UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

SARI

Pembangunan Bendungan Cipanas diperkirakan dapat membantu mengatasi masalah irigasi maupun banjir yang menimpa daerah Cibuluh-Cikedung. Konstruksi bendungan dimulai dengan pembangunan terowongan pengelak untuk mengalihkan aliran air Sungai Cipanas. Dalam upaya menghindari kendala selama proses konstruksi, maka diperlukan penyelidikan geologi teknik pada daerah sekitar terowongan pengelak untuk mengetahui kondisi batuan hingga mampu mencegah kesalahan dalam memilih metode penggalian dan sistem penyangga pada terowongan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data batuan inti dan pemetaan muka terowongan (*facemapping*) untuk memperoleh nilai kualitas massa batuan.

Daerah penelitian tersusun atas satuan batupasir tufan sisipan batulanau tufan dan satuan breksi andesit. Satuan geologi teknik pada daerah penelitian meliputi satuan batupasir tufan sisipan batulanau tufan lapuk rendah, satuan batupasir tufan sisipan batulanau tufan lapuk sedang, satuan batupasir tufan sisipan batulanau tufan lapuk tinggi, satuan batupasir tufan sisipan batulanau tufan lapuk sangat tinggi dan satuan breksi andesit lapuk sedang. Kualitas massa batuan GSI permukaan pada daerah penelitian terdiri atas batuan dengan kualitas buruk hingga sedang. Sedangkan kualitas massa batuan GSI bawah permukaan sepanjang terowongan pengelak berada pada tingkatan buruk hingga baik. Kualitas massa batuan RMR bawah permukaan berada pada kelas II (baik) hingga V (buruk). Kualitas massa batuan Q-value bawah permukaan berada pada nilai 0,08 hingga 3. Rekomendasi metode ekskavasi adalah *ripping* dan *digging*, teknik kemajuan top heading and bench dan multiple drifts, panjang kemajuan 0,5 hingga 3 meter dengan jarak pemasangan sistem penyangga 0-10 meter dari muka penggalian. Rekomendasi sistem penyangga berdasarkan RMR berupa pemasangan sistem penyangga disertai *rockbolt* dengan panjang 4-6 meter dan spasi 1-2 meter, pemasangan *wiremesh*, penggunaan *shotcrete* 30-200 mm serta pemasangan rangka baja seperlunya. Sedangkan rekomendasi sistem penyangga berdasarkan Q-value berupa pemasangan sistem penyangga disertai rockbolt dengan panjang 1,5-2,4 meter dan spasi 1,3-2,1 meter, penggunaan *shotcrete* sfr setebal 5-6 cm dengan kemampuan menahan usaha hingga 700 J serta penambahan RRS tipe 1.

Kata kunci : Bendungan, terowongan pengelak, kualitas massa batuan, metode penggalian, sistem penyangga terowongan.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Cipanas Dam is being constructed to resolve irrigation and flood problem over Cibuluh-Cikedung. The development of this dam starts with construction of diversion tunnel on Cipanas River. An engineering geological investigation is needed to understand the geological condition for ensuring safety when choosing excavation method and support system on tunnel. Research was conducted on core and tunnel facemapping to obtain rock quality mass.

Research area is composed with two geological units: siltstone-laminated sandstone unit and andesite breccia unit. Engineering geological unit on research area consist of low weathered siltstone-laminated sandstone unit, moderate weathered siltstone-laminated sandstone unit, high weathered siltstone-laminated sandstone unit, very high weathered siltstone-laminated sandstone unit and moderate weathered andesite breccia unit. GSI rock mass quality on research area surface composed with poor rock and fair rock. GSO rock mass quality on subsurface research area composed of poor rock, fair rock, and good rock. RMR rock mass quality consists of tier II – V rock. Q-value rock mass quality of subsurface area ranges 0,03 – 8. Recommended excavation method is ripping and digging, top heading and bench or multiple drifts with advancement of 0,5 – 3 meters. Recommended RMR support system is consisting rockbolt with 4 – 6 meter long and 1 – 2 spacing, wiremesh installation, shotcrete with 30 – 200 mm thick and optional installation of steel sets. Recommended Q-value support system is composed with 1,5 – 2,4 meters long of rockbolt on 1,3 – 2,1 meters spacing, sfr with 5-6 cm thick and RRS tier 1.

Keyword : Dam, diversion tunnel, rock mass quality, excavation method, tunnel support system.

Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Jawa Barat sebagai salah satu lumbung pangan nasional tengah menerima pembangunan 5 bendungan sejak tahun 2016, salah satunya adalah Bendungan Cipanas yang berada di wilayah Kabupaten Indramayu dan Sumedang. Konstruksi bendungan tersebut ditujukan untuk membantu kebutuhan irigasi lahan seluas 9423 hektar guna menunjang suplai irigasi yang memumpuni untuk kebutuhan penduduk sekitar. Bendungan Cipanas diperkirakan dapat menanggung kebutuhan air baku sebesar 850 L/detik dan kebutuhan listrik 3 MW melalui Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro. Selain itu bendungan ini juga diproyeksikan sebagai pengendali banjir di Indramayu karena mampu memotong debit aliran banjir dari 1220 m^3/detik menjadi 745 m^3/detik (PUPR, 2018).

Konstruksi Bendungan Cipanas diawali dengan pembangunan terowongan pengelak untuk mengalihkan aliran air sungai. Pengerjaan terowongan pengelak akan menemui banyak kendala yang dipengaruhi oleh karakteristik batuan. Masalah yang terjadi dapat berupa kendala lapangan seperti keruntuhan atau deformasi selama proses penggalian (Aygar dan Gokceoglu, 2020). Untuk mencegah masalah tersebut, dibutuhkan penyelidikan geologi teknik pada batuan sehingga diketahui karakteristik massa batuan. Kemudian hasil yang diperoleh digunakan untuk memberikan rekomendasi metode ekskavasi dan sistem penyangga yang tepat bagi konstruksi terowongan pengelak Bendungan Cipanas.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penelitian mengenai sistem penyangga pada terowongan pengelak Bendungan Cipanas sudah dilakukan sebelumnya oleh Sadewa (2019). Penelitian tersebut memberikan gambaran sistem penyangga yang harus disiapkan berdasarkan analisis kualitas massa batuan menggunakan data batuan inti. Namun penelitian dinilai kurang tepat karena penilaian pada batuan inti kurang mampu menggambarkan kondisi batuan pada saat penggalian terowongan secara utuh. Penulis berusaha melengkapi hasil penelitian sebelumnya dengan melakukan pengambilan data muka terowongan yang lebih akurat.

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang yang ada berupa:

1. Bagimana karakteristik geologi teknik pada lokasi konstruksi terowongan pengelak Bendungan Cipanas?
2. Bagaimana karakteristik massa batuan bawah permukaan pada lokasi konstruksi terowongan pengelak Bendungan Cipanas?
3. Apa metode ekskavasi dan sistem penyangga yang tepat bagi konstruksi terowongan pengelak Bendungan Cipanas?

I.3. Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik geologi teknik pada lokasi terowongan pengelak Bendungan Cipanas.
2. Menentukan karakteristik massa batuan berdasarkan metode *Geological Strengh Index* (GSI), Q-value dan *Rock Mass Rating* (RMR).

Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. Menentukan metode ekskavasi dan sistem penyangga yang tepat untuk konstruksi terowongan berdasarkan nilai kualitas massa batuan yang diperoleh.

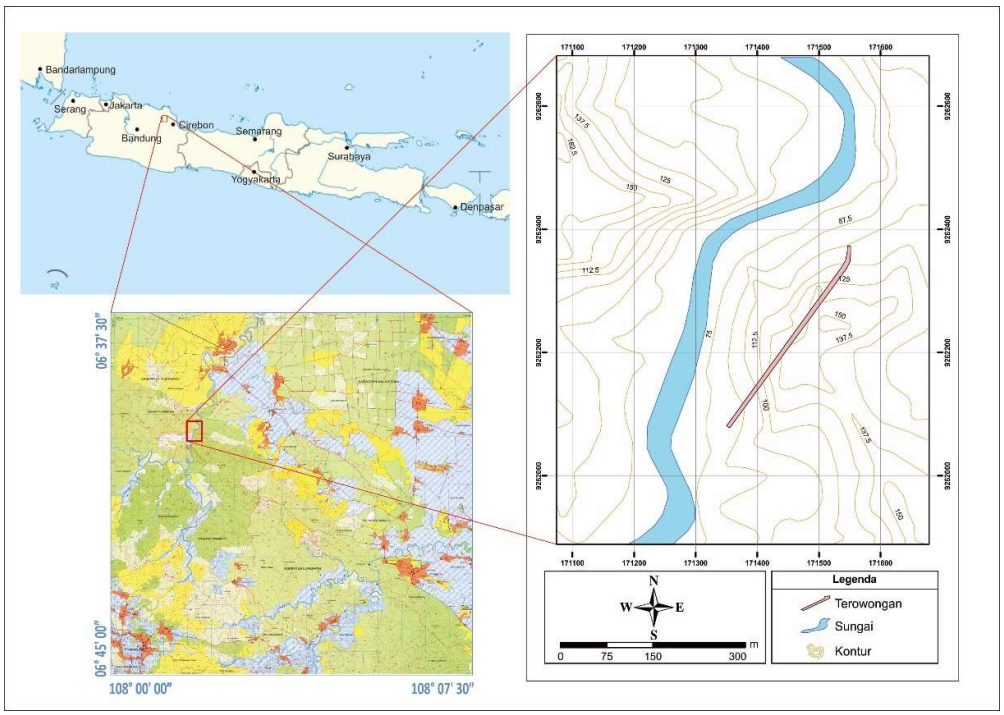
I.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai penentuan sistem penyangga dan metode ekskavasi pada konstruksi terowongan pengelak bendungan.
2. Memberikan pertimbangan mengenai masalah konstruksi terowongan pengelak bendungan kepada pihak yang berwenang.

