

ARTIKEL ILMIAH
PENENTUAN KELAS SITUS TANAH UNTUK
PERHITUNGAN GAYA GEMPA BENDUNGAN TIU KULIT
KABUPATEN SUMBAWA

DETERMINATION OF SOIL SITE CLASS FOR EARTHQUAKE FORCE
CALCULATION OF TIU KULIT DAM IN SUMBAWA DISTRICT

Tugas Akhir

Untuk memenuhi sebagian persyaratan

Mencapai derajat sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

Ranintya Windyarini

F1A018147

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM

2023

ARTIKEL ILMIAH
PENENTUAN KELAS SITUS TANAH UNTUK
PERHITUNGAN GAYA GEMPA BENDUNGAN TIU KULIT
KABUPATEN SUMBAWA

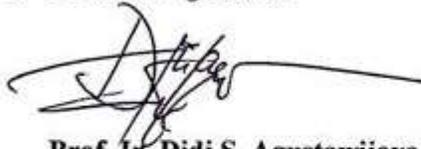
Oleh:

Ranintya Windyarini

F1A 018 147

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

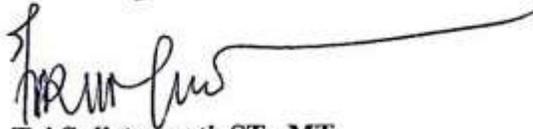
1. Pembimbing Utama



Prof. Ir. Didi S. Agustawijaya, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620809 198912 1 001

Tanggal:

2. Pembimbing Pendamping



Tri Sulistyowati, ST., MT.
NIP. 19730202 199802 2 001

Tanggal:

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Harjanto S., MSc.(Eng), Dr.Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH
PENENTUAN KELAS SITUS TANAH UNTUK PERHITUNGAN GAYA
GEMPA BENDUNGAN TIU KULIT KABUPATEN SUMBAWA

Oleh:
Ranintya Windyarini
F1A 018 147

Telah diujikan di depan Tim Penguji
Pada tanggal 21 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat derajat Sarjana (S-1)
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I



Dr. Muhajirah, ST., MT.
NIP. 19730719 199903 2 002

Tanggal: Februari 2023

2. Penguji II



Ir. Ismail Hoesain M., MT.
NIP. 19650717 199403 1 001

Tanggal: Februari 2023

3. Penguji III



Suparjo, ST., MT.
NIP. 19670814 199412 1 001

Tanggal: Februari 2023

Mataram, Februari 2023
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhammad Svamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19720222 199903 1 002

PENENTUAN KELAS SITUS TANAH UNTUK PERHITUNGAN GAYA GEMPA BENDUNGAN TIU KULIT KABUPATEN SUMBAWA

Ranintya Windyarini¹, Didi S. Agustawijaya², Tri Sulistyowati²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang membentang dari Sabang – Marauke, salah satu pulau yang berada di bagian timur Indonesia adalah Pulau Sumbawa. Sumbawa yang terletak di bagian timur Indonesia, memiliki angka curah hujan yang rendah, oleh sebab itu diperlukan bendungan untuk menyimpan air, agar dapat memenuhi kebutuhan masyarakat. Bendungan Tiu Kulit yang sudah berdiri sejak tahun 1994 ditakutkan mengalami penuaan dikarenakan aktifitas seismik, maka perlu dilakukannya kajian rehabilitasi untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan. Sebelum dilakukannya suatu kajian untuk rehabilitasi perlu dilakukan perhitungan seismoteknik, sehingga dapat mengetahui potensi gempa bumi signifikan yang terjadi pada suatu wilayah. Dalam melakukan perhitungan seismoteknik dilakukan perhitungan beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, serta Pedoman Pd-T-14-2004-A tentang Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu melakukan kajian data gempa tahun 1972-2022 dan data hasil lapangan sondir. Untuk data gempa dilakukan perhitungan seismisitas dengan mencari nilai *a-value* dan *b-value* menggunakan *software* ZMAP V.6 dan pemetaan seismisitas dengan *software* MapInfo 12, kemudian data sondir digunakan untuk menentukan kelas situs tanah, yang selanjutnya data kelas situs tanah digunakan untuk menghitung gaya gempa.

Hasil perhitungan *a-value* dan *b-value* yaitu diperoleh nilai *mc* pada ketiga sumber gempa subduksi, *backarc thrust* dan *background* yaitu antara (4,6 – 4,8). Untuk perhitungan *b-value* dan *a-value* pada sumber gempa subduksi sebesar 7,11; 0,952, sedangkan untuk sumber gempa *backarc thrust* yaitu sebesar 7,24; 0,991 dan untuk sumber gempa *background* yang terbagi menjadi 5 kedalaman yaitu sebesar *b-value* (0,917-1,3) dan *a-value* (6,14-6,8). Dari hasil tersebut bahwa lokasi Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa merupakan lokasi dengan potensi gempa yang cukup besar dikarenakan lokasi penelitian juga diapit oleh dua sumber subduksi dan *backarc thrust*. Dalam Perhitungan gaya gempa menggunakan SNI 1726:2019 menghasilkan nilai yang signifikan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan SNI Pd-T-14-A 2004, hal ini disebabkan adanya perbedaan mekanisme dan variabel antara standar konstruksi yang lama dan standar konstruksi terbaru, sehingga untuk penggunaan perhitungan gempa dengan SNI Pd-T-14-A 2004 kurang cocok digunakan karena tidak mengikuti pembaharuan kondisi seismik.

Kata kunci: Gempa, Seismisitas, Standar Konstruksi, ZMAP, *Maximum Likelihood*.

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago that stretches from Sabang to Marauke, one of the islands in the eastern part of Indonesia is Sumbawa Island. Sumbawa, located in the eastern part of Indonesia, has a low rainfall rate, therefore a dam is needed to store water, to meet the needs of the community. Tiu Kulit Dam, which has been standing since 1994, is feared to be aging due to seismic activity, so it is necessary to conduct a rehabilitation study to prevent unwanted things. Before conducting a study for rehabilitation, seismotectonic calculations need to be carried out, to determine the potential for significant earthquakes that occur in an area. In conducting seismotectonic calculations, the calculation of earthquake loads refers to SNI 1726: 2019 concerning Procedures for Planning Earthquake Resistance for Building and Non-Building Structures, as well as Guideline Pd-T-14-2004-A concerning Stability Analysis of Urugan Type Dams Due to Earthquake Loads.

The method used in this research is to study earthquake data from 1972-2022 and the Cone Penetration Test field results. For earthquake data, seismicity calculations were carried out by finding the a-value and b-value using ZMAP V.6 software and mapping seismicity with MapInfo 12 software, then the Cone Penetration Test data was used to determine the soil site class, then the soil site class data was used to calculate the earthquake force.

