

ID: 03

Desain Stasiun Cuaca Otomatis Portabel Sebagai Peralatan Rekonfirmasi Saat Operasi Modifikasi Cuaca

Design of Portable Automatic Weather Station as A Reconfirmation Tool on Weather Modification Operation

Sugiarto^{1*}, Maulana Putra², Ahmad Furqon³, Fajar Giri Suseno⁴

^{1,2,3,4}Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran
Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10610, (021)196
sugiarto@bmg.go.id^{1*}, maulana.putra@bmg.go.id², ahmad.furqon@bmg.go.id³,
fajar.suseno@bmg.go.id⁴

Abstrak – Teknologi modifikasi cuaca sering digunakan untuk meningkatkan intensitas curah hujan di suatu tempat (*rain enhancement*), atau dapat juga digunakan untuk kondisi sebaliknya (*rain recognition*). Contohnya, pemerintah Indonesia yang terus meningkatkan penggunaan teknologi modifikasi cuaca saat KTT G20 di Bali pada November 2022. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menggunakan teknologi tersebut untuk mencegah terjadinya cuaca ekstrem pada hari KTT tersebut pada saat pertemuan para pemimpin negara. Salah satu kendala dalam operasi modifikasi cuaca adalah kurangnya sistem observasi portabel yang mudah dipasang dan konfirmasi parameter meteorologi seperti hujan, visual, dan sambaran petir. Pada penelitian ini dirancang stasiun cuaca otomatis portabel yang mudah dipasang dan dilengkapi dengan sensor tambahan seperti sambaran petir untuk memastikan potensi awan hujan dan kamera untuk memandu proses penyemaian awan pada operasi modifikasi cuaca.

Kata Kunci: stasiun cuaca otomatis, modifikasi cuaca, sambaran petir, kamera

Abstract – Weather modification technology is often used to increase the intensity of rainfall somewhere (*rain enhancement*), or it can also be used for the opposite conditions (*rain reduction*). For example, the Indonesian government continues to increase the use of weather modification technology during the G20 Summit in Bali in November 2022. The Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG) uses this technology to prevent extreme weather from occurring on the day of the meeting of the country's leaders. One of the obstacles in weather modification operations is the lack of a portable observation system that is easy to install and the confirmation of meteorological parameters such as rain, visuals, and lightning strikes. In this study, a portable automatic weather station was designed that is easy to install and equipped with additional sensors such as lightning strikes to confirm the potential for rain clouds and a camera to guide the cloud seeding process during weather modification operations.

Keywords: automatic weather station, weather modification, lightning strike, camera

1. Pendahuluan

Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) merupakan suatu bentuk upaya manusia untuk memodifikasi cuaca dengan tujuan tertentu agar mendapatkan kondisi cuaca yang diinginkan. Tujuan dari modifikasi cuaca pada umumnya adalah untuk meningkatkan intensitas curah hujan di suatu tempat (*rain enhancement*) atau dapat juga digunakan untuk keadaan sebaliknya (*rain reduction*). Dalam konteks pemanasan global yang mengakibatkan perubahan iklim, TMC merupakan solusi yang dapat diandalkan dalam mengurangi kerugian yang dapat ditimbulkan oleh bencana yang disebabkan oleh faktor iklim dan cuaca.

Teknologi Modifikasi Cuaca telah banyak digunakan di Indonesia sejak tahun 1983 yang bertujuan untuk mengatasi kekurangan air di berbagai daerah. Penerapan modifikasi cuaca banyak dilakukan untuk pengisian bendungan atau waduk sebagai pembangkit listrik tenaga air, sumber irigasi, dan air tawar. Selain untuk mengatasi kekurangan air, modifikasi cuaca juga dilakukan untuk memadamkan kebakaran hutan yang biasa terjadi di Pulau Sumatera dan menghilangkan kabut asap pada musim kemarau [1].

