

Identifikasi Karakteristik Struktur Tanah Dan Mitigasi Bencana Likuifaksi di Sulawesi Tengah

N O Anidhea^{1, a} dan Suliyannah^{1, b}

¹Universitas Negeri Surabaya

^anaba.18036@mhs.unesa.ac.id dan ^bsuliyana@unesa.ac.id

Abstract. Peristiwa gempa bumi di Sulawesi Tengah pada September 2018 menjadi luka mendalam bagi seluruh warga Indonesia. Gempa bermagnitudo 7,4 disusul dengan tsunami yang melanda pantai Barat pulau Sulawesi berhasil memporandakan Kota Palu dan Kabupaten Donggala. Gempa tak hanya disusul tsunami dengan ketinggian hampir mencapai 6 meter, namun juga disusul dengan terjadinya fenomena likuifaksi. Likuifaksi merupakan fenomena dimana pasir maupun lanau jenuh kehilangan kekuatannya akibat guncangan secara intens, salah satunya yakni gempabumi. Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk mengidentifikasi karakteristik struktur tanah terdampak serta upaya mitigasi bencana alam likuifaksi. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode studi literatur dimana sumber dan metode pengumpulan datanya diperoleh dengan menelusuri sumber-sumber pustaka serta mengolah bahan penelitian. Hasil penelusuran menunjukkan bahwa daerah yang terdampak likuifaksi memiliki struktur tanah lanau jenuh hingga berpasir. Selain itu, faktor pemicu terjadinya likuifaksi yakni akibat adanya aktivitas sesar Palu-Koro dimana deformasi struktur sesar memiliki arah mendatar yang mengakibatkan likuifaksi mengikuti arah sesar (patahan) pada areal Kabupaten Sigi bagian utara dan Kota Palu bagian selatan. Dengan kejadian ini dapat menjadi pelajaran bagi mitigasi bencana untuk meminimalkan resiko kerusakan dampak likuifaksi pada daerah yang berpotensi, antara lain dengan menggunakan metode *stone column* dan sosialisasi pengenalan mitigasi bencana likuifaksi sebagai bekal bagi masyarakat daerah berpotensi sesuai dengan peta zona kerentanan likuifaksi di Indonesia.

1. Pendahuluan

Berbagai macam bencana telah melanda Indonesia, baik dari pengaruh faktor alam maupun nonalam. Dalam Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 yang menjelaskan tentang penanggulangan bencana mendefinisikan bahwa bencana adalah suatu kejadian atau serangkaian kejadian yang berdampak serta mengancam kehidupan manusia baik karena faktor alam, nonalam maupun faktor dari manusia itu sendiri, sehingga menimbulkan korban jiwa, kehilangan harta benda, hingga pengaruh pada psikologis manusia. Bencana alam merupakan fenomena yang bersifat merusak serta memberi dampak yang merugikan bagi populasi manusia.

Secara geologis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik besar yang memberikan dampak yang besar pula bagi Indonesia. Lempeng-lempeng yang dimaksud adalah lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Lempeng-lempeng tersebut selalu bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda, sehingga dapat terjadi tumbukan sewaktu-waktu. Tumbukan ini biasa dikenal dengan fenomena gempa.

Gempa bumi adalah salah satu peristiwa alam akibat kegiatan manusia maupun kejadian alam (Pujianto, 2007). Peristiwa gempabumi terjadi tidak hanya karena adanya fenomena dinamika bumi berupa tumbukan antar lempeng, melainkan dapat juga terjadi karena aktivitas gunung berapi maupun akibat meteor jatuh. Di Indonesia, gempa yang paling sering terjadi adalah gempabumi tektonik. Gempa ini terjadi karena adanya getaran akibat patahan batuan dari tumbukan antar lempeng secara perlahan. Pada kondisi seperti ini, energi akibat getaran yang dihasilkan melebihi kemampuan batuan. Gempabumi memberikan dampak yang merugikan bagi kehidupan manusia, salah satu dampaknya adalah kerusakan pada bangunan. Perbedaan tingkat kerusakan bangunan pasca gempa dapat mengindikasikan kondisi lapisan tanah dapat memberi pengaruh nyata terhadap karakteristik gelombang seismik.

