

KAJIAN DAMPAK PENGGUNAAN BAHAN SEMAI POWDER NaCl PADA KEGIATAN TEKNOLOGI MODIFIKASI CUACA TERHADAP KUALITAS AIR (STUDI KASUS : KEGIATAN TMC DTA TOBA PERIODE 17 OKTOBER – 16 NOVEMBER 2022)

The Impact of Using Powder Seeding Material NaCl in Weather
Modification Technology Activities on Water Quality
(Case Study: TMC DTA Toba Activities 17 October - 16 November 2022)

Rini Mariana S^{1)*}, Dwipa Wirawan¹⁾, Satyo Nuryanto¹⁾, Purwadi¹⁾, Ryan Pramana¹⁾, Budi Harsoyo¹⁾

¹⁾ Lab. Pengelolaan TMC, Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset dan Kawasan
SainsTeknologi - BRIN, Gedung Ir. Mohammad Soebagio, PUSPIPTEK, Tangerang Selatan

*Email: rini008@brin.go.id

Intisari

Bahan semai yang digunakan dalam kegiatan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) ada 2 jenis, yaitu: bahan semai suar CoSAT-1000 dan powder NaCl. Bahan semai ini diperoleh dari campuran unsur kimia yang efeknya cenderung berdampak terhadap kualitas air maupun lingkungan di wilayah pelaksanaan TMC. Sehingga dilakukan tinjauan status mutu air guna mengetahui dampak pencemaran yang mungkin timbul akibat pelaksanaan penyemaian awan dengan menggunakan bahan semai powder NaCl. Data yang digunakan adalah data kegiatan TMC dalam mengatasi defisit air di Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Toba pada tahun 2021 dan 2022. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa kegiatan TMC menggunakan bahan semai powder tidak signifikan mempengaruhi kualitas air hujan sungai maupun danau. Nilai konsentrasi kandungan unsur kimia pada air hujan selama kegiatan TMC jauh di bawah batas ambang mutu nasional kelas 1. Sama halnya dengan air sungai dan mata air yang nilai konsentrasi kadungan unsur kimia (kecuali fosfat) relatif berada di bawah batas ambang mutu nasional kelas 2. Sedangkan analisis kualitas air danau kategori cemar ringan terjadi pada periode 10 hari kegiatan TMC di pesisir Muara, dan pada periode 20 hari kegiatan TMC di pesisir Porsea. Sedangkan danau Toba di balige sebelum kegiatan TMC masuk dalam kategori cemar ringan. Kategori cemar ringan ini bertahan selama kegiatan TMC dan berubah menjadi cemar sedang setelah kegiatan TMC. Hal ini disebabkan karena tingginya konsentrasi kandungan fosfat dan klorida pada sampel air yang diukur.

Kata Kunci : Suar CoSAT-1000, Bahan Semai Powder NaCl, Kualitas Air, Indeks Pencemar

Abstract

There are 2 types of seeding materials used in the operational activities of Weather Modification Technology (TMC), namely: flare seeding material CoSAT-1000 and NaCl powder. This seeding material is obtained from a mixture of chemical elements whose effects tend to have an impact on water quality and the environment in the TMC implementation area. So that a review of water quality status was carried out to determine the impact of pollution that might arise due to the implementation of cloud seeding using NaCl powder seedling material. The data used is data on TMC activities in overcoming the water deficit in the Lake Toba Catchment Area (DTA) in 2021 and 2022. Based on the results of the analysis, it can be said that TMC activities using seedling powder do not significantly affect the quality of rain water, river and Toba lake. The concentration value of chemical elements in rain water during TMC activities is far below the national quality threshold limit of class 1. Similarly, river and spring water whose concentration value of chemical element content (except phosphate) is relatively below the national quality threshold limit of class 2. Meanwhile, the analysis of lake water quality in the light pollution category occurred in a 10-day period of TMC activities on the Muara, and in a 20-day period of TMC activities on the Porsea. While Lake Toba in Balige before TMC activities was included in the category of light pollution. This category of light contaminants persists during TMC activities and turns into moderate contaminants after TMC activities. This is due to the high concentration of phosphate and chloride content in the measured water sample.

Keywords : CoSAT-1000 Flare, Salt Micropowder, Water Quality, Water Pollution Index

1. PENDAHULUAN

Salah satu parameter cuaca yang menjadi faktor penyebab tingginya kejadian bencana hidrometeorologi di Indonesia adalah curah hujan. Intensitas hujan yang sangat kecil atau bahkan tidak ada dapat menyebabkan bencana hidrometeorologi kekeringan dan peningkatan kabut asap, sedangkan intensitas hujan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan bencana banjir dan tanah longsor. Salah satu upaya untuk mengurangi bencana hidrometeorologi adalah dengan mengendalikan curah hujan di Indonesia. Hal ini dapat dilakukan dengan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) atau dapat dikenal dengan istilah hujan buatan yang merupakan upaya manusia dengan memanfaatkan teknologi dalam prosesnya untuk memodifikasi kondisi cuaca hingga memperoleh hasil pengurangan atau penambahan intensitas hujan.


Proses modifikasi cuaca untuk dapat meningkatkan atau mengurangi intensitas hujan dapat dilakukan jika ada awan. Menurut Wallace dan Hobs (2006), berdasarkan level puncak awan dan prosesnya awan terbagi dua yaitu awan hangat dan awan dingin. Awan hangat merupakan awan yang puncaknya berada di bawah level titik beku 0°C, hanya mengandung butir air saja dan proses pertumbuhan butir awan melalui dua proses, yaitu proses kondensasi dan proses tumbukan dan penggabungan. Sedangkan awan dingin merupakan awan yang tumbuh hingga melampaui level titik beku (*freezing level*), mengandung air yang dikenal dengan sebutan *supercooled*

droplets dan partikel es. Awan di Indonesia cenderung merupakan awan hangat, sehingga proses modifikasi cuaca dapat memanfaatkan proses pertumbuhan awan di dalam awan hangat tersebut. Menurut Wallace dan Hobs (2006) teknik modifikasi cuaca dapat dilakukan dengan memasukkan tetesan air kecil (radius 30 µm) atau partikel higroskopis (misalnya NaCl) ke dasar awan; partikel-partikel ini kemudian akan tumbuh dengan kondensasi, dan dilanjutkan dengan proses tumbukan dan penggabungan.

Menurut Seto *et al.*, (2013) proses TMC di Indonesia dapat dilakukan dengan memasukan sejumlah partikel higroskopis yang dibawa dengan pesawat secara langsung ke dalam awan agar proses pengumpulan butiran tetes air di dalam awan segera di mulai. Pelepasannya bisa dilakukan di bawah dasar awan, atau bisa juga dilepas langsung ke dalam awan, yang penting dilakukan pada daerah *updraft*, dengan tujuan mempercepat proses pembesaran *cloud droplet* sehingga hujan akan turun lebih cepat dan proses yang terjadi lebih efektif.

Saat ini di Indonesia digunakan 2 jenis bahan semai penyemaian awan, berupa bubuk halus garam dengan diameter sekitar ±30-60µ (mikron), dan bahan semai *suar* yang berbentuk kemasan tabung dimana partikel higroskopis dilepaskan dalam format asap hasil pembakaran dengan ukuran partikel sekitar ±2,5 - 10µ(mikron). Perbandingan antara bahan semai powder dan suar CoSAT-1000 dapat dilihat pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Perbandingan bahan semai Powder dan Suar CoSAT-1000

No	Keterangan	Bahan Semai Powder	Suar Co SAT-1000
1	Bentuk	Bubuk halus	Partikel Higroskopis dipadatkan
2	Kemasan	Karung per 20 kg	Kemasan Tabung Kertas dengan dimensi Ø ±52mm; Panjang ± 330mm
3	Ukuran (µ)	30-60 µm	2,5-10µm (pada saat pembakaran)
4	Cara Pelepasan:	Pada punggung Awan di ketinggian sekitar ± 8.000-10.000 feet	Pada dasar awan di ketinggian sekitar ± 4.000-6.000 feet
5	Kandungan	Per kilogramnya terdiri dari 97% garam NaCl (Sodium Chloride) dan 3% anti gumpal layak konsumsi	Per batang (non kemasan) setara dengan 780 s.d.800 gram bahan kimia yang terdiri dari: a) NaCl (Sodium Chloride) sebanyak 12 % atau ± 90-100g sebagai partikel higroskopis. b) KClO ₄ (Potasium perChlorate) dan Magnesium (Mg) sebanyak 68% atau setara ± 540g dan berfungsi sebagai oksidator. c) BaClO ₃ (Barium Chloride) atau Ba(NO ₃) ₃ (Barium Nitrat) sebanyak 10% atau ± 80g) dan berfungsi sebagai pewarna asap; d) Sirtak/Vamish sebanyak 10% atau sekitar ± 80g sebagai perekat material.
6	Produksi	Lokal dengan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) sebesar 95% (sembilan puluh lima persen)	PT.Pindad persero, dengan TKDN sebesar 80% (delapan puluh persen)
7	Gambar Tampilan		

(sumber Lab.Pengelolaan TMC & PT.Pindad persero)

Dari perbandingan di atas, bahwa selain oksidator suar CoSAT-1000, kedua bahan semai tersebut sama-sama mengandung bahan kimia garam (NaCl) seperti pada Tabel 1. yang memiliki peran sebagai partikel higroskopis pengikat butir tetes air dalam awan cumulus.