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika merupakan lembaga pemerintah yang mempunyai tugas di bidang pelayanan cuaca di Indonesia. Dalam mendukung pelaksanaan kegiatan yang memerlukan kondisi khusus, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengoperasikan teknologi modifikasi cuaca (TMC). Penerapan teknologi modifikasi cuaca biasanya dilakukan bekerja sama dengan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), TNI AU, Kementerian Perhubungan, dan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).

Selama pelaksanaan TMC, kondisi cuaca diamati secara cermat dari berbagai sumber data antara lain pengamatan suhu permukaan di Pos Meteorologi (Posmet) yang juga berfungsi sebagai pos pengamatan pertumbuhan awan, pengamatan citra satelit di daerah sasaran, pengamatan dengan mobile radar, pengamatan sinoptik yang meliputi gradien angin dan suhu permukaan laut, serta pengamatan kondisi udara bagian atas (profil suhu) dengan data radiosonde [2].

Penerapan teknologi modifikasi cuaca memerlukan peralatan tersebut sebagai pendukung data untuk menjamin efektivitas operasional. Salah satu permasalahan operasi modifikasi cuaca adalah terbatasnya jumlah radar cuaca, radiosonde, dan alat pengukur hujan. Peralatan tersebut juga dipasang pada suatu titik tetap, sehingga pada saat akan dilakukan operasi modifikasi cuaca pada suatu titik tertentu, tidak terdapat peralatan pendukung yang dapat digunakan untuk observasi pada lokasi tersebut. Pada penelitian ini akan dirancang stasiun cuaca otomatis portabel yang dilengkapi dengan kamera sebagai konfirmasi ulang visual dan sensor petir untuk mendukung penerapan operasional teknologi modifikasi cuaca.

2. Teori dan Metode

Penelitian ini dilakukan dengan perancangan perangkat keras dan analisis kinerja selama operasi modifikasi cuaca. Proses perancangan perangkat keras memperhatikan pemilihan sensor, *data logger*, dan catu daya. Analisis kinerja data dilakukan dengan membandingkan data AWS dan radar cuaca.

2.1. Teknologi Modifikasi Cuaca

Teknologi Modifikasi Cuaca untuk meningkatkan curah hujan merupakan teknologi yang sudah banyak digunakan di seluruh dunia, salah satunya adalah dengan penyemaian awan. Bahan semai yang digunakan merupakan bahan higroskopis yang dimasukkan ke dalam awan kumululus dengan tujuan untuk memicu tumbukan dan penggabungan sehingga mempercepat terjadinya hujan sekaligus meningkatkan curah hujan. Penyemaian dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan pesawat terbang, atau dengan menggunakan menara yang dipasang di tempat yang banyak awan [3]. Proses penyemaian awan berhubungan dengan data radar cuaca dan juga informasi petir. Pemanfaatan radar sebagai alat pemantauan jenis dan keberadaan awan dalam kegiatan penyemaian awan sangatlah penting. Data radar dan alat pengukur hujan akan diintegrasikan untuk mendapatkan kombinasi data mengenai potensi penyemaian dan hasil penyemaian awan [4].

Terdapat hipotesis yang menyatakan bahwa cloud seeding ada kaitannya dengan terjadinya petir yang dihasilkan dari beberapa gugus awan kumulonimbus yang diunggulkan [5][6]. Inilah yang disebut dengan fenomena elektrifikasi petir di atmosfer. Pada proses elektrifikasi, amonia yang dihasilkan dari reaksi bahan penyemaian ini akan bereaksi dengan H₂O yang selanjutnya

akan membentuk amonium (NH₄). Jadi peningkatan konsentrasi NH₄ menandakan banyak terjadi petir, artinya menandakan banyak awan kumulonimbus. Peningkatan populasi awan kumulonimbus pada periode peningkatan hujan diduga ada kaitannya dengan modifikasi cuaca [7].

Selain data radar cuaca, hujan, dan petir, salah satu aspek terpenting dalam operasi modifikasi cuaca adalah visibilitas visual. Pesawat terbang digunakan untuk menaburkan NaCl yang digunakan untuk penyemaian awan. Rute penerbangan yang tepat akan menentukan keberhasilan penyemaian awan yang dituju. Data visual dari lokasi dilakukannya kegiatan modifikasi cuaca akan sangat mendukung proses penentuan titik tabur material penyemaian awan dari pesawat.

