

**IDENTIFIKASI NILAI CYCLIC RESISTANCE RATIO (CRR)
MENGUNAKAN DATA MASW DAERAH AMBON, MALUKU**
*IDENTIFICATION OF CYCLIC RESISTANCE RATIO (CRR)
VALUES USING MASW DATA FOR THE AMBON REGION,
MALUKU*

**Levana Noviyanti^{1)*}, Aditya Setyo Rahman²⁾, Dadang Permana²⁾, Fajri
Syukur Rahmatullah²⁾, Oriza Sativa²⁾**

¹⁾ Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral Universitas Pembangunan
Nasional "Veteran" Yogyakarta

²⁾ Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Indonesia

*Email : aditya.rahman@bmk.go.id

ABSTRAK

Kota Ambon merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang termasuk dalam wilayah rawan gempa bumi. Salah satu ancaman bahaya gempa bumi yang dapat terjadi adalah berkurangnya kekuatan tanah untuk mendukung atau menopang beban di atasnya. Oleh karena itu, perlu diketahui terlebih dahulu tingkat kerentanan tanah di daerah penelitian. Untuk mengetahui tingkat kerentanan tanah tersebut diperlukan analisis dengan menggunakan metode MASW (multichannel analysis surface waves) dengan memanfaatkan kecepatan gelombang geser (Vs30) dan analisis grafik nilai Cyclic Resistance ratio (CRR). Penelitian ini menggunakan data sekunder hasil pengukuran MASW oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Indonesia (BMKG) yang dilakukan di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku. Pengolahan data sekunder dilakukan dengan menggunakan software Pickwin, software WaveEQ, dan menggunakan Microsoft excel untuk melakukan pembuatan grafik Vs terhadap kedalaman, grafik Vs Correction terhadap kedalaman, serta grafik nilai CRR terhadap kedalaman. Hasil dari penelitian mengenai tingkat kerentanan tanah di Daerah teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku ialah seluruh daerah penelitian memiliki tingkat kerentanan tanah yang tinggi dengan didominasi oleh jenis tanah kerikil. Lapisan yang memiliki jenis tanah kerikil juga yang pada hipotesa awal dianggap memiliki kerentanan tanah yang rendah ternyata memiliki kerentanan tanah yang tinggi, hal tersebut dapat dibuktikan pada grafik CRR terhadap kedalaman.

Kata kunci: Kerentanan Tanah, Metode MASW, Vs30, Cyclic Resistance Ratio (CRR), Kota Ambon

ABSTRACT

Ambon City is one of the areas in Indonesia that is included in the earthquake-prone area. One of the earthquake hazards that can occur is the reduction of soil strength to support or support the load above it. Therefore, it is necessary to know in advance the level of soil vulnerability in the research area. To determine the level of soil vulnerability, an analysis using the MASW (multichannel analysis surface waves) method is needed by utilizing the shear wave velocity (Vs30) and the analysis of the Cyclic Resistance Ratio (CRR) value graph. This study uses secondary data from MASW measurements by the Indonesian Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) conducted in the Ambon Bay Area, Ambon City, Maluku. Secondary data processing was carried out using Pickwin

software, WaveEQ software, and Microsoft Excel to create graphs of Vs versus depth, Vs Correction versus depth, and CRR value versus depth. The results of the study on the level of soil vulnerability in the Ambon Bay Area, Ambon City, Maluku, are that all research areas have a high level of soil vulnerability with the majority of gravel soil types. The layer that has a gravel soil type, which in the initial hypothesis was considered to have low soil vulnerability, turned out to have high soil vulnerability. This can be proven in the CRR versus depth graph.

Keywords: Soil Vulnerability, MASW Method, Vs30, Cyclic Resistance Ratio (CRR), Ambon City

1. Pendahuluan

Ambon merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang termasuk dalam wilayah rawan gempa bumi. Berdasarkan Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821-2018, tercatat beberapa kali gempa bumi yang terjadi di Kota Ambon mulai dari skala kecil hingga skala paling besar [1]. Ancaman bahaya gempa bumi yang dapat terjadi adalah adanya kegagalan yang terjadi pada struktur tanah sehingga menjadikan tanah tersebut tidak memiliki kekuatan untuk mendukung atau menopang beban di atasnya.