I.5. Lingkup Penelitian

Lokasi penelitian berada dalam kawasan Bendungan Cipanas dengan letak administratif di perbatasan Desa Cibuluh, Kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang dengan Desa Cikedung, Kecamatan Cikawung, Kabupaten Indramayu pada Provinsi Jawa Barat. Letak geografis penelitian berada pada koordinat UTM 171676-171073/9262679-9261887 dengan zona 49S WGS 1984. Area penelitian ini memiliki dimensi 600 m x 800 m dengan luas sekitar 4,8 km^2 (Gambar 1.1).

Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 1.1. Peta lokasi penelitian yang menunjukkan daerah perbatasan antara Cibuluh, Ujungjaya, Sumedang dengan Cikedung, Cikawung, Indramayu di Jawa Barat (Bakosurtanal, 1999)

Lokasi penelitian berada 56 km ke arah Barat dari Kota Cirebon dan dapat ditempuh selama 2 jam perjalanan menggunakan kendaraan bermotor melalui Jalan Tol Cikopo–Palimanan, kemudian perjalanan dilanjutkan setelah keluar dari Gerbang Tol Cikedung menuju Jalan Raya Subang–Cikamurang dan menulusuri arah Tenggara sejauh 3 km. Lalu memasuki Jalan Raya Ujungjaya–Cikamurang dan berjalan kearah Selatan sejauh 1 km dan mengikuti jalan ke Kawasan Bendungan Cipanas sejauh sekitar 3,5 km arah Selatan.

I.6. Batasan Penelitian

Batasan penelitian meliputi:

1. Penelitian memiliki batas area kerja 600 m x 800 m dengan koordinat UTM 171676-171073/9262679-9261887 dengan zona 49S WGS 1984. Penelitian

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dilakukan di sekitar area pengerjaan terowongan pengelak Bendungan Cipanas.

2. Pengambilan data permukaan terbatas pada pemetaan geologi, geologi teknik dan GSI dengan skala 1:10.000.
3. Evaluasi kualitas massa batuan permukaan menggunakan klasifikasi *Geological Strength Index* (GSI).
4. Evaluasi kualitas massa batuan bawah permukaan menggunakan klasifikasi *Geological Strength Index* (GSI), *Rock Mass Rating* (RMR) dan *Q-value.*
5. Membuat penampang kualitas massa batuan bawah permukaan GSI, RMR dan *Q-value*.
6. Analisis uji laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pengamatan petrografi pada sayatan tipis batuan, pengujian sifat indeks pada batuan dan pengujian *point load*.
7. Rekomendasi sistem penyangga dan metode ekskavasi untuk terowongan pengelak didapatkan berdasarkan karakteristik massa batuan yang ditentukan.

I.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai topik dan daerah penelitian adalah sebagai berikut:

1. van Bemmelen (1949) melakukan penelitian geologi dalam skala regional di seluruh tempat di Indonesia. Hasil penelitiannya mencakup bahasan fisiografi, stratigrafi dan tektonik dalam setiap wilayah regional. Menurut hasil publikasi ini, lokasi penelitian termasuk dalam Zona Bogor yang merupakan daerah antiklinorium kompleks cembung.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Djuri (1995) melakukan penelitian dan menghasilkan Peta Geologi Bersistem Lembar Arjawinangun dengan skala 1:100.000 yang mencakup daerah penelitian penulis. Dari publikasi tersebut dapat dilihat bahwa lokasi penelitian mencakup satu formasi batuan, yakni Formasi Citalang (Tpc). Berdasarkan deskripsi formasi, lokasi penelitian diperkirakan tersusun atas batuan sedimen epiklastik.
3. Pulunggono dan Martodjojo (1994) telah melakukan studi mengenai pola struktur utama di Pulau Jawa. Pola Jawa tergambarkan pada Sesar Baribis dan sesar–sesar pada Zona Bogor yang berada dekat dengan daerah penelitian penulis. Dari data ini dapat diperkirakan bahwa daerah penelitian memiliki pola struktur utama yang berarah Barat-Timur.
4. Sutisna dan Wahjono (2013) melakukan penelitian yang menghasilkan Peta Geologi Teknik Lembar Jawa Bagian Barat dengan skala 1:500.000. Menurut studi ini, lokasi penelitian penulis masuk dalam kelompok geologi teknik batuan gunungapi (VS). Kelompok batuan gunungapi terdiri atas endapan kipas aluvium vulkanik, lempung pasiran, lanau pasiran dan pasir lempungan.
5. PVMBG (2009a) dan (2009b) menerbitkan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Kabupaten Sumedang dan Indramayu untuk mengelompokkan daerah menjadi 4 satuan, yakni zona kerentanan gerakan tanah sangat rendah, zona kerentanan gerakan tanah rendah, zona kerentanan gerakan tanah menengah dan zona kerentanan gerakan tanah tinggi. Daerah penelitian termasuk dalam zona kerentanan gerakan tanah rendah dan menengah.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

