



Pemanfaatan Teknologi Modifikasi Cuaca sebagai Upaya Penanggulangan Bencana Hidrometeorologi di Indonesia



Magdalena Sidauruk^{1,*}, Herlina Juni Risma Saragih², Sugeng Tri Utomo²,
Pujo Widodo², Kusuma²

¹ Mahasiswa Program Studi Manajemen Bencana, Universitas Pertahanan, Jakarta 10440

² Dosen Program Studi Manajemen Bencana, Universitas Pertahanan, Jakarta 10440

*E-mail: magdalena.sidauruk27@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.33369/pendipa.7.2.195-200>

ABSTRACT

[Utilization of Weather Modification Technology as an Effort for Mitigate Hydrometeorological Disasters in Indonesia] Indonesia is a country prone to hydrometeorological disasters. BNPB notes that every year Indonesia's disasters are dominated by hydrometeorological disasters, namely floods, landslides, extreme weather, karhutla and drought. The hydrometeorological disaster in Indonesia resulted in quite large economic losses. The application of TMC (Weather Modification Technology) in Indonesia has had good success. This research uses a qualitative approach with a descriptive method based on the description of the results of research that has been done previously regarding Weather Modification Technology in overcoming hydrometeorological disaster efforts in Indonesia. TMC's efforts in tackling forest and land fires in 2020 and 2021 in provinces that are prone to forest fires are carried out during the rainy season transition period before the start of the dry season. Implementation of TMC in a timely manner, can shorten the time of forest and land fires in a number of areas that have high vulnerability, so that the number of karhutla incidents can be optimally suppressed. Flood control efforts in Jakarta in 2013 with TMC were carried out for 33 days in 2013 with two methods, namely the jumping process mechanism method and the competition mechanism method with the aim of accelerating the rain process before it arrives in Jakarta. The results from the TMC were a 20-50% reduction in rain in Jakarta. The application of TMC for drought management on plantations in 2014 in Riau, Central Kalimantan and North Sumatra for 120 days resulted in an additional rainfall of 198 mm/year, for the Central Kalimantan region by 254 mm/year and for the North Sumatra region by 233 mm/year. Disaster management efforts using TMC are considered effective in Indonesia. This effort is a reference for the government and policy makers for the prevention of hydrometeorological disasters in Indonesia..

Keywords: *Weather modification technology, hydrometeorological disasters, floods, forest and land fires, drought.*

ABSTRAK

Indonesia adalah negara rentan terhadap bencana hidrometeorologi. BNPB mencatat setiap tahunnya bencana Indonesia didominasi bencana hidrometeorologi yaitu banjir, tanah longsor, cuaca ekstrem, karhutla dan kekeringan. Bencana hidrometeorologi di Indonesia mengakibatkan kerugian ekonomi yang cukup besar. Penerapan TMC (Teknologi Modifikasi Cuaca) di Indonesia memiliki keberhasilan yang baik. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif berdasarkan deskripsi dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai Teknologi Modifikasi Cuaca dalam mengatasi upaya bencana hidrometeorologi di Indonesia. Upaya TMC dalam penanggulangan bencana karhutla tahun 2020 dan 2021 di provinsi yang rentan karhutla dilaksanakan pada masa transisi musim hujan menjelang masuknya musim kemarau. Pelaksanaan TMC pada waktu yang tepat, dapat mempersingkat waktu kebakaran hutan dan lahan di sejumlah wilayah yang memiliki kerentanan tinggi, sehingga jumlah kejadian karhutla dapat ditekan secara optimal. Upaya penanggulangan banjir di Jakarta tahun 2013 dengan TMC dilaksanakan selama 33 hari pada tahun 2013 dengan dengan dua metode yaitu

metode mekanisme proses lompatan (jumping process mechanism) dan metode mekanisme persaingan (competition mechanism) dengan tujuan mempercepat proses hujan sebelum tiba di Jakarta. Hasil dari TMC terjadi pengurangan hujan sebesar 20-50% di Jakarta. Penerapan TMC untuk penanggulangan bencana kekeringan pada perkebunan tahun 2014 di Riau, Kalimantan Tengah dan Sumatera Utara selama 120 hari didapatkan penambahan curah hujan sebesar 198 mm/tahun, wilayah Kalimantan Tengah sebesar 254 mm/tahun dan wilayah Sumatera Utara sebesar 233 mm/tahun. Upaya penanggulangan bencana menggunakan TMC dinilai efektif di Indonesia. Upaya ini rujukan bagi pemerintah dan pengambil kebijakan untuk pencegahan bencana hidrometeorologi di Indonesia.

