ faktor keamanan (SF). Salah satu penelitian yang menerapkan metode ini adalah Pasierb dkk. (2019), yang menggunakan pendekatan geofisika dan geoteknik untuk menganalisis kestabilan lereng.

Pendekatan geologi teknik yang akan dilakukan adalah dengan menganalisis stabilitas lereng. Analisa kestabilan lereng bertujuan untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang berpotensi (Hardiyatmo, 2012). Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Tujuan utama dalam analisa kestabilan lereng adalah untuk memberikan suatu tinjauan dan perencanaan lereng yang aman dan ekonomis.

Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*plastic limit equilibrium*). Analisis ini dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai tingkat kestabilan lereng, tingkat kestabilan ini dinyatakan dalam suatu koefisien yang disebut dengan angka aman atau faktor aman. *Safety Factor*/ angka aman (SF) merupakan perbandingan antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d}$$

Dengan,

SF = Faktor aman,

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN/m^2)

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2)

Bowles (1971) dalam Bowles (1989) mengemukakan, pada umumnya stabilitas lereng merupakan analisis regangan bidang karena perbandingan antara panjang dan penampang melintangnya sangat besar. Bowles mengusulkan nilai faktor aman (SF) berkaitan dengan tingkat kejadian longsor, seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat kejadian longsor berdasarkan nilai SF (Bowles, 1989).

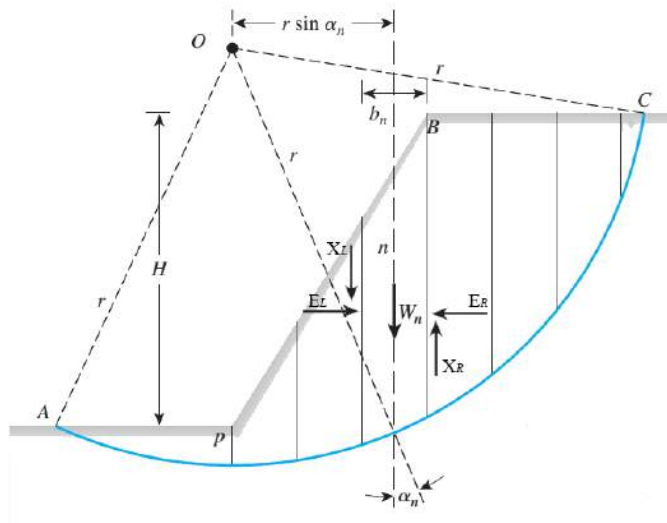
Angka aman (SF)	Intensitas Longsor
$<1,07$	Sering terjadi (lereng labil)
$1,07 \leq SF \leq 1,25$	Pernah terjadi (lereng kritis)
$>1,25$	Jarang terjadi (lereng stabil)

Morgenstern dan Price (1965) dalam Price (2009) mengembangkan dua persamaan faktor aman (SF), yaitu persamaan yang memperhitungkan keseimbangan momen dan juga memperhitungkan keseimbangan gaya. Metode ini memperhitungkan hubungan antara gaya normal antar irisan, gaya geser antar irisan, dan fungsi gaya antar irisan.

Slope/W memberikan fungsi gaya antar irisan yang digunakan untuk menghitung angka aman untuk metode Morgenstern-Price, fungsi tersebut adalah:

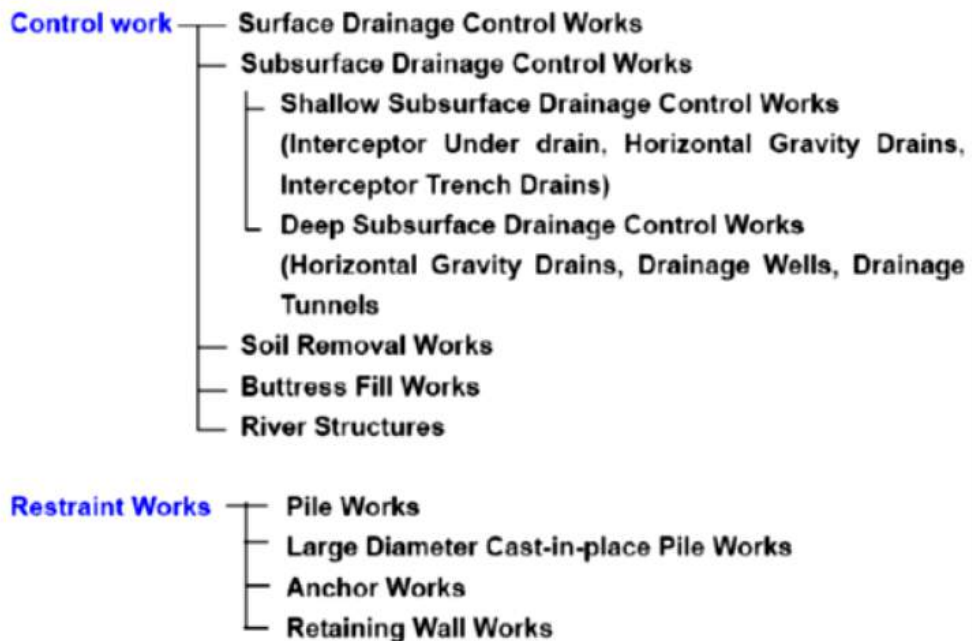
1. fungsi konstan,
2. fungsi setengah sinus (*half-sine*),
3. fungsi clipper-sine,
4. fungsi sesuai spesifikasi data.

Jika dalam perhitungan dipilih fungsi konstan, maka metode Morgenstern-Price akan menghasilkan angka aman yang identik dengan metode Spencer. Gaya-gaya yang bekerja pada tiap irisan bidang kelongsoran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gaya yang bekerja pada bidang irisan metode Morgenstern-Price (Das, 2006).

Secara lebih spesifik pendekatan ini diharapkan dapat memberikan solusi teknik penanganan longsor yang sesuai dengan daerah penelitian. Penanganan longsor secara umum dapat dilakukan melalui dua cara yaitu *control works* dan *restraint works*. Gambar 2 menunjukkan klasifikasi kedua metode penanggulangan longsor.



Gambar 2. Metode penanggulangan longsor: *control works* dan *restraint works*.

Pada penelitian ini peneliti tertarik untuk menganalisis longsor dari sisi geomorfologi dan geologi teknik. Salah satu faktor penyebab longsor adalah geomorfologi. Geomorfologi merupakan ilmu terkait tentang bentuk permukaan bumi dan perubahan-perubahan yang terjadi pada bumi itu sendiri, keadaan geomorfologi di suatu daerah sangat mempengaruhi tingkat potensi bahaya geologi suatu daerah. Sebagian besar longsor berada pada daerah dengan kondisi geomorfologi berupa kelerengan yang curam. Peneliti akan memadukan pemetaan kondisi geomorfologi yang mempengaruhi longsor dengan pendekatan geologi teknik. Pendekatan geologi teknik diharapkan dapat memberi solusi/ teknik rekayasa yang tepat pada longsor yang terjadi.