The results of the calculation of the a-value and b-value are the mc values obtained for the three subduction, backarc thrust, and background earthquake sources, which are between (4.6 - 4.8). The calculation of the b-value and a-value for the subduction earthquake source is 7.11; 0.952, while for the backarc thrust earthquake source is 7.24; 0.991 and for the background earthquake source which is divided into 5 depths, namely b-value (0.917-1.3) and a-value (6.14-6.8). From these results that the location of Tiu Kulit Dam, Sumbawa Regency is a location with considerable earthquake potential because the research location is also flanked by two sources of subduction and backarc thrust. The calculation of earthquake forces using SNI 1726: 2019 produces significant values compared to calculations using SNI Pd-T-14-A 2004, this is due to differences in mechanisms and variables between the old construction standards and the latest construction standards so that the use of earthquake calculations with SNI Pd-T-14-A 2004 is less suitable for use because it does not follow updated seismic conditions.

Keywords: Earthquake, Seismicity, Construction Standards, ZMAP, Maximum Likelihood.

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara kepulauan yang membentang dari Sabang – Marauke dan memiliki beribu-ribu pulau, salah satu pulau yang berada di bagian timur Indonesia adalah Pulau Sumbawa. Secara administratif Pulau Sumbawa terdiri dari 4 kabupaten dan 1 kota. Secara administratif Kabupaten Sumbawa termasuk kedalam bagian dari Pulau Sumbawa sebagai salah satu Kabupaten yang memiliki lahan pertanian yang cukup luas. Sehingga dengan kondisi tersebut diperlukan adanya bendungan untuk memenuhi kebutuhan air lahan pertanian. Dari banyaknya bendungan yang ada di Kabupaten Sumbawa terdapat salah satu bendungan tertua di kabupaten Sumbawa yaitu Bendungan Tiu Kulit yang menjadi fokus pada penilitan ini.

Sebagai negara kepulauan yang dilalui oleh Cincin Api Pasifik atau *Ring of Fire* frekuensi kegempaan di Indonesia tergolong cukup tinggi, Pulau Sumbawa yang terletak di Provinsi Nusa Tenggara Barat merupakan salah satu pulau di Indonesia yang memiliki frekuensi gempa yang cukup tinggi hal ini disebabkan karena adanya pergerakan tektonik yaitu oleh dua sumber gempa bumi, dari arah selatan terdapat zona subduksi lempeng Indo-Australia dan pada arah utara terdapat desakan busur utara atau *back arc thrust*. Kegempaan yang cukup tinggi di Pulau Sumbawa ini dibuktikan dengan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Pulau Sumbawa telah mengalami gempa yang besarnya lebih dari 6 Mw pada tahun 1821-2017 yaitu pada tanggal 19 Agustus 1977 (7,0 Mw), 10 April 1978 (6,7 Mw), 1 Desember 2006 (6,2 Mw), 25 November 2007 (6,7 Mw), 25 November 2007 (6,8 Mw), dan 8 November

2009 (6,7 Mw). Gempa bumi besar yang terjadi di Pulau Lombok pada tahun 2018, yaitu pada tanggal 29 Juli 2018 (6,4 Mw), 5 Agustus 2018 (7,0 Mw), dan 19 Agustus 2018 (6,5 Mw) dirasakan juga di Pulau Sumbawa (Santoso & Agustawijaya, 2020).

Aktivitas tektonik tersebut menjadikan gempa bumi sebagai sebuah kondisi alam yang tidak dapat diprediksi secara pasti kapan terjadinya. Salah satu yang menentukan besar getaran gempa yaitu tanah.

Sebagai tindakan pencegahan kegagalan bangunan air yang sudah tua karena aktivitas seismik, di Indonesia saat ini banyak dilakukan rehabilitasi bendungan. Sebelum dilakukan rehabilitasi tentunya diperlukan suatu kajian untuk rehabilitasi yaitu pengkajian seismoteknik, sehingga dapat mengetahui potensi gempa bumi signifikan yang terjadi pada suatu wilayah. Hal tersebut dapat dideteksi dengan mengetahui parameter seismotektonik yang ditunjukkan oleh nilai-a yang dapat menunjukkan aktivitas seismik (Dewi, dkk., 2020) dan nilai-b yang dapat mencerminkan akumulasi *stress* dan tingkat kerapuhan batuan pada wilayah penelitian (Scholz, 1968). Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai-a dan nilai-b, akan tetapi untuk perhitungan nilai-a dan nilai-b pada penelitian ini menggunakan *software ZMAP V.6* yang kemudian dilakukan pemetaan seismisitas dengan menggunakan *software Map Info Profesional 12*.

Sebelum melakukan rehabilitasi suatu bendungan juga diperlukan pengalaman serta pemahaman tentang pengaruh struktur terhadap kondisi tanah, sifat-sifat tanah dan masalah apa saja yang dapat terjadi saat melakukan pengerjaan, karena tanah merupakan faktor penting rambatan gempa sehingga perlu dilakukan penentuan kelas

situs tanah dan perhitungan beban gempa yang mengacu pada SNI terbaru yaitu dengan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur dan Non Struktur. Selain itu, pengaruh kegempaan dengan perhitungan gempa dimuat dalam SNI Pd-T-14-A Tahun 2004 tentang analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa.

Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian tentang perhitungan dan pemetaan seismisitas gempa, penentuan kelas situs tanah dan perhitungan gempa dengan SNI 1726:2019 serta SNI Pd-T-14-A 2004 pada Bendungan Tiu Kulit, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul **“Penentuan Kelas Situs Tanah untuk Perhitungan Gaya Gempa Bendungan Tiu Kulit Kabupaten Sumbawa”**.

RUMUSAN MASALAH

Bendungan Tiu Kulit berada pada dua sumber gempa *megathrust* dan *back arc thrust*, sehingga Bendungan Tiu Kulit berada pada wilayah dengan risiko bencana gempa tinggi. Pembangunan Bendungan Tiu Kulit juga masih menggunakan standar yang mengacu pada SNI 03-1726-1989 mengingat bahwa bendungan tersebut dibangun pada tahun 1994. Oleh sebab itu, diperlukan perhitungan dan pembuatan peta seismisitas gempa dengan data gempa yang terbaru, penentuan kelas situs tanah dan perhitungan gempa menggunakan SNI 1726:2019 dan Pd-T-14-A 2004.

BATASAN MASALAH

Kesimpulan dari penelitian ini nantinya akan diambil dengan Batasan-batasan ruang lingkup sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa.
2. Data yang digunakan merupakan data primer dan data sekunder. Untuk data

primer yaitu data sondir pada wilayah Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa. Sedangkan untuk data sekunder yaitu data gempa di wilayah Pulau Sumbawa dari Januari 1972-Desember 2022 yang di dapatkan dari website resmi USGS (*United States Geological Survey*) dan BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika).

