

DESAIN KONSEPTUAL SISTEM PENYEMAIAN AWAN DARI DARAT DENGAN *DRONE* MENGGUNAKAN BAHAN SEMAI 2-5 μ m

Conceptual Design of Ground Cloud Seeding System with *Drones* using 2-5 μ m Seed Material

Tarida Simanjuntak ¹⁾, Purwadi ²⁾, Halda A Belgaman ³⁾, Findy Renggono ³⁾, M Djazim Syaifullah ²⁾, Krisna Adhitya ¹⁾, M Fadhlan Thalib ²⁾, M Ikhwan Abdurrahman ²⁾, Ryan Pramana ²⁾

¹⁾ Pusat Riset Material Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional, PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314.

²⁾ Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, Kawasan Sains dan Teknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional, PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314.

³⁾ Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional, PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314.

*E-mail: purw016@brin.go.id

Intisari

Kelangkaan awan pada saat musim transisi menyebabkan penggunaan pesawat terbang untuk kegiatan modifikasi cuaca menjadi tidak efisien, sedangkan penyemaian awan dari darat sangat terbatas wilayahnya bergantung dari posisi menara Ground Based Generator (GBG) dibangun. Perbaikan sistem penyemaian awan dari darat telah dilakukan dengan menggunakan drone pertanian yang dimodifikasi. Dengan menambahkan sistem penyemburan pada tangki yang telah tersedia, drone dapat digunakan untuk menyemai awan menggunakan bahan semai serbuk berukuran 2-5 μ m. Drone akan dioperasikan di wilayah pegunungan dengan menasar pada awan-awan orografis. Hasil studi eksplorasi menunjukkan bahwa Drone Agras MG 1 P memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan dengan penambahan sistem pengeluaran bahan semai serbuk. Uji sistem penyemaian menunjukkan bahwa bahan semai dapat menyembur keluar sampai ~1,4 m dari ujung cerobong.

Kata Kunci: Penyemaian Awan, Awan Orografis, Drone, Bahan Higroskopis 2-5 mikrometer

Abstract

The scarcity of clouds during the transition season causes the use of airplanes for weather modification activities inefficient, while seeding clouds from the ground is very limited in the area, depending on the position of the towers being built. Improvements to the cloud seeding system from the ground have been carried out using modified agricultural drones. By adding a spray system to an existing tank, drones can be used to sow clouds using 2-5 μ m powder seedling material. Drones will be operated in mountainous areas by targeting orographic clouds. The exploratory study results show that the Agras MG 1 P Drone meets the required specifications by adding a powder seedling material dispensing system. Seeding system tests showed that seedling material could spray up to ~1.4 m from the end of the chimney.

Keywords: Cloud Seeding, Orographic Clouds, Drones, 2-5 micrometers hygroscopic agent

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dengan melakukan penyemaian awan untuk mengatasi bencana kekeringan, menambah pasokan air pada waduk untuk menjalankan turbin pembangkit listrik ataupun untuk irigasi telah banyak dilakukan di seluruh dunia. Pada prinsipnya, penyemaian awan adalah menghantarkan bahan semai masuk ke dalam awan baik melalui dasar awan, puncak awan, maupun di sekitar awan. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses pembentukan awan hujan

dan memaksimalkan butir air yang ada di awan menjadi hujan sehingga otomatis akan meningkatkan curah hujan yang mencapai permukaan tanah. Ada dua metode penyemaian yang dikenal yaitu metode dinamis dan metode statis. Metode dinamis adalah penyemaian yang dilakukan secara langsung terhadap awan yang menjadi target dengan menggunakan wahana terbang. Sedangkan metode statis merupakan penyemaian dilakukan dari stasiun-stasiun penyemaian awan yang dibangun di darat yang

dapat melakukan penyemaian terhadap awan-awan yang berada di sekitar stasiun tersebut.

Sampai saat ini, metode dinamis dengan pesawat terbang yang dapat mengangkut bahan semai, baik berupa serbuk halus maupun *flare*, dinilai cukup efektif untuk kegiatan penambahan curah hujan pada saat awan-awan potensial banyak tumbuh di daerah target. Pesawat pembawa bahan semai dapat langsung mendarat di awan-awan yang potensial, dan melakukan penyemaian secara langsung. Akan tetapi, kelemahan dari metode ini adalah biayanya yang mahal dan mempunyai waktu operasional yang terbatas. Sementara itu, pelaksanaan penyemaian awan dengan metode statis berbiaya lebih murah dan dapat dioperasikan selama 24 jam. Metode statis ini menyasar pada awan-awan orografik yang muncul di pegunungan atau perbukitan, dengan demikian stasiun-stasiun penyemaian harus dibangun di lereng gunung. Akan tetapi metode ini dinilai masih kurang efektif karena hanya dapat digunakan untuk menyemai awan-awan orografik yang muncul sekitar lokasi penyemaian (Purwadi *et al.*, 2014). Oleh karena itu dibutuhkan sebuah metode lain yang dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari metode penyemaian awan statis.