Kata kunci: Teknologi Modifikasi Cuaca, bencana hidrometeorologi, banjir, karhutla, kekeringan.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara rentan terhadap bencana hidrometeorologi. Negara kepulauan yang berada di wilayah khatulistiwa dengan iklim tropis dan berada diantara samudera hindia dan pasifik serta diantara Benua Asia dan Australia memiliki peluang besar terjadinya cuaca ekstrem yang dapat mengakibatkan bencana hidrometeorologi di Indonesia (Aldrian et al., 2011). Data BNPB mencatat setiap tahunnya bencana Indonesia didominasi bencana hidrometeorologi yaitu banjir, tanah longsor, cuaca ekstrem, karhutla dan kekeringan (Adi et al., 2022).

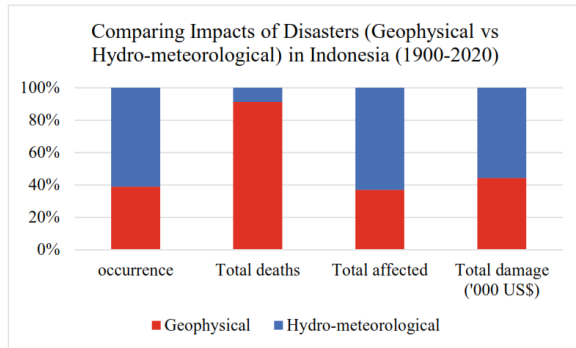
Bencana hidrometeorologi dipengaruhi oleh rusaknya sistem hidrologi, sehingga kondisi iklim dan air di permukaan bumi menjadi terganggu atau tidak stabil (Hermon, 2012). Bencana hidrometeorologi menyebabkan ketidakseimbangan siklus hidrologi yang mendukung ketidakseimbangan persediaan air bagi kebutuhan makhluk hidup. Akibatnya muncul bencana lain seperti kekeringan, banjir, tanah longsor, kebakaran hutan dan cuaca ekstrem hingga berdampak pada kesejahteraan makhluk hidup.

Bencana hidrometeorologi di Indonesia juga disebabkan adanya perubahan kondisi lingkungan, perubahan iklim bahkan gangguan cuaca seperti LaNina, ElNino, Munsoon, siklon tropis dan gangguan cuaca lainnya. Variabilitas curah hujan di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai fenomena iklim berskala besar, salah satunya El Nino Southern Oscillation (ENSO). Pengaruh ENSO dapat menyebabkan kekeringan yang mengakibatkan kebakaran hutan dan lahan (Prayoga et al., 2020) Pada saat curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan banjir dan

tanah longsor di Indonesia. Hingga saat ini banjir masih menjadi perhatian utama banyak negara di dunia. Berbagai upaya telah dilakukan untuk pencegahan namun masalah banjir semakin diperparah dengan perubahan iklim global. (Rosyida et al., 2019). Perubahan iklim saat ini menyebabkan peningkatan bencana hidrometeorologi dari tahun ke tahun. Pengaruh iklim global ini mempengaruhi persediaan air di bumi. Cadangan air akan berkurang disebabkan oleh kehilangan kemampuan lahan untuk menyimpan air sehingga pada musim hujan air kehilangan *run off* untuk mengalirkan air ke permukaan dan pada musim kemarau kondisi lahan akan kering. Kondisi ini berpotensi menimbulkan bencana longsor, banjir dan banjir bandang pada musim hujan serta kekeringan dan erosi pada musim kemarau. Akibatnya terdapat potensi berkurangnya keberlangsungan kehidupan bagi makhluk hidup untuk bertahan.

Bencana hidrometeorologi di Indonesia mengakibatkan kerugian ekonomi yang cukup besar (Rosyida et al., 2019). Pada tahun 2016, kerugian ekonomi akibat banjir dan kebakaran hutan/lahan mencapai 2,5 miliar dolar AS. Biaya rehabilitasi kerusakan infrastruktur akibat banjir yang terjadi pada 2016 mencapai 275 juta US\$. Ada juga peningkatan risiko kenaikan permukaan laut yang akan mengancam pulau-pulau kecil dan masyarakat yang tinggal sangat dekat dengan pantai. Bencana menghambat kemajuan pembangunan di negara ini dan dampak perubahan iklim diperkirakan akan semakin parah di masa depan. Bencana terkait iklim terjadi lebih sering, mempengaruhi lebih banyak orang, dan menyebabkan 60% kerusakan ekonomi. Ada 142 bencana, menyebabkan 243.704 kematian, mempengaruhi 32,1 juta orang, dan menelan biaya 33,7 Miliar USD

antara tahun 1900 dan 2019 di Indonesia. Gambar 1.1 menunjukkan dampak bencana, membandingkan bencana geofisika dan iklim antara tahun 1900 dan 2020 (Djalante et al., 2021)