Menurut catatan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), gempabumi tektonik bermagnitudo 7,4 berpusat 26 km di Utara Kabupaten Donggala, Sulawesi Tengah pada 28 September 2018. Gempa disusul dengan tsunami yang melanda pantai Barat pulau Sulawesi dengan ketinggian hampir mencapai 6 meter. Pada 29 September 2018, masyarakat dikejutkan dengan fenomena likuifaksi. Likuifaksi merupakan fenomena dimana pasir maupun lanau jenuh kehilangan kekuatannya akibat tegangan air pori yang timbul karena adanya guncangan secara terus-menerus, salah satunya yakni gempabumi.

Fenomena likuifaksi berhubungan dengan kegagalan tanah. Dampak yang ditimbulkan sangat merugikan, salah satu contohnya adalah rusaknya bangunan. Tidak hanya merusak, likuifaksi juga dapat mengubur suatu wilayah. Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah dalam mencari titik terang dari fenomena ini, salah satunya dengan melakukan mitigasi bencana likuifaksi. *Stone column* adalah salah satu metode yang dapat diterapkan guna sebagai upaya mitigasi bencana likuifaksi. *Stone column* adalah susunan material berupa kerikil maupun kerakal yang tertanam dalam lanau jenuh sebagai penambah daya dukung tanah.

2. Another section of your paper (Metode)

Metode penelitian yang digunakan adalah metode studi literatur dengan meringkas beberapa artikel dengan topik seputar fenomena likuifaksi di Sulawesi Tengah. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan pengumpulan, membaca, mencatat, dan mengelolah data pustaka sebagai bahan penelitian (Zed, 2008). Dengan kata lain, studi literatur merupakan suatu cara dalam menyelesaikan permasalahan dengan menelusuri sumber-sumber tulisan terkait yang sudah pernah dibuat sebelumnya. Studi literatur bertujuan untuk mengungkapkan teori yang relevan dengan pokok permasalahan sebagai rujukan dalam proses pembahasan hasil penelitian.

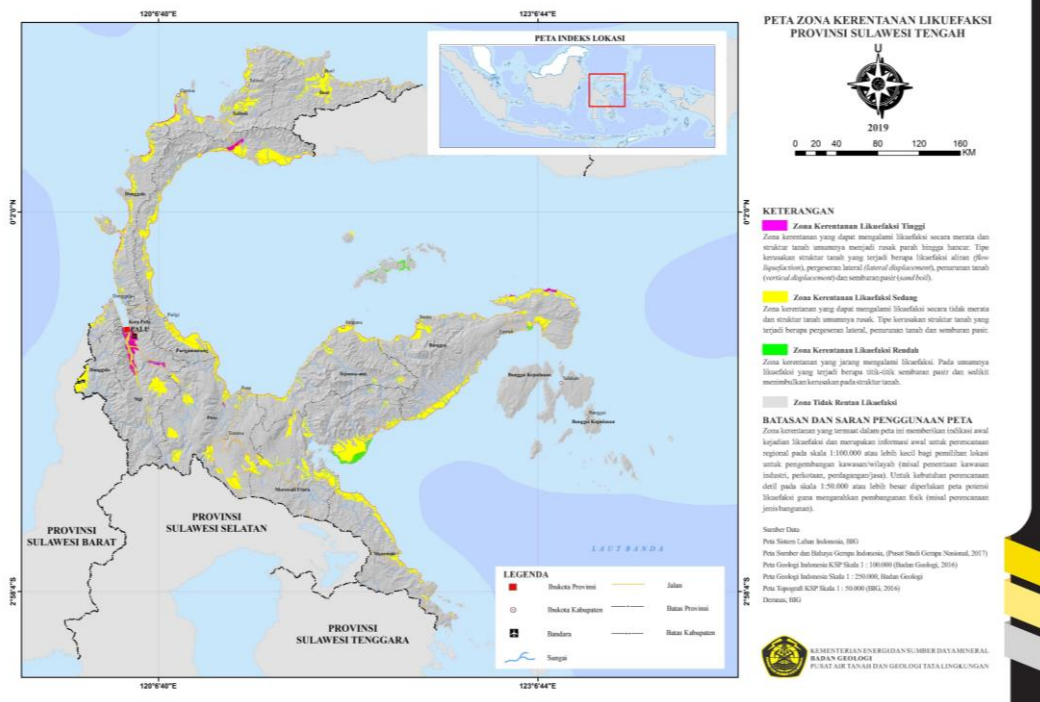
3. Another section of your paper (Data dan Analisa)