Pengintegrasian *drone* pada operasi penyemaian awan sangat menguntungkan karena *drone* dapat melaksanakan operasi modifikasi cuaca secara remote pada daerah-daerah yang sulit dijangkau tanpa harus mengkhawatirkan risiko kecelakaan personel (Axisa *et al.*, 2016). Selain itu, penyemaian awan menggunakan *drone* juga bersifat *cost effective*, terutama dalam hal evaluasi terhadap efektivitas dari sebuah operasi modifikasi cuaca (DeFelice *et al.*, 2017). Penyemaian awan menggunakan *drone* sudah dipakai dan diuji coba di beberapa negara, seperti misalnya di UAE, Amerika, India dan Tiongkok. Bahkan beberapa sudah mendaftarkan hak kekayaan intelektual (HAKI) mengenai penggunaan *drone* ini sebagai wahana penghantar bahan semai, seperti misalnya di Israel (tentang sistem penyemaian awan secara otomatis) dan Tiongkok (*patent* no. CN1244472C tanggal 02 Maret 2005 dengan judul "*Drone for Artificially Influencing Weather and Its Spreading Method*"). Kedua HAKI tersebut menjelaskan tentang penggunaan *drone* tipe *fixed wing* sebagai wahana penghantar bahan semai *flare silver iodide* (Agl). Dengan *drone* jenis ini penyemaian awan dapat dilakukan dengan lebih efektif karena tidak memerlukan persiapan yang lama sebelum penerbangan dan kemampuan manuver yang lebih baik dari pesawat yang besar. Namun *drone* tipe *fixed wing* masih memerlukan landasan pacu untuk bisa terbang sehingga fleksibilitasnya masih kurang. Tiongkok juga mendaftarkan paten untuk *drone* tipe *fixed wing* yang menggunakan tenaga dua buah mesin sehingga mampu terbang dan melakukan

penyemaian awan pada ketinggian lebih dari 150 m dengan membawa beban sebanyak 6 buah *flare* Agl (*patent* no. CN101837835A Tanggal 22 September 2010 berjudul "*Unmanned Aerial Vehicle System Applied to Weather Modification*"). Untuk keselamatan, *drone* ini juga dilengkapi dengan sistem parasut.

Indonesia yang berada di wilayah tropis, mempunyai kondisi perawanan yang sedikit berbeda dibandingkan dengan di lintang menengah, awan yang muncul di Indonesia masih didominasi dengan awan hangat (Tjasyono, 2007). Awan hangat merupakan awan yang hanya mengandung air dalam bentuk cair (bahkan pada suhu kurang dari 0 °C). Proses pembentukan presipitasi dalam awan terjadi akibat proses tumbukan dan penggabungan di dalam awan. Penyemaian awan lebih banyak dilakukan pada awan-awan hangat untuk mempercepat proses tumbukan dan penggabungan di dalam awan yang sedang dalam fase pertumbuhan. Sehingga penggunaan bahan semai Agl perlu digantikan dengan bahan semai higroskopis. Selain itu, dengan alasan keamanan lalu lintas penerbangan, agak sulit untuk mendapatkan izin melakukan penerbangan dengan ketinggian lebih dari 120 m di atas permukaan tanah tanpa kendali visual, apa lagi jika bahan semai yang dibawa berupa *flare* yang dikategorikan sebagai material *low explosive*.

Dengan adanya permasalahan yang disebutkan di atas, dibutuhkan sebuah metode penyemaian awan dengan *drone* yang bisa diterapkan untuk kondisi meteorologis dan geografis Indonesia. Wahana penyemaian awan dengan *drone* yang tidak memerlukan landas pacu panjang, dikendalikan secara visual, dapat melakukan penyemaian awan pada ketinggian tidak lebih dari 120 m di atas permukaan tanah dan menggunakan bahan semai higroskopis yang bukan berbentuk *flare*, merupakan syarat mutlak untuk desain metode maupun wahana penyemaian awan dengan *drone*.

2. METODE PENELITIAN

Proses pekerjaan dalam tulisan ini dikategorikan sebagai proses desain konseptual suatu produk perkerajaan (*engineering product*) yang berkaitan dengan hasil penelitian atau teknologi modifikasi cuaca yang sudah ada sebelumnya. Secara terperinci tahapan-tahapan desain yang dilalui adalah sebagai berikut:

2.1. Identifikasi Masalah

Proses identifikasi masalah dilakukan dengan menganalisis kelebihan dan kekurangan metode penyemaian awan yang sudah ada. Saat ini, di Indonesia terdapat 2 metode penyemaian awan yaitu penyemaian awan dari udara dengan pesawat dan penyemaian dari darat dengan menggunakan *ground-based generator* (GBG).

Tabel 1. Perbandingan metode pesawat dan GBG

No.	Keterangan	Wahana Penyemaian Awan	
		Pesawat	GBG
1.	Jam Operasi	Pagi hingga sore hari (sebelum Matahari terbenam)	Operasional 24 jam
2.	Bahan Semai	Bahan semai dalam bentuk serbuk maupun <i>flare</i>	Bahan semai dalam bentuk <i>flare</i>
3.	Efektivitas	Penyemaian dinamis	Penyemaian statis
4.	Biaya	> Rp 150.000.000/hari (tergantung lokasi)	Rp 56.753.000/hari

Hasil perbandingan kedua teknologi tersebut ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1 menjelaskan bahwa wahana pesawat terbang memiliki kelemahan dalam hal waktu jam operasional yaitu hanya bisa dilakukan sebelum matahari terbenam. Kelemahan lain dibandingkan dengan metode GBG, metode pesawat terbang memiliki biaya operasional per hari yang lebih tinggi. Sedangkan metode GBG memiliki kelemahan dalam hal efektifitas penyemaian dimana sifat GBG yang statis hanya bisa menyemai awan-awan yang tumbuh atau melintas di sekitar lokasi menara. Hasil identifikasi masalah yang dilakukan menjadi acuan desain untuk mendapatkan produk teknologi untuk menutupi masalah atau kekurangan pada metode yang ada sebelumnya.