Gambar 1.1 Perbandingan Dampak Bencana Hidrometeorologi dan Geofisika di Indonesia tahun 1900 -2020(Djalante et al., 2021)

Dampak yang ditimbulkan begitu besar akibat bencana hidrometeorologi, pemerintah melakukan berbagai upaya salah satunya dengan teknologi modifikasi cuaca. Upaya ini dianggap mampu membantu mengurangi dampak dengan menjatuhkan hujan sebelum jatuh ke wilayah tertentu (Seto et al., 2018). Penerapan TMC di Indonesia memiliki keberhasilan yang baik. TMC telah dilaksanakan sejak tahun 1979 dengan berbagai tujuan, yaitu penambahan curah hujan untuk mengatasi kekeringan, dan mengurangi kabut asap akibat kebakaran hutan dan lahan pengisian air waduk, irigasi, PLTA dan mengurangi kabut asap akibat kebakaran hutan dan lahan; mengurangi curah hujan untuk mengatasi banjir dan longsor. (Wirahma et al., 2014) Melalui penelitian ini, penulis mengkaji upaya TMC untuk penanggulangan bencana hidrometeorologi terutama pada saat banjir dan kekeringan. Penelitian ini bermanfaat sebagai pengembangan ilmu terutama bagi mahasiswa prodi manajemen bencana serta rekomendasi pengambilan kebijakan bagi pemerintah dan pelaku usaha.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode pengumpulan data dokumentasi berupa catatan peristiwa yang sudah berlalu seperti catatan pada buku-buku, tulisan, gambar, atau karya monumental dari seseorang

(Sugiyono, 2015). Analisis data dilakukan dengan metode deskriptif. Metode ini yaitu berupa teori atau argumen yang berasal dari pengamatan, studi literatur dari berbagai sumber dokumen seperti buku, artikel, dan majalah. Menganalisis tanpa menggunakan perhitungan numerik. Kesimpulan studi juga dikategorikan berdasarkan deskripsi dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai Teknologi Modifikasi Cuaca dalam mengatasi upaya bencana hidrometeorologi di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) adalah salah satu upaya meningkatkan curah hujan ke permukaan dengan mempercepat proses fisika dalam awan secara alami. Percepatan pada proses fisika didalam awan dibantu dengan menyemai bahan kimia seperti NaCL, AgI, CaCl₂ atau bahan lainnya pada awan sehingga proses tumbukan dan penggabungan (collision and coalescence) atau proses pembentukan es (ice nucleation) dapat terjadi. (Syarifullah & Nuryanto, 2016)

Penerapan TMC dikenal 2 (dua) metode cara penyemaian bahan semai ke dalam awan, yaitu metode dinamis menggunakan pesawat terbang yang dikenal metode mekanisme proses lompatan (jumping process mechanism) dan metode statis menggunakan sistem Ground Base Generator (GBG) yang dikenal metode mekanisme persaingan (competition mechanism) (Seto et al., 2013). Penyemaian dengan metode pesawat terbang dilakukan mengelilingi awan sambil menyemai bahan kimia. Metode GBG dengan menancapkan tiang tinggi yang berisi bahan kimia untuk disemai pada pohon di daerah pegunungan sehingga dapat memodifikasi awan-awan orografik. Kedua metode tersebut hanya dibedakan oleh wahananya saja, tetapi sama-sama bertujuan untuk melepaskan bahan semai yang bersifat higroskopik (menyerap air) ke dalam awan. Bahan higroskopis ini bekerja sebagai inti kondensasi yang bertugas memberikan efisiensi yang lebih tinggi pada proses tumbukan (coalescence) dan penggabungan (coalition) antara butir-butir uap air di atmosfer. Dengan sifatnya yang higroskopis tersebut, butir-butir uap air di awan akan lebih