3.1. Fenomena Likuifaksi di Sulawesi Tengah

Fenomena likuifaksi di Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 mengundang perhatian dunia. Hal ini karena fenomena likuifaksi merupakan peristiwa yang jarang terjadi dan bersifat masif hingga menimbulkan kerusakan yang sangat parah serta korban jiwa. Menurut catatan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), pada 28 September 2018 pukul 17.02.44 WIB, gempa tektonik bermagnitudo 7,4 dengan kedalaman 11 km berpusat di lokasi 0.18 LS dan 119.85 BT memiliki jarak 26 km dari Utara Donggala Sulawesi Tengah. Tidak lama setelah itu gempabumi disusul tsunami setinggi hampir enam meter dengan kecepatan 800 km/jam menghantam Pantai Talise, pantai barat pulau Sulawesi.

Pada 29 September 2018, masyarakat Kembali dikejutkan dengan fenomena aneh yaitu pencairan tanah. Pencairan tanah atau likuifaksi merupakan fenomena dimana pasir dan lanau jenuh kehilangan kekuatannya akibat guncangan secara intens. Likuifaksi terjadi di Kabupaten Sigi bagian utara tepatnya di Desa Jono Oge dan Desa Sidera serta kawasan Kota Palu bagian selatan tepatnya di Kelurahan Petobo. Kawasan Kelurahan Petobo mengalami kerusakan terparah dengan ratusan rumah ditelan bumi. Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang dapat disebabkan oleh buatan/akibat kegiatan manusia maupun akibat peristiwa alam. Penyebab gempabumi antara lain berupa dinamika bumi (tektonik),

aktivitas gunung berapi, meteor jatuh maupun longsor dan ledakan di bawah permukaan. Di Indonesia gempa bumi tektonik yang paling sering terjadi, dimana merupakan getaran akibat peristiwa pematahan batuan karena adanya benturan dua lempeng secara perlahan dimana energi yang dihasilkan melebihi dari kemampuan kekuatan batuan.



Gambar 1. Peta Zona Kerentanan Likuefaksi Provinsi Sulawesi Tengah

Source: *Atlas Zona Kerentanan Likuefaksi Indonesia*

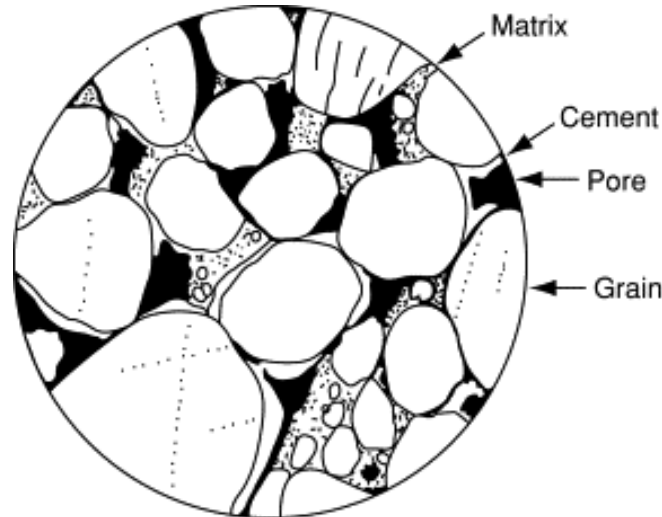
Menurut peta Atlas Zona Kerentanan Likuefaksi Indonesia, menunjukkan bahwa daerah Selatan Kota Palu dan Utara Kabupaten Sigi memiliki kerentanan tinggi terhadap fenomena likuefaksi. Pulau Sulawesi memiliki sesar atau patahan yang dikenal sebagai sesar Palu-Koro. Pemicu likuefaksi yang terjadi di Sulawesi Tengah salah satunya adalah gempabumi akibat aktivitas sesar Palu-Koro hasil deformasi dengan pergerakan struktur sesar yang mendatar (*slake-slip*). Sesar Palu-Koro adalah sesar aktif utama di Pulau Sulawesi (Bellier et al., 2001). Pergerakan sesar Palu Koro merupakan pergerakan sesar terbesar kedua di Indonesia setelah sesar Yapen, Papua Barat. Menurut penelitian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), sesar Palu-Koro mengalami pergeseran membelah Pulau Sulawesi dengan kecepatan sekitar 30 hingga 40 milimeter pertahunnya. Pergerakan likuefaksi mengikuti jalur sesar dengan pergerakan mengiri (sinistral).