3. Perhitungan seismisitas gempa menggunakan *software Zmap V.6* dengan menggunakan metode *maximum likelihood*.
4. Perhitungan gempa menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI Pd-T-14-A 2004.
5. Membuat pemetaan seismisitas dengan menggunakan *software Map Info 12*.
6. Pada penelitian ini berfokus pada penentuan seismisitas gempa dan perhitungan gempa pada Bendungan Tiu Kulit dan tidak menghitung struktur bendungannya.

TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka dapat dirumuskan bahwa tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui seismisitas gempa pada Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa.
2. Membuat peta seismisitas gempa di Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa.
3. Mengetahui kelas situs tanah pada wilayah Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa.
4. Mengetahui besaran beban gempa yang bekerja dengan metode perhitungan SNI 1726:2019 dan SNI Pd-T-14-A 2004.

MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang kondisi seismotektonik, kelas situs tanah dan

perhitungan beban gempa di wilayah Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa. Karena berguna dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi dan diharapkan dapat digunakan di dalam perencanaan pembangunan.

DASAR TEORI

TINJAUAN PUSTAKA

Ernandi dan Madlazim (2020), melakukan penelitian mengenai menganalisis variasi *a-value* dan *b-value* dengan menggunakan *software ZMAP V.6* sebagai indikator potensi gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Barat. Dalam penelitiannya menentukan variasi spatial-temporal nilai-*a* dan nilai-*b* di wilayah Nusa Tenggara Barat. Nilai-*a* dan nilai-*b* tergantung pada nilai *Magnitude of Completeness* (*Mc*). Hasil dari penelitian ini adalah nilai *Mc* pada wilayah NTB sebesar 3,9, nilai-*a* didapatkan adalah 6,10 sedangkan nilai-*b* didapatkan adalah 0,844. Sedangkan untuk variasi spatial nilai-*b* dan nilai-*a* didapatkan daerah dengan nilai-*b* rendah (0,6-0,8) dan nilai-*a* rendah (4-5) memiliki potensi tinggi terjadi gempa signifikan, karena wilayah dengan nilai-*b* rendah pada zona aktif gempa bumi menyimpan stress yang besar karena tingkat kerapuhan batuan yang tinggi, sedangkan wilayah dengan nilai-*b* tinggi (1,2-1,5) dan nilai-*a* tinggi (6,5-8) menunjukkan hal sebaliknya.

Agustawijaya, dkk. (2019), melakukan penelitian mengenai tingkat bahaya seismik dan PSHA untuk Lombok dan pulau sekitarnya setelah gempa bumi 2018, dalam penelitian ini diketahui kejadian gempa ini terjadi di empat zona tektonik: zona subduksi, cekungan busur depan (Cekungan Lombok), busur magmatik, dan cekungan busur belakang (Cekungan Bali). Peristiwa di busur belakang dan busur

depan cekungan dominan dangkal, sekitar 80% terjadi pada kedalaman kurang dari 100 km, dan hanya 20% dari total peristiwa terjadi pada kedalaman 100-300 km. Beberapa gempa bumi dalam terjadi di kedalaman >300 km, dan kejadian terdalam terjadi di kedalaman 400 km.

Trisnindianti (2021) melakukan penelitian menganalisis distribusi tegangan radial, tegangan tangensial dan tegangan geser pada bagian dinding, atap dan lantai terowongan pada bendungan Meninting. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui besaran gempa yang bekerja dengan metode perhitungan SNI 1726:2019, Agustawijaya 2020 dan SNI Pd-T-14 A 2004. Dihilaskan bahwa penggunaan SNI Pd-T-14 A 2004 kurang cocok digunakan pada terowongan Meninting karena tidak mengikuti kondisi seismik yang ada hal itu disebabkan letak Lombok diapit oleh *subduction megathrust* dan *Flores thrust*.

LANDASAN TEORI

Bendungan

Bendungan adalah bangunan air yang berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan. Dalam membangun bendungan tentu mempunyai tujuan untuk memberikan manfaat dan kesejahteraan bagi masyarakat di daerah sekitar bendungan contohnya seperti untuk irigasi, penyediaan air bersih, sebagai PLTA, pengendali banjir, perikanan, dan pariwisata.

Bendungan dapat dilihat dari beberapa segi yang masing-masing menghasilkan tipe yang berbeda-beda. Beberapa pembagian tipe bendungan dikelompokkan yaitu: berdasarkan ukurannya, tujuan pembangunannya,

penggunaannya, jalannya air, konstruksinya, fungsinya dan menurut International Commission on Large Dams (ICOLD) (Soedibyo, 2003).

Tanah

Tanah adalah bahan alami berbutir dan bersifat lepas, belum mengalami sementasi. Tanah merupakan material lepas, berbutir kasar (pasir); atau berbutir sangat halus dan lebih tepat disebut mempunyai struktur berlembar seperti lempung (Agustawijaya S, 2019).

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi tanah mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi.

Gempa

Menurut Agustawijaya, (2019) gempa bumi adalah getaran yang dirasakan di permukaan akibat adanya tumbukan lempeng tektonik atau letusan gunung api. Gelombang gempa dirambatkan dari sumbernya melalui media batuan dan tanah. Getaran gempa berasal dari empat gelombang gempa yang saling berurutan terjadi: Gelombang utama (P), gelombang kedua (S), gelombang love dan gelombang Rayleigh.

Menurut Elhuda (2017) Berdasarkan kedalaman sumber gempa, gempa bumi dikelompokkan menjadi:

1. Gempa bumi dangkal, dimana kedalaman hiposenternya kurang dari 60 km di bawah permukaan bumi.
2. Gempa bumi menengah, dimana kedalaman hiposenter antara 60 km – 450 km di bawah permukaan laut.

3. Gempa bumi dalam, dimana kedalaman hiposenternya lebih dari 450 km di bawah permukaan bumi.

Parameter Seismitas Gempa

Untuk dapat mengetahui distribusi zona-zona gempa aktif atau pola aktifitas kegempaan berdasarkan analisis hubungan frekuensi magnitude dapat diperoleh dengan menghitung parameter seismitas nilai-a dan nilai-b dan melakukan pemetaan kegempaan untuk mengklasifikasikan suatu daerah berdasarkan parameter-parameter seismitas.

➤ Nilai-a atau *a-value*

Nilai-a dapat divariasikan secara spatial, wilayah dengan nilai-a tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi atau sering terjadi gempa bumi, sedangkan wilayah dengan nilai-a yang rendah menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki tingkat aktivitas seismik yang rendah. Rendahnya aktivitas seismik pada suatu wilayah yang berada pada zona aktif gempa dikarenakan terjadi akumulasi energi pada wilayah tersebut (Ernandi dan Madlazim, 2020).

