

Rancang Bangun Drone Pemadam Otonom dengan Mekanisme *Water Bombing* Berbasis Navigasi *Waypoint* GPS

Akbar Sujiwa^{1*}, Widodo²

^{1,2}Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Indonesia

Jl. Dukuh Menanggal XII, Dukuh Menanggal, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author e-mail : akbarsujiwa@unipasby.ac.id

ABSTRAK

Kasus kebakaran hutan dan lahan dalam tiga tahun kebelakang terus mengalami fluktuatif, dimana dampaknya sampai memberikan kerugian triliunan rupiah. Untuk mengurangi dampak kebakaran hutan perlu adanya inovasi teknologi terkait penanggulangan bencana kebakaran. Beberapa teknologi telah banyak dikembangkan, di antaranya modifikasi cuaca dan drone pemadam kebakaran. Pada metode modifikasi cuaca tidak bisa dilakukan secara intens karena biaya operasional yang mahal, sedangkan pada teknologi drone masih dalam tahap pengembangan dan belum benar-benar diaplikasikan. Meskipun drone pemadam masih awam digunakan, namun teknologi ini dapat membantu terutama pada daerah terpencil seperti hutan. Oleh karena itu dalam penelitian ini dibangun drone yang memiliki kemampuan untuk memadamkan api dengan menjatuhkan bom air (*water bomb*). Berdasarkan hasil penelitian yang didapat, drone mampu melaksanakan tugas untuk menjatuhkan bom air dengan baik, sehingga diperoleh toleransi radius keakuratan sekitar 2 meter dari titik api. Tingkat kepresisian drone juga cukup baik dengan nilai kepresisiannya sekitar 95%. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat ditingkatkan lagi keefektifan drone dengan meningkatkan dimensinya, sehingga lebih kuat terhadap gangguan angin, lebih banyak memuat bom air, serta lebih lama durasinya.

Kata kunci : Drone, kebakaran, otomatis, pemadam.

ABSTRACT

Cases of forest and land fires in the past three years have continued to fluctuate, with the impact resulting in losses of trillions of rupiah. To reduce the impact of forest fires, there is a need for technological innovation related to fire disaster management. Several technologies have been developed, including weather modification and firefighting drones. The weather modification method cannot be carried out intensively because operational costs are expensive, while drone technology is still in the development stage and has not really been applied. Even though fire drones are still commonly used, this technology can help, especially in remote areas such as forests. Therefore, in this research, a drone was built which has the ability to extinguish fires by dropping water bomb s. Based on the research results obtained, the drone was able to carry out the task of dropping water bomb s well, so that an accuracy radius tolerance of around 2 meters was obtained from the fire point. The drone's precision level is also quite good with a precision value of around 95%. For further research, it is hoped that the drone's effectiveness can be further improved by increasing its dimensions, so that it is stronger against wind disturbances, contains more water bomb s, and lasts longer.

Keywords: Automatic, drones, extinguishing, fire.

I. PENDAHULUAN

Kebakaran hutan merupakan salah satu bencana terbesar dan selalu melanda di berbagai belahan dunia. Tidak hanya hutan yang terbakar tetapi juga perkebunan dan lahan masyarakat adalah bagian dari kebakaran ini. Indonesia, seperti Amerika Serikat

dan Australia, selalu mengalami hal ini setiap tahun dan merupakan kerugian besar bagi perekonomian negara dan pembangunan berkelanjutan. Salah satu peristiwa yang menjadi tonggak penting dalam memperhatikan bahaya bencana kebakaran hutan ini adalah kebakaran akibat cuaca yang disebabkan oleh El Niño Southern Oscillation (ENSO) pada tahun

1997/1998 yang saat itu membakar hutan hingga 25 juta hektar di seluruh dunia [4], [5].