2.2. Peta Jalan Penelitian (*Road Map*)

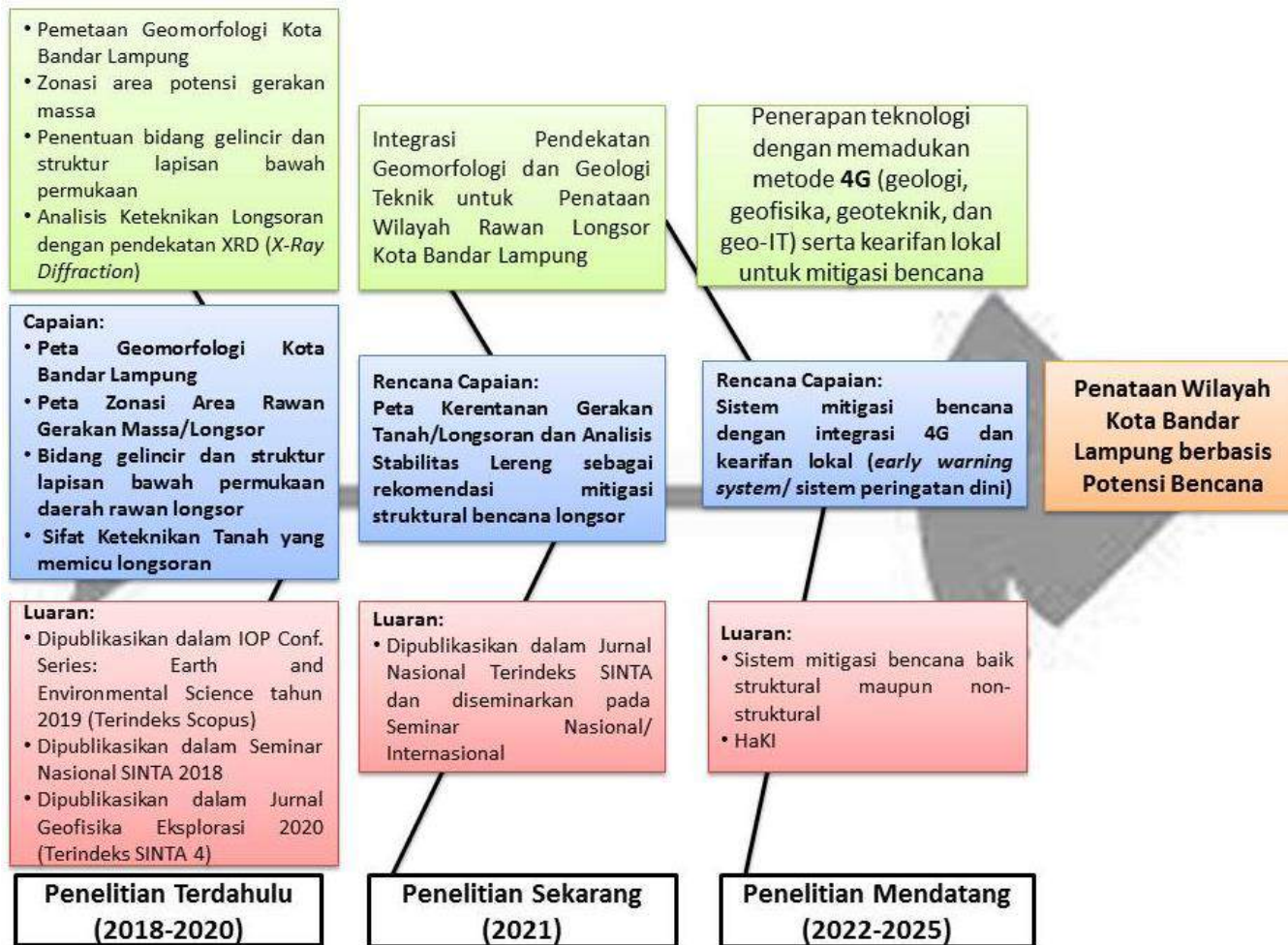
Peta jalan penelitian mengenai penataan wilayah berbasis aspek potensi bencana di Kota Bandar Lampung untuk mewujudkan pembangunan berwawasan lingkungan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian terkait kebencanaan khususnya di Kota Bandar Lampung mengenai penentuan risiko bencana gempabumi telah dilakukan oleh Rasimeng dkk. (2016), pada penelitian ini dianalisis kecepatan gelombang geser (V_s30) menggunakan metode seismik *multichannel analysis of surface wave* (MASW) untuk mendapatkan indikator nilai pergerakan tanah sebagai upaya mitigasi bencana gempabumi pada beberapa lokasi di wilayah Bandar Lampung. Hasil yang diperoleh, wilayah Kedaton, Kemiling dan Panjang yang mewakili zona fasilitas umum, perumahan dan industri merupakan wilayah yang memiliki risiko kerusakan tinggi saat terjadi gempabumi. Pada tahun 2018 peneliti utama telah melakukan penelitian terkait pembuatan peta geomorfologi Kota Bandar Lampung untuk rekomendasi pengembangan wilayah (Mulyasari dkk., 2018b), berdasarkan penelitian tersebut dikelompokkan daerah yang memiliki potensi bahaya tinggi, menengah dan rendah terkait kondisi geomorfologi dan sesar (patahan) yang mengontrolnya.

Penelitian pendahuluan mengenai penataan gerakan massa/longsor di Kota Bandar Lampung, telah dilakukan oleh peneliti utama pada tahun 2018 terkait pemetaan zonasi area potensi gerakan massa di sepanjang Sesar Lampung-

Panjang Kota Bandar Lampung (Mulyasari dkk., 2018a), berdasarkan penelitian tersebut ditemukan di sepanjang sesar Lampung-Panjang berada pada zona potensi gerakan massa sedang-tinggi. Pada beberapa titik di Kecamatan Panjang terekam pernah beberapa kali terjadi bencana longsor yang belum ada penanggulangan khusus. Pada tahun 2019, peneliti melakukan penelitian pada 2 titik longsor yang berada di Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang, penelitian ini menggunakan pendekatan geofisika dengan metode geolistrik resistivitas, hasil penelitian tersebut mengindikasikan litologi bawah permukaan daerah yang mengalami longsor terdiri atas lapisan sedimen tuff, pasir lempungan dan breksi. Bidang gelincir diperkirakan berada di batas antara lapisan sedimen tuff dan pasir lempungan pada kedalaman (5-15) meter dari permukaan tanah. Pada tahun 2020, peneliti melakukan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) pada lapisan permukaan yang mengalami longsor yaitu berupa tuff, diidentifikasi sifat keteknikan litologi tuff yang mengalami longsor, litologi tersebut rentan mengalami longsor dikarenakan kondisinya yang sudah teroksidasi dan mengalami pelapukan yang cukup intensif.

Pada penelitian ini akan dilakukan integrasi geomorfologi dan geologi teknik untuk memprediksi kestabilan lereng serta menentukan teknik perkuatan lereng yang efektif digunakan pada daerah tersebut. Hasil dari penelitian ini berupa peta kerentanan gerakan tanah dengan pendekatan geomorfologi dan rekomendasi mitigasi struktural berdasarkan analisis kestabilan lereng.

Penelitian selanjutnya, akan difokuskan pada penerapan teknologi dengan memadukan metode (geologi, geofisika, geoteknik, dan geo-IT/ *internet technology*) serta kearifan lokal untuk mitigasi bencana baik struktural maupun non-struktural. Diharapkan hasil dari penelitian ini akan memberikan kontribusi positif bagi pengembangan wilayah Kota Bandar Lampung dengan prinsip pembangunan berbasis potensi bencana. Secara rinci peta jalan penelitian terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Jalan Penelitian.

BAB 3. METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilaksanakan di Kota Bandar Lampung dengan integrasi metode geomorfologi dan geologi teknik. Secara rinci prosedur penelitian dibagi menjadi 6 tahapan, yaitu tahap studi pustaka, survei pendahuluan, survei lapangan dan pengambilan data primer, analisis dan pengolahan data, perencanaan penanganan gerakan massa, serta laporan.

3.1. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan di dalam penelitian ini di antaranya:

1. Kompas geologi,
2. Palu geologi,
3. *Global Positioning System* (GPS),
4. Kantong sampel tanah/ batuan,
5. Tabung sampel tanah,
6. Drone,
7. APD,
8. Buku catatan lapangan dan alat tulis,
9. Peta Geologi Regional Lembar Tanjungkarang yang bersumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi,
10. Peta Topografi, yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG),
11. Peta tata guna lahan yang diperoleh dari INAGEOPORTAL,
12. Data curah hujan yang bersumber dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika),
13. DEMNAS ~8 m yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG),
14. Data sekunder, di antaranya berupa data hasil penelitian sebelumnya meliputi keadaan geologi daerah penelitian dari peta geologi regional, data sekunder lainnya yang berhubungan dengan daerah penelitian dan literatur sebagai dasar teori.

3.2. Tahapan Penelitian

Studi Pustaka

Tahapan ini merupakan tahapan awal dari suatu penelitian termasuk di dalamnya proposal penelitian. Studi literatur penelitian sebelumnya dilakukan untuk menunjang penelitian mengenai geologi daerah penelitian secara regional maupun lokal, data peta topografi, DEMNAS ~8m, peta tata guna lahan, peta curah hujan, peta geomorfologi, peta zonasi potensi area gerakan massa/longsor dan data sejarah longsor di Kota Bandar Lampung.

Kemudian melakukan interpretasi peta topografi daerah penelitian serta interpretasi dari citra foto udara dan DEMNAS ~8m. Dari hasil interpretasi didapatkan daerah-daerah yang terindikasi rawan longsor, dilihat dari kelerengannya, resistensi batuan geomorfologi daerah penelitian.

Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui gambaran umum dan menggali informasi di lokasi penelitian akses jalan, tata guna lahan serta mengenai kondisi geologi (morfologi, litologi, dan struktur geologi) lokasi perumahan penduduk. Hal ini dilakukan berdasarkan hasil interpretasi tahapan sebelumnya, untuk membuat melakukan identifikasi daerah-daerah atau area-area yang berpotensi terjadi gerakan tanah.

Survei Lapangan dan Pengambilan Data Primer

Pada tahap ini dilakukan pengamatan, pencatatan dan pengambilan data secara langsung di lapangan. Kegiatan yang dilakukan meliputi pengamatan kondisi geomorfologi, kondisi geologi, identifikasi titik longsor serta pengambilan sampel tanah/ batuan dengan mempertimbangkan kondisi geologi teknik. Selanjutnya dilakukan investigasi pada titik-titik potensi longsor yang sudah ditentukan sebelumnya dengan mempertimbangkan tingkat kerentanan gerakan massa. Kegiatan yang dilakukan berupa pengukuran geometri lereng, pemantauan jenis gerakan massa, kondisi pembebanan, tata guna lahan, dan kondisi muka air tanah.

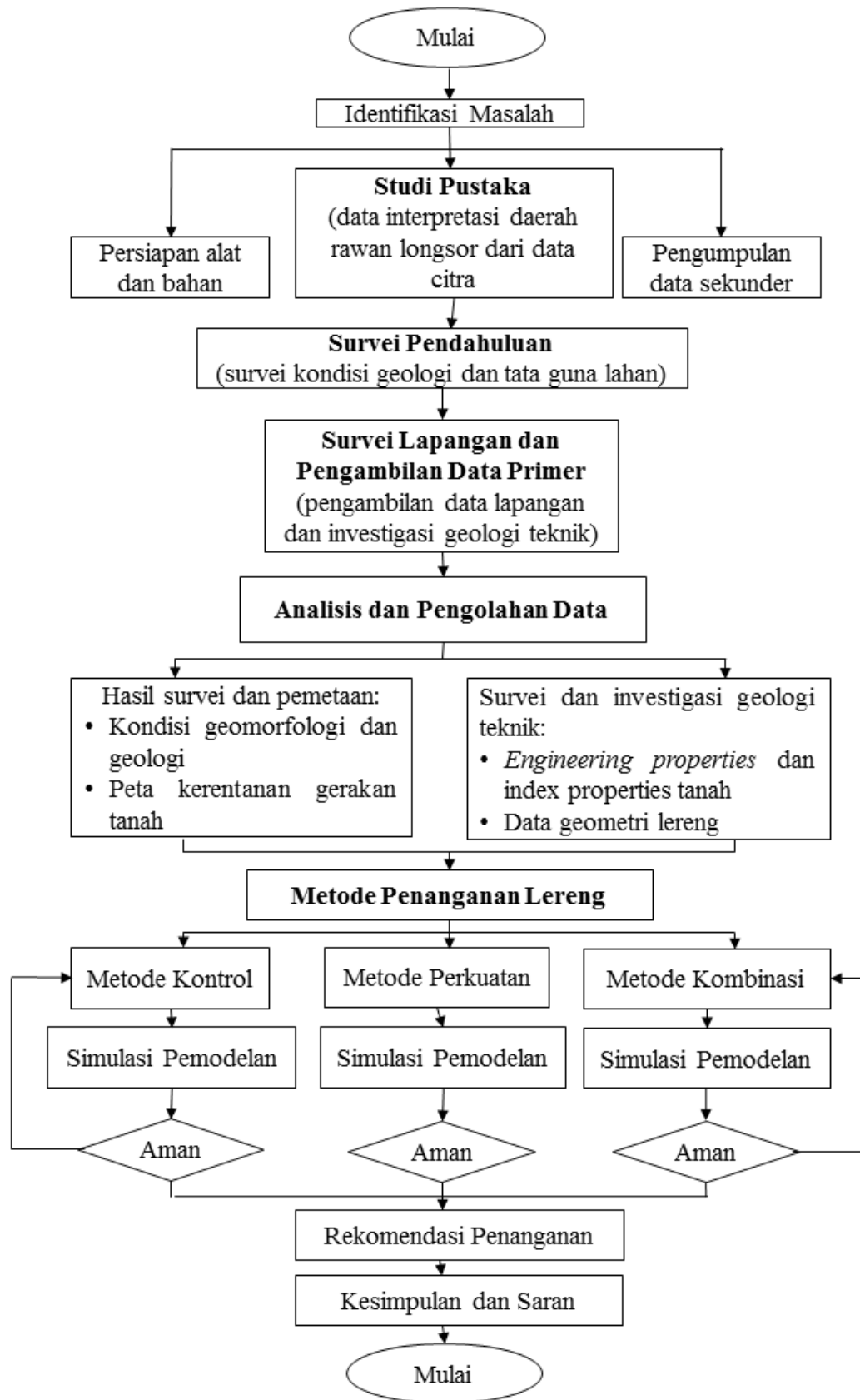
Hasil investigasi ini digunakan sebagai data pendukung dalam melakukan analisis stabilitas lereng dan juga sebagai acuan evaluasi data hasil analisis dengan kondisi nyata di lapangan.

Analisis dan Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap keseluruhan data yang telah diperoleh selama kegiatan pemetaan di lapangan. Berdasarkan data-data tersebut dilakukan pengolahan data sehingga diperoleh peta kerentanan gerakan tanah berdasarkan kondisi geomorfologi dan data lapangan yang akan digunakan dalam tahap interpretasi selanjutnya. Data hasil investigasi geoteknik berupa data hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah untuk mendapatkan parameter fisik tanah (*engineering properties* dan indeks *properties* tanah) dan data geometri lereng digunakan sebagai masukan dalam analisis stabilitas lereng pada daerah kajian.

Perencanaan dan penanganan potensi gerakan massa

Berdasarkan hasil interpretasi data yang telah diperoleh dapat direncanakan jenis penanganan untuk meningkatkan faktor aman dari lereng. Pada penelitian ini, terdapat 3 metode penanganan yang direncanakan yaitu: metode kontrol, metode perkuatan dan metode kombinasi kontrol-perkuatan. Konsep penanganan longsor diberikan dalam bentuk *basic design* dan dicontohkan pada salah satu titik longsor. Analisis kestabilan lereng pada penelitian ini menggunakan metode keseimbangan batas.



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kota Bandar Lampung (Gambar 5). Penanganan potensi bencana longsor dilakukan hanya pada daerah dengan tingkat kerentanan menengah hingga tinggi.

Fisiografi

Fisiografi Pulau Sumatera di bagi menjadi beberapa zona fisiografi, di antaranya Zona Bukit Barisan, Zona Sesar Semangko (Sumatera), Zona Dataran dan Perbukitan, Zona Bukit Tiga Puluh, Zona Busur Luar, dan Zona Paparan Sunda (Van Bemmelen, 1949). Sebagian besar Daerah Kota Bandar Lampung merupakan Zona Fisiografi Bukit Barisan.

Zona Bukit Barisan merupakan suatu zona perbukitan dengan orientasi tenggara – baratlaut dan memiliki pola memanjang sekitar 1.650 km dengan lebar 100 km. Jika ditinjau dari sisi morfologi, secara umum daerah ini dapat dibagi menjadi tiga satuan morfologi: dataran bergelombang di bagian timur dan timurlaut, pegunungan kasar di bagian tengah dan baratdaya, dan daerah pantai berbukit sampai datar. Lereng-lereng umumnya curam dengan ketinggian sampai dengan 500-1.680 m di atas muka laut.

Stratigrafi

Urutan stratigrafi Lembar Tanjungkarang dibagi menjadi tiga bagian: Pra-Tersier, Tersier, dan Kuartar. Menurut Mangga dkk. (1993), peta geologi wilayah Kota Bandar Lampung masuk dalam Lembar Tanjungkarang (Gambar 5) dengan urutan stratigrafi sebagai berikut:

Batuan Kuartar disusun oleh batuan sedimen, produk gunung api dan endapan permukaan. Terdiri dari Formasi Lampung (QTI) berupa tuf berbatuapung, tuf riolitik, tuf padu tufit, batulempung tufan dan batupasir tufan; Endapan Gunungapi Muda Pesawaran (Qhvp) berupa lava (andesit-basal), breksi dan tuf; Aluvium (Qa) berupa kerakal, kerikil, pasir, lempung dan gambut.