Penggunaan bahan kimia dalam penyemaian awan baik berbentuk garam powder maupun Suar higroskopis ditengarai sebagian besar masyarakat dapat merusak atau memberikan dampak lingkungan yang negatif dan berbahaya khususnya pada kualitas air di Daerah Tangkapan Air (DTA) atau Daerah Aliran Sungai (DAS) baik pada kualitas air sungai atau danau. Menurut Wirawan *et al.*, (2022) yang melakukan penelitian mengenai efek pemanfaatan bahan Suar CoSAT-1000 sebagai bahan semai dalam kegiatan TMC di DTA Toba tidak memberikan dampak negatif terhadap status mutu air hujan, air sungai maupun air danau Toba. Sedangkan efek pemanfaatan bahan semai berbentuk garam powder pada kegiatan TMC terhadap kualitas air akan dikaji dalam tulisan ini, dengan harapan tinjauan ini dapat mempertegas bahwa bahan semai yang digunakan dalam penerapan Modifikasi Cuaca baik powder NaCl maupun suar CoSAT-1000 tidak memberikan dampak negatif terhadap kualitas air di wilayah tangkapan air yang menjadi target penyemaian.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Danau Toba adalah danau terbesar di Indonesia yang berada di pulau Sumatra dimana posisi danau dikelilingi oleh 7 (tujuh) kabupaten di sekitarnya, termasuk kabupaten Samosir yang merupakan pulau di tengah danau Toba.

Danau Toba dijadikan objek penelitian untuk melihat kualitas air hujan hasil kegiatan TMC. Kegiatan penerapan TMC di DTA Danau Toba ini bertujuan untuk meningkatkan intensitas hujan dan meningkatkan *debit inflow* agar dapat memaksimalkan energi listrik yang dibangkitkan PLTA Sigura-gura. Hujan yang turun di wilayah DTA Toba akan mengalir mengikuti aliran DAS Asahan Toba, sehingga hujan di bagian sisi Barat DTA mengalir masuk ke dalam danau Toba dan selanjutnya akan mengalir keluar dari sisi Tenggara yang merupakan bagian hilir DAS hingga keluar ke selat Malaka (lihat gambar 1). Lokasi penelitian ini merujuk dari penelitian Wirawan *et al.*, (2022) tentang efek Kegiatan penerapan modifikasi cuaca di DTA Danau Toba yang dilaksanakan pada 15 Oktober s.d. 18 November 2021 dengan menggunakan bahan semai *suar CoSAT-1000*. Pada penelitian sebelumnya lokasi pengambilan sampel air

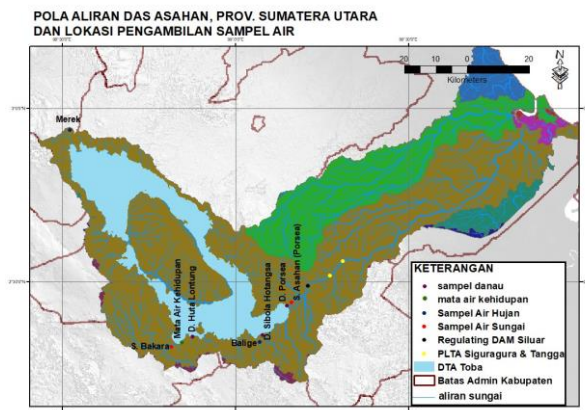
hanya 6 titik, sedangkan pada penelitian ini ditambah dengan lokasi mata ari Sipangolu dan sisi Danau Toba di Porsea. Lokasi pengambilan sampel tampak dalam Gambar 1. Sampel air sungai dipilih sampel air sungai Bakara sebagai salah satu aliran masuk (*inlet*) di baratdaya DTA Danau Toba, dan air sungai Asahan sebagai aliran keluar (*outlet*) yang menuju ke Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Sigura-gura. Selain itu diambil pula sampel dari salah satu mata air yang berfungsi sebagai sumber air alami di area danau Toba, di lokasi mata air Sipangolu, Bakti Raja. Untuk sampel air Danau Toba sendiri diambil dari 3 lokasi, pertama dari pantai Huta Lontung, Muara, Kabupaten Tapanuli Utara, kedua pantai Sibola Hotangsas, Balige, dan pantai Pararean, Porsea, Kabupaten Toba. Jumlah total sampel air yang diperoleh sebanyak 48 sampel. Namun dikarenakan pelaksanaan TMC hanya dilakukan pada periode transisi musim penghujan, maka sampel air yang diperoleh tidak meliputi sampel untuk periode musim kemarau.

2.2. Pengumpulan Sampel

Pengambilan sampel air dilakukan dalam 3(tiga) periode dengan tujuan :

- 1) Sebelum Pelaksanaan TMC, guna mengetahui kondisi kualitas air sebelum dilakukan penyemaian awan,
- 2) Selama Pelaksanaan TMC dilakukan 2 kali pengambilan sampel, guna mengetahui perubahan kondisi kualitas air yang mungkin diakibatkan oleh air hujan.
- 3) Setelah pelaksanaan TMC guna mengetahui apakah dampak perubahan kondisi kualitas air masih terjadi bilamana sudah tidak dilakukan penyemaian awan.

Sampel air yang diambil adalah sampel air hujan, air sungai dan air danau Toba. Pengambilan sampel air hujan dilakukan dengan metode *Simple Rain Sampler (SRS)* yaitu salah satu metode pengambilan sampel air hujan yang sederhana dan mudah digunakan. Air hujan ditampung menggunakan panci/wadah dengan bahan plastik atau kaca yang diletakkan di tempat yang terbuka dan terkena hujan. Setelah hujan selesai dan hasil air hujan yang ditampung kemudian disimpan dalam wadah atau jerigen plastik volume 1-2 liter untuk analisis lebih lanjut. Sedangkan untuk pengambilan sampel air sungai dan waduk dilakukan dengan metode pengambilan sampel air secara langsung dari permukaan sungai atau danau dengan menggunakan wadah atau jerigen plastik pengambilan sampel volume 1-2 liter yang bersih dan steril. (Wirawan *et.al*, 2022)



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Air dan Pola Aliran DTA Toba.

Tabel 2. Perolehan sampel air di DTA Danau Toba.