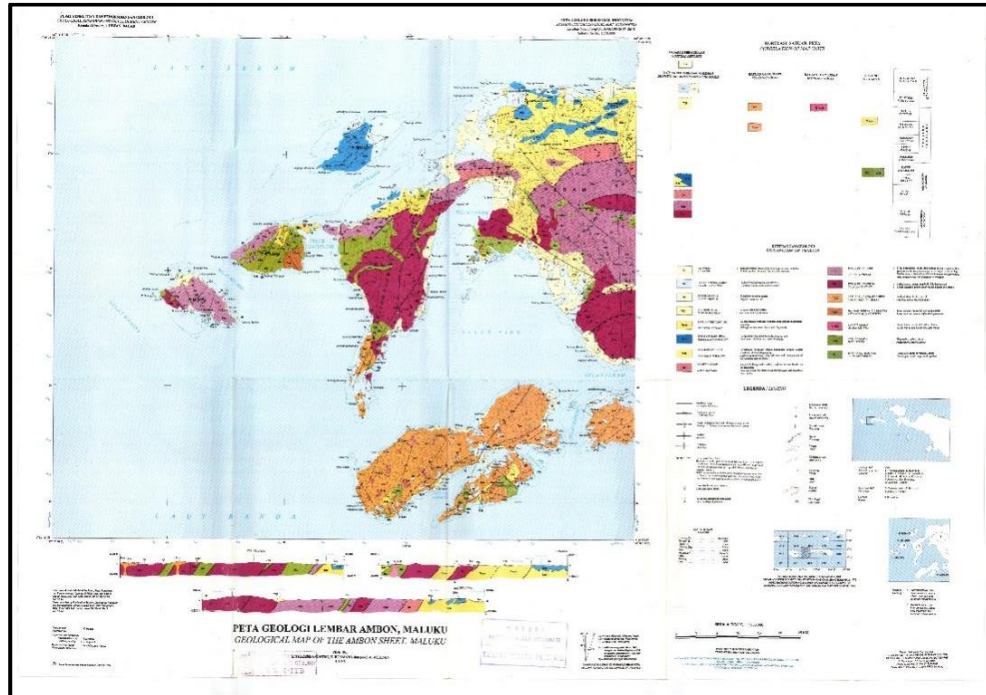
Oleh karena itu, perlu diketahui terlebih dahulu tingkat kerentanan tanah di daerah penelitian. Metode MASW (*Multichannel Analysis Surface Waves*) dapat digunakan untuk dapat menganalisis tingkat kerentanan tanah suatu daerah. Dari pengukuran metode MASW ini akan dihasilkan profil kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (Profil Vs30) yang akan menunjukkan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter yang mana menjadi indikator dalam menggambarkan karakteristik kekuatan dan kekakuan tanah [2].

Untuk mengetahui kerentanan tanah daerah penelitian maka dibutuhkan pendekatan dalam dengan menggunakan parameter pokok kecepatan gelombang geser. Salah satu parameter pokok tersebut ialah CRR (*Cyclic Resistance Ratio*). Untuk mempermudah analisa, diperlukan grafik antara nilai CRR terhadap kedalaman yang dikaitkan dengan *safety factor*, grafik kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman dan grafik koreksi kecepatan gelombang geser terhadap kedalaman. Dengan menggunakan grafik tersebut, maka dapat dianalisis untuk menjadi langkah awal dalam mengetahui potensi likuifaksi dengan mengetahui kerentanan tanah di Kota Ambon khususnya di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah penelitian yang berada di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku termasuk dalam stratigrafi regional Daerah Ambon berdasarkan Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku berikut :



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku [3].