6. Sadewa (2019) melakukan penelitian karakteristik geologi teknik pada Bendungan Cipanas. Penelitian ini melakukan analisis terhadap karakteristik geologi teknik, karakteristik massa batuan dan kestabilan lereng dengan menggunakan data primer dalam peta geologi, geologi teknik dan korelasi batuan inti. Hasil dari karya tulis ini berupa penentuan karakteristik geologi teknik berupa batupasir lapuk rendah dan batupasir lapuk sedang serta karakteristik massa batuan RMR yaitu kelas III dan IV.

I.8. Keaslian Penelitian

Banyak penulis yang telah melakukan penelitian dengan lingkup yang lebih luas dibandingkan lokasi penelitian pada karya tulis ini. Penelitian terdahulu mengenai karakteristik geologi teknik telah dilakukan pada daerah sekitar terowongan pengelak namun memiliki batasan penelitian yang berbeda sehingga hasilnya kurang tepat guna untuk konstruksi terowongan. Penelitian terhadap karakteristik massa batuan pada sekitar daerah penelitian telah dilakukan, namun hasil penelitian tersebut belum disertai dengan penggunaan data yang lebih akurat untuk menentukan karakteristik massa batuan bawah permukaan. Data yang dimaksud adalah data karakteristik massa batuan yang diambil dengan pemetaan muka terowongan (*face mapping*). Analisis menggunakan data yang diambil langsung saat konstruksi terowongan pengelak tengah berjalan akan memberikan rekomendasi sistem penyangga dan metode ekskavasi yang lebih akurat.

Selain inovasi pada metode pengambilan data, penelitian ini juga menggunakan klasifikasi massa batuan yang lebih banyak sehingga opsi rekomendasi sistem penyangga menjadi lebih luas.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB II
GEOLOGI REGIONAL

van Bemmelen (1949) membagi Pulau Jawa dan Madura menjadi beberapa bagian berdasarkan perbedaan struktur dan fisiografi, antara lain: Jawa bagian Barat, Jawa bagian Tengah, Jawa bagian Timur, serta *spur* Jawa bagian Timur dan Madura. Jawa bagian Barat terbagi menjadi Pegunungan Selatan Jawa bagian Barat, Zona Bandung, Zona Bogor dan Dataran Rendah Batavia. Zona Bogor merupakan antiklinorium kompleks cembung ke Utara yang melintasi Rangkasbitung, Bogor, Purwakarta, Subang hingga Sumedang. Lokasi daerah penelitian berada di dalam Zona Bogor.