Sampel	Lokasi	Periode TMC basis garam Powder (2021)				Periode TMC basis suar CoSAT-1000 (2022)			
		Sblm (T ₀)	Slm (T ₁)	Slm (T ₂)	Stlh (T ₄)	Sblm (T ₀₀)	Slm (T ₁₁)	Slm (T ₂₂)	Stlh (T ₄₄)
Air Hujan	Posmet Merek	X*	√	√	X*	X*	√	√	X*
	Posmet Balige		√	√			√	√	
Air Sungai	S. Bakara	√	√	√	√	√	√	√	√
	S. Asahan	√	√	√	√	√	√	√	√
Mata Air	Sipangolu	-*	-	-	-	√	√	√	√
Air Danau	Huta Lontung	√	√	√	√	√	√	√	√
	Sibola Hotangas	√	√	√	√	√	√	√	√
	Porsea	-	-	-	-	√	√	√	√
		Total Sampel 20				Total Sampel 28			

Catatan : X* : tidak diperoleh sampel karena tidak terjadi hujan, -* : tidak dilakukan pengambilan sampel air

2.3. Unsur Pengujian dan Analisa Sampel

Untuk menentukan kondisi sampel air guna mengetahui apakah kandungan bahan kimia dalam bahan semai memberikan dampak terhadap kualitas air, maka parameter yang diuji terhadap sampel air adalah parameter : DHL (daya hantar listrik), pH (derajat keasaman), Klorida (*Chloride* Cl), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃); Sulfat (SO₄) dan Fosfat (P). Pengujian parameter sulfat dan fosfat guna mengetahui kemungkinan kondisi pencemaran akibat kegiatan selain penyemaian awan. Ditambah dengan pengujian parameter kandungan logam alkali yang merupakan kandungan dari bahan semai yaitu Kalium (K), Natrium (Na) dan Magnesium (Mg). Unsur kimia pewarna asap suar Barium (Ba) diasumsikan habis terbakar untuk itu tidak dilakukan pengujian. Adapun uji parameter Sulfat dan Fosfat guna mengetahui bila ada pencemaran lingkungan selain yang diakibatkan penyemaian awan dan hanya diujikan pada sampel air pada saat TMC berbasis bahan semai garam Powder.

Uji parameter kandungan sampel air dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Lanjut Fisika dan Kimia dan Laboratorium Teknologi Lingkungan, Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memiliki akreditasi KAN (Komite Akreditasi Nasional) serta SNI SNI ISO/IEC 17025:2017.

Metode pengujian yang dilakukan adalah:

- Metode Atomic Absorption Spectrometer (AAS); Teknik Analisis Spektrofotometri Serapan Atom yang menghitung kuantitas dari unsur-unsur logam dan metaloid berdasarkan pada penyerapan absorbansi radiasi oleh atom bebas pada fase gas. Metode uji sampel air ini digunakan untuk mendeteksi unsur Natrium (Na) dan Kalium (K).
- Metode Kromatografi; Teknik pemisahan molekul berdasarkan perbedaan pola pergerakan antara fase gerak dan fase diam untuk memisahkan komponen yang berada pada larutan. Molekul yang terlarut dalam fase gerak, akan melewati kolom yang merupakan fase diam. Uji sampel dengan metode kromatografi untuk mendeteksi unsur klorida, nitrit, nitrat, fosfat, sulfat.
- Metode Elektrometri untuk parameter pH dan conductivity atau Daya Hantar Listrik (DHL) (OR PPT Pusat Teknologi Lingkungan, 2021; Lab. Karakterisasi Lanjut Fisika dan Kimia dan Laboratorium Teknologi Lingkungan, BRIN 2022)

2.4. Metode Analisa Baku Mutu dan Indeks Pencemar

Kriteria kualitas air telah dipersyaratkan dalam beberapa peraturan dan perundangan yang berlaku. Dalam tinjauan ini persyaratan baku

mutu mengacu pada Peraturan Pemerintah nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Peraturan Menteri Kesehatan nomor 32 tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus per Aqua* dan Pemandian Umum. Dikarenakan dalam PP 22 tahun 2021 dan Permenkes 32 tahun 2017 tidak menentukan baku mutu terhadap logam alkali dan alkali tanah, K, Na dan Mg, maka terhadap ketiga unsur kima tersebut mengacu kepada World Health Organization (WHO) *Guidelines for Drinking-Water Quality 3rd edition Vol.1 Recommendations (2004)*. Ketiga logam alkali dan alkali tanah tersebut umumnya terdapat dalam air mineral maupun air minum ionisasi, dan berfungsi sebagai mineral yang membantu metabolisme dengan menyerap dan menyebarkan vitamin dalam tubuh. Untuk itu batas ambang persyaratan baku mutu yang digunakan sebagai acuan mengikuti persyaratan baku mutu air minum.

Berdasarkan PP 22 Tahun 2021, klasifikasi baku mutu air nasional dibagi⁷⁾ menjadi Air Kelas 1, dengan peruntukan untuk air baku minum, Air Kelas 2 peruntukan untuk wisata air, Air Kelas 3 untuk budidaya ikan, peternakan, dan Air Kelas 4 untuk pertanian atau pertanian.

Untuk menentukan kondisi kualitas air tercemar atau tidak, salah satu metode yang digunakan adalah Metode Indeks Pencemar (IP). Metode IP digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. IP ditentukan untuk suatu peruntukan yang dapat dikembangkan untuk bagian atau seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai. IP ditentukan dari resultante nilai maksimum dan nilai rerata rasio konsentrasi per parameter terhadap nilai baku mutunya. (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup nomor 27 Tahun 2021 tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup).

Selanjutnya prosedur kerja dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana sampel air yang diperoleh dari masing-masing lokasi dilakukan uji beberapa parameter fisika maupun kimia di Laboratorium. Hasil dari uji laboratorium tersebut yang akan dianalisis berdasarkan standar buku mutu. Analisis juga dilakukan hingga memperoleh nilai Indeks Pencemaran (IP).

Dalam metode Indeks Pencemar, Nilai IP ditentukan dengan formula :

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

dimana IP_j merupakan Indeks pencemaran bagi peruntukan j , C_i merupakan konsentrasi parameter hasil uji kualitas air i , L_{ij} konsentrasi parameter kualitas air i sesuai standar baku mutu peruntukan air j , M merupakan maksimum dan R adalah rerata.

Evaluasi terhadap IP_j dibagi dalam kategori sebagai berikut:

1. $0 \leq IP_j \leq 1,0$ = Kondisi Baik (memenuhi baku mutu)
2. $1,0 < IP_j \leq 5,0$ = Tercemar ringan (CR)
3. $5,0 < IP_j \leq 10,0$ = Tercemar sedang (CS)
4. Jika $IP_j > 10,0$ maka Tercemar berat (CB)

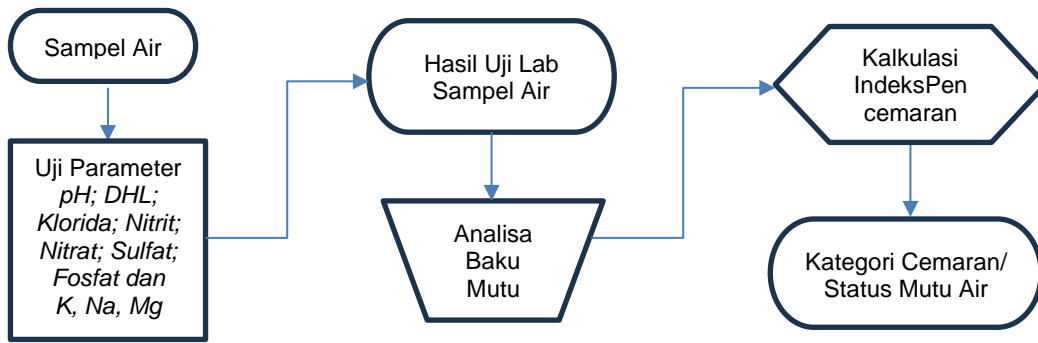
Dengan catatan, apabila nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran lebih besar dari 1,0 maka perlu dilakukan normalisasi dengan menentukan nilai (C_i/L_{ij}) baru dengan formula :

$$(C_i/L_{ij})_{baru} = 1,0 + P * \log(C_i/L_{ij})_{pengukuran}$$

Pengujian dengan metode indeks pencemar hanya dilakukan terhadap **sampel air sungai dan air danau** (PermenLHK 32/2017, 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Intensitas hujan selama kegiatan TMC di DTA Toba pada periode 17 Oktober – 16 November 2022 dengan menggunakan bahan NaCl powder dapat dilihat pada Gambar 3. Curah hujan terlihat cukup merata di wilayah DAS maupun di wilayah DTA Toba dengan intensitas cukup tinggi ada di bagian Timur dan Utara DTA Toba, sebagian di Selatan DTA serta bagian Tenggara dari Pulau Samosir. Intensitas curah hujan cukup tinggi mencapai 287 mm. Sesuai dengan tujuan penulisan ini yakni untuk mengetahui kondisi kualitas air dan ada tidaknya dampak negatif dari pelaksanaan modifikasi cuaca/penyemaian awan berbasis mikropowder NaCl terhadap kualitas air hujan, air sungai dan air Danau Toba. Berikut hasil pengukuran uji analisis sampel air serta penentuan status mutu air dan indeks kualitas air berdasarkan jenis sampel air.