2.2. Trendspotting

Tren perkembangan metode TMC di Indonesia maupun di dunia menjadi fokus pemilihan tren desain. Secara umum, tim menemukan tren yang menjadi titik fokus dalam perancangan yaitu: teknologi TMC yang murah semakin diminati, perkembangan bahan semai serbuk 2-5 mikrometer mampu diproduksi di Indonesia, dan produk teknologi *drone* yang semakin murah.

Penerapan TMC dengan wahana GBG dari darat saat ini sedang banyak diminati oleh pengelola-pengelola waduk PLTA di Indonesia. Sistem GBG ini telah berhasil diterapkan di DAS Laron Sulawesi Selatan untuk menambah curah hujan dan meningkatkan tinggi muka air di ketiga waduk di DAS Laron (Renggono *et al.*, 2022, 2015, 2011). Prasetio *et al.* (2019) juga menyebutkan bahwa terjadi peningkatan curah hujan sebesar 7% pada pelaksanaan TMC dengan wahana GBG di DAS Laron Sulawesi Selatan dibandingkan dengan kondisi tanpa adanya intervensi TMC. Selain itu, berdasarkan laporan kegiatan TMC yang dilakukan di DAS Brantas tahun 2022, kegiatan TMC dengan GBG mampu memberikan tambahan aliran masuk (*inflow*) sebesar 12.5%. Tren peningkatan minat pengelola waduk PLTA terhadap wahana penyemaian awan yang lebih murah namun tetap efektif ini juga ditunjukkan oleh pengelola waduk Kaskade Citarum dengan telah dilaksanakannya

survey lokasi penempatan menara GBG pada tahun 2021.

Sampai saat ini bahan semai yang banyak digunakan dalam kegiatan TMC di Indonesia adalah bahan semai higroskopis berbentuk *flare* dan powder (serbuk). Dalam pengoperasiannya, dibandingkan dengan yang berbentuk powder, *flare* lebih mudah karena ringan dan cukup menekan tombol untuk memicu pembakaran di ujung *flare* agar bahan semai dapat keluar dari tabung *flare*. Namun karena membutuhkan perizinan khusus dalam penanganan maupun pengangkutannya, maka penggunaan *flare* ini pun sering menjadi kendala yang menghambat dalam perancangan kegiatan TMC di suatu wilayah. Sedangkan bahan semai powder yang digunakan saat ini masih dalam ukuran butir yang cukup besar sehingga masih kurang efektif dalam proses tumbukan dan penggabungan di dalam awan. Berdasarkan keunggulan bahan semai 2-5 μm , Indonesia mulai mengembangkan bahan semai higroskopis dalam ukuran tersebut. Balai Besar Teknologi Modifikasi Cuaca, BPPT (sejak November 2021 menjadi BRIN) telah melakukan studi untuk proses produksi bahan semai berukuran 2-5 μm secara mudah dan murah (Harsanti *et al.*, 2021). Hasil studi tersebut menunjukkan tren bahwa bahan semai berukuran 2-5 μm mulai dapat diproduksi di Indonesia.

Perkembangan industri *drone* saat ini telah berkembang dengan pesat untuk berbagai tujuan kebutuhan. Perkembangan *drone* dari segi *endurance* dan *maximum payload* menggugah pemanfaatan *drone* untuk penyemaian awan. Israr *et al.* (2016) melakukan kajian pemanfaatan *drone fixed wing* sebagai alternatif media penghantaran bahan semai ke awan di Malaysia. Percobaan penyemaian awan dengan menggunakan *drone* model baru tipe *fixed wing* yang dapat *take-off* secara vertikal telah dilakukan di Korea Selatan pada 25 April 2019 (Jung *et al.*, 2022). Beberapa contoh pemanfaatan *drone* di atas menunjukkan bahwa tren pemanfaatan *drone* untuk kegiatan TMC semakin meningkat dan menjadi salah satu fokus tren dalam perancangan.

2.3. Exploring

Eksplorasi dilakukan dengan mencari informasi sebanyak-banyaknya terkait dengan titik fokus dalam perancangan yaitu: teknologi TMC dengan wahana GBG, perkembangan bahan semai serbuk 2-5 μm , dan *drone*.

Eksplorasi terkait metode GBG meliputi informasi-informasi terkait mekanisme penghantaran bahan semai, syarat-syarat pengoperasian GBG, dan keunggulan serta kelemahan metode GBG. Penjelasan mengenai mekanisme penghantaran bahan semai pada wahana GBG telah dijelaskan oleh Renggono *et al.*, (2022). Penghantaran bahan semai pada wahana GBG memanfaatkan mekanisme pengangkatan yang memanfaatkan angin lembah dengan syarat ketinggian > 500 mdpl. Ketinggian menara GBG yang digunakan setinggi 50 m. Meskipun bersifat statis metode GBG mampu memberikan tambahan curah hujan di DAS Larona, Sulawesi Selatan.