➤ Nilai-b atau *b-value*

Parameter tektonik atau nilai-b dapat mencerminkan akumulasi *stress* lokal sehingga dapat menjadi parameter kegempaan yang didapat dari frekuensi relatif dari jumlah kejadian gempa besar dan gempa kecil di suatu wilayah. Nilai-b digunakan untuk mengetahui perubahan fenomena fisis yang diamati sebelum terjadinya gempa bumi.

➤ Konversi Magnitude Gempa

Magnitude gempa adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Terdapat empat jenis magnitude yang umum digunakan yaitu magnitude

lokal (ml), magnitudo bodi (mb), magnitudo permukaan (ms) dan magnitudo momen (mw). Dalam analisis seismisitas (nilai-a dan nilai-b) untuk pemutakhiran peta gempa di Indonesia diperlukan satu tipe data magnitudo yang sama yaitu data magnitudo momen (Mw) yang tidak tersedia untuk setiap *event* (Pusgen, 2017). Oleh karena itu diperlukan konversi yang menghubungkan tipe ml, mb, ms ke dalam magnitudo momen (mw).

Software MATLAB dan ZMAP V.6

Software Matrix Laboratory atau biasa disebut MATLAB merupakan suatu software yang digunakan untuk melakukan perhitungan matematik, analisis data, mengembangkan algoritma, melakukan simulasi dan pemodelan, serta menyajikannya dalam bentuk grafis. Di dalam MATLAB terdapat aplikasi bawaan yang bernama ZMAP versi 6. ZMAP merupakan software yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung *a-value* dan *b-value* dengan menggunakan data gempa sehingga hal tersebut dapat memudahkan para pengguna aplikasi tersebut.

Software MapInfo Professional 12

MapInfo merupakan software berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) yang memiliki fungsi untuk pengelolaan peta dalam bentuk data spasial ataupun berupa data excel.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Penelitian ini untuk mengetahui seismisitas gempa bumi dan perhitungan beban gempa dengan penentuan kelas situs tanah di Bendungan Tiu Kulit Kabupaten Sumbawa. Perhitungan seismisitas dengan metode yang digunakan untuk analisis data

yaitu metode regresi linier atau *maximum likelihood* dengan *software Zmap*, dan program *Geographic Information System* (GIS) yaitu *MapInfo Professional 12* digunakan untuk membuat peta. Sedangkan penentuan kelas situs dan perhitungan beban gempa menggunakan SNI 1726:2019 dan SNI Pd-T-14-A 2004.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Bendungan Tiu Kulit Desa Simu Kecamatan *Maronge* Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara geografis lokasi terletak pada 8°41'23.60 Lintang Selatan dan 117°40'48.57" Bujur Timur.

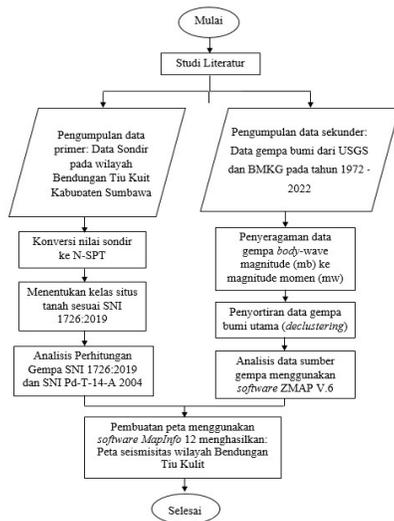


Gambar 1. Lokasi Bendungan Tiu Kulit
(Sumber: Anonim, 2022,
www.googleearth.com)

Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan studi kasus yang menggunakan metode numerik dengan *Software ZMAP V.6* dan diolah menggunakan *MapInfo Professional 12* untuk menghasilkan data seismisitas serta peta sebaran gempa di pulau Sumbawa. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah pengumpulan literatur-literatur dan referensi yang menjadi landasan teori sehingga dapat memberikan gambaran dalam langkah yang akan diambil dalam studi. Pengambilan data dari instansi ataupun pihak-pihak yang mendukung dalam mencapai tujuan studi. Tahapan

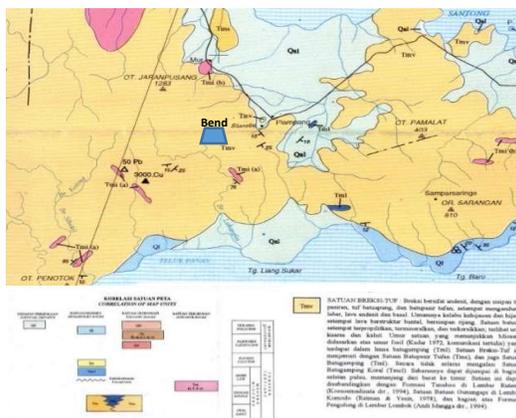
prosedur penelitian dapat dilihat pada bagan alir di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN Kondisi Bendungan Tiu Kulit

Pembangunan bendungan tiu kulit dilaksanakan pada tahun 1991 hingga tahun 1994, dalam melakukan perencanaan pembangunan diperlukan adanya informasi mengenai kondisi geologi pada lokasi pembangunan, pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa kondisi geologi pada daerah pembangunan bendungan tiu kulit berupa satuan breksi tuff (ditulis Tmv pada peta). Selengkapnya dapat dilihat pada gambar di bawah.

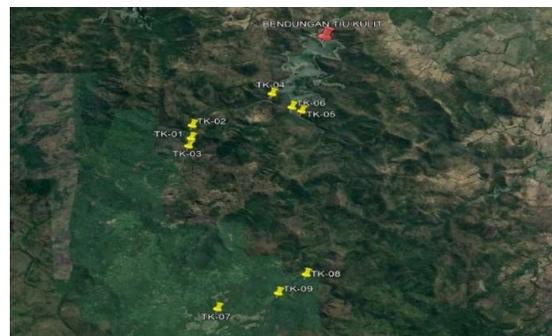


Gambar 3. Peta Geologi Pulau Sumbawa
(Sumber: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (1998))

Oleh karena kondisi bendungan yang tidak lagi sebaik ketika awal dibangun, maka perlu adanya perhitungan potensi seismisitas yang dilakukan untuk melihat apakah ada potensi seismisitas yang dapat terjadi di sekitar bendungan sehingga dapat mengganggu struktur bendungan.