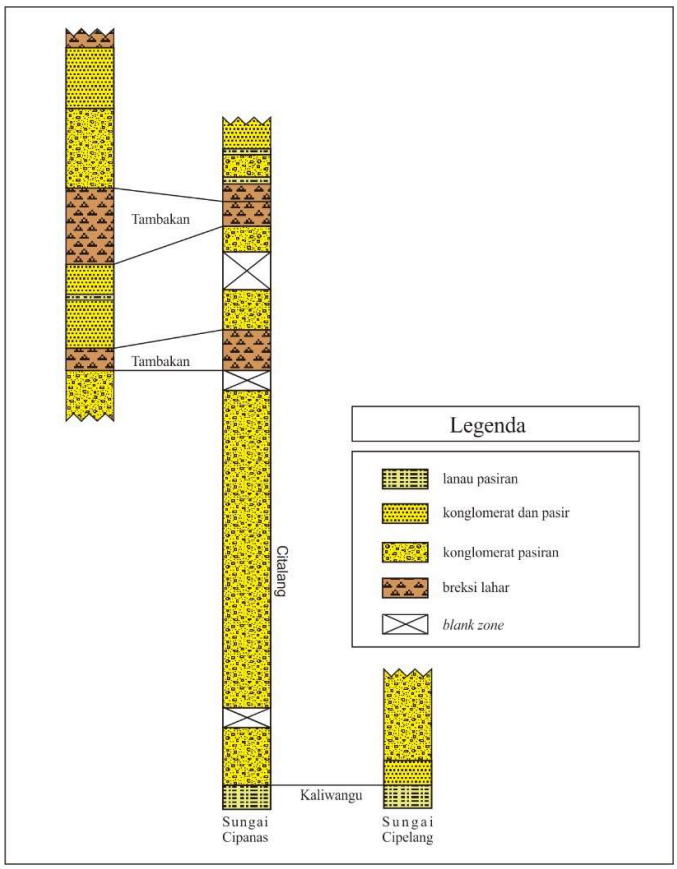
II.1. Stratigrafi Regional

Merujuk pada Djuri (1995), lokasi penelitian mencakup satu formasi batuan yaitu Formasi Citalang. Formasi ini terapit oleh Formasi Kaliwangu di bagian bawah dan Formasi Tambakan di bagian atas. Berdasarkan urutan stratigrafi dari tua ke muda, Formasi Citalang terbentuk di atas Formasi Kaliwangu pada kala Pliosen Akhir sedangkan batas atas diperkirakan berumur Pliosen Awal. Menurut Martodjojo (2003) pernyataan ini diperkuat dengan laporan penemuan fosil *Merycopotamus nanus* yang menunjukkan umur Plistosen Awal oleh van Bemmelen (1949).

Batas bagian bawah Formasi Citalang memiliki ciri berupa perubahan dominasi pasir dan konglomerat menjadi dominasi batulempung (Formasi Kaliwangu). Sedangkan batas bagian atas berupa kehadiran endapan breksi lahar yang berasal dari Formasi Tambakan. Formasi Citalang juga berbatasan secara

Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

lateral dengan Formasi Tambakan yang ditandai dengan breksi secara menjari di Sungai Cipanas (dapat dilihat pada Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Stratigrafi Formasi Citalang (Martodjojo, 2003 dengan modifikasi)

Martodjojo (2003) membahas ciri litologi Formasi Citalang dengan menggunakan Cipanas sebagai hipostratotipe. Litologi di bagian bawah merupakan konglomerat yang diikuti pasir tufan kerikilan dengan struktur silang siur lekuk. Kedua litologi ini membentuk genesa konglomerat-pasir tufan dengan tebal 2 sampai 7 m. Sisipan lanau maupun lempung dapat dijumpai bersama dengan selingan pasir halus berstruktur silang siur kecil. Kemudian Martodjojo (2003) mengemukakan bahwa terdapat pasir konglomeratan yang berselingan dengan pasir hingga membentuk struktur silang siur landai. Hal ini merupakan salah satu ciri dari

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

endapan sungai teranyam (*braided*). Sisipan breksi di daerah Cipanas merupakan lidah dari Formasi Tambakan.

II.2. Struktur Geologi Regional

Pulau Jawa merupakan bagian dari Busur Sunda yang terbentuk akibat adanya proses penunjaman di bagian Selatan Pulau Jawa. Perubahan posisi penunjaman tidak diikuti dengan letak busur gunung api sehingga membentuk aktivitas gunungapi yang tumpang–tindih. Perubahan tersebut merupakan implikasi dari perubahan struktur dan tektonik di Pulau Jawa (Bachri, 2014).

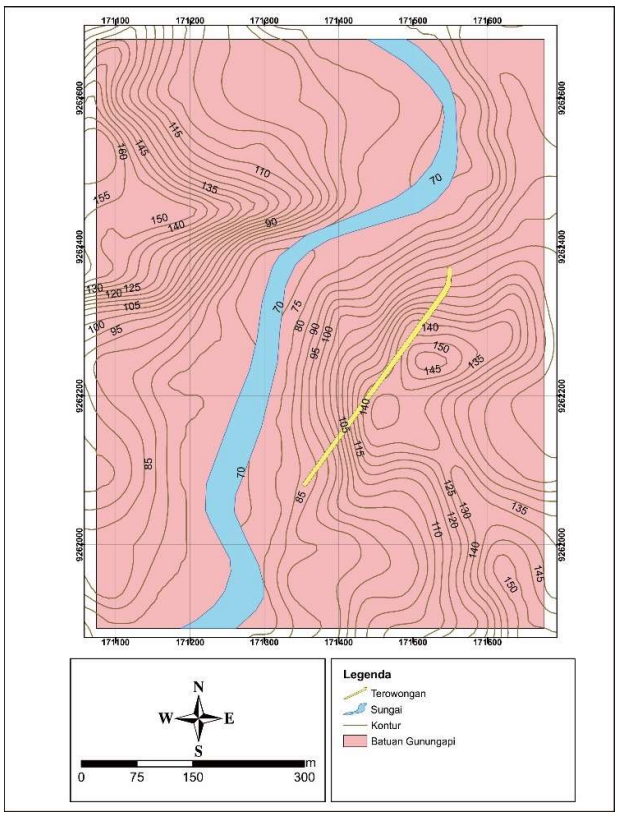
Pulau Jawa tersusun atas tiga pola struktur utama berdasarkan terjadinya perubahan posisi penunjaman, antara lain: Pola Meratus yang berumur Kapur hingga Paleosen, Pola Sunda yang berumur Eosen Akhir hingga Oligosen Akhir, dan Pola Jawa yang masih aktif hingga saat ini (Pulunggono dan Martodjojo, 1994). Pola Meratus memiliki orientasi Timur Laut–Barat Laut (NE–SW), pada Jawa bagian Barat pola ini ditunjukkan oleh keterdapatan sesar Cimandiri. Sesar Cimandiri berbatasan dengan Cekungan Zaitun dan Cekungan Biliton. Pola Sunda memiliki orientasi Utara–Selatan (N–S) yang membentuk sesar–sesar yang berbatasan dengan Cekungan Asri, Cekungan Sunda dan Cekungan Arjuna. Pola ini dicirikan dengan adanya sesar mendatar menganan di Selat Sunda (Bachri, 2014). Pola Jawa memiliki orientasi Barat–Timur yang membentuk sesar–sesar naik seperti Sesar Baribis dan sesar di dalam Zona Bogor (van Bemmelen, 1949 dan Soejono, 1989 dalam Pulunggono dan Martodjojo, 1994). Berdasarkan Peta Geologi Bersistem Lembar Arjawinangun (Djuri, 1995), struktur regional terdekat dengan daerah penelitian adalah Sesar Baribis dan beberapa lipatan yang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