direkatkan (Tessendorf et al., 2012). Pada dasarnya uap air yang melayang terbawa angin di atmosfer memiliki radius yang sangat kecil dimana dengan proses tumbukan dan penggabungan, mereka tumbuh menjadi butir-butir yang besar hingga menjadi butir awan dan akhirnya menjadi butir hujan. Butir hujan adalah ukuran butir air dimana gaya gravitasi bumi telah mengalahkan gaya naik di awan (updraft) sehingga berat akibat gravitasi menyebabkan butir air tersebut jatuh dalam bentuk hujan dan keluar diantara celah dasar awan. Bahan semai yang biasa digunakan untuk melakukan modifikasi cuaca umumnya berupa garam (NaCl) dalam bentuk serbuk (powder) berukuran mikroskopik (Haryanto, 2000). Namun dalam perkembangannya, mengadopsi penggunaan bahan semai yang lebih mutakhir yaitu berupa flare dari hasil kerjasama riset internasional yang dirintis sejak tahun 2000 dengan institusi modifikasi cuaca kelas dunia seperti AI (Atmospheric Incorporated) dan WMI (Weather Modification Incorporated). Dalam operasionalnya, bahan semai jenis flare ini digunakan untuk kegiatan pelayanan di daerah Soroako (Sulawesi Selatan) dengan user PT. INCO Tbk, mengingat tidak semua user mampu membiayai operasional dengan bahan semai jenis flare karena biayanya yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan bahan semai konvensional berupa serbuk garam. (Akhmad et al., 2012). TMC merupakan salah satu solusi teknis untuk menanggulangi bencana yang ditimbulkan karena adanya penyimpangan iklim/cuaca seperti misalnya kekeringan dan hujan lebat yang dapat mengakibatkan banjir.

a. Pemanfaatan TMC dalam upaya penanggulangan bencana karhutla

Pemanfaatan TMC berubah sejak bencana karhutla (kebakaran hutan dan lahan) yang terjadi berulang kali sebagai upaya pencegahan atauantisipasi. Upaya ini membutuhkan koordinasi antar kementerian/lembaga yang dikoordinir oleh KLHK selaku national focal point perubahan iklim di Indonesia dengan melakukan TMC pada masa transisi musim hujan menjelang masuknya musim kemarau untuk mengisi air tanah gambut dan menjaga tingkat kebasahan pada area lahan

gambut (rewetting). Kondisi kelembapan tanah pada area lahan gambut yang terjaga, dapat memperpendek periode kering di lahan gambut sehingga potensi terjadinya kebakaran di area lahan gambut akan semakin berkurang.

Pada tahun 2020, TMC dilaksanakan untuk pengendalian bencana karhutla di Provinsi Riau dan Sumatera Selatan. Sementara pada tahun 2021, TMC untuk pengendalian bencana karhutla dilaksanakan di Provinsi Riau, Sumatera Selatan, Jambi dan Kalimantan Barat. TMC ini dilaksanakan pada periode transisi musim hujan menjelang masuknya musim kemarau. Secara umum, curah hujan yang terukur dari hasil pelaksanaan TMC tahun 2020 dan 2021 pada provinsi rawan bencana karhutla di Pulau Sumatera dan Kalimantan lebih tinggi dibandingkan dengan curah hujan hasil prediksi BMKG maupun curah hujan historisnya.

Pemanfaatan TMC telah menunjukkan hasil yang bagus dalam upaya penanganan bencana karhutla di Indonesia. Setelah kejadian karhutla tahun 2015, pelaksanaan TMC dimulai lebih awal saat periode transisi musim hujan, untuk mengoptimalkan potensi hujan yang ada serta menjaga kebasahan dan memberikan simpanan air cadangan di lahan gambut hingga musim kemarau. Pelaksanaan TMC di waktu yang tepat, dapat mempersingkat waktu kebakaran hutan dan lahan di sejumlah wilayah yang memiliki kerentanan tinggi, sehingga jumlah kejadian karhutla dapat ditekan secara optimal. Hal ini menunjukkan manajemen risiko bencana karhutla di Indonesia sudah mulai memperlihatkan hasil. (Harsoyo & Athoillah, 2022)

b. Pemanfaatan TMC untuk penanggulangan bencana banjir

Pelaksanaan TMC untuk upaya penanggulangan bencana banjir di Jakarta tahun 2013. Teknologi modifikasi cuaca dilaksanakan selama 33 hari sejak tanggal 26 Januari sampai 27 Februari 2013. TMC dilakukan dengan 2 metode yaitu metode mekanisme proses lompatan (jumping process mechanism) dan metode mekanisme persaingan (competition mechanism). Metode mekanisme proses