Analisis Data

Pada lokasi penelitian telah dilakukan pengambilan data yaitu dilakukan penyelidikan tanah di lapangan dan pengambilan data gempa di BMKG dan USGS. Penyelidikan tanah dilakukan pengujian sondir dan hand bor, terdapat 9 titik pengujian yang diberikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Titik Pengujian Tanah
(Sumber : Geo-Engineering Reasearch Group Universitas Mataram)

Data Tanah

Pada lokasi Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa telah dilakukan pengujian sondir dan *Hand Bor* pada 9 titik di wilayah penelitian dan menghasilkan nilai Q_c . Namun untuk menentukan kelas situs tanah sesuai dengan SNI 1726:2019. menggunakan nilai N-SPT sehingga dilakukan pengkonversian nilai $Q_c - N-SPT$

Tabel 1. Data Sondir Titik Pengujian 1

UJI PENETRASI KONUS (ASTM D 3441 - 86)						
Kedalaman (m)	Perlawanan Konus (qc) (kg/cm ²)	Jumlah Perlawanan (qs) (kg/cm ²)	Hambatan Lekat HL=(qc-qs)/10 (kg/cm ²)	HLx20 (kg/cm)	JHL (kg/cm)	Rasio Gesekan FR=(HL/PK) (%)
0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	35	40	0.50	10.00	10.00	1.43
0.60	45	50	0.50	10.00	20.00	1.11
0.80	25	30	0.50	10.00	30.00	2.00
1.00	50	55	0.50	10.00	40.00	1.00
1.20	195	200	0.50	10.00	50.00	0.26

Contoh perhitungan pada titik pengujian SOTK-01 dengan kedalaman 1,2 m, tebal 0,2 m menghasilkan perlawanan konus (Qc) 195 kg/cm² sehingga menggunakan rumus:

$$Qc = 4N$$

$$\begin{aligned} N &= Qc / 4 \\ &= 195 / 4 \\ &= 48,75 \end{aligned}$$

Kemudian mencari nilai N' dengan rumus:

$$\begin{aligned} N' &= \text{Tebal (m)} / N_{spt} \\ N' &= 0,2 / 48,75 \\ N' &= 0,004 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai N' kemudian di jumlahkan secara keseluruhan pada 1 titik tersebut mendapatkan hasil N' = 0,0886 dan untuk menentukan kelas situs tanah dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Kelas Situs} &= \Sigma \text{Tebal} / \Sigma N' \\ &= 0,2 / 0,004 \\ &= 48,75 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai Qc > 195 kg/cm², dimasukkan nilai Qc = 225 kg/cm²,

$$\begin{aligned} N &= 225 / 4 \\ &= 56,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N' &= \text{Tebal (m)} / N_{spt} \\ &= 0,2 / 56,25 \\ &= 0,004 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kelas situs} &= \Sigma \text{Tebal} / \Sigma N' \\ &= 0,2 / 0,0036 = 56,25 \end{aligned}$$

Penentuan kelas situs sesuai dengan perhitungan penentuan kelas situs sebesar 48,75 termasuk dalam klasifikasi tanah sedang (SD) dan untuk nilai 56,25 termasuk dalam klasifikasi tanah keras (SC).

Distribusi Frekuensi Magnitudo

Pengelompokkan gempa bumi berdasarkan sumber gempanya menggunakan *software* ZMAP V.6. untuk mengetahui sumber dari setiap gempa, maka dilakukan *input* data *declustering* sesuai dengan sumber gempa pada wilayah penelitian.

Distribusi frekuensi magnitudo menggambarkan distribusi katalog tentang bagaimana hubungan magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi. Parameter yang paling penting dalam menentukan nilai-a dan nilai-b adalah *magnitude completeness* (mc) dimana diperlukan deskripsi akurat dari Mc local karena Mc pada wilayah penelitian sangat bervariasi. Tidak ada cara untuk memastikan bahwa nilai Mc yang diperoleh adalah benar absolut (Mignan and Woessner, 2012). Namun demikian, nilai Mc ≈ 5,0 untuk wilayah Indonesia masih bisa diterima (Diantari, dkk., 2018).

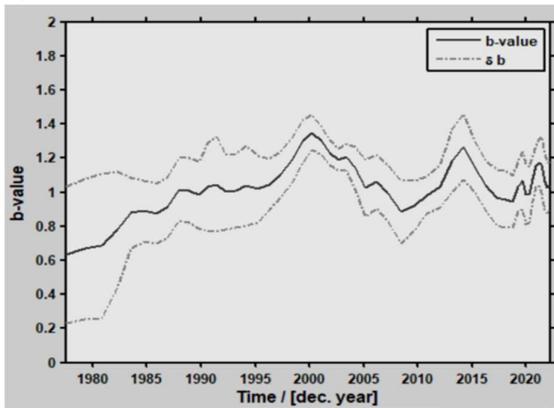
Tabel 2. Hasil nilai mc, nilai-a dan nilai-b sumber gempa *background*

No.	Gempa <i>background</i>	Nilai- a	Nilai- b	Mc
1.	<i>Shallow</i>	6,8	0,917	4,8
2.	<i>Deep 1</i>	6,14	0,92	4,6
3.	<i>Deep 2</i>	7,79	1,3	4,6
4.	<i>Deep 3</i>	6,24	1,01	4,6
5.	<i>Deep 4</i>	6,8	1,15	4,7

Variasi Temporal

Variasi temporal menggunakan metode *sliding time window* dengan

bantuan aplikasi ZMAP V.6. Dari data gempa wilayah sekitar tempat penelitian diperoleh hasil variasi temporal pada gambar 5.



Gambar 5. Plot variasi temporal *b-value* untuk data gempa keseluruhan pada wilayah penelitian

Pada Gambar 5 merupakan pola *b-value* temporal di wilayah sekitar Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa yang dikorelasikan dengan informasi magnitude dan jumlah kejadian gempa $\geq 4,5$ selama periode tahun 1972 – 2022. Pada Gambar 8 terdapat dua pola dominan yang terlihat pada nilai-*b* secara temporal. Pola pertama terjadi pada tahun 2000-2010 dan pola kedua terjadi pada sekitar tahun 2015-2020.

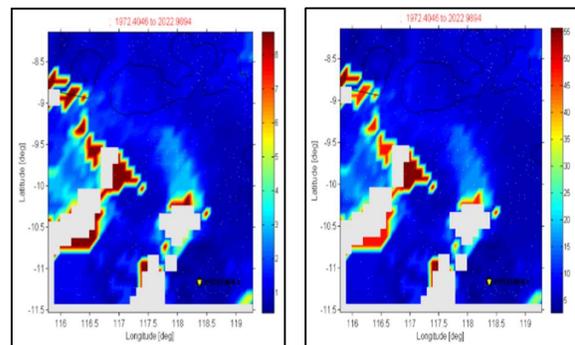
Pada pola 1 dan 2 nilai-*b* dalam waktu ke waktu yakni terjadi penurunan nilai-*b* sebelum terjadinya gempa signifikan. Pada gambar 5 terjadi penurunan grafik nilai-*b* yang mengindikasikan pada saat nilai-*b* turun terjadi penurunan aktivitas gempa bumi, namun juga bisa terjadi penyimpanan energi berupa *stress*, yang selanjutnya akan dikeluarkan dalam bentuk gelombang seismik berukuran besar (Ernandi dan Madlazim, 2020).