Adapun stratigrafi regional Daerah Ambon berdasarkan Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku dari yang f. berumur tua ke muda yaitu sebagai berikut :

- a. Formasi Kanikeh (TrJk)
Disusun oleh perselingan batupasir, serpih, batulanau, dengan sisipan konglomerat dan batugamping. Berumur Trias Akhir hingga Jura Bawah.
- b. Batuan Ultramafik (Jku)
Disusun oleh harzburgit, dunit, serpentinit, dan gabbro. Berumur Jura Atas hingga Kapur Bawah.
- c. Batuan Gunungapi Ambon (Tpav)
Disusun oleh andesit, dasit, breksi, dan tuf. Berumur Pliosen-Plistosen.
- d. Granit Ambon (Ti(d,g))
Disusun oleh granit biotit dan granit kordierit biotit. Berumur Pliosen Tengah hingga Pliosen Akhir.
- e. Batugamping Korall (Ql)

Disusun oleh koloni koral, ganggang, dan bryozoa. Berumur Plistosen Atas

hingga Holosen. Diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Fufa. Endapan Aluvium (Qa)

Disusun oleh kerakal, kerikil, lanau, pasir, lempung, dan sisa tumbuhan. Berumur Holosen-Resen. Diendapkan secara tidak selaras di atas formasi atau satuan batuan lain.

2.2. Geologi Lokal Daerah Penelitian

Daerah penelitian pada penelitian ini yaitu tepatnya berada pada daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Kota Ambon sendiri memiliki bentuk wilayah pesisir yang berada antara daratan dan lautan ditentukan oleh kekerasan batuan dan pola morfologi serta oleh tahapan tektoniknya. Secara umum, satuan geomorfologi yang berada pada Kecamatan Teluk Ambon tersusun oleh endapan aluvium berupa kerakal, kerikil, lanau, pasir, lempung, sisa tumbuhan, batu gamping koral, perselingan batu pasir, serpih, batu

lanau, dengan sisipan konglomerat dan batu gamping, andesit, dasit, breksi, tuf dan batuan ultramafik; harzburgit, dunit, serpentin, gabro [4].

3. Dasar Teori

3.1. Metode MASW

Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) merupakan metode yang memanfaatkan fenomena dispersi gelombang permukaan yang bertujuan untuk mengevaluasi karakter suatu medium solid. Metode ini akan mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman.

Metode ini terbagi menjadi dua jenis yaitu metode MASW aktif dan pasif. Perbedaan dari kedua jenis metode ini yaitu terletak pada sumber gelombang yang digunakan. Metode MASW aktif menggunakan sumber gelombang yang memiliki frekuensi tinggi yaitu dapat berupa palu atau *weightdrop*, sedangkan metode MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah seperti pasang surut air laut, lalu lintas kendaraan ataupun kerumunan pejalan kaki [2].

3.2. Likuifaksi

Kegagalan struktur akibat hilangnya kestabilan tanah pada saat gempa bumi biasanya terjadi pada tanah pasir yang bersifat jenuh dan memiliki gradasi butiran tanah yang seragam. Peristiwa ini biasanya dikenal dengan kegagalan akibat tanah pasir yang mencair saat terjadi gempa bumi atau disebut likuifaksi [5]. Menurut Wang dan Law [6], faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian pokok yaitu gaya gempa

(intensitas dan arah getaran) serta kondisi tanah dan lingkungan (properti tanah, kondisi topografi, muka air tanah, dsb).

3.3. Parameter Utama Likuifaksi

Tegangan Geser Rata – Rata Akibat gempa bumi

Pada percepatan tanah maksimum maka akan terjadi tegangan geser maksimum dan seterusnya. Menurut hasil uji, tegangan geser rata rata dapat ditulis dengan persamaan yang dinyatakan oleh Castro [7] berikut:

$$\tau_{av} = 0,65 \sigma_{v0} \frac{a_{max}}{g} r_d \quad (1)$$

Dengan :

- a_{max} = Percepatan tanah maksimum (g)
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- σ_{v0} = Tegangan total dan efektif dari *overburden* (kPa)
- r_d = Koefisien reduksi tegangan

a. *Cyclic Stress Ratio (CSR)*

Cyclic Stress Ratio adalah perbandingan antara tegangan siklik akibat gempa dengan tegangan efektif. Persamaan CSR yang diformulasikan oleh Seed dan Idriss [8] dapat ditulis :

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}} 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) r_d \quad (2)$$

Dengan :

- a_{max} = Percepatan tanah maksimum (g)
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- σ_{v0} dan σ'_{v0} = Tegangan total dan efektif dari *overburden* (kPa)
- r_d = Koefisien reduksi tegangan

b. *Cyclic Resistance Ratio (CRR)*

Cyclic Resistance Ratio adalah ketahanan tanah untuk dapat menahan likuifaksi. CRR berdasar pada kecepatan gelombang geser dan telah sedikit mengalami evolusi.