Eksplorasi bahan semai difokuskan pada sifat-sifat fisika bahan semai berukuran 2-5 μm . Menurut Segall *et al.* (2004) yang melakukan penelitian efektivitas bahan semai dengan simulasi model disebutkan bahwa ukuran bahan semai yang optimal untuk penambah curah hujan adalah antara 2-5 μm . Rosenfeld *et al.* (2010) menyebutkan bahwa penggunaan bahan semai higroskopis lebih sebagai embrio butir hujan ukuran 2-5 μm yang utamanya untuk menambah curah hujan karena akan memperbesar distribusi ukuran droplet (*Drop Size Distribution / DSD*). Berdasarkan hasil eksperimen Harsanti *et al.*, (2021), bahan semai 2-5 μm memiliki berat jenis sebesar 0.3 kg/l. Sifat-sifat bahan semai ini bermanfaat untuk memperkirakan bagaimana mekanisme bahan semai ini dapat dihantarkan ke dalam awan.

Eksplorasi informasi terkait dengan *drone* meliputi perkembangan teknologi *drone* yang beredar di pasaran dan aturan-aturan/regulasi pemerintah terkait dengan pengoperasian *drone*. Informasi spesifikasi *drone* yang ada di pasaran ditemukan melalui data *sheet/data spek drone*. Informasi ini berguna untuk menentukan jenis dan produk *drone* yang dibutuhkan dalam desain. Peraturan pemerintah terkait dengan regulasi *drone* dikeluarkan oleh Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Udara (DKPPU) Kementerian Perhubungan RI. Hasil penelusuran semua informasi digabungkan untuk menghasilkan ide baru sesuai dengan tujuan desain.

2.4. Prototyping

Prototyping terutama dilakukan pada modifikasi *drone* yang sudah dipilih agar *drone* tersebut dapat melakukan suatu hal sesuai dengan tujuan pengoperasian *drone*. *Drone* konvensional yang dijual di pasaran tidak ditujukan untuk menyemburkan bahan serbuk powder terutama mengarah ke atas. Sedangkan

kebutuhan desain sesuai dengan hasil elaborasi dari berbagai informasi, *drone* diharapkan mampu menyemburkan bahan serbuk ke atas. Sedangkan, ide pengoperasian *drone* untuk mensubstitusi atau melengkapi teknologi GBG diwujudkan dalam bentuk visualisasi dalam bentuk gambar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Desain Sistem

Konsep penyemaian awan yang didapatkan merupakan hasil kajian dari berbagai aspek baik dari sisi meteorologis, spesifikasi *drone* yang tersedia di pasaran, aspek keamanan dalam pengoperasian dan peraturan dari Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Udara (DKPPU) Kementerian Perhubungan RI. Dari pertimbangan aspek-aspek tersebut dihasilkan sebuah konsep baru dalam melakukan penyemaian awan orografis di pegunungan dengan menggunakan *drone* dan bahan semai NaCl berukuran 2-5 μm .

3.1.1. Peraturan untuk Pengoperasian Pesawat Udara Nirawak

Pengoperasian pesawat udara nirawak menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang Dilayani di Indonesia dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu: Pesawat udara kecil nirawak (*small unmanned aircraft*) dan pesawat udara nirawak dengan berat lepas landas di atas 55 lbs (>25 kg). Pesawat dengan kategori *small unmanned aircraft* wajib mematuhi *Civil Aviation Safety Regulation (CASR) Part 107*. Ketinggian terbang yang diizinkan berdasarkan peraturan Menteri Perhubungan RI tersebut adalah 120 m (400 kaki) dengan menghindari Kawasan Keselamatan Operasional Penerbangan (KKOP). Penerbangan *drone* tidak dilarang sejauh *drone* tersebut masih dapat dilihat oleh mata telanjang atau disebut dengan istilah *Visual Line of Sight (VLOS)*.

3.1.2. Desain Pengoperasian Drone

Konsep untuk memanfaatkan *drone* sebagai wahana penyemaian awan dari darat, yang diperuntukkan sebagai pengganti menara GBG yang statis, didesain dengan mengikuti peraturan pemerintah seperti yang dibahas dalam sub-bab sebelumnya. Gambar 1 adalah konsep pengoperasian *drone* sebagai penghantar bahan semai ke awan. *Drone* penyemaian awan dibawa dengan menggunakan kendaraan darat untuk mendekati awan-awan yang tumbuh di sekitar pegunungan dengan ketinggian > 300 m di atas permukaan laut. Setelah kendaraan darat mencapai titik maksimal dalam mendekati awan

maka *drone* diterbangkan dengan tetap mematuhi aturan DKPPU di mana ketinggian maksimal *drone* adalah 120 m diatas permukaan tanah dan jarak terbang *drone* masih di bawah kondisi VLOS. Bahan semai kemudian dilepaskan dari *drone* setelah mencapai target lokasi. Bahan semai berupa serbuk NaCl berukuran 2-5 μm dipilih sebagai bahan semai dalam metode ini karena lebih aman digunakan dibandingkan dengan bahan semai *Flare* yang bersifat *low explosive*.