lompatan (jumping process mechanism) dilakukan penyemaian NaCl kedalam awan dengan Pesawat Hercules A-1323 dan CASA 212-200 U-616 untuk mempercepat proses hujan pada awan Cumulus sebelum tiba di Jakarta. Metode mekanisme persaingan (competition mechanism) bertujuan untuk mengganggu proses fisika awan konvektif di wilayah sekitar Jakarta menggunakan GBG (Ground Base Generator) dengan membakar bahan semai dalam flare menggunakan wadah penyemaian di darat. Total bahan semai NaCl sebanyak 201,8 ton dan 486 batang flare GBG sistem dibakar di 14 lokasi, dan GBG sistem larutan di 9 lokasi. Hasil dari TMC terjadi pengurangan hujan sebesar 20-50% di Jakarta. Secara umum banjir di Jakarta dapat diminimalisir dengan baik oleh TMC disaat terdapat gangguan cuaca secara global dan regional yang memicu terjadinya pertambahan hujan di wilayah Jakarta. (Seto et al., 2013)

c. Pemanfaatan TMC untuk penanggulangan bencana kekeringan pada perkebunan

Kelapa sawit adalah salah satu sumber devisa terbesar bagi Indonesia. Tanaman ini sebenarnya dapat beradaptasi pada kondisi air yang kurang, namun tetap akan mengalami kekurangan air pada musim kemarau yang berkepanjangan. Salah satu upayanya dengan melakukan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC). Simulasi proyeksi curah hujan dengan skenario pelaksanaan TMC selama 120 hari dilakukan di wilayah Riau, Kalimantan Tengah dan Sumatera Utara pada bulan April - Mei 2014 dan Agustus - September 2014. Berdasarkan hasil simulasi curah hujan untuk wilayah Riau akan didapatkan penambahan curah hujan sebesar 198 mm/tahun, wilayah Kalimantan Tengah sebesar 254 mm/tahun dan wilayah Sumatera Utara sebesar 233 mm/tahun. (Wirahma et al., 2014)

KESIMPULAN

Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis yang rawan bencana hidrometeorologi seperti banjir, kekeringan serta kebakaran hutan dan lahan. Bencana yang telah terjadi di Indonesia dapat menimbulkan dampak kerugian infrastruktur, ekonomi, kesehatan hingga korban jiwa. Berbagai upaya dapat dilakukan untukantisipasi pengurangan resiko

bencana, salah satunya Teknologi Modifikasi Cuaca. Upaya penanggulangan bencana menggunakan teknologi modifikasi Cuaca dinilai efektif di Indonesia. Upaya yang telah dilakukan untuk penanggulangan bencana hidrometeorologi seperti banjir, kebakaran hutan dan lahan, kekeringan dalam penelitian yang dilakukan sebelumnya dinilai berhasil. Teknologi modifikasi cuaca dapat menekan dan menambah curah hujan terutama di Indonesia. Ketika musim hujan, upaya untuk mengurangi dampak bencana banjir, TMC dapat dilaksanakan dengan menjatuhkan hujan di wilayah jauh dari lokasi rawan bencana banjir. Saat musim kekeringan tiba, TMC dapat dijadikan solusi untuk menurunkan hujan di lokasi kekeringan. Proses pelaksanaan TMC harus didukung kondisi atmosfer yang tepat dimana dibutuhkan awan konvektif yang tepat untuk disemai agar hujan dapat jatuh. Penggunaan media TMC seperti pesawat Hercules, Cassa dan media Ground Base Ground (GBG) harus menyesuaikan kondisi atmosfer dan topografi lokasi dilaksanakan TMC. Oleh sebab itu perlu adanya kerjasama antar instansi dan pakar pengetahuan di bidang TMC untuk dilakukan penelitian dan survei terdahulu di lokasi penelitian agar TMC berhasil sesuai harapan.