Gambar 2. Alur penentuan kategori cemaran metode Indeks Pencemar

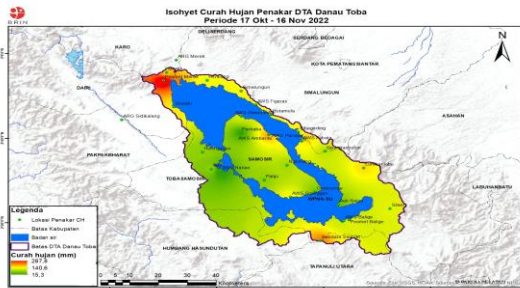
Tabel 4. Hasil Uji Paramater Sampel Air Hujan

Penerapan TMC	Pos Balige				Pos Merek				Acuan Buku Mutu		Ambang Batas
	COSAT-1000		Garam Powder		COSAT-1000		Garam Powder		PP 22/2021	Permenkes	A (Atas)/ B(Bawah)
Parameter	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	Kelas 1	32/2017	
ph	7.54	7.14	7.76	6.27	7	6.28	7.06	6.46	6-9	6-8.5	B
DHL	48	20	33	125	20	13	29	24		1530	B
ion Klorida (mgL ⁻¹)	0.16	0.16	23.72	21.47	0.31	3.45	34.8	21.56	300	-	B
ion Nitrit (mgL ⁻¹)	0.017	0.017	0.01	0.01	0.017	0.017	0.01	0.01	0.06	1	B
ion Nitrat (mgL ⁻¹)	0.46	0.017	0.87	2.12	0.61	0.61	3.4	1.87	10	10	B
Sulfat (mgL ⁻¹)	-	-	9.55	6.87	-	-	5.11	1.65	300	400	B
Fosfat (mgL ⁻¹)	-	-	0.05	0.05	-	-	0.1533	0.1702	0.2	-	B

(*) Nilai baku mutu Daya Hantar Listrik (DHL) konversi dari nilai Total Dissolve Solid (TDS) dengan koefisien untuk air alami sebesar 0.65 (Rusydi, 2019)

Penerapan TMC	Pos Balige				Pos Merek				Acuan Baku Mutu	Ambang Batas
	CoSAT-1000		Garam Powder		CoSAT-1000		Garam Powder		WHO* (2004)	A (Atas) / B(Bawah)
Parameter	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2		
Natrium (mgL ⁻¹)	2,68	7,66	0,46	0,018	2,67	7,06	0,153	0,17	200	B
Kalium (mgL ⁻¹)	0,005	0,005	0,525	-	0,005	3,52	0,491	0,216	12	B
Magnesium(mgL ⁻¹)	0,05	0,62	-	-	0,03	4,9	-	-	100	B

*World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality 3rd edition Vol.1 Recommendation



Gambar 3. Distribusi spasial curah hujan periode TMC berbasis NaCl Powder (17 Oktober – 16 November 2022).

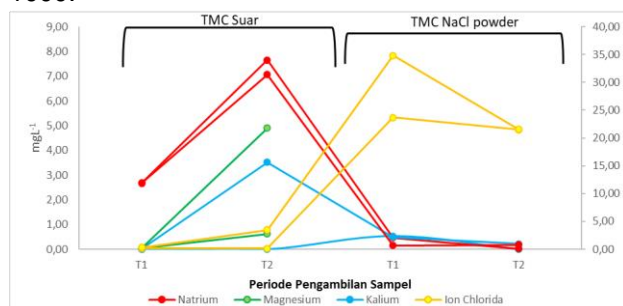
3.1. Analisis Kualitas Air Hujan

Sampel Air Hujan hanya diperoleh pada periode selama pelaksanaan TMC dari lokasi pengambilan sampel Posmet Merek dan Posmet Balige, hal ini dikarenakan pada periode sebelum dan setelah TMC tidak ada kejadian hujan. Hasil pengukuran uji analisis sampel air hujan tersaji pada Tabel 4. Dari Tabel hasil uji parameter tersebut, kualitas sampel air hujan dapat

diinformasikan bahwa di kedua lokasi baik di Merek maupun Balige secara keseluruhan nilai uji parameter kualitas air hujan dapat dikatakan **tidak melebihi ambang batas** maksimal **kelas 1** yang telah dipersyaratkan pada buku mutu PP 22/2021 Sehingga dapat diartikan bahwa air hujan yang dihasilkan selama kegiatan TMC dapat digunakan sebagai air baku minum.

Nilai hasil analisis air hujan dengan menggunakan bahan semai powder NaCl ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai analisis air hujan dengan menggunakan bahan semai suar CoSAT-1000 dari hasil kajian Wirawan *et al.* (2022) yang dapat dilihat pada Gambar 4. Terlihat ada perbedaan tinggi konsentrasi kandungan Klorida, Natrium, Kalsium dan Magnesium pada air hujan yang dihasilkan dari TMC menggunakan bahan semai powder NaCl dan bahan semai suar co SAT 1000. Konsentrasi kandungan Klorida pada air hujan selama kegiatan TMC menggunakan bahan semai powder NaCl 20 sd. 30 kali lebih tinggi dari konsentrasi Klorida pada air hujan selama kegiatan TMC menggunakan bahan semai suar CoSAT-1000. Sebaliknya Konsentrasi kandungan Natrium pada

pelaksanaan TMC menggunakan bahan semai Powder NaCl lebih rendah 2-7 kali dari periode pelaksanaan TMC berbasis suar Co SAT-1000. Selain itu kandungan Kalium dalam air hujan selama kegiatan TMC dengan bahan semai powder NaCl juga terukur lebih sedikit jika dibandingkan dengan TMC berbasis suar CoSAT-1000.



Gambar 4. Hasil Uji Lab. Paramater ion Klorida (kuning), Natrium (merah), Kalium (biru) dan Magnesium (hijau)

Gambar 4 menunjukkan tingginya ion Chlorida dalam sampel air hujan pada periode pelaksanaan TMC Garam Powder namun dengan tendensi menurun (garis kuning). Nilai konsentrasi ion Klorida tertinggi sebesar 34,8 mg/L. Sedangkan unsur Natrium dalam sampel air hujan cukup tinggi pada periode pelaksanaan TMC Suar CoSAT-1000 namun rendah saat pelaksanaan TMC Garam Powder (garis merah). Konsentrasi tertinggi hingga 7,66 mg/L. Sedang unsur lainnya Kalium dan Magnesium konsentrasi kandungan tidak melebihi 5 mg per Liter. Meskipun terdapat perbedaan konsentrasi kandungan unsur Klorida, Natrium, Kalium dan Magnesium, akan tetapi nilai konsentrasi masing-masing kandungan jauh di bawah batas ambang baku mutu nasional kelas 1. Sehingga air hujan hasil kegiatan TMC baik dengan bahan semai powder NaCl maupun dengan bahan semai suar CoSAT-1000 masih layak untuk menjadi air minum.

3.2. Analisa Kualitas Air Sungai dan Mata Air

Sampel air sungai diperoleh dari sungai Bakara dan sungai Asahan yang mewakili aliran sungai di daerah hulu (aliran masuk), dan aliran sungai daerah hilir yang keluar dari Danau Toba. Ditambah dengan sampel mata air yang diperoleh dari mata air Sipangolu, Bakti Raja. Dengan tidak memperhatikan kejadian hujan maka sampel air sungai di kedua sungai dapat diperoleh untuk semua periode (*sebelum, selama dan setelah* TMC).