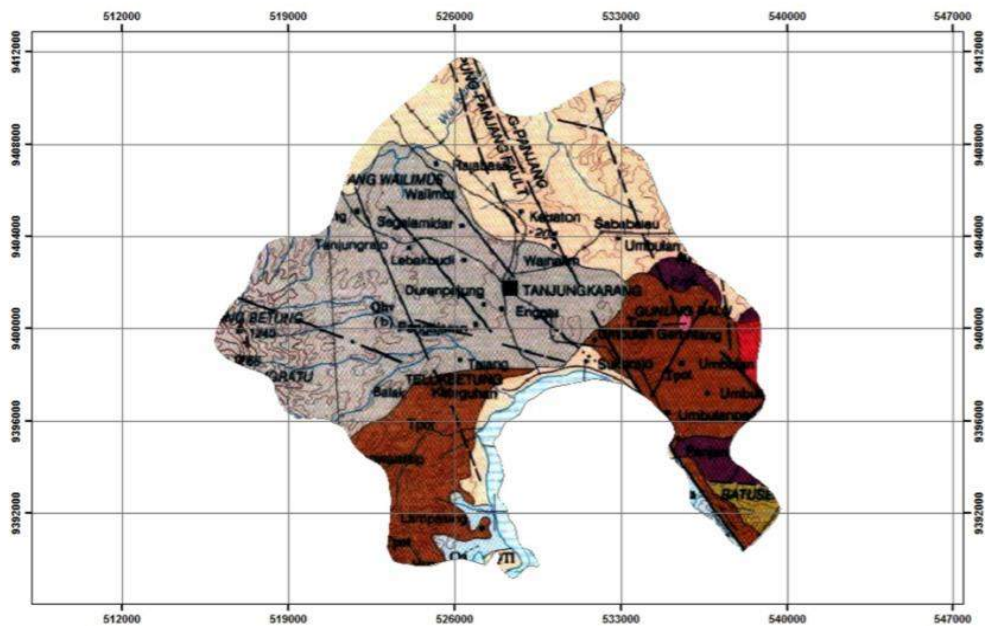
Batuan Tersier disusun oleh batuan produk gunungapi dan batuan terobosan/*intrusive*. Terdiri Formasi Campang (Tpoc) bagian bawah terdiri dari perselingan batulempung, serpih dan tuf padu, bagian atas terdiri dari breksi aneka

bahan dengan sisipan batupasir dan batulanau; Formasi Tarahan (Tpot) berupa tuf padu, breksi dengan sisipan rijang; Batuan Granit tak terpisahkan (Tmgr) terdiri dari granit dan granodiorit.

Batuan Pra-Tersier disusun oleh batuan-batuan dasar berupa batuan metamorf Kompleks Gunung Kasih Tak Terpisahkan (Pzg) terdiri dari Kuarsit Sidodadi (Pzgc) berupa kuarsit dengan sisipan sekis-kuarsa serisit.

Struktur Geologi

Daerah Penelitian dilalui oleh Sesar Panjang-Lampung. Sesar Panjang-Lampung telah diidentifikasi pada Peta Geologi Lembar Tanjungkarang berarah NW-SE (Mangga dkk., 1993) (Gambar 2).



Gambar 5. Peta Geologi Regional Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993).

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi pustaka dilakukan sebelumnya untuk menunjang penelitian. Kemudian dilakukan interpretasi peta topografi daerah penelitian yang bersumber dari data DEMNAS ~8 m. Dari hasil interpretasi didapatkan daerah daerah yang terindikasi rawan longsor, dilihat dari kondisi geologi dan geomorologi daerah penelitian. Selanjutnya, dilakukan survei pendahuluan untuk mengetahui gambaran umum dan menggali informasi di lokasi penelitian seperti topografi dan lokasi daerah rawan longsor. Hal ini dilakukan untuk menentukan titik lokasi pengambilan sampel geoteknik.

4.1. Kajian Geomorfologi

Pada daerah penelitian yang berada di Kota Bandar Lampung terdapat empat satuan geomorfik yang dapat diidentifikasi, terdiri dari satuan fluvial, satuan struktural, satuan vulkanik, dan satuan denudasional. Penentuan satuan geomorfik juga berdasarkan morfokronologi bentuklahan (Gambar 6). Pola aliran DAS di daerah penelitian terdiri atas pola radial dan subdendritik. Radial menempati satuan geomorfik Gunung Api Betung, subdendritik meliputi satuan geomorfik struktural, fluvial dan denudasional (Gambar 7).

1. Geomorfik Struktural

Bentang alam ini dipengaruhi oleh struktur, yaitu sesar aktif dan sesar yang diperkirakan. Ada yang menempati bagian tengah-utara-timur-tenggara-barat-barat daya daerah penelitian. Bentang alam ini berasosiasi dengan keberadaan sesar Lampung-Panjang yang searah dengan Sistem Sesar Sumatera pada segmen Sesar Semangko. Bentang alam ini tersusun oleh Perbukitan Struktural Way Galih (WGS), Bukit Struktural Way Galih (WSH), Bukit Struktural Sidodadi (SSH), Perbukitan Struktural Tarahan (TSH), Perbukitan Struktural Campang (CSH), Perbukitan Struktural Lampung (LSH), dan Lembah Struktural Lampung (LSV). Keberadaan segmen sesar merupakan elemen utama pembentuk bentang alam.

2. Geomorfik Vulkanik

Bentang alam ini dikendalikan oleh aktivitas vulkanik Gunung Betung Resen dan magmatisme di Granodiorite Cretaceous dan Granitoid Miosen. Keberadaan gunung api aktif terlihat pada Bukit Barisan, sedangkan adanya

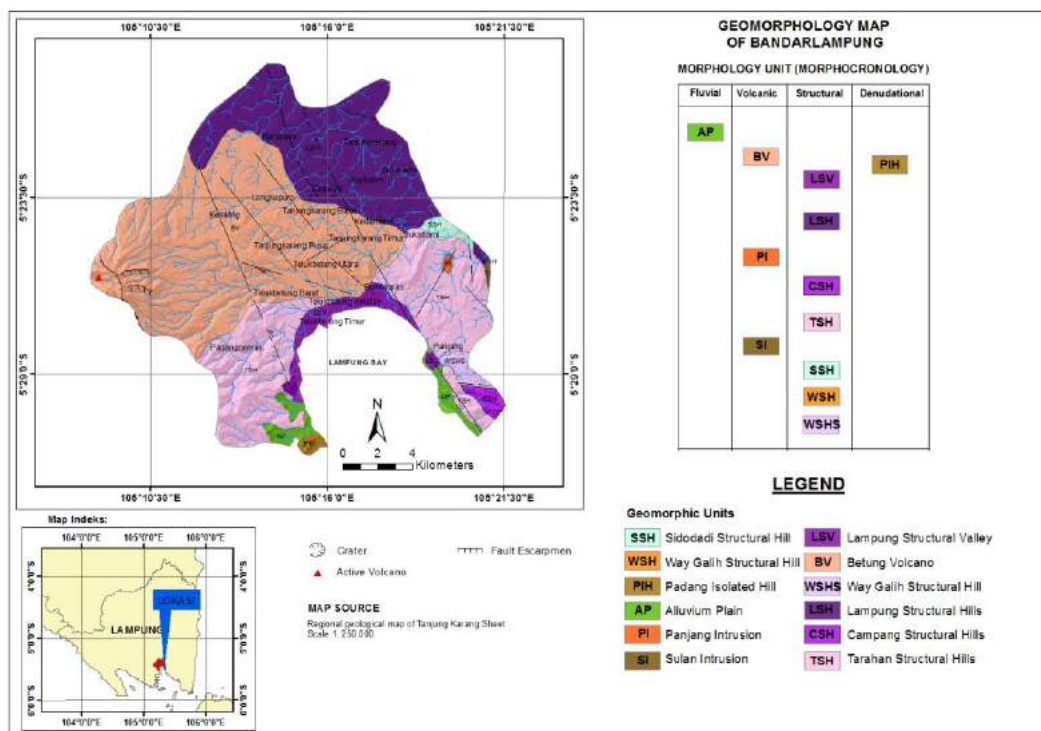
intrusi magmatisme mengindikasikan aktivitas tektonik-magmatisme-vulkanisme yang berasosiasi dengan Zona Sesar Sumatera. Satuan geomorfik ini tersusun atas Intrusi Sulan (SI) Kapur, Intrusi Panjang (PI) Miosen, dan gunungapi aktif produk Lampung Formasi Plio-Plistosen, dan Satuan Gunungapi Betung (BV) Kuartar.