Kedua pola sini bersesuaian dengan data gempa bumi di wilayah NTB yakni

pada bulan November tahun 2007 terjadi gempa bumi signifikan dengan kekuatan magnitude 6,5 mw di Sumbawa dan juga pada bulan Agustus tahun 2018 terjadi gempa bumi signifikan dengan kekuatan magnitudo 6.9 mw pada pulau Lombok.

Variasi Spasial

Variasi nilai-*a* dan nilai-*b* secara spasial merupakan upaya analisa dalam dimensi jarak. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Scholz (1968) menyebutkan bahwa wilayah dengan nilai-*b* yang rendah berkorelasi dengan akumulasi *stress* yang tinggi, sedangkan nilai-*b* yang tinggi berlaku sebaliknya. Maka pada wilayah penelitian yaitu wilayah sekitar bendungan tiu kulit, kabupaten Sumbawa memiliki nilai-*b* dan nilai-*a* yang rendah yaitu 1, memiliki akumulasi *stress* yang tinggi dan juga tingkat kerapuhan batuan yang tinggi atau tidak mudah bergeser.



(a)

(b)

Gambar 6. Variasi Spasial *a-value* dan *b-value* pada wilayah penelitian

Dari perhitungan seismisitas dengan menghitung nilai-*a* dan nilai-*b* dengan menggunakan *software Zmap* berdasarkan sumber gempanya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Hasil nilai seismisitas pada sumber gempa

No.	Sumber Gempa	Nilai-a	Nilai-b	mc	Variasi Temporal	Variasi Spasial
1.	Subduksi	7,11	0,95	4,7	Terdapat dua pola penurunan nilai-b sebelum terjadinya gempa signifikan.	Nilai-b & nilai-a memiliki akumulasi <i>stress</i> yang tinggi dan juga tingkat kerapuhan batuan yang tinggi atau tidak mudah bergeser.
2.	<i>Back arc thrust</i>	7,24	0,99	4,7		
3.	<i>Background</i> • <i>Shallow</i> • <i>Deep 1</i> • <i>Deep 2</i> • <i>Deep 3</i> • <i>Deep 4</i>	6,8 6,14 7,79 6,24 6,8	0,917 0,92 1,3 1,01 1,15	4,8 4,6 4,6 4,6 4,7		

Perhitungan Gaya Gempa

Perhitungan Gaya Gempa SNI Pd-T-14-A-2004

Untuk perhitungan gempa pada Bendungan menggunakan SNI Pd-T-14-2004-A dengan persamaan (2.1). Berdasarkan Peta Zona Gempa Indonesia dalam SNI Pd-T-14-A 2004 (Gambar 2.3) diketahui data sebagai berikut: Kabupaten Sumbawa/Pulau Sumbawa termasuk zona D

$$Z = 0,9 - 1,2$$

$$Dilluviulum = T_s = 0,25 < T_s < 0,5$$

$$V = 1 \text{ (Faktor Koreksi)}$$

Mencari nilai a_d

$$a_d = Z \times a_c \times V$$

$$a_d = 0,9 \times 0,62 \times 1$$

$$a_d = 0,00614 \text{ g}$$

Mencari nilai K (koefisien gempa)

$$k = a_d / g$$

$$k = 0,00614 / 9,81$$

$$k = 0,000625$$

Mencari berat total bendungan (W)

$$W = \text{volume tubuh bendungan} \times \text{berat isi tanah}$$

$$W = 590.000 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ T/m}^3$$

$$W = 1062000 \text{ T}$$

Menghitung gaya gempa

$$F = a_1 \times k \times W$$

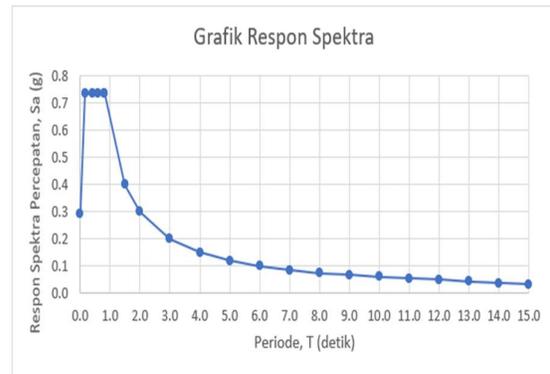
$$F = 0,7 \times 0,000625 \times 1062000$$

$$F = 4557,97 \text{ kN}$$

Perhitungan gempa dengan metode SNI Pd-T-14-A 2004 mendapatkan hasil gaya gempa sebesar 4557,97 kN yang terjadi pada Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa.

Perhitungan Gaya Gempa Metode SNI 1726:2019

Untuk menghitung gaya gempa dapat dilakukan menggunakan Metode SNI 1726:2019, didapatkan grafik spektra percepatan batuan di wilayah bendungan tiu kulit pada Gambar 7. berikut ini



Gambar 7. Grafik Spektra Percepatan Batuan di Wilayah Bendungan Tiu Kulit Kelas Situs Tanah Sedang menggunakan SNI 1726:2019

Gaya geser gempa dengan SNI 1726:2019

$$V = \frac{SDS \times I_e}{R} \times W$$

$$= \frac{0,733 \times 1,25}{1,25} \times 1062000 \text{ T}$$

$$= 810881 \text{ T}$$

$$= 7952027,78 \text{ kN}$$

Setelah dilakukan perhitungan gempa dengan metode SNI Pd-T-14-A 2004 dan SNI 1726:2019 menghasilkan nilai SNI Pd-T-14-A 2004 jauh lebih kecil

dibandingkan dengan nilai dari metode SNI 1726:2019. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh kondisi seismik yang digunakan. Untuk keseluruhan perhitungan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

No	Titik Sondir	Kedalaman (m)	Σ Tebal (m)	Σ N'	Kelas Situs (Σ Tebal' Σ N')	Perhitungan Gaya Gempa	
						Pd-T-14-A 2004	SNI 1726:2019
1.	SOTK-01	0 - 1,00	1	0,089	11,282 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		1,00 - 1,20	0,2	0,0041	48,75 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
2.	SOTK-02	0 - 0,60	0,6	0,0853	7,031 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		0,60 - 0,80	0,2	0,0084	23,75 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
3.	SOTK-03	0 - 0,60	0,6	0,0762	7,875 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		0,60 - 1,0	0,4	0,0089	45 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
4.	SOTK-04	0 - 1,60	1,6	0,3671	4,359 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		1,60 - 1,80	0,2	0,0041	48,75 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
5.	SOTK-05	0 - 0,60	0,6	0,32	1,875 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		0,60 - 1,0	0,4	0,0084	47,50 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
6.	SOTK-06	0,0 - 1,0	1	0,2678	3,734 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		1,0 - 1,80	0,8	0,0235	34,095 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
7.	SOTK-07	0,0 - 0,60	0,6	0,1333	4,50 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		0,60 - 1,0	0,4	0,0095	42,028 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
8.	SOTK-08	0 - 1,4	1,4	0,1942	7,208 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		1,4 - 1,8	0,4	0,0097	41,119 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
9.	SOTK-09	0 - 1,60	1,6	0,4279	3,739 (Tanah Lunak, SE)	4557,97 kN	7501118,4 kN
		1,60 - 2,0	0,4	0,009	44,687 (Tanah Sedang, SD)		7636555,26 kN
		2,0 - 2,20	0,2	0,0036	56,25 (Tanah Keras, SC)		10001491,2 kN