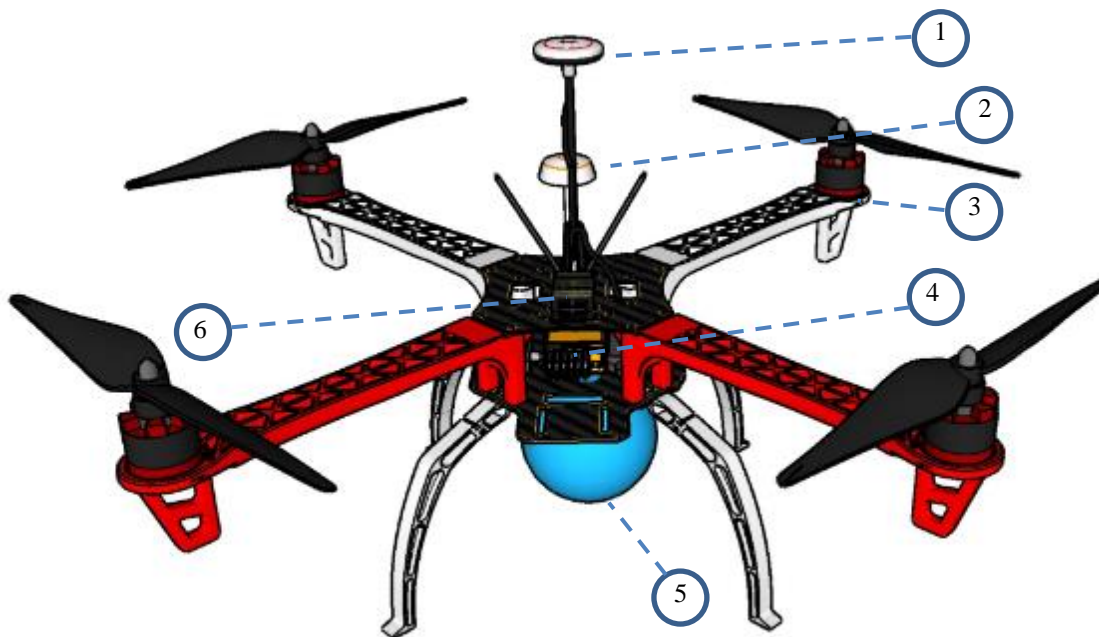
Indonesia mengalami bencana kebakaran yang sangat parah pada tahun 1997/1998, dan pada tahun 2000-an pemerintah Indonesia melalui Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) bekerja sama dengan Dinas Kehutanan Kanada mengembangkan Sistem Peringatan Dini khusus untuk mengantisipasi kondisi rawan kebakaran. BPPT bersama Kementerian Kehutanan (sekarang Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan) dan Badan Meteorologi dan Geofisika (sekarang BMKG) mengadopsi Fire Danger Rating System (FDRS) yang telah diterapkan di Kanada. BMKG sebagai lembaga yang bergerak di bidang meteorologi terus beroperasi hingga sekarang [6].

Kasus kebakaran hutan dan lahan (karhutla) sepanjang tahun 2022 berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia merusak sekitar 204.894 ha [7]. Sedangkan kasus terbaru terjadi di Taman Nasional Bromo pada tahun 2023, pada peristiwa ini ditaksir menyebabkan kerugian 89,7 miliar rupiah akibat kelalaian pengunjung sehingga mengakibatkan kebakaran yang meluas dan menghancurkan 504 hektar lahan di kawasan Gunung Bromo [8], [9]. Kasus karhutla dalam tiga tahun kebelakang terus mengalami fluktuatif, namun jangan sampai kasus karhutla terbesar tahun 2019 yang merugikan ekonomi lebih dari 75 triliun rupiah terulang kembali [2].

Oleh karena itu untuk mengurangi dampak karhutla perlu adanya inovasi teknologi terkait

penanggulangan dan pencegahan dampak kebakaran hutan. Beberapa teknologi telah banyak dikembangkan untuk mengatasi ini, antara lain modifikasi cuaca dan pemadaman menggunakan pesawat terbang, namun karena biaya operasional yang mahal, modifikasi cuaca tidak bisa dilakukan secara intens [10]. Awal pemadaman kebakaran melalui udara dimulai pada tahun 1924. Hal ini terjadi di Kanada, di mana untuk pertama kalinya dalam sejarah, sistem baru layanan alarm kebakaran hutan diluncurkan. Pesawat DHC-2 Beaver digunakan untuk mengangkut material dan staf yang diperlukan ke lokasi layanan alarm jarak jauh tersebut. Dan juga, pesawat ini digunakan untuk upaya pertama pemadaman kebakaran udara atau disebut pengeboman air (*water bombing*). Berbagai tas kulit berisi air dijatuhkan dari pesawat ke medan yang terkena kebakaran. Saat ini, sebagian besar layanan pemadam kebakaran pesawat terbang digunakan untuk memadamkan api di luar kawasan pemukiman seperti hutan dan padang rumput. Alasan mengapa pemadaman kebakaran udara adalah karena tekanan waktu dan terhambatnya aksesibilitas medan untuk mekanisme pemadaman kebakaran darat [11]. Namun lagi-lagi biaya operasional menggunakan pemadaman udara atau *water bombing* juga tidak murah, untuk operasional selama 1 jam saja bisa menghabiskan 150 juta rupiah sedangkan pada operasi pemadaman bromo membutuhkan waktu sekitar 4 hari [12].