3. Geomorfik Denudasi

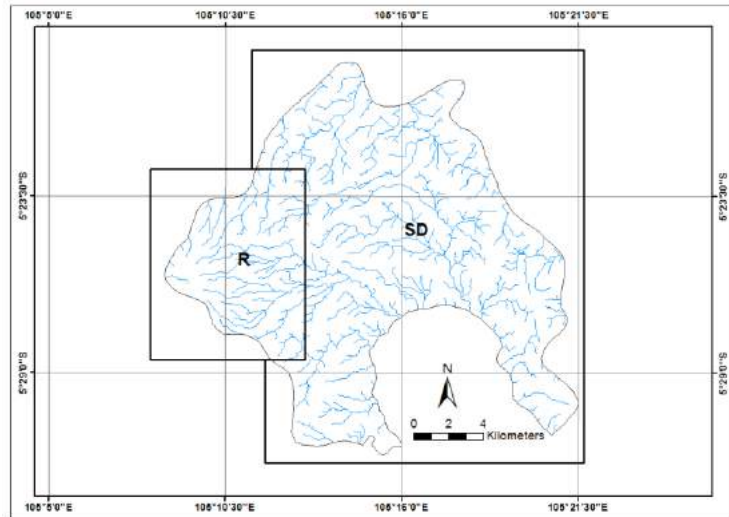
Bentang alam ini hanya ditempati oleh sedikit sebaran satuan geomorfik. Satuan geomorfik ini dikontrol oleh erosi, yang memiliki ciri litologi atau formasi batuan pada morfologi perbukitan yang berbeda dengan litologi di sekitarnya. Bukit Terisolasi Padang (PIH) merupakan bagian dari Formasi Lampung. Hal ini diindikasikan dengan adanya produk vulkanik berupa piroklastik, lava, dan sedimen vulkanik.

4. Geomorfik Fluvial

Bentang alam ini adalah produk dari proses geologi terbaru. Satuan geomorfik ini memiliki karakteristik berupa unlitifikasi, material sedimen dan terdistribusi pada relief dataran/datar, seperti Dataran Aluvial (AP).

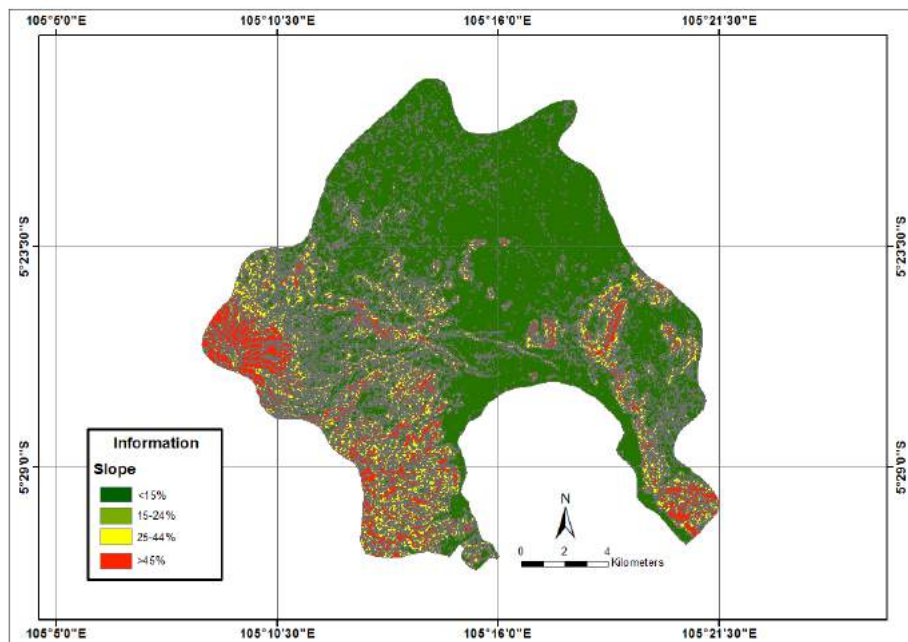


Gambar 6. Peta Geomorfologi Kota Bandar Lampung.

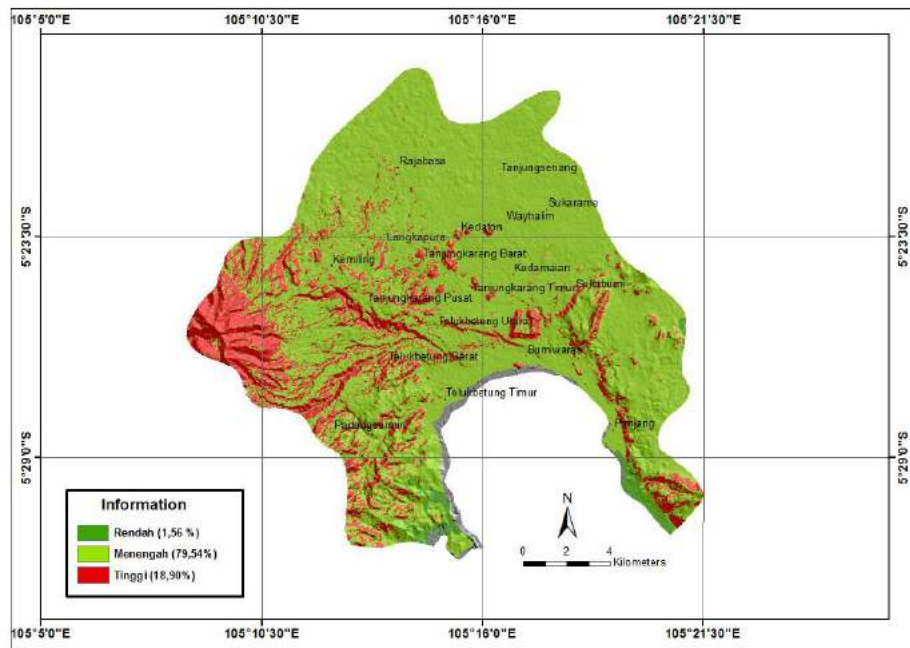


Gambar 7. Peta Pola Aliran DAS Kota Bandar Lampung.

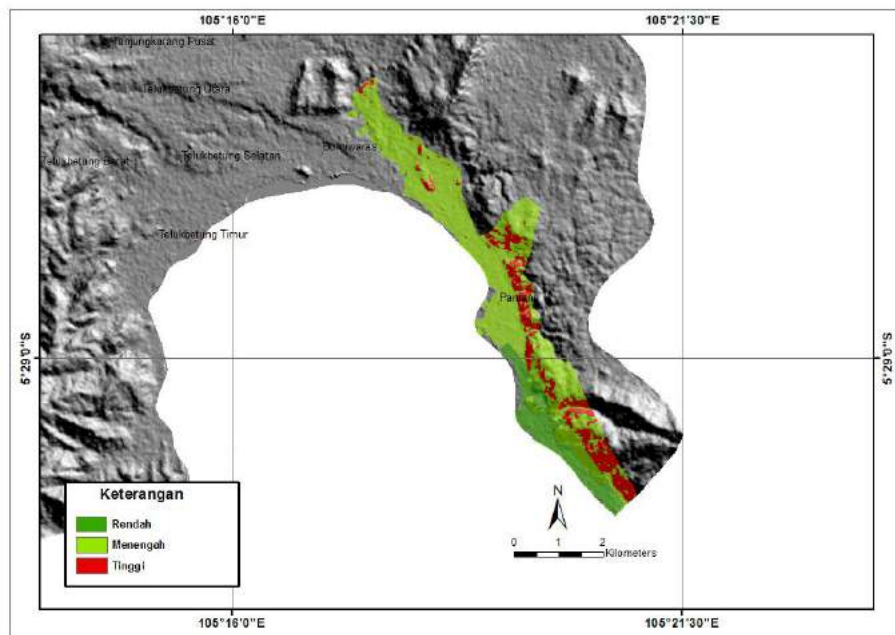
Studi geomorfologi dapat menjadi salah satu acuan untuk menganalisis tingkat bahaya geologi. Berdasarkan integrasi data dan kajian yang cermat telah dibuat zona potensi bencana geologi yang difokuskan pada bencana longsor. Berdasarkan analisis DEMNAS, peta geomorfologi, peta kelereangan (Gambar 8), peta geologi, data curah hujan dan peta tata guna lahan, Bandar Lampung dibagi menjadi 3 zonasi kerentanan gerakan tanah yaitu: rendah, menengah dan tinggi (Gambar 9).