Tabel 4. Tabel hasil nilai perhitungan gempa

Pembahasan

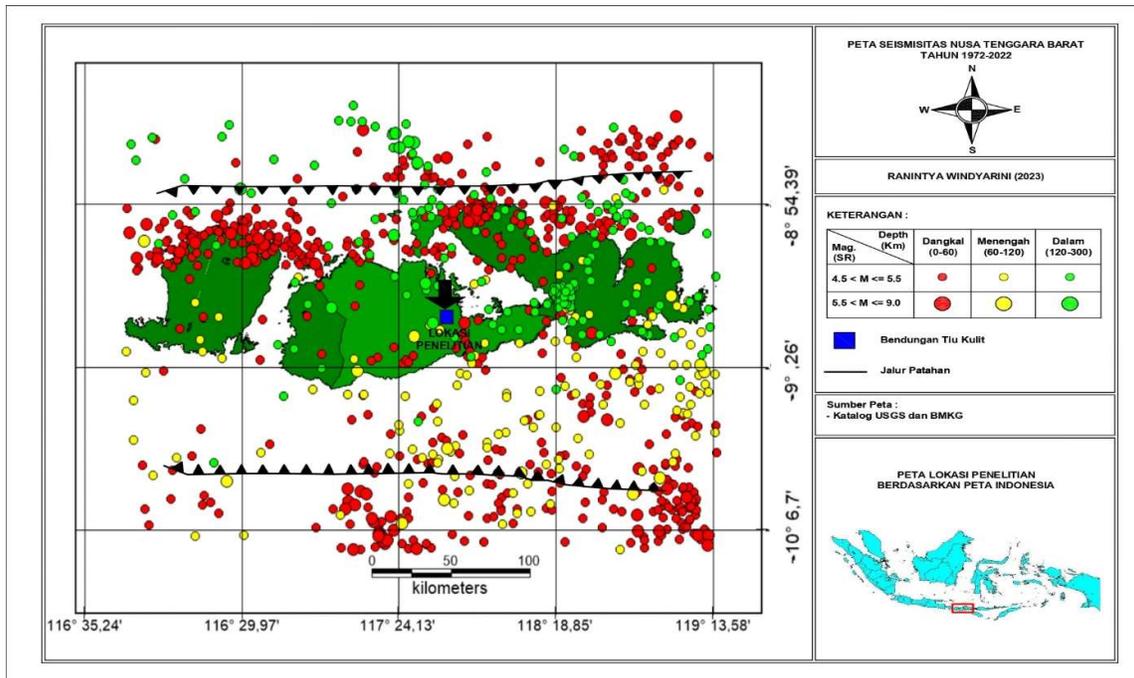
Bendungan tiu kulit merupakan bendungan yang sudah lama dibangun, yaitu pada tahun 1991 dan diresmikan pada tahun 1994 sehingga terhitung sebagai salah satu bendungan tertua di Sumbawa bahkan di Nusa Tenggara Barat (Balai Wilayah Sungai NT-I, 2021). Desainnya menggunakan standart yang sudah lama pula yaitu SNI 03-1726-1989 dan data gempa yang terbatas dengan kala ulang 200 tahun saja (Indarto, 2005). Oleh karena itu melihat kegempaan yang sudah mulai menjadi kekhawatiran di kalangan masyarakat terhadap kekuatan bangunan, perlu adanya rehabilitasi yang dilakukan pada bendungan Tiu Kulit (Balai Wilayah Sungai NT-I, 2021). Untuk melakukan rehabilitasi tersebut diperlukan data data pendukung yang mengacu pada standart desain dan informasi seismitas ter-update sehingga ketika dilakukan rehabilitasi pada bendungan Tiu Kulit, rehabilitasi tersebut dapat dilakukan dengan tepat dan menghasilkan bangunan yang aman dari ancaman seismitas yang ada.

Pentingnya informasi titik gempa sangat berpengaruh pada posisi sebuah bangunan, informasi titik gempa dapat menyatakan tren di titik mana dan seberapa besar gempa dapat mempengaruhi sebuah bangunan. Posisi Bendungan Tiu Kulit yang berada tepat di tengah pulau Sumbawa yang merupakan lokasi strategis, begitupun dengan bendungan-bendungan lain yang ada di Nusa Tenggara Barat, seperti Bendungan Meninting (Arvin 2021), Beringinsila (Andi, 2020), Rababaka (Yuyun, 2012), dan Pandanduri (Keke, 2018). Hal tersebut merupakan bukti pentingnya mengetahui titik sebaran gempa sebelum membangun sebuah bangunan sehingga ketika merencanakan pembangunan sebuah bangunan, bangunan tersebut tidak berada di daerah rawan gempa. Selain mengetahui titik sebaran gempa, perlu juga memahami penyebab yang mempengaruhi adanya titik gempa pada sebuah koordinat, dikarenakan gempa terjadi di berbagai titik koordinat dapat disebabkan oleh sebab yang berbeda beda. Berdasarkan penjelasan tersebut diperlukan adanya analisis seismitas yang dilakukan untuk menyediakan informasi ter-update yang dapat digunakan sebagai acuan sebelum membangun sebuah bangunan atau merehabilitasi sebuah bangunan yang sudah tua.

Hasil analisis seismitas menggunakan *Software* ZMAP V.6 menyatakan bahwa lokasi Bendungan Tiu Kulit, Kabupaten Sumbawa merupakan lokasi dengan potensi gempa yang cukup besar dibuktikan dengan analisis nilai mc pada ketiga sumber gempa subduksi, *backarc thrust*, dan *background* yaitu antara (4,6-4,8), perhitungan *a-value* dan *b-value* pada sumber gempa subduksi sebesar 7,11; 0,952 sedangkan sumber gempa *backarc thrust* yaitu sebesar 7,24; 0,991

dan untuk sumber gempa *background* yang terbagi menjadi 5 kedalaman sebesar

1972-2022, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta Seismisitas Nusa Tenggara Barat Tahun 1972-2022

a-value (6,14-6,8) dan *b-value* (0,917-1,3) (Taruna, 2019), variasi temporal menghasilkan adanya penurunan sebelum terjadinya gempa bumi yang signifikan pada bulan November 2007 sebesar 6,5 mw di pulau Sumbawa, dan variasi spatial menghasilkan nilai-*a* dan nilai-*b* yang rendah sebesar 1. Hal ini sejalan dengan penelitian (Ernandi, 2020) yang menyatakan bahwa daerah Nusa Tenggara Barat merupakan daerah yang memiliki potensi gempa yang cukup besar. Selanjutnya dilakukan pemetaan seismisitas pada provinsi Nusa Tenggara Barat untuk dapat digunakan sebagai acuan besaran potensi gempa pada provinsi Nusa Tenggara Barat, berdasarkan pengolahan data yang dilakukan menggunakan *software* ZMAP V.6 dihasilkan Peta Seismisitas Nusa Tenggara Barat khususnya Bendungan Tiu Kulit dari tahun