2.2. Stasiun Cuaca Portabel

Automatic Weather Station (AWS) merupakan stasiun cuaca yang dirancang secara otomatis untuk mengukur dan mencatat parameter meteorologi secara otomatis. AWS terdiri dari beberapa komponen yaitu sensor, *data logger*, sistem komunikasi, sistem catu daya, display, dan peralatan pendukung lainnya. AWS pada umumnya bersifat permanen dan memerlukan lahan yang luas sehingga tidak dapat dipindahkan ke tempat lain. Untuk kebutuhan tertentu, AWS dirakit secara ringkas, ekonomis, dan praktis, serta dapat dirakit dengan cepat. AWS dalam bentuk praktis dan modular disebut AWS portabel.

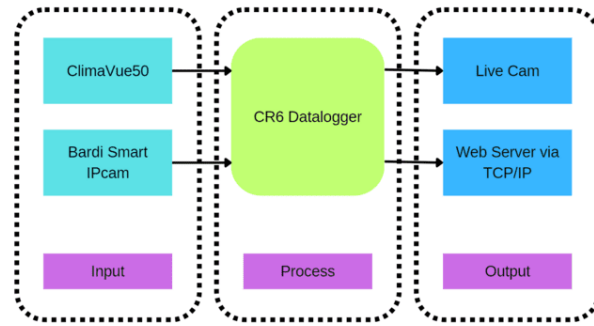
3. Desain Portable Weather Station

Pada penelitian ini dirancang 2 set AWS portabel sesuai dengan lokasi KTT G20 di Bali, Indonesia. Sistem yang diterapkan pada penelitian ini mengacu pada kebutuhan teknis meteorologi.

Tabel 1. Spesifikasi sistem.

No	Variable	Range	Resolution
1	Temperature	-50 – +60°C	0.1°C
2	Relative Humidity	0 – 100%	0.1%
5	Air Pressure	500 – 1100 mb	0.1 mb
6	Wind Speed	0 – 30 m/s	0.01 ms ⁻¹
7	Wind Direction	0 – 359°	1°
9	Solar Radiation	0-1750 w/m ²	1 w/m ²
10	Lightning	0 to 65,535 strikes	1 strike
11	Precipitation	0 to 400 mm/h	0.017 mm
12	Visual	130° Visible Angle	Lens 3.0 mm

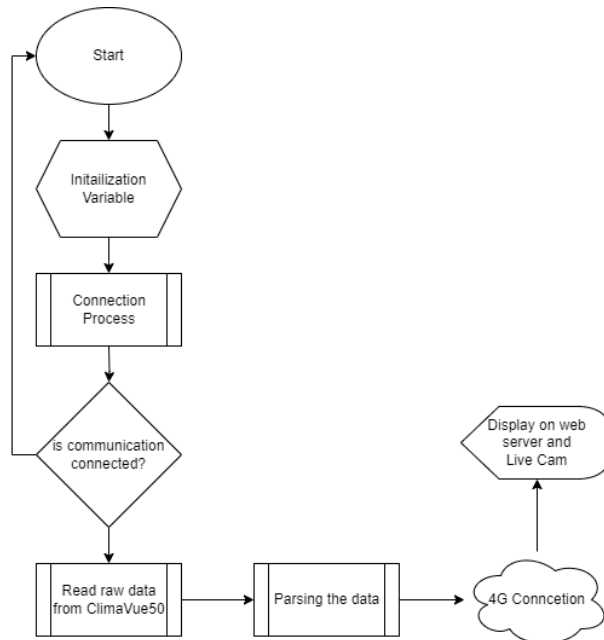
Perangkat keras terdiri dari input atau masukan, proses, dan keluaran. Di sisi input terdapat sensor meteorologi dan catu daya. Prosesnya akan berjalan di *data logger*. Berikut ini adalah diagram blok perancangan perangkat keras.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem. Inputnya terdiri dari sensor kompak ClimaVue50, dan sistem Bardi Static IP Camera Outdoor. ClimaVue50 adalah sensor meteorologi lengkap yang menggunakan SDI-12 untuk melaporkan suhu udara, kelembapan relatif, tekanan barometrik, angin, radiasi matahari, curah hujan, dan sambaran petir (waktu dan jarak). Sensor tidak memiliki bagian yang bergerak dan hanya mengkonsumsi sedikit daya. Pengolahan datanya menggunakan *data logger* CR6. Data keluaran meteorologi akan dikirim ke *server web* AWS Rekayasa berbasis TCP/IP, sedangkan kamera tampak ditampilkan menggunakan fitur kamera langsung di *browser*.