Gambar 8. Peta Kelerengan Kota Bandar Lampung.



Gambar 9. Peta Kerentanan Gerakan Tanah Kota Bandar Lampung.

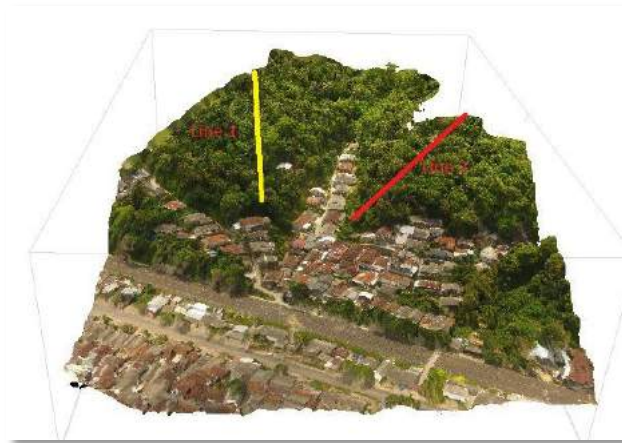


Gambar 10. Peta Kerentanan Gerakan Tanah Kecamatan Panjang.

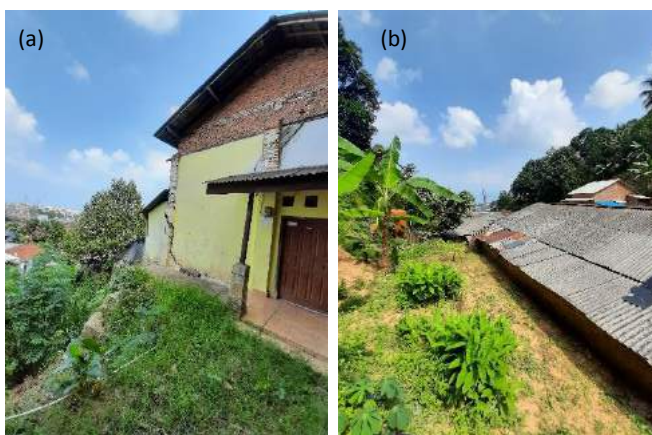
Berdasarkan hasil survei pendahuluan dan analisis geomorfologi (Gambar 10), Kecamatan Panjang dipilih sebagai titik lokasi penelitian yang lebih detail, karena kondisi geomorfologi dan sejarah kejadian longsor di daerah tersebut. Kecamatan Panjang memiliki kondisi morfologi berupa dataran rendah dan perbukitan dengan kelerengan yang curam dengan ketinggian 20 hingga 150 mdpl. Berdasarkan pengamatan geologi, daerah Panjang tersusun oleh litologi

berupa sedimen tuff. Daerah ini termasuk dalam Peta Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993), yang formasi batuanannya terletak pada Formasi Tarahan (Tpot) dengan batuan penyusun berupa tuff padu, breksi dengan sisipan rijang.

Adapun titik pengambilan sampel yang dipilih berada di Gang Sakal (Gambar 11), Kelurahan Pidada, Kecamatan Panjang. Sebagian besar rumah penduduk dibangun di atas lereng yang curam tanpa menggunakan proteksi lereng yang baik. Longsor terjadi pada bulan Februari 2019, diidentifikasi terjadi pada salah satu rumah warga yang mengakibatkan amblesan dan retaknya dinding dan lantai rumah (Gambar 12a). Longsor juga menimpa dinding rumah warga pada bagian belakang dikarenakan adanya pemotongan lereng yang tanpa adanya perkuatan atau jarak yang memadai dari tebing lereng (Gambar 12b).



Gambar 11. Foto udara kondisi geomorfologi di Gang Sakal, Kecamatan Panjang.



Gambar 12. Longsor yang terjadi di Gang Sakal, Kelurahan Pidada

4.2. Investigasi Geoteknik

Berdasarkan hasil investigasi geoteknik dan uji laboratorium, tanah di Gang Sakal Kelurahan Pidada mempunyai presentase lolos saringan No. 4 sebesar 92,79 % dan No. 200 sebesar 48,98 %. Berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*), sampel tanah dapat diklasifikasikan sebagai SM-SC yaitu pasir berlanau (campuran pasir lanau) atau pasir berlempung (campuran pasir lempung).

Berdasarkan hasil survei dan analisis data laboratorium, longsoran di Gang Sakal merupakan tipe gabungan translasional-rotasional. Material longsoran berupa pasir berlanau yang cukup tebal berada di atas lapisan bedrock berupa batu breksi. Tanah lanau ini memiliki plastisitas rendah dan permeabilitas yang juga rendah. Jika terjadi hujan dengan intensitas tinggi atau hujan dengan durasi yang lama maka dapat menyebabkan muka air tanah naik. Kenaikan muka air tanah mengakibatkan bertambahnya beban pada lereng, di sisi lain juga mengakibatkan berkurangnya tahanan gesek internal tanah. Kondisi pembebanan yang berada di atas lereng yang curam menambah potensi longsor. Oleh karena itu, hujan dan geometri lereng merupakan faktor pemicu terjadinya longsor dan merupakan hal yang perlu menjadi perhatian bagi masyarakat dan pemangku kepentingan di area ini.

Analisis Stabilitas Lereng

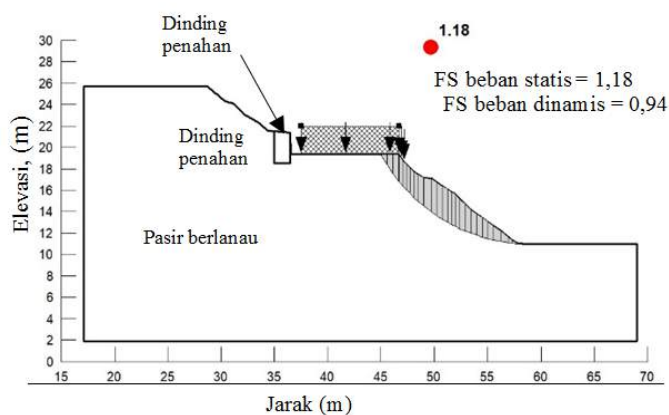
Analisis stabilitas lereng dilakukan pada salah satu lereng yang mengalami longsor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12a dan potongan A-B pada Gambar 13. Pembebanan pada lereng didominasi oleh beban rumah yang padat dan saling berdempetan. Pada bagian atas lereng yang telah mengalami longsor tata guna lahan didominasi oleh pohon dan semak belukar. Pada area ini sudah ada drainase, namun belum kedap air dan kondisinya kurang terawat sehingga aliran air permukaan belum terkontrol dengan baik dan masih dapat masuk ke tubuh lereng melalui retakan dan saluran drainase yang tidak kedap air. Dengan demikian dapat diketahui bahwa faktor muka air tanah dan pembebanan sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng pada tanah dengan kondisi bawah permukaan berupa pasir berlanau yang cukup tebal.



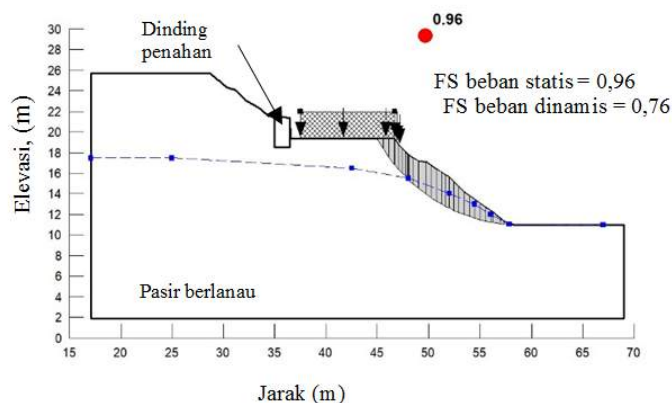
Gambar 13. Kondisi pembebanan lereng di Gg Sakal dari foto udara

Hasil analisis stabilitas lereng pada cross section A-B menunjukkan bahwa pada kondisi aktual lereng dengan muka air tanah sangat dalam nilai faktor aman pada kondisi statis adalah 1,18 (Gambar 14). Nilai faktor aman pada kondisi beban statis sebesar $1,07 \leq SF \leq 1,25$ memiliki kondisi lereng kritis yang sewaktu-waktu dapat mengalami longsor (Bowles, 1989). Hal itu berarti pada musim kemarau lereng ini berada pada kondisi tidak longsor. Hasil analisis pada beban dinamis dengan input beban gempa sebesar $1/2$ s.d. $1/3$ dari PGA diperoleh nilai faktor aman sebesar 0,94 ($FS < 1$, runtuh). Hal itu berarti, gempa dapat memicu terjadinya longsor pada lereng ini meskipun pada musim kemarau. Selain itu, penambahan beban berupa penambahan bangunan, kolam atau beban lainnya dapat mengakibatkan longsor pada area ini.