3.2 Karakteristik Struktur Tanah

Secara geologis, pulau Sulawesi terbentuk dari proses tektonik yang cukup rumit. Pulau Sulawesi merupakan perpaduan dua rangkaian orogen, yakni busur kepulauan Asia Timur dengan pegunungan Sunda. Hal inilah yang menyebabkan hampir seluruh bagian pulau Sulawesi terdiri dari pegunungan sekaligus menjadi daerah paling berpegunungan di antara pulau lain yang ada di Indonesia (Sutarji, 2006).

Pada fenomena likuefaksi beberapa daerah di Sulawesi Tengah, tanah yang semula padat berubah menjadi fluida dengan pergerakan mengalir sehingga tanah tidak mampu menopang beban yang berada di atasnya dan menyebabkan amblasnya bangunan-bangunan, hingga dalam posisi miring ataupun longsor (Muntohar, 2010). Fenomena ini sering terjadi pada tanah berpasir maupun lanau jenuh. Pada

salah satu daerah terdampak likuifaksi di Desa Jono Oge memiliki tekstur tanah yang tergolong lempung hingga pasir berlempung [1]. Sifat fisik tanah pada daerah terdampak likuifaksi berasal dari batuan Kuarter Aluvium atau yang biasa dikenal tanah aluvial yang tergolong masih muda. Pada struktur tanah lapisan atas terdiri dari tanah berpasir, lapisan tengah terdiri dari lanau jenuh, dan liat berada di lapisan bawah.



Gambar 2. Kerangka Butiran Batu Pasir

Komponen butiran batu pasir terdiri atas bulir, matriks, semen, dan pori-pori. Kerangka butiran batu pasir biasanya terdiri dari berbagai jumlah mineral kuarsa. Pasir lepas merupakan jenis tanah yang tidak memiliki ikatan antar butiran serta memiliki kecenderungan untuk memampat ketika mengalami tegangan.

Seperti gambar 2, bagian yang berwarna hitam sebagai porositas atau pori-porinya. Dari struktur kerangka, butiran batu pasir sangat potensial sebagai jalur lintasan air. Pada saat kondisi gempa, getaran mengakibatkan air masuk ke lapisan tanah. Dengan komposisi tanah berpasir, ketika tanah bercampur dengan air lalu terjadi gempa, maka tanah akan kehilangan kekuatan untuk menopang benda-benda yang ada di atasnya sehingga mengakibatkan banyak rumah yang ditelan bumi. Umumnya, fenomena likuifaksi didahului dengan naiknya lapisan pasir ke permukaan tanah. Hal ini terjadi karena air yang masuk ke lapisan tanah naik akibat tegangan pori-pori membawa material pasir ke atas permukaan.

3.3 Mitigasi bencana likuifaksi

Sesar Palu Koro adalah daerah rawan gempa dengan kemampuan mitigasi yang sangat minim (Sutopo, 2019). Mitigasi adalah suatu upaya yang bertujuan untuk mengurangi dampak dari bencana alam maupun nonalam bagi masyarakat dan bangsa (Carter, 1992). Fenomena likuifaksi yang pernah terjadi di Sulawesi Tengah menjadi kekhawatiran bagi masyarakat. Mitigasi bencana akan sangat membantu mengurangi kekhawatiran masyarakat, salah satu upaya mitigasi adalah dengan metode *stone column*.