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) berkembang pesat. Sebagai salah satu cabang dari teknologi drone api,



Gambar 1. Desain drone water bombing; (1) GPS, (2) VTX, (3) Motor, (4) Flight Controller, (5) Water Bomb, (6) RC Receiver

teknologi tersebut telah matang dan diterapkan pada berbagai bidang yang berkaitan dengan keamanan [13], namun di bidang pekerjaan penyelamatan darurat, penggunaan drone belum banyak digunakan. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi pemadam kebakaran drone pemadam kebakaran terutama berfokus pada pemadaman kebakaran hutan, atau menggunakan perangkat sistem untuk memprediksi jalur pemadaman kebakaran atau mengumpulkan data kebakaran yang relevan untuk mendukung pekerjaan penyebaran dan menyelesaikan operasi pemadaman kebakaran [14], [15]. Saat ini, dengan berkembangnya teknologi drone pemadam kebakaran dan peningkatan fungsinya telah banyak digunakan dalam penyelamatan darurat perkotaan dan perlindungan kebakaran perkotaan [16].

Sebagian besar drone pemadaman menggunakan pipa yang terhubung dengan sumber air untuk teknik pemadamannya, sehingga jika terjadi kebakaran pada daerah yang cukup jauh dari sumber air drone tipe ini kurang cocok digunakan. Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan sebuah drone yang mampu mengangkut bom air (*water bomb*) dan menjatuhkannya pada titik api.

II. METODE

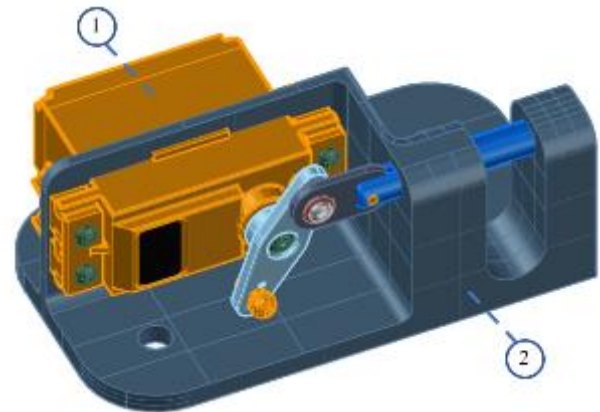
Dalam penelitian ini dibangun sebuah wahana nirawak berupa drone dengan kemampuan untuk menjatuhkan sebuah balon berisi air (*bomb air*) untuk memadamkan api. Pembuatan drone ini dimulai dengan menentukan desain yang cocok serta memilih komponen yang dibutuhkan untuk membuat sebuah drone. Ketika drone selesai dibangun selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat kepresisian dan keakuratan drone dalam menghantarkan bom air.

A. Desain *Water bomb* ing Drone

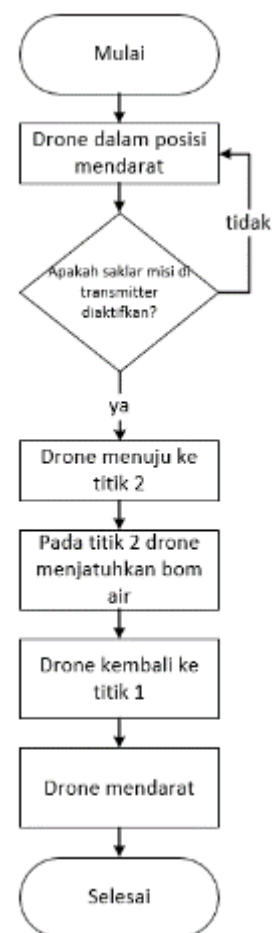
Tipe drone yang dibangun merupakan drone quadcopter atau drone dengan empat buah baling-baling. Secara keseluruhan komponen yang dipakai antara lain:

- Rangka drone F450 dengan panjang diagonal 450 mm.
- 4 buah Motor brushless 2212 920kv.
- 4 buah ESC 30A
- 4 buah baling-baling dengan 2 bilah
- 1 buah 4S baterai lipo
- 1 buah Flight Controller Pixhawk 2.4.8
- 1 buah GPS
- 1 buah Remote Control FS-i6
- 1 buah Servo MG996R
- 1 buah pay-load mechanism

Desain drone yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan ilustrasi Gambar 1. Drone ini

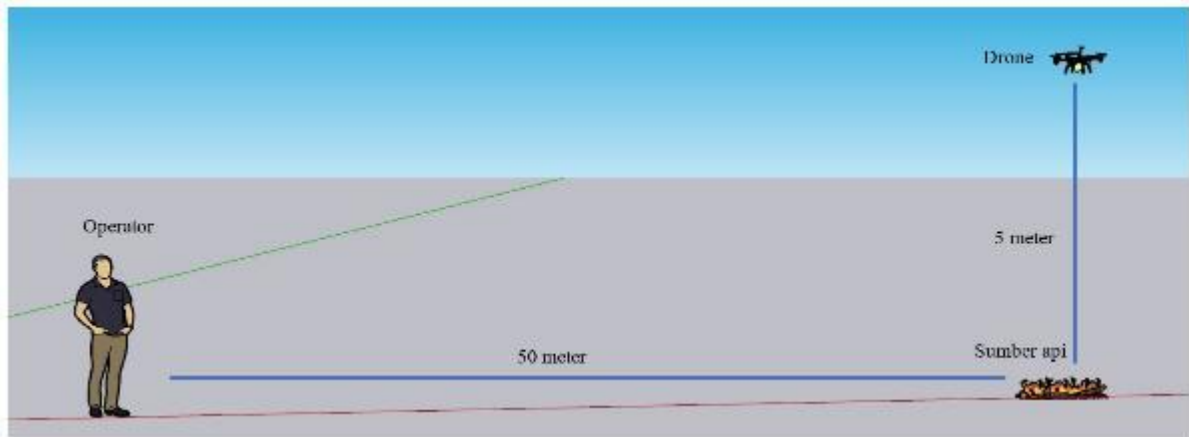


Gambar 2. Mekanisme sistem payload drop drone; (1) servo, (2) mekanisme gerendel



Gambar 3. Diagram alir dari *water bombing* drone

dimensinya cukup kecil karena memiliki bentang diagonal antar frame sebesar 45 cm. dan dilengkapi dengan empat buah motor dengan daya angkut sekitar 0,5 kg tiap motor, sehingga secara perhitungan mampu memiliki daya angkut kotor sekitar 2 Kg. Dengan daya angkut yang terbatas sehingga media *water bomb* yang dipakai menggunakan balon yang diisi dengan air dan diatur beratnya tidak lebih dari 1 Kg. Untuk jarak kendali



Gambar 4. Ilustrasi proses pengambilan data

dari transmitter sejauh 1,5 Km namun jika dilakukan secara otonom dapat menjangkau lebih dari 1,5 Km tergantung dari daya tahan baterai drone.

Pada mekanisme *water bombing*, dalam penelitian ini digunakan sistem pay-load mechanism dengan memanfaatkan sebuah servo (MG996R) yang digabungkan dengan sistem gerendel (latch). Cara kerja sistem ini adalah dengan mengontrol perputaran servo bergerak berputar berlawanan jarum jam maka akan membuka gerendel sehingga muatan balon air yang dibawa dapat dijatuhkan untuk memadamkan api, sebaliknya untuk menutup atau mengunci muatan servo dikendalikan untuk berputar searah jarum jam. Sistem gerendel ini ditempatkan di bagian bawah drone dengan dimensi sebesar $7,5 \times 4,5$ cm. Mekanisme pay-load dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.