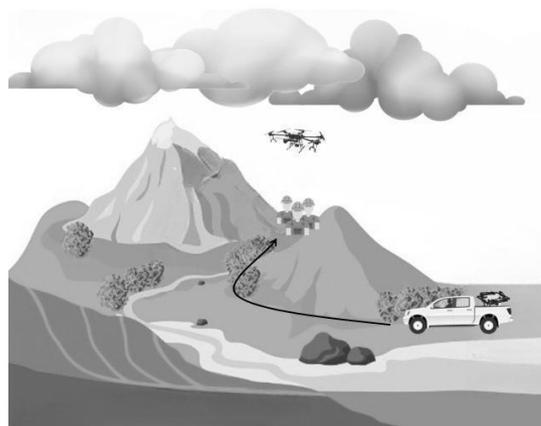
Guna menunjang konsep penyemaian awan dari darat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1, maka pada penelitian ini dilakukan pengkajian beberapa jenis *Drone* yang tersedia di pasaran. Hasil pengkajian didapatkan *drone* keluaran DJI dengan seri DJI AGRAS MG-1P. *Drone* ini merupakan *drone* agrikultur yang umumnya digunakan untuk melakukan penyemaian, pemupukan, dan penyemprotan cairan pestisida pada tanaman. *Drone* ini memiliki MTOW sebesar 24.5 kg dan juga dilengkapi dengan sebuah tangki yang sanggup membawa beban sampai 10 kg untuk menampung produk pupuk maupun pestisida. Ketersediaan tangki penampung dan juga ukurannya yang tidak terlalu besar, yang memungkinkan *drone* tersebut diangkut dalam sebuah truk kecil, menjadikan *drone* ini sesuai dengan persyaratan sebagai *drone* penyemaian awan. Spesifikasi *drone* DJI AGRAS MG-1P ditampilkan dalam Tabel 2.

3.1.3. Sistem Penghantaran Bahan Semai

Drone akan diterbangkan mendekati awan sampai ketinggian yang diperbolehkan (sekitar 120 m dari permukaan tanah) untuk kemudian bergerak mendarat dengan kecepatan 5 m/s sambil menyemburkan bahan semai yang dibawa dalam tangki penampungan ke udara yang kemudian dengan bantuan angin lembah dan updraft dari awan yang disemai diharapkan bahan semai tersebut dapat naik menuju awan yang ada di atasnya. Tangki penampungan yang sedianya digunakan untuk pupuk atau pestisida akan digunakan untuk menampung bahan semai higroskopis ukuran 2-5 μm . Agar bahan semai dapat menyembur ke udara perlu dilakukan modifikasi pada keluaran dari tangki penampung tersebut. Dalam melakukan desain untuk penambahan peralatan ini juga perlu mempertimbangkan berbagai macam hal termasuk segi aerodinamika maupun total beban yang akan digunakan.

Desain sistem pelepasan bahan semai dapat dilihat pada Gambar 2. Tangki penampungan yang dimodifikasi dengan menambahkan *screw conveyor*, motor EDF (*Electric Ducted Fan*) dan cerobong setinggi 50 cm agar tercipta sistem untuk menyemburkan bahan semai higroskopis ke arah atas (Gambar 2.a). Alat Penghantaran bahan semai Higroskopis

ini dilengkapi dengan *Remote Control* yang terhubung dengan *receiver* pada *drone* sehingga dapat mengontrol pelepasan bahan semai higroskopis dari bawah. *Receiver* yang berfungsi untuk meneruskan instruksi dari *Remote Control* terhubung dengan Motor jet EDF dan Motor DC. Motor jet EDF berfungsi untuk menyemburkan bahan semai higroskopis ke atas melalui pipa pelepas bahan semai higroskopis



Gambar 1. Desain pengoperasian *drone* untuk penyemaian awan orografis.

Tabel 2. Spesifikasi *drone* DJI Agras MG-1P.

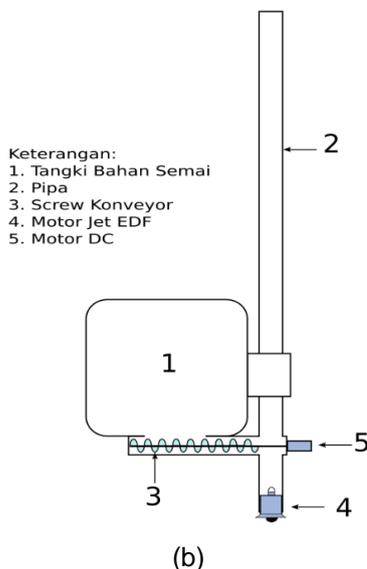
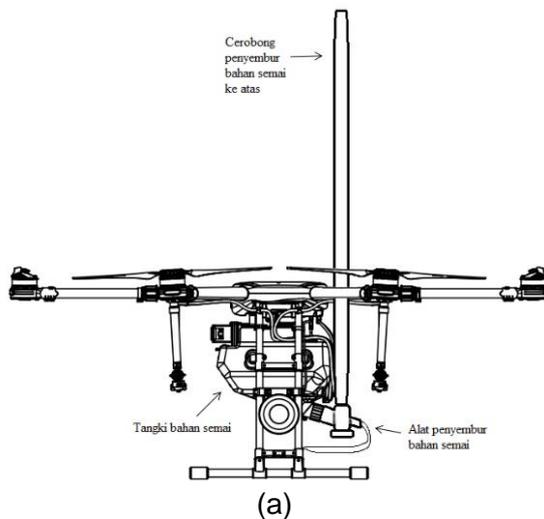
LIST OF SPECIFICATIONS	DJI AGRAS MG-1
Visual	 7-10 km (max) 20x 10 km (max) 20x
Dimensions [mm]	1471 x 1471 x 482 (arm unfolded, without propellers) 780 x 780 x 482 (arm folded)
WEIGHTS	
Empty Weight (without batteries) [kg]	8.8
Max. Takeoff Weight [kg]	24.5
Standard Takeoff Weight [kg]	22.5
Standard Payload [kg]	10
SPEEDS	
Max. Operating Speed [m/s]	8
Max. Flying Speed [m/s]	22
HOVERING TIME	
For min. takeoff Weight [minute]	24 (@12.5 kg)
For std. takeoff weight [minute]	10 (@22.5 kg)
REMOTE CONTROLLER	
Type	GL658C
Operating Frequency [GHz]	2.4 - 2483
Max. Transmission Range (unobstructed) [km]	1
Effective Isotropic Radiative Power	100 mW @ 3.4 GHz