Alur kerja pada perancangan sistem dimulai dari konfigurasi sensor. Sensor terhubung ke *data logger* melalui antarmuka SDI-12. Kemudian data yang dibaca dari sensor akan diteruskan untuk diurai dan disimpan di *data logger*. *Data logger* nantinya akan mengirimkan data ke *web server* dan *live cam* menggunakan modem 4G. Gambar 2 dibawah merupakan *flowchart* perancangan sistem.



Gambar 2. Alur kerja sistem

4. Hasil

Pada bagian ini akan dibahas implementasi hasil desain dan uji operasional sistem pada KTT G20 di Bali. Pengujian dilakukan secara serentak terhadap data-data pendukung operasi modifikasi cuaca pada acara KTT G20.

4.1. Instalasi

Setelah sistem dirancang, dua unit *Automatic Weather Station* portable dirakit dan dipasang pada tripod yang berlokasi di Taman Budaya Garuda Wisnu Kencana dan Hotel Apurva Kempinski.



Gambar 3. Sistem yang telah terpasang

Gambar 3 menunjukkan sistem yang telah terpasang di Taman Budaya Garuda Wisnu Kencana sebagai salah satu lokasi yang akan dijadikan lokasi penyelenggaraan rangkaian acara KTT G20, dimana pastinya terdapat awan yang berpotensi turun hujan. diunggulkan sebelum tiba di lokasi tersebut. Sensor ClimaVue50 dan Bardi static IP *Camera Outdoor* dipasang di bagian atas dudukan tripod.

4.2. Uji Fungsi *Web server Dashboard*

Metode yang digunakan dalam pengujian *dashboard web server* adalah dengan melihat apakah desain *website* dapat menampilkan data pengukuran yang telah diupload ke *database*. Pengujian *web server* menggunakan aplikasi *browser* yang diinstal pada PC. Pada tampilan awal *web server*, pengguna akan diarahkan ke halaman *login* untuk dapat mengakses konten yang ada di *web server*. Berikut tampilan *login dashboard web server*. Gambar berikut merupakan tampilan *home* dari *dashboard*.



Gambar 4. Tampilan *web server dashboard*

4.3. Tampilan *Realtime*

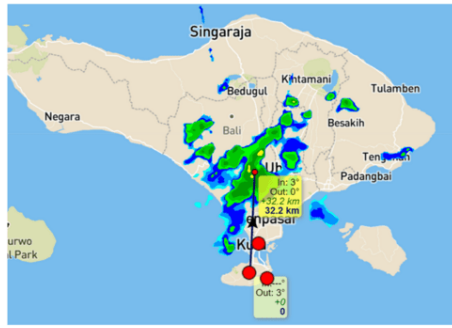
Hasil tampilan visual yang diperoleh dari Bardi Static IP *Camera Outdoor* menunjukkan bahwa sistem kamera dapat bekerja pada kondisi siang dan malam hari yang memungkinkan untuk memantau pergerakan awan di tempat dilakukannya operasi modifikasi cuaca. Gambar 5 dibawah menunjukkan tampilan kamera pada kondisi siang dan malam.