Menurut Andrus dan Stokoe [9], nilai CRR dapat ditentukan dengan memakai formulasi:

$$CRR_{7,5} = a \left(\frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \left(\frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} \right) - \left(\frac{1}{V_{s1}^*} \right) \quad (3)$$

Dengan :

V_{s1} = Kecepatan gelombang geser yang sudah terkoreksi oleh referensi *overburden pressure*

V_{s1}^* = Batas atas nilai kecepatan gelombang geser terkoreksi *overburden*

$a = 0.022$ dan $b = 2.80$ adalah ketetapan parameter terkait dengan kemiringan kurva

c. Factor of Safety (FS)

Factor of Safety (FS) dapat disebut faktor keamanan. FS merupakan nilai yang dapat menentukan terjadi atau tidaknya likuifaksi. Nilai Fs dapat ditulis dalam persamaan : [9]

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (4)$$

Apabila :

$FS < 1$, maka berpotensi terjadi likuifaksi

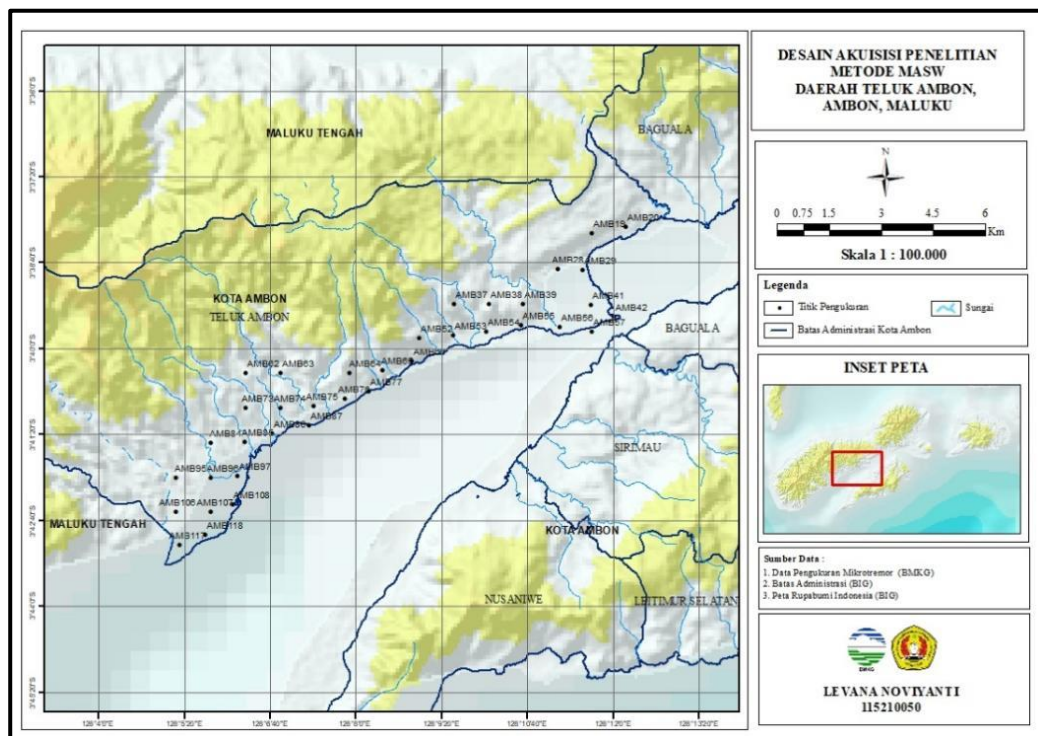
$FS = 1$, maka merupakan kondisi kritis (bisa terjadi atau tidak terjadi likuifaksi)

$FS \geq 1$, maka tidak berpotensi terjadi likuifaksi

4. Metode Penelitian

4.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian kali ini ialah berada di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *Multichannel Analysis Surface Waves* (MASW). Titik pengukuran pada penelitian berjumlah 37 titik dengan lokasi yang menyebar di sekitar tepi laut. Lokasi penelitian atau desain akuisisi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian.