tekanan tertentu, dan menempel pada pipa pelepas bahan semai higroskopis di ujung bagian bawah (Gambar 2.b). Motor DC berfungsi untuk memutar *Screw Conveyor* yang mendorong bahan semai higroskopis ke pipa pelepas. *Screw Conveyor* ini berfungsi agar supaya proses pengeluaran bahan semai higroskopis dari tangki penyimpanan ke pipa pelepas tidak mengalami penyumbatan.

Dimensi *screw conveyor* yang digunakan, ditentukan dengan menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut

$$Q = 60 \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times S \times N \times \alpha \times \rho \times C \quad [1]$$

dimana Q merupakan kapasitas *screw conveyor* dalam satuan kg/h, D merupakan diameter *screw conveyor* dalam satuan m, S merupakan *pitch screw conveyor* dalam satuan m³, N merupakan kecepatan putar *screw conveyor* dalam rpm, α merupakan *loading ratio*, ρ merupakan densitas dari bahan bubuk dengan satuan kg/m³, dan C merupakan faktor koreksi akibat sudut inklinasi *screw conveyor*.



Gambar 2. Desain sistem pelepasan bahan semai pada *drone*. (a) letak sistem pelepasan bahan semai pada *drone* DJI AGRAS MP1-P (b) detail komponen sistem pelepasan bahan semai.

Diharapkan *screw conveyor* dapat memiliki kapasitas sebesar 0.28 kg/menit. Kecepatan putar *screw driver* adalah sebesar 400 rpm. Dengan

menetapkan bahwa *screw conveyor* akan beroperasi dengan tingkat operasi standar, maka dipilihlah jenis *pitch* standar yang akan menyebabkan besar panjang *pitch* menjadi sama seperti besar diameter *screw conveyor*. Selain itu, diperkirakan pula bahwa jenis material yang akan dialirkan pada *screw conveyor* memiliki properti *free flowing*. Asumsi ini digunakan untuk menentukan besaran *loading ratio*. Karena sudut *screw conveyor* tidak memiliki inklinasi, besar *correction factor* yang digunakan adalah sebesar 1.

Dari perhitungan menggunakan Persamaan 1, diperoleh besar diameter dan *pitch screw conveyor* adalah 26 mm. Desain *screw conveyor* ditunjukkan dalam Gambar 3.

4. PENGUJIAN SISTEM

Pengujian sistem telah dilakukan antara lain uji pelepasan bahan semai, uji kecepatan terbang vertikal dengan membawa beban, uji terbang horizontal, uji akurasi pendaratan *auto landing/emergency*. Uji pelepasan bahan semai dilakukan baik di darat maupun di udara. Secara kualitatif sistem mampu menyemburkan bahan semai secara vertikal baik di darat maupun di udara. Namun masih terdapat kendala yaitu tidak semua bahan semai habis dilepaskan ke udara. Hal ini disebabkan bagian bawah tabung bawaan dari DJI AGRAS MP-1P masih terlalu datar sehingga bahan semai tidak masuk ke dalam *screw conveyor*.

Pada uji terbang dapat diketahui maksimum *climb speed* pada Dji Agras MG 1P berkisar 3m/s, sedangkan maksimum horizontal *speed* sekitar 10m/s. Dengan kecepatan vertikal 3m/s maka *drone* akan mencapai ketinggian maksimum dalam waktu 40 detik. Dengan kemampuannya ini DJI Agras MG 1P diharapkan mampu terbang beberapa kali dengan satu baterai untuk menyemai awan-orografis.

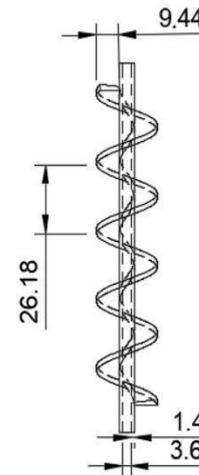
Fitur *Return to home* (RTH) berfungsi untuk membawa *drone* kembali ke titik awal lepas landas dengan aman apabila kondisi *drone* sudah tidak memungkinkan untuk terbang. Uji Fitur RTH ini penting untuk menentukan kebutuhan area pengoperasian *drone* yang aman. Pengujian dilakukan dengan memberi tanda titik mula lokasi *drone* sebelum diterbangkan dan menerbangkan pada ketinggian tertentu dan mengaktifkan fitur RTH. *Drone* secara otomatis akan kembali ke titik semula, namun karena akurasi dari sistem GPS maka *drone* tidak tepat kembali ke titik semula. Jarak antara titik semula dengan titik pendaratan *drone* diukur dengan alat pengukur panjang. Setelah dilakukan uji RTH pada *drone* DJI Agras MG 1P maka didapatkan toleransi kembali ke titik awal sejauh 1-3 m. Dari pengujian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa area terbuka dengan radius 6 m cukup aman untuk pengoperasian *drone* penyemaian awan yang dirancang.