Hasil uji parameter kualitas sampel air sungai dan mata air tersaji pada Tabel 5. Secara umum karakter fisika dari sampel air sungai, seperti derajat keasaman (pH) dan daya hantar listrik (DHL) untuk air **sungai Bakara** dan air **sungai Asahan** masih dalam batas aman dan tidak melebihi ambang batas maksimum yang dipersyaratkan. Selanjutnya untuk karakteristik

kimia yang dapat dianalisis adalah unsur kimia yang berhubungan dengan kandungan bahan semai seperti Natrium (Na), Klorida (Cl) dan Kalium (K) dari sampel air sungai Bakara dan sungai Asahan. Konsentrasi unsur kimia Na dan K pada ke-3 sample air sungai dan mata air masih dapat dikatakan aman karena nilai konsentrasi jauh di bawah ambang batas yang telah ditetapkan baik pada periode sebelum, selama atau bahkan setelah kegiatan TMC. Sedangkan konsentrasi unsur Cl dari kandungan air sungai baik di Asahan dan Bakara masih dalam kondisi aman berada di bawah batas ambang. Meskipun pada saat kegiatan hasil uji kandungan Cl pada sampel air sungai di kedua lokasi mencapai berkisar 100 – 200 mg/L. Selanjutnya kandungan Cl pada sampel mata air Aek Sipangolu cukup tinggi pada periode **sebelum** dan **setelah** pelaksanaan TMC berbasis bahan semai powder NaCl, namun turun saat adanya pelaksanaan TMC. Meskipun nilai konsentrasi klorida lebih tinggi akan tetapi masih berada di bawah batas ambang baku mutu nasional.

Analisis hasil pengujian kandungan kimia dari air sungai dan mata air juga diperoleh konsentrasi berbagai unsur kimia yang tidak digunakan dalam bahan semai, seperti: Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-), Sulfat (SO_4^{2-}) dan Fosfat (PO_4^{3-}). Nilai konsentrasi ke-4 unsur kimia tersebut masih dalam kategori aman, yaitu di bawah batas ambang yang telah ditentukan, kecuali untuk kandungan PO_4^{3-} di wilayah sungai Asahan dan mata air Aek sipangolu. Nilai konsentrasi PO_4^{3-} di mata air Aek sipangolu berada di atas batas ambang pada sebelum dan setelah kegiatan, sedangkan konsentrasi kandungan PO_4^{3-} Sungai Asahan berada di atas batas ambang pada sebelum kegiatan.

Tingginya konsentrasi Fosfat dikhawatirkan terjadi akibat pembuangan limbah rumah tangga yang kurang diatur dengan baik. Kebiasaan penduduk yang melakukan kegiatan mencuci dan mandi di pinggir sungai dengan menggunakan sabun, deterjen atau pun bahan pembersih lainnya dapat menyebabkan air sungai bercampur dengan limbah tersebut. Hal ini sering kita jumpai di Sungai Asahan, dimana penduduk menjadikan pinggir sungai tersebut sebagai tempat pengganti aktivitas mencuci dan mandi.

Analisa Indeks Pencemar (IP) pada sampel air sungai Bakara, Sungai Asahan dan Mata air Aek Sipangolu dapat dilihat pada Gambar 5 dengan T_0 dan T_{00} adalah waktu pengambilan sampel air sebelum kegiatan, T_1 , T_2 , T_{11} dan T_{22} adalah waktu pengambilan sampel air selama kegiatan serta T_4 dan T_{44} adalah waktu pengambilan sampel air setelah kegiatan. Dengan nilai T_x adalah periode kegiatan TMC berbasis suar CoSAT-1000 dan T_{xx} adalah periode kegiatan TMC berbasis powder NaCl. Nilai IP air sungai pada periode TMC berbasis “suar” relatif aman dan termasuk dalam kategori **baik**, sedangkan untuk mata air pada periode ini belum

diambil sampel air untuk diuji. Pada periode T_{00} , IP di sungai Bakara masuk dalam kategori **tercemar sedang (CS)** dan Asahan masuk dalam kategori **tercemar ringan (CR)**. Hal ini disebabkan karena terjadi peningkatan konsentrasi ion Nitrit di sungai Bakara dan peningkatan konsentrasi ion Fosfat di Sungai Asahan. Selanjutnya pada T_{11} hingga T_{44} IP di kedua sungai masuk dalam kategori **baik**.

Sedangkan analisis sampel air di mata air Aek Sipangolu, nilai IP pada T_{00} dan T_{44} masuk dalam kategori **tercemar ringan (CR)** yang disebabkan adanya peningkatan konsentrasi ion Fosfat. Selanjutnya pada T_{11} dan T_{22} kondisi air di mata air Aek Sipangolu masuk dalam kategori **baik**. Seperti yang sebelumnya telah dijelaskan

bahwa adanya peningkatan ion Fosfat dan Nitrit dapat diakibatkan karena penggunaan pupuk yang berlebihan, pembuangan kotoran hewan maupun manusia yang sembarangan.

Parameter fisika dan kimia dalam air sungai dan mata air yang berhubungan dengan bahan semai dalam kegiatan TMC baik suar higroskopis COSAT maupun NaCl powder seperti; pH, DHL, Natrium, Klorida, Kalium dan Magnesium nilai IP masih masuk dalam kategori **baik**, sehingga dapat dikatakan bahwa **kegiatan TMC tidak signifikan mempengaruhi** kualitas sungai maupun mata air di DAS Asahan Toba.

Tabel 5. Hasil Uji Paramater Sampel Air Sungai

Parameter	Sungai Bakara								Acuan Baku Mutu		Ambang Batas A (Atas) / B(Bawah)
	TMC CoSAT-1000				TMC Garam Powder				PP 22/2021	Permenkes	
	T_{00}	T_{11}	T_{22}	T_{44}	T_{00}	T_{11}	T_{22}	T_{44}	Kelas 2	32/2017	
pH	8,12	7,81	8,02	8	8,12	7	7,55	7,65	6-9	6-8,5	B
DHL* ($\mu\text{s/cm}$)	267	184	145	189	180	199	181	180	1530*	1530*	B
Ion Klorida (mgL^{-1})	0,41	2,44	3,46	2,57	65,9	286	11,8	21,9	300	-	B
Ion Nitrit (mgL^{-1})	0,02	0,02	0,02	0,02	2,86	0,01	0,01	0,01	0,06	1	B
Ion Nitrat (mgL^{-1})	0,55	1,65	1,8	1,41	7,43	5,91	2,55	2,86	10	10	B
Sulfat (mgL^{-1})	-	-	-	-	12,5	13,6	2,62	3,02	300	400	B
Fosfat (mgL^{-1})	-	-	-	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	-	B

Parameter	Sungai Asahan								Acuan Baku Mutu		Ambang Batas A (Atas) / B(Bawah)
	TMC CoSAT-1000				TMC Garam Powder				PP 22/2021	Permenkes	
	T_{00}	T_{11}	T_{22}	T_{44}	T_{00}	T_{11}	T_{22}	T_{44}	Kelas 2	32/2017	
pH	7,66	7,69	8,04	7,7	7,77	8,01	7,27	7,12	6-9	6-8,5	B
DHL* ($\mu\text{s/cm}$)	87	83	79	86	135	145	115	146	1530*	1530*	B
Ion Klorida (mgL^{-1})	5,3	5,28	4,78	5,03	4,7	106	26,7	62,6	300	-	B
Ion Nitrit (mgL^{-1})	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	1	B
Ion Nitrat (mgL^{-1})	0,42	0,46	0,46	0,5	7,88	0,78	2,7	2,07	10	10	B
Sulfat (mgL^{-1})	-	-	-	-	25,2	16,7	10,1	8,94	300	400	B
Fosfat (mgL^{-1})	-	-	-	-	1,04	0,05	0,05	0,05	0,2	-	A