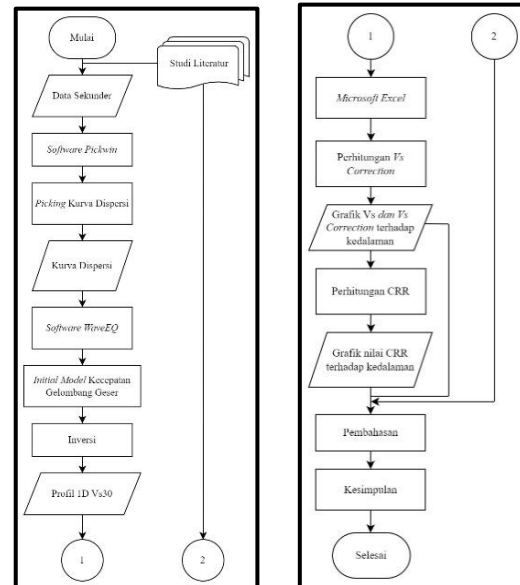
4.2. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diberikan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Indonesia. Data sekunder yang diberikan berupa data MASW dengan *format SG2 File*. Data ini dihasilkan dari pengukuran secara langsung oleh Tim BMKG di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku.

Proses pengambilan data dilakukan oleh Tim BMKG dengan menggunakan seperangkat alat akuisisi seperti palu sebagai *source*, bantalan, 24 buah *geophone*, kabel konektor, kabel *trigger*, meteran, dan lain – lain. Dalam satu titik pengukuran dilakukan pengambilan data sebanyak empat kali sehingga dalam satu titik pengukuran akan dilakukan pengolahan sebanyak empat buah data dan dipilih satu data yang memiliki nilai RMS (*root mean square*) terkecil. Proses pengolahan data MASW tersebut dilakukan dengan menggunakan *software SeisImager* yang didalamnya terdapat *software Pickwin* dan *software WaveEQ*.

4.3. Diagram Alir Pengolahan Data

Pada gambar 3 dapat dilihat diagram alir pengolahan data yang dilakukan dari tahap *input* data sekunder ke dalam *software* hingga dapat menghasilkan grafik yang dapat dianalisis untuk mengetahui tingkat kerentanan tanah daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku.



Gambar 3. Diagram Alir Pengolahan Data.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Grafik Vs terhadap Kedalaman dan Grafik Vs Correction terhadap Kedalaman

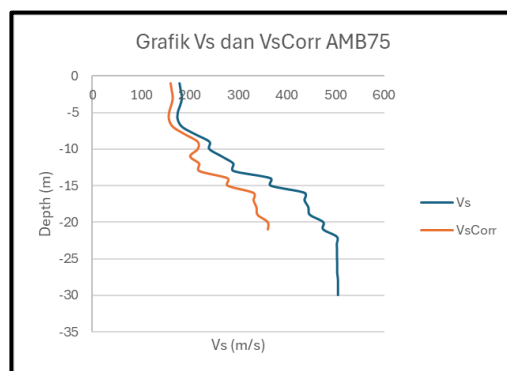
Untuk menganalisis kerentanan tanah di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku menggunakan data MASW digunakan nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter. Sehingga perlu dibuat grafik Vs terhadap kedalaman dan grafik Vs *correction* terhadap kedalaman. Nilai kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) dapat digunakan untuk dapat mengetahui jenis tanah. Jenis tanah ini dapat dikaitkan untuk dapat mengetahui kerentanan tanah. Jenis tanah yang lebih rentan adalah pasir jenuh air atau tanah pasir lepas, butir pasir berdiameter halus sampai agak kasar maupun tanah pasir-*silt* terutama apabila sistem penyerapan (*drainase*) tidak baik [10].

Berdasarkan tabel konversi jenis tanah terhadap nilai Vs, tegangan tanah, dan tegangan efektif [11] [12] jenis tanah

dapat ditentukan dari nilai V_s nya. Dari seluruh analisis nilai V_s dapat dilihat bahwa pada lokasi penelitian didominasi oleh jenis tanah kerikil pada bawah permukaan.