Muka air tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan nilai faktor aman lereng. Kenaikan muka air tanah menyebabkan nilai FS turun dari 1,18 menjadi 0,96 (Gambar 15). Nilai faktor aman pada kondisi beban statis sebesar $SF < 1,07$ memiliki kondisi lereng yang tidak stabil. Hal itu berarti kenaikan muka air tanah dapat menyebabkan lereng ini mengalami longsor. Kondisi ini terjadi ketika intensitas hujan tinggi atau hujan dengan durasi yang lama. Oleh karena itu tindakan mitigasi juga dapat berjalan efektif dengan mengontrol parameter muka air tanah, sehingga drainase lereng menjadi sangat penting.



Gambar 14. Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi aktual lereng saat musim kemarau

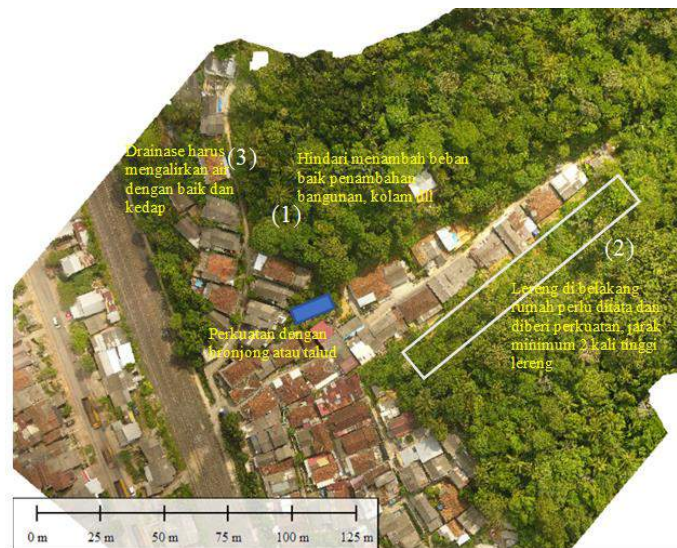


Gambar 15. Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi dengan kenaikan muka air tanah lereng saat musim hujan

Upaya Mitigasi longsor di Gang Sakal

Mitigasi longsor secara struktural dapat dilakukan dengan metode kontrol dan metode perkuatan. Metode kontrol ditujukan untuk mengurangi beban pada lereng atau hal-hal yang dapat menyebabkan berkurangnya gaya parameter kuat geser tanah. Metode kontrol dilakukan dengan mengontrol kemiringan lereng, mengatur drainase baik drainasi permukaan atau drainase bawah permukaan. Metode perkuatan dilakukan dengan menambah gaya penahan tanah dan dapat dilakukan dengan membuat struktur penahan pada kaki lereng. Metode perkuatan yang banyak digunakan adalah perkuatan dengan dinding penahan tanah, talud atau bronjong.

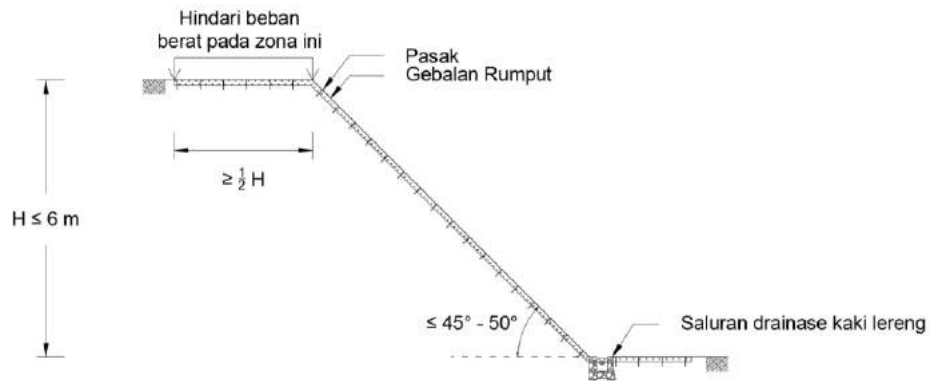
Upaya mitigasi struktural yang dapat diterapkan pada lereng di Gg sakal adalah berdasarkan hasil analisis meknisme longsor dan pemicu terjadinya keruntuhan lereng. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng yang mengalami longsor adalah berupa pasir berlanau yang cukup tebal dan dipicu oleh kenaikan muka air tanah, pembebanan dan faktor geometri lereng yang curam. Terdapat 3 (tiga) hal yang perlu menjadi perhatian sebagai upaya mitigasi longsor seperti ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Mitigasi longsor di Gang Sakal.

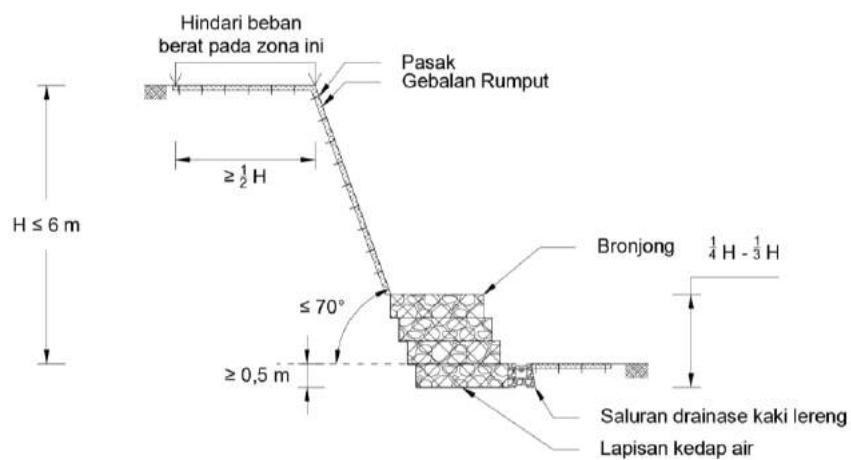
- 1) Hindari penambahan beban pada area di atas bangunan yang sudah mengalami longsor. Hal ini juga berlaku pada lereng lain jika tanpa ada proteksi lereng. Pada bagian bawah lereng yang
- 2) Pemotongan lereng pada bagian belakang rumah warga tidak boleh terlalu dekat dengan bangunan. Minimal ada jarak horizontal sebesar 2 kali tinggi lereng dari bangunan.
- 3) Drainase merupakan faktor penting dalam upaya proteksi lereng. Drainase yang ada harus kedap air dan berfungsi dengan baik untuk mengalirkan air menjauhi tubuh lereng.
- 4) Penanganan metode kontrol menitik beratkan pada upaya penataan geometri lereng, yaitu pekerjaan galian dan timbunan (cut and fill), pemasangan perlindungan permukaan menggunakan gebalan rumput dan pembangunan saluran drainase permukaan. Secara umum metode kontrol dapat diterapkan pada lereng di belakang rumah warga yang masih

memiliki jarak dan kemiringan yang cukup. Tipikal penanganan metode ini dapat diterapkan dengan lereng dengan ketinggian kurang dari 6 m (Gambar 17).

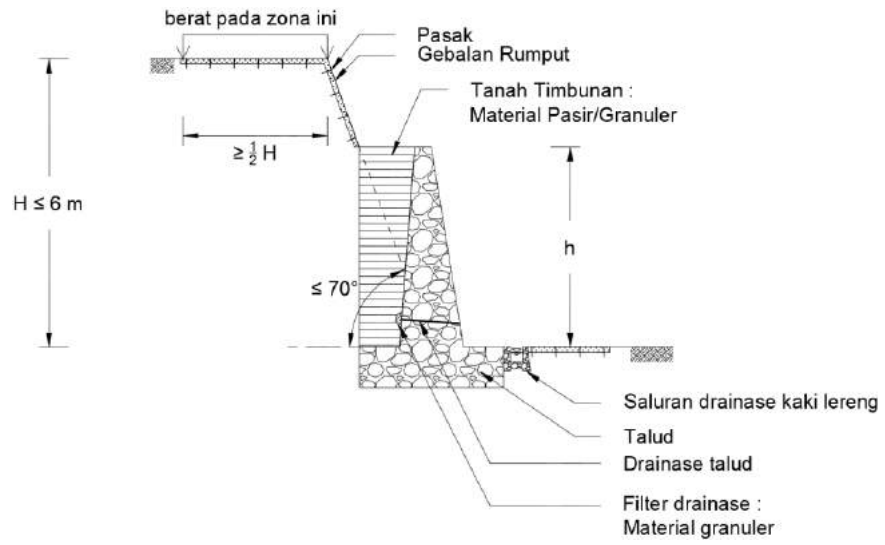


Gambar 17. Mitigasi longsor di Gg Sakal dengan metode control.