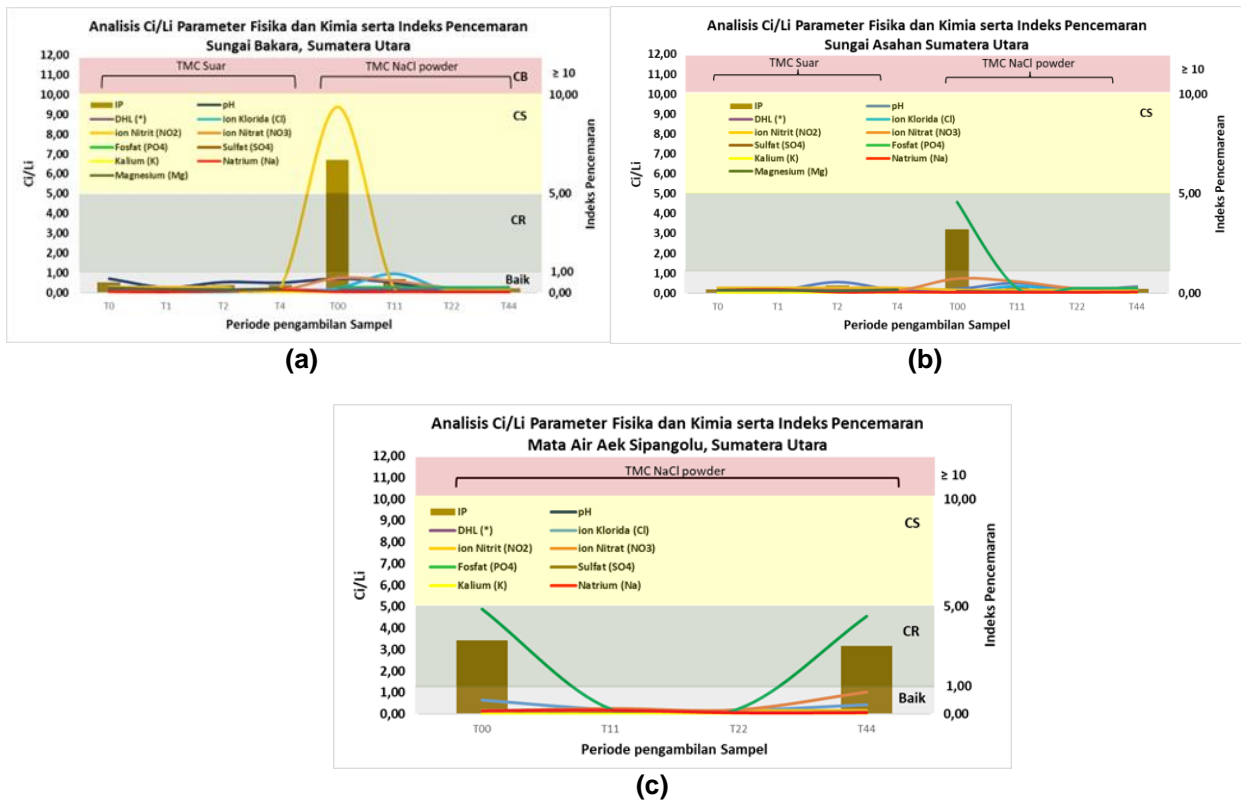
(* Nilai baku mutu Daya Hantar Listrik konversi dari nilai Total Dissolve Solid (TDS) dengan koefisien untuk air alami sebesar 0,65 (Rusydi, 2019)

Parameter	Mata Air Sipangolu				Acuan Baku Mutu		Ambang Batas A (Atas) / B(Bawah)
	TMC Garam Powder				PP 22/2021	Permenkes	
	T_{00}	T_{11}	T_{22}	T_{44}	Kelas 2	32/2017	
pH	7,67	7,8	7,58	7,29	6-9	6-8,5	B
DHL* ($\mu\text{s/cm}$)	84	60	77	65	1530*	1530*	B
Ion Klorida (mgL^{-1})	193	60,5	49,8	128	300	-	B
Ion Nitrit (mgL^{-1})	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	1	B
Ion Nitrat (mgL^{-1})	1,51	2,69	2,11	10,2	10	10	B
Sulfat (mgL^{-1})	6,76	9,94	8,38	22,7	300	400	B
Fosfat (mgL^{-1})	1,2	0,05	0,05	1,03	0,2	-	A

(* Nilai baku mutu Daya Hantar Listrik konversi dari nilai Total Dissolve Solid (TDS) dengan koefisien untuk air alami sebesar 0,65 (Rusydi, 2019)

Lokasi	Acuan Baku Mutu WHO* (2004)		Parameter		
			Natrium (mgL^{-1})	Kalium (mgL^{-1})	Magnesium (mgL^{-1})
Sungai Bakara	TMC CoSAT-1000	T_0	10,29	4,48	6,61
		T_1	6,75	4	5,55
		T_2	17,4	13,8	4,31
		T_4	26,4	7,7	6,17
	TMC Garam Powder	T_{00}	8,877	4,097	-
		T_{11}	8,961	4,153	-
		T_{22}	8,28	4,02	-
		T_{44}	8,51	4,32	-
Sungai Asahan	TMC CoSAT-1000	T_0	29,5	8,0	4,69
		T_1	35,9	7,17	4,37
		T_2	11,8	3,42	3,36
		T_4	13,4	5,68	5,17
	TMC Garam Powder	T_{00}	9,742	3,245	-
		T_{11}	10,36	3,713	-
		T_{22}	9,8	3,36	-
		T_{44}	12,53	4,588	-
Mata Air SIPANGOLU	TMC Garam Powder	T_{00}	5,20	3,21	-
		T_{11}	5,52	2,87	-
		T_{22}	5,16	2,88	-
		T_{44}	5,20	2,95	-
	Ambang Batas A(Atas) / B(Bawah)		B	B	B

*World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality 3rd edition Vol.1 Recommendation



Gambar 5. Analisis Ci/Li Parameter Fisika dan Kimia serta Indeks Pencemaran (a) Sungai Bakara; (b) Sungai Asahan; (c) Mata Air Aek Sipangolu

Tabel 6. Hasil Uji Paramater Sampel Air Danau

Parameter	Huta Lontung								Acuan Baku Mutu		Ambang Batas
	TMC CoSAT-1000				TMC Garam Powder				PP 22/2021	Permenkes	
	T ₀₀	T ₁₁	T ₂₂	T ₄₄	T ₀₀	T ₁₁	T ₂₂	T ₄₄	Kelas 2	32/2017	
pH	7,82	7,25	7,89	8,03	7,66	7,96	7,5	7,56	6-9	6-8,5	B
DHL* (µs/cm)	66	80	77	81	136	136	146	141	1530*	1530*	B
Ion Klorida (mgL ⁻¹)	5,19	5,08	5,19	4,75	117	148	56,5	63,1	300	-	B
Ion Nitrit (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	1	B
Ion Nitrat (mgL ⁻¹)	0,42	0,47	0,47	0,48	3,06	3,36	2,72	2,47	10	10	B
Sulfat (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	19,9	23	39,6	9,95	300	400	B
Fosfat (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	0,05	0,05	1,06	0,05	0,2	-	A

Parameter	Balige								Acuan Baku Mutu		Ambang Batas
	TMC CoSAT-1000				TMC Garam Powder				PP 22/2021	Permenkes	
	T ₀₀	T ₁₁	T ₂₂	T ₄₄	T ₀₀	T ₁₁	T ₂₂	T ₄₄	Kelas 2	32/2017	
pH	7,92	7,87	7,78	7,9	7,16	7,93	7,75	7,62	6-9	6-8,5	B
DHL* (µs/cm)	56	82	88	88	132	153	109	136	1530*	1530*	B
Ion Klorida (mgL ⁻¹)	5,64	9,52	4,75	4,78	141	385	350	502	300	-	A
Ion Nitrit (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	7,92	0,06	1	A
Ion Nitrat (mgL ⁻¹)	0,47	0,42	0,45	0,42	6,44	3,37	3,03	4,13	10	10	B
Sulfat (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	22,2	21,9	11,4	12,6	300	400	B
Fosfat (mgL ⁻¹)	-	-	-	-	1,02	1,04	1,03	0,05	0,2	-	A

(*) Nilai baku mutu Daya Hantar Listrik konversi dari nilai Total Dissolve Solid (TDS) dengan koefisien untuk air alami sebesar 0,65 (Rusydi, 2019)

Parameter	Porsea				Acuan Baku Mutu		Ambang Batas
	TMC Garam Powder				PP 22/2021	Permenkes	
	T ₀₀	T ₁₁	T ₂₂	T ₄₄	Kelas 2	32/2017	
pH	7,89	8,05	7,63	7,75	6-9	6-8,5	B
DHL* (µs/cm)	136	477	47,5	171	1530*	1530*	B
Ion Klorida (mgL ⁻¹)	305	477	57,5	186	300	-	A
Ion Nitrit (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	1	B
Ion Nitrat (mgL ⁻¹)	3,2	4,26	0,8	2,57	10	10	B
Sulfat (mgL ⁻¹)	14,6	26,1	0,05	9,94	300	400	B
Fosfat (mgL ⁻¹)	0,05	1,05	0,05	0,05	0,2	-	A