Stone Column (tiang batu) adalah salah satu upaya mitigasi bencana likuifaksi dengan metode perbaikan tanah pada kategori *reinforcement* atau perkuatan tanah. *Stone Column* merupakan suatu metode pembuatan kolom pada tanah lunak kohesif maupun non-kohesif lepas dengan memasukkan material granular seperti kerikil maupun krakal menggunakan *vibro probe* sebagai teknik untuk meningkatkan konsolidasi tanah. *Stone Column* dinilai efektif untuk perbaikan tanah yang luas dan membutuhkan daya dukung tanah yang cukup besar seperti daerah pasca likuifaksi. Selain berfungsi sebagai drainase yakni peredam tekanan air pori penyebab likuifaksi, *stone column* juga dapat meningkatkan respon ketahanan terhadap bencana likuifaksi.



Gambar 3. *Stone Column Menggunakan Teknik Vibro Replacement*

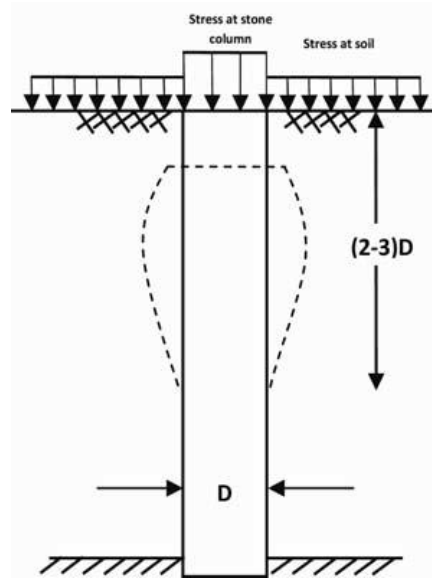


Gambar 4. *Stone Column Menggunakan Teknik Vibro Displacement*

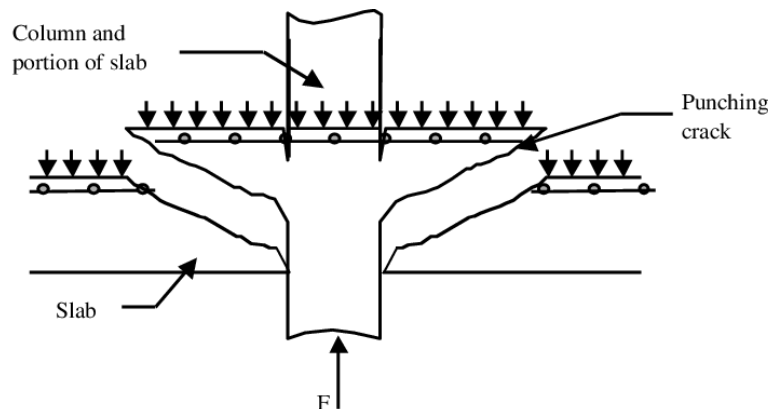
Pada proses konstruksi *stone column* terdapat dua teknik, yaitu *vibro replacement* dan *vibro displacement*. Teknik *vibro replacement* (*wet method*) memanfaatkan air dengan kecepatan tinggi (*water jetting*) untuk membuat lubang untuk diisi material granular yang dipadatkan. Teknik ini sangat cocok untuk tanah kohesif yang berlapis-lapis. Teknik *vibro replacement* akan sangat efektif untuk tanah kohesif dengan muka air tanah yang tinggi karena proses penggetarannya lebih dalam. Beda dengan teknik *vibro replacement*, pada teknik *vibro displacement* (*dry method*) tidak menggunakan *water jetting*, melainkan hanya membuat lubang menggunakan *vibro probe* lalu material granular dipadatkan pada lubang tersebut. Teknik ini lebih cocok diterapkan pada tanah yang relatif keras dengan muka air tanah yang relatif rendah (FHWAA, 1983). Kondisi lokasi juga akan mempengaruhi penggunaan metode, jika terdapat sumber air maka dapat dilakukan *wet method*. Namun apabila tidak ada sumber air maka dapat menggunakan metode konvensional (*dry method*).

Namun dibalik keefektifan metode *vibro replacement* dan *vibro displacement*, terdapat potensi kegagalan yakni *bulging failure* dan *punching failure*. *Bulging Failure* adalah kegagalan akibat

deformasi lateral pada kolom sehingga kolom membengkak. Sedangkan *punching failure* adalah kegagalan akibat pergeseran kolom secara vertikal ke bawah karena tegangan geser antara sisi kolom dan sisi tanah.