membentuk antiklinorium di sisi Selatan sesar. Walau struktur regional tidak terlihat di daerah lokasi penelitian, bidang perlapisan hampir tegak pada Sungai Cipanas diperkirakan merupakan hasil dari eretan Sesar Baribis (Martodjojo, 2003)

II.3. Geologi Teknik Regional

Sutisna dan Wahjono (2013) membagi daerah Jawa Barat menjadi 8 kelompok geologi teknik, yaitu kelompok aluvium (AL), batuan gunungapi (VS), batuan breksi (BX), batuan beku terobosan (IS), kelompok geologi teknik batupasir (SS), kelompok geologi teknik batuan karbonat (LS), kelompok geologi teknik batulempung (CS) dan kelompok geologi teknik batu metamorf (ML). Wilayah penelitian berada di kelompok batuan gunungapi.



Gambar 2.2. Persebaran satuan geologi teknik pada daerah penelitian (Sutisna dan Wahjono, 2013)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kelompok batuan gunungapi terdiri atas endapan kipas *alluvium* vulkanik, lempung pasiran, lanau pasiran dan pasir lempungan. Ekskavasi di kelompok ini agak sukar dilakukan dengan peralatan non mekanik. Bahaya oleh proses geologi yang dapat terjadi di kelompok ini disebabkan oleh tingkat erosi yang tinggi dan sifat mengembang tanah. Persebaran satuan geologi teknik pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.2.

II.4. Kerentanan Gerakan Tanah Regional

Penelitian mengenai kerentanan gerakan tanah yang dilakukan PVMBG (2009b) dan PVMBG (2009a) membagi wilayah Kabupaten Sumedang dan Indramayu menjadi 4 zona, yaitu zona kerentanan gerakan tanah sangat rendah, zona kerentanan gerakan tanah rendah, zona kerentanan gerakan tanah menengah dan zona kerentanan gerakan tanah tinggi. Pembagian ini didasarkan pada intensitas gerakan tanah yang terjadi serta kemiringan lereng pada setiap zona.