(*) Nilai baku mutu Daya Hantar Listrik konversi dari nilai Total Dissolve Solid (TDS) dengan koefisien untuk air alami sebesar 0,65 (Rusydi, 2019)

Lokasi	Acuan Baku Mutu WHO* (2004)		Parameter		
			Natrium (mgL ⁻¹)	Kalium (mgL ⁻¹)	Magnesium (mgL ⁻¹)
			200	50	100
Huta Lontung	TMC CoSAT-1000	T ₀	18,30	6,02	4,59
		T ₁	11,40	6,02	5,91
		T ₂	23,40	5,16	5,23
		T ₄	3,86	2,79	3,71
		T ₄₄	10,05	3,34	-
	TMC Garam Powder	T ₀₀	10,08	3,13	-
		T ₁₁	10,10	3,33	-
		T ₂₂	9,74	3,11	-
		T ₄₄	10,4	5,95	3,73
		T ₁	12,7	5,79	19,1
Balige	TMC CoSAT-1000	T ₂	6,93	3,11	4,21
		T ₄	9,88	8,14	5,47
		T ₀₀	9,865	3,774	-
		T ₁₁	9,985	3,234	-
		T ₂₂	10	3,55	-
	TMC Garam Powder	T ₄₄	9,331	3,724	-
		T ₀₀	5,095	10,09	-
		T ₁₁	4,053	10,2	-
		T ₂₂	3,63	9,89	-
		T ₄₄	3,674	8,33	-
Porsea	TMC Garam Powder		B	B	B
	Ambang Batas A(Atas) / B(Bawah)		B	B	B

*World Health Organization Guidelines for Drinking Water Quality 3rd edition Vol.1 Recommendation

3.3. Analisis Kualitas Air Danau

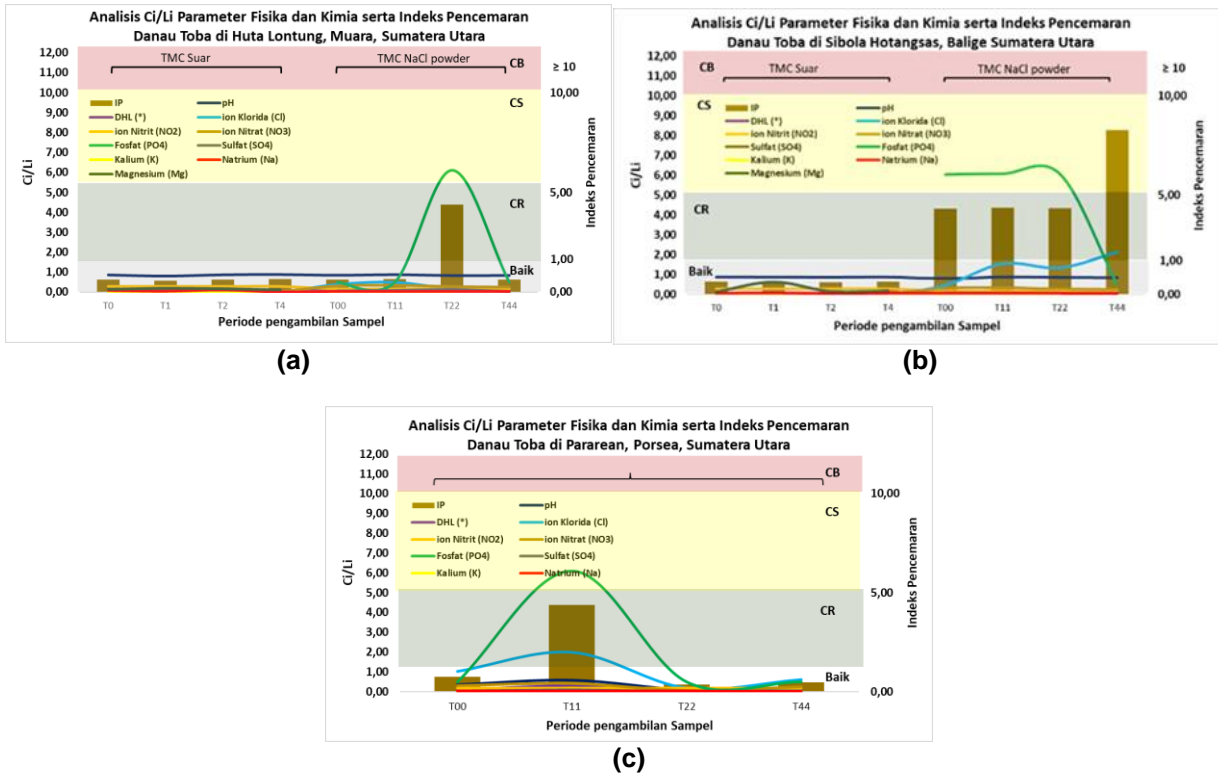
Sejak dulu danau Toba dipergunakan oleh masyarakat kabupaten sekitar sebagai lokasi pembudidayaan ikan air tawar dengan membuat keramba jaring apung (kja). Namun dengan semakin banyak jumlah kja di atas danau Toba mengakibatkan kualitas air danau Toba mengalami penurunan sehingga dikhawatirkan tidak lagi memenuhi syarat klasifikasi kelas air untuk sarana rekreasi/ wisata air bahkan klasifikasi kriteria kelas air minum. Untuk itu Danau Toba yang termasuk salah satu danau prioritas perlu dilakukan penyelamatan ekosistem perairan. Hal ini sesuai dengan Peraturan Presiden nomor 60 tahun 2021 tentang Penyelamatan Danau Prioritas Nasional guna melakukan pengendalian pencemaran yang mungkin diakibatkan oleh kegiatan budidaya ikan dengan kja atau pertanian dan peternakan. Kondisi menurunnya kualitas air danau Toba sudah terpantau sejak tahun 2017, antara lain akibat tingginya konsentrasi Nitrat, Nitrit, Fosfat, Besi, dan Chlorine yang melebihi batas ambang baku mutu air kelas 1 dan kelas 2 di beberapa kabupaten seperti KabupatenToba, Samosir, Tapanuli Utara. (Garno *et al.*,2020; Susanto.JP, *et al.*,2021 ; Silaban.W *et al.*, 2021).

Analisis kualitas air Danau Toba menggunakan sampel air danau di daerah Huta Lontung, Muara, Pararean, Porsea dan Sibola Hotangsas, Balige. Seperti halnya untuk sampel air sungai, pengambilan sampel air danau di ketiga lokasi dapat diperoleh untuk semua periode (*sebelum, selama dan setelah* TMC). Hasil uji parameter kualitas sampel air danau tersaji pada Tabel 6. Hasil analisis karakter fisika sampel air danau Toba di 3 lokasi terpantau masih relatif aman dengan nilai pH dan DHL masih di bawah batas ambang yang telah ditentukan. Selanjutnya untuk karakteristik kimia kandungan sampel air danau Toba yang berhubungan dengan kandungan bahan semai adalah kandungan Natrium (Na), Klorida (Cl) dan Kalium (K).

Konsentrasi unsur kimia Na dan K pada ke-3 lokasi pengambilan sample air danau Toba dapat dikatakan aman karena nilai konsentrasi jauh di bawah ambang batas yang telah ditetapkan baik pada periode sebelum, selama atau bahkan setelah kegiatan TMC. Selanjutnya nilai konsentrasi unsur Cl dari kandungan air danau Toba di Huta Lontung masih dalam kondisi aman berada di bawah ambang batas, sedangkan nilai konsentrasi kandungan Cl sampel danau Toba di Balige cukup tinggi pada periode selama kegiatan hingga selesai kegiatan TMC dan cukup tinggi selama awal kegiatan TMC untuk sampel air danau Toba di Porsea dengan besar konsentrasi berkisar 300 – 500 mg/L.