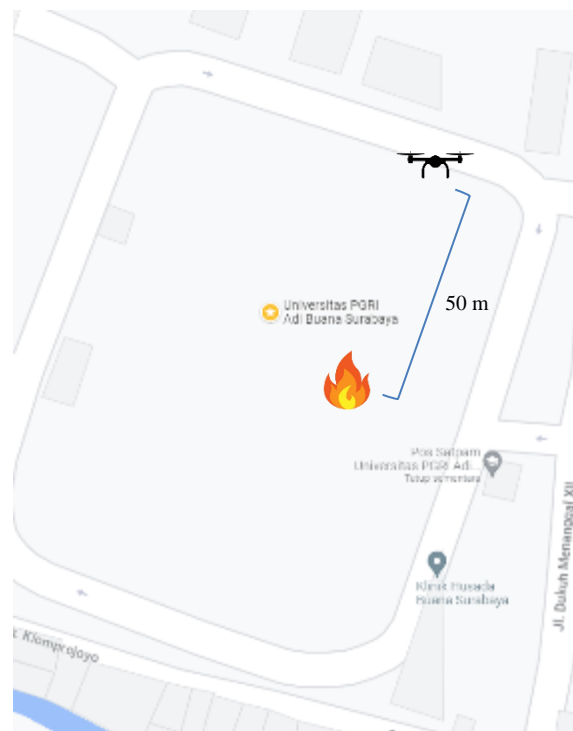
B. Alur Kerja Drone

Secara umum drone yang dibangun akan bekerja secara otomatis, sehingga operator hanya perlu mengaktifkan drone dengan mengaktifkan salah satu saklar transmitter yang sudah diprogram untuk menjalankan misi. Untuk alur kerja (*flowchart*) dari drone dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada posisi awal (mendarat) drone ditempatkan pada tanah yang datar, tentunya bom air juga sudah di tempatkan pada gerendel. Kemudian saklar misi diaktifkan sehingga drone akan mulai terbang secara vertikal ke atas setinggi 5 meter. Ketika sudah mencapai ketinggian 5 meter drone kemudian bergerak secara horizontal menuju ke arah titik ke 2 (sumber api). Setelah sampai maka drone akan menjatuhkan bom air kemudian bergerak kembali ke titik 1 untuk pulang dan mendarat.

C. Pengujian Keakuratan dan Kepresisian Drone

Setelah *drone* berhasil dibangun kemudian dilakukan pengujian terhadap keandalan *drone*. Pengujian ini dibatasi hanya untuk mengetahui tingkat kepresisian drone dalam menjatuhkan bom air (*water bomb*) dalam beberapa kali percobaan,