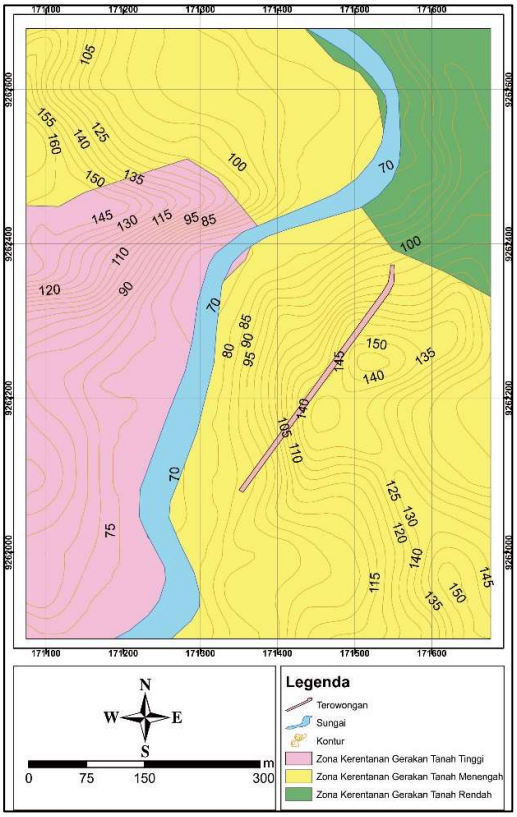
Daerah yang termasuk dalam zona kerentanan gerakan tanah sangat rendah hampir tidak pernah mengalami kejadian gerakan tanah, terkecuali pada wilayah sempit di tebing sungai. Kemiringan lereng pada zona ini datar sampai landai dengan angka dibawah 15%. Pada zona kerentanan gerakan tanah rendah jarang dijumpai gerakan tanah apabila tidak mendapatkan gangguan, serta dapat ditemukan gerakan tanah dengan skala kecil di tebing tepi sungai. Kemiringan lereng pada zona ini berkisar mulai landai (5–15%) hingga sangat terjal (50–70%). Kejadian gerakan tanah di zona kerentanan gerakan tanah menengah banyak dijumpai pada perbatasan lembah sungai, gawir dan tebing jalan serta bila terdapat gangguan pada lereng. Kemiringan lereng pada zona ini mulai dari landai (5–15%)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

hingga hampir tegak (>70%). Tingginya curah hujan dan tingkat erosi dapat memunculkan kembali gerakan tanah lama di zona kerentanan gerakan tanah menengah. Zona kerentanan gerakan tanah tinggi banyak mengalami kejadian gerakan tanah, baik baru maupun lama yang juga dipengaruhi oleh curah hujan serta erosi. Tingkat kemiringan lereng pada zona ini berkisar mulai dari agak terjal (30–50%) hingga hampir tegak (>70%).

Wilayah penelitian mencakup zona kerentanan gerakan tanah rendah, menengah dan tinggi dengan kemiringan lereng landai (5–15%) hingga hampir tegak (>70%). Gerakan tanah mungkin dijumpai pada perbatasan lembah sungai, gawir maupun tebing jalan. Tingginya curah hujan juga dapat mempengaruhi gerakan tanah di daerah penelitian. Persebaran zona kerentanan gerakan tanah dapat dilihat pada Gambar 2.3.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 2.3 Zona kerentanan gerakan tanah pada daerah penelitian (PVMBG, 2009a dan PVMBG, 2009b)

Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB III
LANDASAN TEORI

III.1. Terowongan dan Analisis Geoteknik pada Terowongan

Terowongan dapat berperan menjadi sarana untuk memenuhi kebutuhan, seperti sebagai jalan raya, jalur kereta api, saluran untuk mengalirkan limbah serta air, dan lain sebagainya. Pembangunan konstruksi terowongan dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain metode *cut-and-cover*, penggalian dan peledakan, serta menggunakan alat berat berupa *tunnel boring machines* atau *roadheader*. Lokasi pembangunan terowongan bisa beragam, seperti di daratan yaitu di sebuah kota, menembus pegungunan atau perbukitan, maupun dibawah air seperti sungai, danau, selat maupun teluk (King dan Kuesel, 1996). Terowongan dibangun pada media batuan dengan berbagai karakteristik, sehingga dibutuhkan pertimbangan geologi dalam perencanaan pembangunan serta pelaksanaannya untuk menentukan sifat, bentuk dan biaya dari terowongan itu sendiri (Bell, 2007).

Peran geologi dalam pembangunan terowongan cukup berbeda dengan konstruksi lainnya. Batuan pada lahan pembangunan terowongan tidak hanya berlaku sebagai muatan namun juga sebagai media penyokong utama. Lubang yang tercipta setelah tahap ekskavasi mengandalkan kekuatan batuan agar tetap terbuka sampai tahap pemasangan sistem penyangga (King dan Kuesel, 1996). Maka dibutuhkan analisis untuk memperkirakan kestabilan terowongan sehingga mampu mencegah kendala saat pelaksanaan konstruksi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat**
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Secara umum, tekanan dalam batuan selalu berada pada titik kesetimbangan. Namun, kegiatan ekskavasi dalam konstruksi terowongan menciptakan perubahan secara progresif terhadap kondisi tekanan pada lahan. Usaha penyesuaian tekanan untuk mencapai batas kesetimbangan akan menghasilkan deformasi hingga gerakan massa batuan. Gattinoni dkk. (2014) juga menjelaskan bahwa selain tekanan, karakteristik massa batuan lokasi penggalian dipengaruhi oleh dua hal utama lainnya, yaitu sifat litologi dan struktur batuan. Aspek lain yang juga mempengaruhi berupa kondisi air tanah, topografi permukaan, kehadiran gas alam, pelapukan dan *swelling* pada mineral, naiknya temperatur seiring kedalaman, seismik, kehadiran material berbahaya serta radioaktif.