Nilai V_s yang telah dihasilkan kemudian dilakukan perhitungan dengan memperhitungkan tegangan *overburden* sehingga akan dihasilkan nilai V_s *correction*. Terdapat beberapa titik pada grafik V_s *correction* terhadap kedalaman yang grafiknya tidak menerus hingga kedalaman 30 meter seperti pada titik AMB96, AMB106, AMB108, AMB117, AMB52, AMB62, AMB65, AMB66, AMB74, AMB75, AMB76, AMB77, AMB19, AMB20, AMB37, AMB38, AMB39, dan AMB55.

Hal tersebut dikarenakan pada kedalaman yang sudah tidak mengalami kemenerusan garis tersebut sudah tergolong dalam litologi batuan penyusun yang kompak yang ditandai dengan nilai $V_{s30} > 500$ m/s. Sehingga kerentanan tanah pada kedalaman tersebut cenderung sangat kecil. Grafik V_s dan V_s *correction* terhadap kedalaman yang tidak menerus hingga kebawah dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik V_s dan V_s *Correction* pada Titik AMB75.

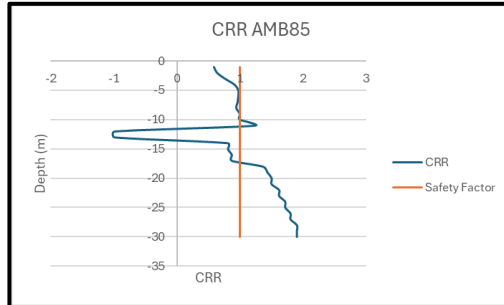
Karena tiap kedalaman bawah permukaan memiliki nilai V_{s30} yang berbeda – beda, maka jika dilihat dari jenis tanahnya tingkat kerentanan tanah pada masing–masing kedalamanpun akan berbeda–beda. Dimana tingkat kerentanan tanah akan mengecil pada kedalaman 17–30 meter. Hal tersebut dikarenakan pada kedalaman 1-17 meter jenis tanah pada lokasi penelitian ialah lanau organik dan pasir, dimana jenis tanah tersebut tergolong dalam tanah berbutir halus (tanah kohesif) yang mana ketahanan geser lanau organik dan pasir lebih rendah dibanding dengan jenis tanah kerikil. Namun, untuk mengetahui kerentanan suatu tanah tidak cukup dianalisis melalui nilai V_s dan jenis tanahnya saja.

5.2. Grafik CRR terhadap kedalaman

Grafik CRR terhadap kedalaman akan dibandingkan dengan nilai batas *safety factor* untuk mengetahui rentan atau tidaknya tanah. Nilai batas *safety factor* adalah 1, sehingga jika nilai CRR > 1 dapat dikatakan lapisan tersebut tidak rentan dan jika nilai CRR < 1 dapat dikatakan lapisan tersebut cenderung rentan. Pada daerah penelitian nilai CRR didominasi oleh nilai CRR < 1 sehingga dapat dikatakan daerah penelitian didominasi oleh tingkat kerentanan tanah yang tinggi.

Pada titik AMB85, AMB97, AMB117, AMB118, AMB62, AMB73, AMB76 dan AMB38 memiliki grafik CRR yang melampaui garis *safety factor* pada beberapa kedalamannya yang menyatakan bahwa nilai CRR pada bagian tersebut besarnya > 1 . Sehingga, pada beberapa kedalaman

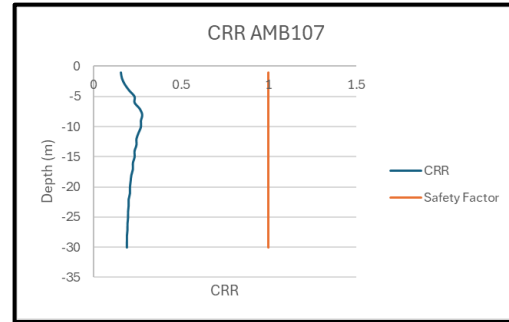
di titik–titik yang telah disebutkan sebelumnya mengalami tingkat kerentanan tanah yang rendah. Salah satu grafik CRR terhadap kedalaman dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Grafik CRR dan Kedalaman pada Titik AMB85.