Bahan semai 2-5 μm memiliki berat jenis sebesar 0.3 kg/l. Daya tampung bahan semai sebanyak 10 liter dapat menampung bahan semai sebanyak 3 kg. Bahan semai NaCl yang digunakan pada penyemaian awan dengan pesawat terbang memiliki ukuran 60-80 μm . Dengan mengambil nilai perbandingan volume terkecil antara bahan semai 2-5 μm dengan bahan semai serbuk NaCl konvensional maka didapatkan perbandingan terkecil volume kedua bahan semai tersebut sebesar 1:512.

Selanjutnya, dengan mengasumsikan berat jenis antara kedua bahan semai tersebut sama maka 1 kg bahan semai 2-5 μm memiliki jumlah partikel setara dengan 512 kg bahan semai konvensional. Satu kali sorti penyemaian *drone* dengan muatan penuh akan setara dengan 1.536 kg bahan semai konvensional.

Pengujian sistem penyembur bahan semai dilakukan di darat maupun di udara dengan menggunakan bahan tepung terigu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyemburkan serbuk ke udara. *Screw conveyor* dapat mendorong serbuk menuju pipa penyembur. Semburan yang dihasilkan Jet EDF mampu mendorong bahan semai ke atas hingga keluar dari cerobong seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (a). Pengukuran jarak semburan dilakukan dengan menganalisis foto hasil semburan seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Jarak semburan di hitung dengan membandingkan jarak semburan dari ujung cerobong ke serbuk yang terbang mendarat terhadap referensi panjang cerobong. Hasil penyemburan bahan semai di darat menunjukkan bahwa sistem dapat menyemburkan bahan semai hingga sekitar ~1,4 m dari ujung cerobong.

Pengujian penyemburan dilakukan juga pada saat kondisi *drone* terbang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pelepasan bahan semai mampu dikontrol dari jarak jauh secara nirkabel dengan menggunakan *remote control*. Namun, dari beberapa kali percobaan didapatkan bahwa masih ditemukan residu di dalam tabung. Hasil analisis menduga bahwa penyebab residu pada tabung penampung bahan semai adalah karena dinding tabung bagian bawah terlalu mendarat sehingga serbuk tidak bisa masuk ke dalam *screw conveyor*.



Gambar 3. Desain *screw conveyor*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Minimnya infrastruktur pesawat terbang untuk kegiatan penyemaian awan di Indonesia telah diantisipasi dengan inovasi metode alternatif non pesawat yang lebih murah yaitu *Ground Based Generator (GBG)*. GBG menjadi metode alternatif yang lebih murah dibandingkan dengan pesawat namun masih terdapat kekurangan yaitu dalam fleksibilitas penyemaian awan. Pengembangan metode penyemaian awan dengan *drone* yang dirancang dalam tulisan ilmiah ini mampu menutup kekurangan yang terdapat pada metode GBG.

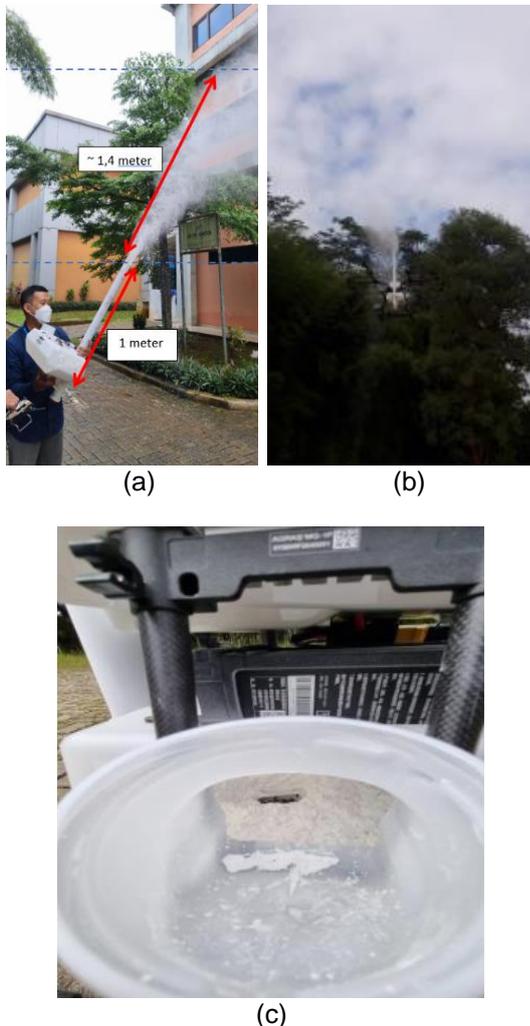
Konsep penyemaian awan dengan *drone* yang mematuhi peraturan DKPPU dapat menjadi alternatif perbaikan metode GBG untuk menyemai awan-awan orografis di lereng pegunungan. Optimasi pemilihan *drone* yang tersedia di pasaran menunjukkan bahwa *Drone DJI Agras MG-1P* memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan. Beberapa modifikasi dilakukan agar *drone DJI Agras MG-1P* untuk pertanian dapat digunakan untuk melepas bahan semai higroskopis berupa serbuk NaCl berukuran 2-5 mikrometer ke dasar awan. Dari segi teknik pelepasan bahan semai, *Screw conveyor* menjadi pilihan metode untuk mendorong bahan semai keluar dari tangki menuju pipa pengarah yang kemudian disemburkan menggunakan motor jet EDF. Semua sistem yang dirancang dikontrol secara nirkabel dari jarak jauh.