Gambar 5. Bulging Failure



Gambar 6. Punching Failure

Upaya lain untuk meminimalisir dampak kerugian pasca bencana adalah sosialisasi mitigasi bencana likuifaksi pada masyarakat sejak dini. Hal ini dapat dilakukan dengan cara melakukan sosialisasi mitigasi bencana likuifaksi sesuai dengan peta kerentanan likuifaksi yang ada di Indonesia. Kegiatan ini bertujuan untuk membekali masyarakat dengan pengetahuan mengenai potensi bencana serta memberikan alternatif mitigasi bencana berbasis masyarakat yang waspada, responsif dan tangguh akan bencana (Emosda et al., 2014).

4. Kesimpulan

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa fenomena likuifaksi yang terjadi pada beberapa daerah di Sulawesi Tengah merupakan dampak dari gempabumi, aktivitas sesar Palu-Koro dan karakteristik tanah pada daerah itu sendiri. Struktur sesar Palu-Koro yang mendatar menyebabkan arah aliran likuifaksi mendatar pula mengikuti arah sesar. Karakteristik tanah yang berpasir memberi rongga untuk air masuk kedalam lapisan tanah. Sehingga saat terjadi gempa, tanah

dan air menyatu, maka terjadilah fenomena likuifaksi yang berhasil menenggelamkan ratusan bangunan. Upaya mitigasi bencana likuifaksi yang dapat dilakukan adalah dengan metode *stone column*, yakni metode mengisi dan mencampurkan krikrikril maupun krakal ke dalam kolom tanah guna meningkatkan kekuatan tanah. Upaya mitigasi lain yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan sosialisasi mitigasi bencana likuifaksi kepada masyarakat daerah rawan likuifaksi. Hingga saat ini, masih minim sekali penelitian yang membahas tentang karakteristik struktur tanah dan mitigasi bencana likuifaksi. Dengan adanya penelitian ini, dapat mendorong penelitian lebih lanjut serta pengembangan lebih lanjut terkait dengan penelitian ini.

References

- [1] Akbar W dan Danang W 2020 *Agrotekbis:e-J. Ilmu Pertan.* **8 (1)** 64 – 70
- [2] Buana T W, dkk. 2019. *Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia*. Bandung: Badan Geologi
- [3] Rochdi E H, dkk 2006 *Composite Structures* **72** 69 – 78
- [4] Setiawan H dan Sigit K 2021 *Inersia: J. Teknik Sipil* **13 (1)** 1 – 7
- [5] Warman H dan Jumnas D Y 2013 *J. Rekayasa Sipil* **9 (2)** 1-19
- [6] Herni T S, Octavianus H A, dan Poli H 2019 *J. Spasial* **6 (2)** 432-439
- [7] Farichah H 2021 *Agregat* **6 (1)** 499 – 504
- [8] Hutabarat L E, Simanjuntak P, dan Tampubalon S. 2019 *J. Comunita Servizio* **1 (2)** 208 – 222
- [9] Iskandar, dkk 2016 *J. Online Inst. Teknologi Nas.* **2 (1)** 107-118
- [10] Javad N dan Mahmoud G 2014 *International J. Of Civ. Engineering* **12 (1)**
- [11] Rakhmawan M U, Sutaryono dan Setiowati 2019 *J. Tunas Agraria* **2 (3)**
- [12] Reny W, dkk 2020 *J. Harmoni* **4 (1)**
- [13] Ramadhani S 2011 *J. Tek. Sipil Infrastruktur* **1 (2)** 111-119
- [14] Supartoyo, Sulaiman C dan Junaedi D 2014 *J. Lingkung. dan Bencana Geologi* **5 (2)** 111 – 128
- [15] Supriyono, Guntar D, Edwar, Zarin, dan Sugandi W 2018 *J. Bagimu Negeri* **2 (1)** 59 – 68
- [16] Hardy T, Nurdianto B, Ngadmanto D, dan Susilanto P 2015 *J. Meteorologi dan Geofisika* **16 (1)** 47 – 56
- [17] Wahyu B 2020 *Maj. Ilm.Swara Putra* **10 (2)**