Sebelum menghitung gaya gempa pada Bendungan Tiu Kulit diperlukan adanya pengkonversian nilai *qc* menjadi nilai NSPT untuk mendapatkan jenis kelas situs tanah. Untuk mendapatkannya digunakan data sondir pada 9 titik sondir mulai dari SOTK-01 hingga SOTK-09. Setelah dilakukan pengkonversian nilai *qc* menjadi nilai NSPT lalu didapatkan jenis kelas situs tanah pada daerah Bendungan Tiu Kulit yang didominasi oleh Tanah Lunak (SE) pada permukaan dan Tanah Sedang (SD) pada lapisan di bawahnya. Hal ini disebabkan oleh struktur tanah yang bisa kita lihat pada hasil *Hand Bor* yang dilakukan di 9 titik pengujian yang sama, mendapatkan hasil berupa lapisan atas yang didominasi oleh lanau berpasir yang berbutir halus kemudian lapisan di bawahnya didominasi oleh pasir lanau yang berbutir sedang.

Setelah mengetahui jenis kelas situs tanah, selanjutnya dilakukan perhitungan gaya gempa pada Bendungan Tiu Kulit yang setelah dihitung menggunakan metode SNI Pd-T-14-A 2004 menghasilkan nilai gempa sebesar 0,02 MPa, dan SNI 1726:2019 menghasilkan nilai gempa sebesar 0,291 Mpa. Kedua metode perhitungan gaya menghasilkan nilai gempa yang kurang signifikan, hal ini disebabkan karena pada SNI Pd-T-14-A 2004 tidak mengikuti pembaharuan kondisi seismik sehingga kurang relevan untuk menghitung gaya gempa, selanjutnya pada SNI 1726:2019 menghasilkan nilai yang signifikan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan SNI Pd-T-14-A 2004, hal ini sangat wajar karena mengingat perbedaan mekanisme dan variabel antara standar konstruksi yang lama dan standar konstruksi terbaru.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Seismisitas pada wilayah Bendungan Tiu Kulit merupakan lokasi dengan potensi gempa yang cukup besar, hal ini berdasarkan hasil analisis yang mendapati nilai yang paling besar menyebabkan gempa yaitu dari sumber gempa *background* dengan kedalaman 100-150 km (*a-value*: 7.79, *b-value*: 1.3, dan *mc*: 4.6), serta sumber gempa *back arc thrust* dengan nilai (*a-value*: 7.24, *b-value*: 0.99, dan *mc*: 4.7)
2. Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan menggunakan *software* ZMAP V.6 dihasilkan Peta Seismisitas Nusa Tenggara Barat khususnya Bendungan Tiu Kulit dari tahun 1972-2022, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.11.
3. Kelas situs tanah pada Bendungan Tiu Kulit berupa Tanah Lunak (SE), Tanah Sedang (SD), dan Tanah Keras (SC). Hal ini didapatkan dari analisis yang mengacu pada SNI 1726:2019.
4. Perhitungan gaya gempa menggunakan SNI 1726:2019 menghasilkan nilai yang signifikan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan Pd-T-14-A 2004, hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan mekanisme dan variabel antara standar konstruksi yang lama dan standar konstruksi terbaru, sehingga perhitungan menggunakan Pd-T-14-A 2004 kurang cocok digunakan karena tidak mengikuti pembaharuan kondisi seismik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustawijaya, D. S., 2016, *Menakar Risiko Bencana Gempa di Pulau Lombok Menggunakan Indeks Bencana*. Dinamika Teknik Sipil. Halaman 186-190.
- Agustawijaya, D. S., Sulistiyono, H., dan Elhuda, I., 2018, *Determination of theseismicity and peak ground acceleration for Lombok Island: an evaluation tectonic setting*. MATEC Web of Conferences, Page 1-9.
- Agustawijaya, D. S. 2019. *Geologi Teknik*. Yogyakarta: ANDI
- Anonim. 2021. Google Earth, Retrieved from www.googleearth.com
- Ashari, F. K. 2018. *Optimasi Pemasangan Grouting pada Bendungan Pandanduri yang Dipengaruhi Gaya Gempa*. Skripsi. Universitas Mataram.
- BWS NT-I. 2021. *Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan & Upaya Pemantauan Lingkungan (UKL-*

- UPL) Kegiatan Penanganan Sedimentasi dan Remedial Bendungan Tiu Kulit di Desa Simu Kecamatan Maronge Kabupaten Sumbawa, NTB.
- Elhuda, I., 2017, *Evaluasi Wilayah Gempa Pulau Lombok Menggunakan Metode Statistik*. Mataram, NTB.
- Ernandi, F. N. dan Madlazim. 2020. *Analisa Variasi a-Value dan b-Value dengan menggunakan Software ZMAP V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi di Wilayah Nusa Tenggara Barat*. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia, Vol. 09, No. 03. Tahun 2020, hal 24-30.
- Mulia, A. C. 2020. *Analisis Numerik Stabilitas Terowongan Pengelak Bendungan Beringin Sila Berdasarkan Pembebanan Gempa*. Skripsi. Universitas Mataram.
- Pd-T-14-2004-A. 2004. *Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Pusat Gempa Nasional, 2017, Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Bandung.
- Santoso, C. B. dan Agustawijaya, D. S. 2020. *Seismic Risk for Sumbawa Island Based on Seismicity and Peak Ground Accelaration. The 2019 International Conference on Mining and Enviromental Technology*.
- Scholz, C. H. 1968. *The Frequency Magnitude Relation of Microfracturing in Rock and Its Relation to Earthquakes*. Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 58, No. 1.
- SNI 1726:2019. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standarisasi
- Soediby. 2003. *Teknik Bendungan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Trisnindianti, A. 2021. *Penentuan Gaya Gempa untuk Kestablian Terowongan Pengelak Meninting Menggunakan Nilai Spektrum Terbaru Pulau Lombok*. Skripsi. Universitas Mataram.
- Yunita, Y. 2016. *Analisis Sistem Penyangga pada Terowongan Mila di Rababaka Kompleks Kabupaten Bima*. Skripsi. Universitas Mataram.