Teknologi Modifikasi Cuaca dapat dijadikan rujukan bagi pemerintah dan pengambil kebijakan untuk pencegahan bencana hidrometeorologi di Indonesia. TMC juga merupakan solusi bagi proyek pembangunan di Indonesia agar pembangunan dapat selesai tepat waktu disaat Indonesia dilanda musim hujan atau solusi pembangunan seperti pembuatan waduk yang membutuhkan air sehingga perlu dilakukan TMC. Pemanfaatan TMC membutuhkan anggaran yang besar dan ruang lingkup yang cukup luas. Pelaksanaan TMC tidak hanya berdampak di lokasi tujuan namun hingga di lokasi sekitarnya. Untuk mendukung upaya ini perlu pelibatan berbagai instansi pemerintah dan pelaku usaha untuk mengurangi dampak bencana hidrometeorologisekaligus mensukseskan usaha yang dijalani seperti kelapa sawit, karet, usaha perkebunan, pertanian, proyek pembangunan serta usaha lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Adi, A. W., Shalih, O., Shabrina, F. Z., Rizqi, A.,

- Putra, A. S., Karimah, R., Eveline, F., Alfian, A., Syauqi, Septian, R. T., Widiastomo, Y., Bagaskoro, Y., Dewi, A. N., Rahmawati, I., & Seniarwan. (2022). Indeks Risiko Bencana Indonesia Tahun 2021. *Pusat Data, Informasi Dan Komunikasi Kebencanaan BNPB*, 16.
- Akhmad, A. H., Bayuadji, G., Bina, D., Sumber, P., Air, D., Jenderal, D., & Daya, S. (2012). Efektifitas penerapan teknologi modifikasi cuaca (tmc) dalam rangka meningkatkan ketersediaan air di waduk untuk mengatasi krisis air1. In *Seminar Nasional Bendungan Besar dan RAT KNI-BB* (Issue April).
- Aldrian, E., Karmini, M., & Budiman. (2011). Adaptation and Mitigation of Climate Change in Indonesia (Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim di Indonesia). *Pusat Perubahan Iklim Dan Kualitas Udara BMKG*, 2, 174. www.bmkg.go.id
- Djalante, R., Jupesta, J., & Aldrian, E. (2021). Climate Change Research, Policy and Actions in Indonesia. In *Springer Climate*.
- Harsoyo, B., & Athoillah, I. (2022). Paradigma baru pemanfaatan teknologi modifikasi cuaca dalam upaya penanganan bencana kebakaran hutan dan lahan di indonesia. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 23(1), 1–9.
- Haryanto, U. (2000). Teknologi Modifikasi Cuaca yang Efektif dan Efisien. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 1, 9–10.
- Hermon, D. (2012). Mitigasi bencana hidrometeorologi. In *UNP Press* (Issue October 2013).
- Prayoga, M. B. R., Harsoyo, B., Arifian, J., & Fadillah, C. (2020). *The Application of Weather Modification Technology for Forest Fire Mitigation in Indonesia*.
- Rosyida, A., Nurmasari, R., Bnpb, S., Data Spasial BNPB, K., & Kunci, K. (2019). Analisis Perbandingan Dampak Kejadian Bencana Hidrometeorologi Dan Geologi Di Indonesia Dilihat Dari Jumlah Korban Dan Kerusakan (Studi: Data Kejadian Bencana Indonesia 2018). In *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana* (Vol. 10, Issue 1).
- Seto, T. H., Sakya, A. E., Prayoga, M. B. R., & Sunarto, F. (2018). Role of Weather Modification Technology in climate change adaptation: Indonesian case. *Regional Problems*, 21(3 (1)), 54–57.
- Seto, T. H., Sutrisno, Tikno, S., & Widodo, F. H. (2013). Pemanfaatan teknologi modifikasi cuaca untuk redistribusi curah hujan dalam rangka tanggap darurat banjir di provinsi dki jakarta dan sekitarnya. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 14(1), 1–11.
- Sugiyono. (2015). Metode penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D. In *Alfabeta*.
- Syaifullah, M. D., & Nuryanto, S. (2016). Pemanfaatan Data Satelit Gms Multi Kanal Untuk Kegiatan Teknologi Modifikasi Cuaca. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(2), 47.
- Tessendorf, S. A., Brintjes, R. T., Weeks, C., Wilson, J. W., Knight, C. A., Roberts, R. D., Peter, J. R., Collis, S., Buseck, P. R., Freney, E., Dixon, M., Pocerich, M., Ikeda, K., Axisa, D., Nelson, E., May, P. T., Richter, H., Piketh, S., Burger, R. P., ... McRae, D. (2012). The Queensland cloud seeding Research Program. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(1), 75–90.
- Wirahma, S., Seto, T. H., & Athoillah, I. (2014). Pemanfaatan Teknologi Modifikasi Cuaca Untuk Perkebunan Kelapa Sawit. *J. Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 15(1), 39.