Dari gambar 5 tersebut dapat kita lihat dari kedalaman 0–17 meter nilai CRR bernilai < 1 sehingga pada kedalaman 0–17 meter merupakan lapisan yang memiliki kerentanan tanah yang tinggi. Sedangkan pada kedalaman 17–30 meter nilai CRR telah melampaui batas *safety factor*, sehingga dapat dikatakan bahwa pada kedalaman tersebut memiliki kerentanan tanah yang rendah.

Sedangkan pada titik pengukuran lainnya grafik CRR tidak melampaui garis *safety factor* yang menunjukkan bahwa seluruh kedalaman dari titik pengukuran tersebut memiliki nilai CRR < 1 . Hal tersebut menunjukkan bahwa hingga kedalaman 30 meter daerah pada titik pengukuran tersebut memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi. Salah satu contohnya adalah pada titik AMB107 yang grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Grafik CRR dan Kedalaman pada Titik AMB107.

6. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian mengenai kerentanan tanah di daerah Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku adalah berdasarkan *output* yang telah dihasilkan seluruh daerah penelitian yang berada di Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku memiliki tingkat kerentanan tanah yang tinggi. Lapisan yang diklasifikasikan sebagai jenis tanah kerikil berdasarkan nilai Vs30 juga ternyata tidak memiliki kerentanan tanah yang rendah, hal tersebut dapat dibuktikan pada grafik CRR terhadap kedalaman.

7. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Pembimbing Teknis dari BMKG dan kepada Dosen Pembimbing dari Jurusan Teknik Geofisika UPN “Veteran” Yogyakarta. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu saya dalam melakukan penelitian ini. Karena berkat doa, dukungan, serta bimbingannya saya mendapatkan banyak pengetahuan baru sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

8. Daftar Pustaka

- [1] BMKG, *Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2018 per wilayah*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika, 2019.
- [2] C.B. Park, R.D. Miller, J. Xia, and J. Ivanov, *Multichannel Analysis Of Surface Waves (MASW)—active and passive methods. The Leading Edge* 26: 60-64. USA: Society of Exploration Geophysicists, 2007.
- [3] S. Tjokrosapoetro, E. Rusmana, dan A. Achdan, *Peta Geologi Lembar Ambon, Maluku skala 1 :250.000*, Lembar 2612 – 2613. Indonesia: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1993.
- [4] M. Susana, D. Supardi, H. Supratman, A.W.K. Mustopa, U. Suherman, dan Subagio, *Penyelidikan Geologi Lingkungan Perkotaan Kota Ambon Provinsi Maluku*. Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Geologi, 2016.
- [5] R. W. Briggs *et al.*, "Deformation and slip along the Sunda megathrust in the great 2005 Nias-Simeulue earthquake," *Science* (80-.), vol. 311, no. 5769, pp. 1897–1901, Maret 2006, doi: 10.1126/science.1122602.
- [6] J.G.Z.Q. Wang and K.T. Law, *Sitting in Earthquake Zone*. London: CRC Press, 1994.
- [7] K.C. Tijow, O.B.A. Sompie, dan J.H. Ticoh, "Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Data Standard Penetration Test (Spt) Studi Kasus : Dermaga, Bitung, Sulawesi Utara". *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 7, pp. 491 – 500, Juli 2018.
- [8] H. B. Seed and I.M. Idriss, "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential," *J. Geotech. Engrg. Div.*, ASCE , vol. 97, no. 9, pp.1249-1273, September 1971.
- [9] R.D. Andrus and K.H. Stokoe, "Liquefaction resistance of soils shear-wave velocity," *J. Geotech. And Geoenvir. Engrg.*, ASCE, vol. 126, no. 11, pp.1015 – 1025, November 2000.
- [10] H. Subakti dan W. Renagustiarini, "Analisis potensi likuifaksi menggunakan data kecepatan gelombang geser (V_s)," *PROGRESS: Jurnal Geofisika*, vol.1, no.1, pp.1-21, Juni 2022 .
- [11] J.B. Burland and C.P. Worth, "Settlement of buildings and associated damage," *Proceedings*, pp.611 – 654, April 1974.
- [12] Darwis. *Dasar - Dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis, 2018.