Litologi batuan sangat menentukan sifat geomekanik dari massa batuan tersebut. Batuan magmatik dan metamorf non-foliasi umumnya memiliki karakteristik kekuatan yang baik dibandingkan batuan sedimen, metamorf foliasi dan tanah. Tentunya perbandingan kasar ini dilakukan dengan asumsi tingkat pelapukan dan struktur pada batuan yang serupa. Gattinoni dkk. (2014) menjelaskan bahwa *Basic Geotechnical Description* yang dibuat oleh ISRM (1981) dapat menggambarkan nilai *uniaxial compressive strengh* (UCS) pada batuan umum (Tabel 3.1).

Aspek selanjutnya yang mempengaruhi karakteristik massa batuan adalah struktur dari batuan itu sendiri. Hal ini dipengaruhi oleh struktur primer, berupa bidang perlapisan maupun foliasi, dan struktur sekunder yang terbentuk karena

Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

peristiwa tektonik. Parameter yang dapat diamati pada batuan berlapis atau memiliki rekahan meliputi:

1. Ketebalan lapisan dan/atau kondisi rekahan (diskontinuitas), dapat berupa jumlah rekahan pada satuan luas atau jarak antar dikontinuitas.
2. Karakteristik kekar.
3. Kedudukan kekar terhadap dinding batuan.

Tabel 3.1 Nilai *uniaxial compressive strengh* (UCS) pada batuan (ISRM, 1981)

Istilah untuk *uniaxial compressive strength*	Nilai UCS (MPa)	Rentang nilai pada batuan				
		Granit, basal, kuarsit, marmer	Sekis, batupasir	Batugamping, napal	Batulanau, batusabak	Tanah
Lemah ekstrim	0,25 – 1				X	X
Sangat lemah	1 – 5		X	X	X	X
Lemah	5 – 25		X	X	X	
Menengah kuat	25 – 50	X	X	X	X	
Kuat	50 – 100	X				
Sangat kuat	100 – 250	X				
Kuat ekstrim	>250	X				

III.2. Karakterisasi Massa Batuan dan Klasifikasi Massa Batuan

Dalam perkembangannya, massa batuan berubah menjadi aspek penting dalam konstruksi terowongan. Namun massa batuan umumnya bersifat tidak homogen, tidak elastis, diskontinyu, dan anisotropik sehingga karakterisasi massa batuan menjadi kompleks dan sulit dilakukan. Guna melakukan analisis numerik terhadap massa batuan, diperlukan metode input data yang memumpuni. Maka

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Massa Batuan dan Aplikasi Dalam Analisis Kestabilan Terowongan pada Daerah Konstruksi
Terowongan Pengelak Bendungan Cipanas, Sumedang - Indramayu, Jawa Barat
PIDEKSO KUSUMADATU, I Gde Budi Indrawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

manusia berkembang dan menciptakan penggolongan terhadap massa batuan dalam beberapa jenis klasifikasi. Pada *Geological Strength Index* (GSI), Marinos dkk. (2005) menjelaskan bahwa nilai karakterisasi massa batuan didapatkan dari gabungan data karakteristik geologi batuan dan penilaian secara visual dari aspek yang menyangkut kekuatan massa batuan, deformabilitas serta nilai-nilai lain yang berpengaruh. Karakterisasi massa batuan dalam klasifkasi massa batuan juga memudahkan pengambilan data lapangan untuk batuan yang sulit dideskripsikan.

Klasifikasi merupakan turunan dari ilmu taksonomi yang mencakup dasar, prinsip, prosedur dan aturan yang digunakan dalam klasifikasi tersebut. Kalsifkasi merupakan hal yang berbeda dengan identifikasi. Klasifikasi digunakan untuk mengelompokkan objek-objek dalam grup tertentu berdasarkan hubungan diantaranya, sedangkan identifikasi digunakan untuk mengalokasikan objek yang tidak diketahui kedalam kelas-kelas tertentu (Bieniawski, 1989). Klasifikasi massa batuan secara umum digunakan untuk merasionalkan desain objek konstruksi berdasarkan situasi geologi yang ada. Tujuan utama penggunaan klasifikasi massa batuan adalah mencari pemahaman mengenai karakteristik massa batuan dengan melakukan identifikasi dan pengelompokkan kelompok massa batuan sehingga mampu menghasilkan data dan anjuran untuk desain keteknikkan (Bieniawski, 1989).

III.2.1. *Rock mass Rating* (RMR)

Klasifikasi massa batuan ini dipublikasikan oleh Bieniawski (1989) setelah beberapa kali mengalami revisi dan pembaharuan dari klasifikasi geomekanik. Klasifikasi ini menggunakan 6 parameter berupa: nilai kuat tekan batuan (*uniaxial*