Penanganan lereng menggunakan metode perkuatan dilakukan dengan membangun bangunan konstruksi penahan yang bertujuan meningkatkan gaya penahan yang terjadi di lereng. Di Gg Sakal, penanganan dengan metode ini dapat dilakukan karena lahan yang sempit. Secara garis besar kriteria pada metode kontrol tetap diterapkan pada tipikal ini, namun dilengkapi dengan struktur perkuatan. Pada pembahasan ini direkomendasikan dua tipikal metode perkuatan, yaitu alternatif menggunakan struktur bronjong (Gambar 18) atau dinding penahan tanah tipe talud (Gambar 19). Perkuatan bronjong dan talud dapat diterapkan sebagai konsep desain untuk penanganan longsor pada area yang ditunjukkan pada nomor (1) dan (2) pada Gambar 16.



Gambar 18. Mitigasi longsor di Gg Sakal dengan bronjong.



Gambar 19. Mitigasi longsor di Gg Sakal dengan talud.

BAB 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dengan pendekatan geomorfologi, dihasilkan peta kerentanan gerakan tanah Kota Bandar Lampung yang dibuat berdasarkan analisis DEMNAS, peta geomorfologi, peta kelerengan, peta geologi, data curah hujan dan peta tata guna lahan. Kota Bandar Lampung dibagi menjadi 3 zonasi kerentanan gerakan tanah yaitu: rendah, menengah dan tinggi. Peta yang dihasilkan dapat menjadi salah satu pedoman mitigasi dan sebagai rekomendasi pengembangan wilayah. Berdasarkan survei pendahuluan, kajian geomorfologi dan sejarah kejadian longsor, Kelurahan Pidada dipilih sebagai titik investigasi geoteknik.

Hasil investigasi geoteknik longsor di Kelurahan Pidada menunjukkan bahwa lereng yang mengalami longsor adalah berupa pasir berlanau yang cukup tebal dan dipicu oleh kenaikan muka air tanah, pembebanan dan faktor geometri lereng yang curam. Hasil analisis stabilitas lereng pada salah satu lereng di Gang Sakal Kelurahan Pidada yang ditinjau menunjukkan bahwa pada kondisi aktual lereng dengan muka air tanah sangat dalam nilai faktor aman pada kondisi statis adalah 1,18. Hal itu berarti pada musim kemarau lereng ini berada pada kondisi tidak longsor akan tetapi penambahan beban gempa dapat menurunkan nilai faktor aman menjadi 0,94 yang berarti terjadi keruntuhan lereng. Muka air tanah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan nilai faktor aman lereng. Kenaikan muka air tanah menyebabkan nilai FS turun dari 1,18 menjadi 0,96 yang berarti terjadi keruntuhan lereng.

Upaya mitigasi struktural yang dapat diterapkan pada lereng di Gg sakal berdasarkan hasil analisis mekanisme dan pemicu terjadinya keruntuhan lereng adalah metode kontrol dan perkuatan. Metode kontrol dilakukan dengan penataan geometri lereng, yaitu pekerjaan galian dan timbunan (cut and fill), pemasangan perlindungan permukaan menggunakan gebalan rumput dan pembangunan saluran drainase permukaan. Sedangkan metode perkuatan dilakukan dengan menggunakan struktur bronjong atau turap.

REFERENSI

- Arabameri, A., Saha, S., Roy, J., Chen, W., Blaschke, T., & Bui, D. T. (2020). Landslide susceptibility evaluation and management using different machine learning methods in the Gallicash River Watershed, Iran. *Remote Sensing*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/rs12030475>.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2011): Indeks Rawan Bencana Indonesia, BNPB.
- Bowles, J.E. (1989): *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.
- CNN Indonesia (2021): BNPB Ungkap Tren Peningkatan Bencana Banjir hingga Longsor, dalam <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20210202132713-20-601293/bnpb-ungkap-tren-peningkatan-bencana-banjir-hingga-longsor> [diakses pada 27 Februari 2021].
- Das, B. M. (2006): *Principles of Geotechnical Engineering*. Toronto: Nelson.
- Hardiyatmo, H.C. (2012): *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Edisi pertama. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Karnawati, D., (2005): *Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Lee, E. M., Jones, D. K. C. (2004): *Landslide Risk Assesment*, Thomas Telford Publishing, London.
- Mangga, SA., Amirudin, T., Suwarti, S., Gafoer dan Sidarto. (1993): Peta Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatra, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Mulyasari, R.**, Haerudin, N., Karyanto, Darmawan, I. G. B. Dan Arifianti, Y. (2018a): Zonasi area potensi gerakan massa di sepanjang Sesar Lampung-Panjang Kota Bandar Lampung, *Prosiding Semnas SINTA UNILA*, ISBN: 2655-2914, **1**, 190-197.
- Mulyasari, R.**, Utama, H.W., dan Haerudin, N. (2018b): Geomorphology study on the Bandar Lampung Capital City for recommendation of development area, *The 1st International Conference on Geoscience (ICoGes 2018)*, Makassar, Indonesia on November 1st – 2nd, 2018.
- Mulyasari, R.**, Darmawan, I.G.B., Efendi, D.S., Hesti, Hidayatika, A., dan Haerudin, N. (2019): *Ilmu-Ilmu Teknik: Kebencanaan 2019*, Bandar Lampung: UPT Perpustakaan Universitas Lampung.
- Pasierb, B., Grodecki, M., & Gwózdź, R. (2019). Geophysical and geotechnical approach to a landslide stability assessment: a case study. *Acta Geophysica*, 67(6), 1823–1834. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00338-7>
- Pemerintah Kota Bandar Lampung (2017): Sekilas Kota, dalam <https://bandarlampungkota.go.id/sekilas-kota/> [diakses tanggal 16 Mei 2018].
- Price, D.G. (2009): *Engineering Geology Principles and Practice*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Psomiadis, E., Papazachariou, A., Soulis, K. X., Alexiou, D. S., dan Charalampopoulos, I. (2020): Landslide mapping and susceptibility assessment using geospatial analysis and earth observation data. *Land*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/LAND9050133>.

- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2018): Wilayah Potensi Gerakan Tanah di Lampung, dalam <http://www.vsi.esdm.go.id/> [diunduh tanggal 17 Mei 2018].
- Rasimeng, S., Zuhelmi, E., Firnanza, E., dan Rahayu, T.S. (2016): Analisis kecepatan gelombang geser (V_{s30}) menggunakan metode seismik *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) untuk menentukan resiko bencana gempabumi di Kota Bandar Lampung, *Prosiding Seminar Nasional Kebencanaan*, Ikatan Ahli Kebencanaan Indonesia, Bandung.
- Romana, M., Tomás, R. dan Serón, J.B. (2015): Slope Mass Rating (SMR) geomechanics classification: thirty years review. *ISRM Congress 2015 Proceedings - International Symposium on Rock Mechanics*, Quebec, Canada, May 10 to 13 2015. ISBN: 978-1-926872-25-4, 10 pp.
- Sadarviana, V., Abidin, H. Z., Kahar, J. dan Santoso, D. (2012): Ketelitian Model Kinematik untuk Memprediksi Karakteristik Longsor (Studi Kasus : Zona Longsor di Ciloto-Puncak, Jawa Barat). *Indonesian Journal of Geospatial* (Vol. 1, pp. 27–43).
- Van Bemmelen, R.W. (1949): *The Geology of Indonesia*, Volume 1A, Government Printing Office, The Hague, Netherlands.
- Wu, H., & Song, T. (2018). An evaluation of landslide susceptibility using probability statistic modeling and GIS's spatial clustering analysis. *Human and Ecological Risk Assessment*.