Pengujian sistem dilakukan baik di darat maupun di udara. Dari hasil uji terbang dapat diketahui bahwa *maximum climb speed* pada DJI Agras MG 1P berkisar 3 m/s, sedangkan *maximum horizontal speed* sekitar 10 m/s. Dengan kecepatan vertikal 3m/s maka *drone* akan mencapai ketinggian 120 m dalam waktu 40 detik. Pengujian RTH pada *drone DJI Agras MG 1P* menunjukkan bahwa toleransi *drone* kembali ke

titik awal sejauh 1-3 m yang mana hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan area kosong dengan radius maksimal 3 m agar *Drone* beroperasi dengan aman. Sedangkan hasil uji penyemburan bahan semai di darat menunjukkan bahwa sistem dapat menyemburkan bahan semai hingga sekitar ~1,4 m dari ujung cerobong.

5.2. Saran

Pengujian yang telah dilakukan pada tahap tulisan ini baru sebatas pada tahap uji fungsi alat. Metode penyemaian dengan *drone* di daerah topografi perbukitan perlu diuji coba secara langsung di lapangan untuk bisa dibandingkan dengan metode *Ground-Based Generator* (GBG) sebagai acuan pengembangan metode ini. Penyempurnaan pada bagian tangki diperlukan agar bahan semai yang dibawa dapat dilepaskan secara maksimal tanpa menyisakan material bahan semai di dalam tangki.



Gambar 4. Pengujian sistem pelepasan. (a) Uji penyemburan bahan semai di darat, (b) Uji penyemburan bahan semai di udara (c) residu bahan semai dalam tangki bahan semai.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Axisa D., & DeFelice T.P. (2016). Modern and Prospective Technologies for Weather Modification Activities: A Look at Integrating Unmanned Aircraft Systems. *Atmospheric Research*, 178-179, 114-124. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.03.005.
- DeFelice T.P., & Axisa D. (2017). Modern and Prospective Technologies for Weather Modification Activities: Developing A Framework for Integrating Autonomous Unmanned Aircraft Systems. *Atmospheric Research*, 193, 173-183. doi: 10.1016/j.atmosres.2017.04.024.
- Harsanti D, Adhitya K, Safrizal S. (2021). Fabrication Of 2-5 μM Hygroscopic Seeding Material for Rain Enhancement Purposes, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 22 (10), P. 35-39. doi: 10.29122/jstmc.v22i1.4599.
- Israr, H., Abdullah, M., & Mat, S. (2016). An Overview Of Using Unmanned Aerial Vehicle As An Alternative Solution For Cloud Seeding Process. *Journal of Transport System Engineering*, 1, 01-07. Retrieved from <https://jtse.utm.my/index.php/jtse/article/view/77>.
- Jung, W., Cha J.W., Ko, A.-R., Chae S., Ro Y., Hwang H.J., Kim B.Y., Ku J.M., Chang K.H., and Lee C. (2022). Progressive and Prospective Technology for Cloud Seeding Experiment by Unmanned Aerial Vehicle and Atmospheric Research Aircraft in Korea. *Advances in Meteorology*, 1687-9309. doi: 10.1155/2022/312867.
- Purwadi P., & Seto, T.H., (2014). Desain Konseptual Ground-Based Generator (GBG) Otomatis dan Konsep Operasional Berbasis Wireless Sensor Network (WSN), *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 15 (1), 9-14. doi: 10.29122/jstmc.v15i1.2651.
- Purwadi, P., Sunarto, F., Muttaqin, A., & Seto, T.H., (2014). Aplikasi Mobile Zeppeline sebagai Media Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dan Penipisan Polutan Udara (Asap), *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 15 (2), 57-63. doi: 10.29122/jstmc.v15i2.2671.
- Renggono, F., Mahally, K., Krisna, A., Purwadi, Halda, A.B., Saraswati, D., Rahmawati, S., Erwin, M., Edvin, A., Jon, A. (2022). Hygroscopic Ground-Based Generator Cloud Seeding Design; A Case Study from the 2020 Weather Modification in Larona Basin Indonesia, *Atmosphere*, 13(6), 968. doi: 10.3390/atmos13060968.
- Renggono, F. (2011). Pola sebaran hujan di DAS Larona. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi*

- Cuaca*, 12(1), 17-24. doi: 10.29122/jstmc.v12i1.2186.
- Renggono, F. (2015). Analisis Kemunculan Awan Hujan Berdasarkan Jenisnya untuk Mendukung Kegiatan Modifikasi Cuaca. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 16(2), 83-89. doi: 10.29122/jstmc.v16i2.1050.
- Tjasyono, Bayong. (2007). Proses Fisis–Dinamis Awan dan Modifikasinya. *Seminar Monitoring dan Evaluasi Teknologi Modifikasi Cuaca untuk Pencapaian Peningkatan Produksi Beras 2 Juta Ton*. UPT Hujan Buatan – BPPT. 30 Mei 2007. Jakarta.
- Rosenfeld, D., Axisa, D., Woodley, W. L., & Lahav, R. (2010). A Quest for Effective Hygroscopic Cloud Seeding. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(7), 1548–1562. <http://www.jstor.org/stable/26173835>.
- Segal, Y., Khain, A., Pinsky, M., and Rosenfeld, D. (2004). Effects of hygroscopic seeding on raindrop formation as seen from simulations using a 2000-bin spectral cloud parcel model. *Atmos. Res.*, 71, 3–34. doi: 10.1016/j.atmosres.2004.03.003.