Analisis hasil pengujian kandungan kimia dari air danau Toba diperoleh juga konsentrasi berbagai unsur kimia yang tidak digunakan dalam bahan semai, seperti: Nitrit (NO₂⁻), Nitrat (NO₃⁻), Sulfat (SO₄²⁻) dan Fosfat (PO₄³⁻). Nilai konsentrasi ke-4 unsur kimia tersebut masih dalam kategori aman, yaitu di bawah batas ambang yang telah ditentukan, kecuali untuk kandungan PO₄³⁻ di wilayah Huta Lontung dan Porsea yang terjadi selama awan kegiatan di Huta Lontung dan di pertengahan kegiatan di Porsea dengan nilai konsentrasi berkisar 1.05 – 1.06. Sedangkan untuk sampel air danau Toba di Balige, terukur nilai konsentrasi PO₄³⁻ selama kegiatan dan NO₂⁻ setelah kegiatan melebihi ambang batas aman yang telah ditetapkan. Khususnya konsentrasi PO₄³⁻ pada sampel air danau di Balige terpantau 10 kali lipat lebih tinggi dari batas ambang dimana sudah terpantau sejak sebelum pelaksanaan TMC. Selain itu diiringi kenaikan konsentrasi Nitrat pada periode setelah pelaksanaan TMC.

Analisa Indeks Pencemar (IP) pada sampel air danau Toba di Huta Lontung, Balige dan Porsea dapat dilihat pada Gambar 5. Sama halnya dengan analisis sungai, Nilai IP air danau Toba pada periode TMC berbasis “suar” relatif aman dan masuk dalam kategori **baik**, sedangkan danau Toba di Porsea pada periode ini belum



Gambar 5. Analisis Ci/Li Parameter Fisika dan Kimia serta Indeks Pencemaran Danau Toba (a) di Huta Lontung, Muara; (b) di Sibolga Hotangsas, Balige Toba (c) di Pararean, Porsea

diambil sampel air untuk diuji. Selanjutnya untuk TMC berbasis NaCl powder, nilai IP danau Toba di Huta Lontung (lokasi di Barat Daya Danau Toba) masuk dalam kategori baik, kecuali pada T₂₂ berubah menjadi **CR** karena adanya peningkatan konsentrasi ion fosfat yang disebabkan karena pemupukan berlebih, limbah kotoran ternak maupun manusia yang terbawa oleh aliran air dan masuk ke danau Toba di Huta Lontung.

Berbeda dengan pencemaran danau Toba di Balige (lokasi di Tenggara Danau Toba) dari awal pengambilan sampel yaitu sebelum kegiatan TMC hingga selama kegiatan TMC nilai IP masuk dalam kategori CR dan pada periode setelah TMC nilai IP menjadi CS, yang disebabkan karena tingginya konsentrasi Fosfat di lokasi tersebut. Sedangkan pada T₁₁, T₂₂ dan T₄₄ terjadi peningkatan ion klorida. Peningkatan konsentrasi kandungan Klorida danau Toba di pesisir Balige bukan disebabkan oleh kegiatan TMC. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil kandungan klorida pada sampel air hujan berkisar 20 – 24 mg/L. Peningkatan ion klorida ini dapat disebabkan karena pengaruh limbah industri plastik, semen, pulp dan kertas, pestisida, pembangkit listrik, limbah rumah sakit maupun pengaruh aktivitas manusia lainnya. Sama halnya untuk sampel air danau Toba di Porsea (lokasi Tenggara danau Toba) yang masuk dalam kategori CR pada T₁₁ karena meningkatnya konsentrasi ion Fosfat dan Klorida.

4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan penerapan TMC di DTA Danau Toba pada periode 17 Oktober s.d. 16 November 2022 menghabiskan bahan semai powder NaCl sebanyak 35.300 kilogram NaCl mikropowder yang mengandung bahan kimia baik Natrium, Kalium dan Magnesium serta Klorida.

Dari analisa hasil uji parameter sampel air hujan, semua analisis parameter fisika dan parameter kimia pada periode *selama* penerapan TMC menunjukkan nilai yang aman, yaitu tidak melebihi ambang batas maksimal yang dipersyaratkan pada standar baku mutu air (air minum) berdasarkan PP No 22 Tahun 2021. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kegiatan TMC tidak mempengaruhi kualitas air hujan yang dihasilkan.

Berdasarkan analisis air sungai yang merupakan hulu maupun hilir dari DTA Toba secara umum selama kegiatan TMC menggunakan bahan semai powder NaCl masih masuk dalam kategori aman dan tidak tercemar. Kegiatan TMC tidak signifikan mempengaruhi kualitas sungai maupun mata air yang berada di hulu maupun hilir DTA Toba.

Sedangkan analisis kualitas air danau sdh dalam kategori cemar ringan dari sebelum kegiatan pada sampel danau Toba di Balige yang terus bertahan selama kegiatan dan meningkat menjadi cemar sedang setelah kegiatan yang disebabkan oleh PO₄³⁻ dan penambahan sedikit Cl⁻ di akhir kegiatan. Sedangkan sampel air danau

toba di Muara dan Porsea masuk dalam kategori cemar ringan pada awal kegiatan yang sebagian besar disebabkan oleh peningkatan PO_4^{3-} dan Cl⁻ pada sampel air yang diukur. Peningkatan ion klorida dan fosfat disebabkan karena pengaruh limbah rumah tangga ataupun pengaruh aktivitas manusia lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih sebesar-besarnya ditujukan kepada PT. INALUM (Persero) yang telah mempercayakan dan menugaskan Laboratorium Pengelolaan TMC -BRIN (dahulu Balai Besar TMC - BPPT) untuk melaksanakan kegiatan penerapan TMC berbasis suar CoSAT-1000 dan Garam powder di DTA Danau Toba pada tahun 2021 dan 2022.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Garno, Y. S., Nugroho, R., & Hanif, M. (2020). Kualitas air Danau Toba di wilayah Kabupaten Toba Samosir dan kelayakan peruntukannya. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(1), 118-124. Doi: 10.29122/jtl.v21i1.3277
- Laboratorium Pengelolaan Teknologi Modifikasi Cuaca (November 2021), Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset dan Kawasain Sains Teknologi, *Laporan Akhir Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) di Daerah Tangkapan Air Danau Toba Provinsi Sumatera Utara, tahap II -Tahun 2021 periode 15 Oktober – 18 November 2021*.
- Laboratorium Pengelolaan Teknologi Modifikasi Cuaca (Desember 2022), Direktorat Pengelolaan Laboratorium Fasilitas Riset dan Kawasain Sains Teknologi, *Laporan Akhir Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) di Daerah Tangkapan Air Danau Toba Provinsi Sumatera Utara, tahap III -Tahun 2022 periode 17 Oktober – 16 November 2022*.
- Organisasi Riset Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Pusat Teknologi Lingkungan, (9 Desember 2021) Laporan Hasil Uji nomor 070/LHU/Lab.An/PTL/XI/2021
- Peraturan Menteri Kesehatan nomor 32 tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus per Aqua dan Pemandian Umum
- Peraturan Pemerintah nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Rusydi, A. F. (2018). Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 118, p. 012019). IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/118/1/012019
- Sertifikat Laik dan Aman Udara CoSAT 1000, 2 November 2020, SKET/01/PM/XI/2020
- Seto, T. H., Sutrisno, S., 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. Doi: 10.29122/jstmc.v14i1.2676
- Wallace JM, Hobbs P V. 2005. Atmospheric Science Second Edition
- Webinar Potensi Pemanfaatan Teknologi Modifikasi Cuaca Berbasis Flare di Indonesia, 20 Agustus 2021, *Materi Presentasi CoSAT 1000 Produk Bahan Semai Awan PT.PINDAD (persero)*,
- World Health Organization (2004) *Guidelines for Drinking-Water Quality 3rd edition vol.1, Recommendation*
- Winarto S, Mastiur VS (2021) Analisis Kualitas Air Di Perairan Danau Toba Kecamatan Pangururan, Kabupaten Samosir, *Jurnal Sains dan Teknologi* vol.10 2. 299-307
- Wirawan. D, Nuryanto S, Yananto A (2022), Suar Modifikasi Cuaca Cosat 1000 Aman Terhadap Status Mutu Air Danau Toba, Sumatera Utara, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 23(2), 85-96. Doi: 10.55981/jstmc.v23i2.5538