Gambar 5. Gambar visual awan secara *realtime*

4.4. Data Petir

Data petir yang dihasilkan dari AWS portabel dibandingkan dengan data gambar CMAX dari radar cuaca. Citra CMAX digunakan untuk melihat reflektivitas maksimum suatu awan presipitasi yang mempunyai peluang terjadinya petir. Gambar 6 di bawah menunjukkan contoh citra radar CMAX pada tanggal 14 November 2023 dengan rentang waktu 05:09 UTC hingga 05:15 UTC.



a) CMAX 14/11/2023 05:15 AM



b) CMAX 14/11/2023 05:09-05:10 AM

Gambar 6. Citra radar cuaca dan titik sambaran petir

Gambar 6 menunjukkan adanya potensi awan dengan reflektifitas tinggi yang terdeteksi radar pada pukul 05:09 UTC hingga 05:15 UTC. Dengan menggambar garis lurus, maka pada pukul 05:09 UTC terdapat potensi sambaran petir pada jarak 31 km, pada pukul 05:10 UTC pada jarak 27 km, dan pada pukul 05:15 UTC pada jarak 32 km.

Tabel 2. Event sambaran petir yang terekam data logger CR6

No	Date	Range	Strike Count
1	11/14/2022, 5:09:00 AM	31 km	1
2	11/14/2022 5:10:00 AM	27 km	1
2	11/14/2022 5:15:00 AM	20 km	1

Tabel 2 yaitu data mentah yang diperoleh dari datalogger CR6 menunjukkan data yang identik dengan data radar cuaca, dimana pada pukul 05:09 UTC terjadi peristiwa sambaran petir pada jarak 31 km dan pada pukul 05:10 UTC pada jarak 27 km. Namun pada pukul 05:15 WIB, hantaman terekam pada jarak 20 km, sedangkan radar cuaca mengindikasikan potensi presipitasi awan pada jarak 32 km.

5. Kesimpulan

Stasiun cuaca otomatis portabel untuk konfirmasi ulang operasi modifikasi cuaca telah berhasil dirancang. Sistem dapat mengirimkan data meteorologi yang diperlukan untuk operasi modifikasi cuaca seperti nilai curah hujan, arah dan kecepatan angin, suhu udara, kelembaban udara, tekanan

udara, dan sambaran petir ke web server. Data visual juga dapat beroperasi dengan baik pada siang dan malam hari sebagai data pendukung penyemaian awan dari pesawat. Hasil pengolahan sampel data sambaran petir menunjukkan nilai yang identik antara reflektivitas radar cuaca dengan sambaran petir yang terekam di sistem. Dengan dirancangnya sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas operasi modifikasi cuaca.

Referensi

- [1] S. Bahri, H. Aditya, F. H. Widodo, and T. H. Seto, "Weather Modification Activities in Indonesia".
- [2] D. Syaifullah, "Potensi Atmosfer Dalam Pembentukan Awan Konvektif Pada Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca di DAS Kotopanjang dan DAS Singkarak 2010," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 12, no. 1, pp. 9–16, Jun. 2011, doi: 10.29122/JSTMC.V12I1.2185.
- [3] F. Renggono, "Analisis Kemunculan Awan Hujan Berdasarkan Jenisnya untuk Mendukung Kegiatan Modifikasi Cuaca," *J. Sains dan Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 16, no. 2, pp. 83–89, 2015.
- [4] R. List, "Weather modification—A scenario for the future," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 85, no. 1, pp. 51–64, 2004.
- [5] L. J. Battan, "Cloud seeding and cloud-to-ground lightning," *J. Appl. Meteorol.*, pp. 102–104, 1967.
- [6] R. G. Baughman, D. M. Fuquay, and P. W. Mielke Jr, "Statistical analyses of a randomized lightning modification experiment," *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 15, no. 7, pp. 790–794, 1976.
- [7] M. Husni and S. Nuryanto, "Kajian kualitas air hujan buatan dan kaitannya dengan peningkatan curah hujan," *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca*, vol. 1, no. 2, pp. 179–186, 2000.