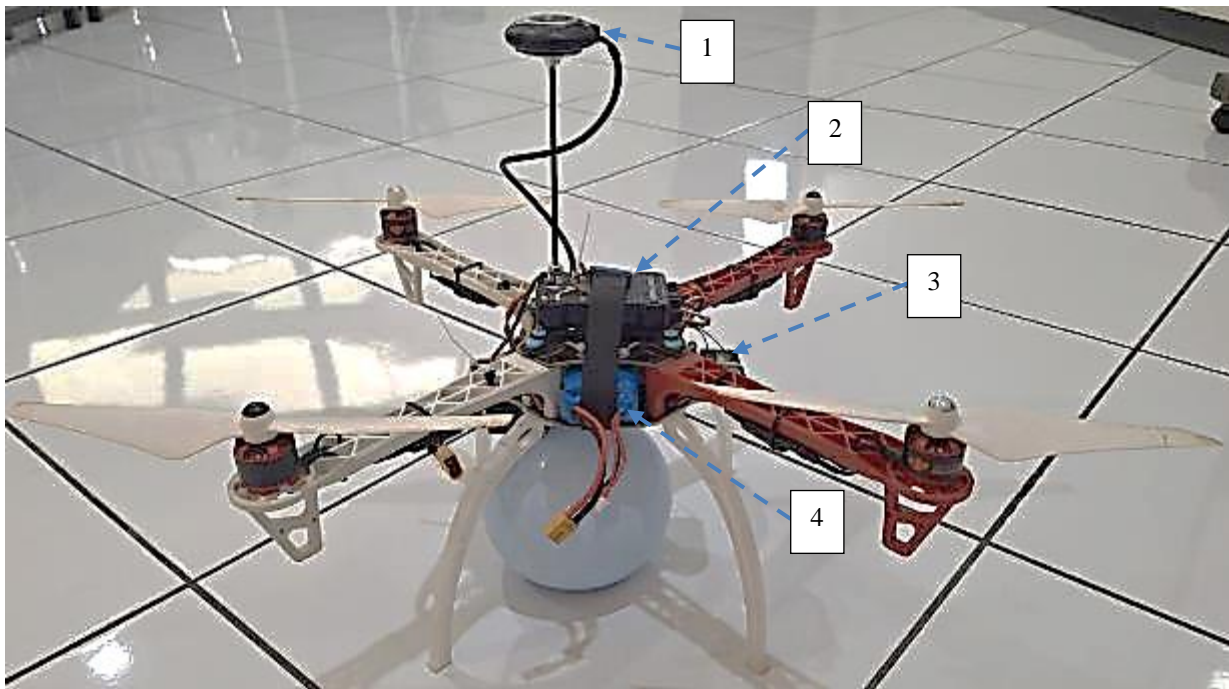


Gambar 5. Peta pengambilan data dari pengujian drone



Gambar 6. Tampilan Mission Planner untuk mengatur misi drone

serta menguji keakuratan posisi bom air untuk mendarat tepat pada target sumber api. Dalam proses pengambilan data, pengujian dilakukan pada kondisi



Gambar 7. Water Bombing Drone yang telah selesai dibangun; (1) GPS, (2) Flight Controller, (3) Receiver, (4) Baterai



Gambar 8. Mekanisme payload drone

yang ideal dengan mengambil tempat uji coba di lapangan yang bebas dari aktivitas manusia, sehingga tidak membahayakan jika terjadi suatu kegagalan fungsi pada drone. Ilustrasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4, jarak pengujian antara operator dengan sumber api yang akan dipadamkan diatur sekitar 50 meter, dan sumber api yang dipakai bukan api nyata namun hanya penanda berupa kertas yang ditancapkan. Api tidak digunakan karena yang dicari dalam pengujian ini bukan efektivitas pemadaman drone, melainkan hanya menguji presisi dan akurasi dari *water bomb*, sehingga cukup mengukur selisih jarak jatuhnya dengan sumber api.

Pada pengujian kepresisian, pengujian diatur sesuai Gambar 5 dengan menentukan jarak posisi awal drone dengan titik api sejauh 50 m. Agar drone dapat beroperasi secara otonom atau secara otomatis (tanpa kendali manusia), peneliti memprogram drone dengan menggunakan perangkat lunak (software)

Mission Planner. *Software* ini digunakan untuk mengisi *firmware* pada drone yang dapat juga untuk mengatur kecepatan terbang drone, mengatur fungsi transmitter dan beberapa fungsi pengaturan lainnya [17]. Pada Gambar 6 ditunjukkan tampilan *Mission Planner*, pada gambar tersebut *waypoint* atau titik penentu arah terbang dari drone hanya di tempatkan pada dua titik saja. Pada titik pertama diatur sebagai titik posisi awal drone, jadi ketika drone selesai melaksanakan tugasnya akan kembali ke titik pertama. Pada titik kedua merupakan posisi sumber api, sehingga setelah drone diaktifkan dalam mode otonom maka akan bergerak otomatis ke sumber api lalu menjatuhkan bom air, kemudian kembali titik pertama untuk mendarat. Kepresisian drone didapatkan dari data jarak posisi pendaratan bom air dengan mengamati apakah posisi akhir bom air saling berdekatan atau tidak.

Pada pengujian keakuratan drone, nilai yang diukur adalah eror jarak yang terjadi pada posisi bom air terhadap posisi dari sumber api. Semua pengujian dilakukan dalam 5 kali percobaan, sehingga dapat dicari tingkat kepresisian dan keakuratan dari *water bombing drone* yang telah di bangun.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Water Bombing Drone yang Telah Dibangun

Water bombing Drone telah berhasil dibuat dan dapat dilihat pada Gambar 7, dimana drone ini telah sesuai dengan desain pada Gambar 1. Terlihat pada bagian bawah drone adalah bom air yang terbuat dari balon berisi air, balon ini dapat bertahan di bagian bawah drone karena terdapat mekanisme payload



Gambar 9. Posisi jatuh bom air berdasarkan koordinat

yang diletakkan di bagian bawah, pada Gambar 8 merupakan mekanisme *payload* berupa gerendel dengan penggerak motor servo. Untuk mengontrol drone ini digunakan sebuah transmitter yang mampu mengendalikan drone hingga jarak maksimal 1,5 Km.

B. Data Hasil Percobaan

Telah dilakukan percobaan dalam menentukan keakuratan dan kepresisian dari drone ini. Pada Tabel 1 di kolom jarak disajikan data dari hasil pengukuran jarak antara posisi jatuh bom air dengan sumber api. Pada kolom durasi merupakan data hasil perhitungan waktu drone dalam menyelesaikan misi dari keadaan sebelum lepas landas kemudian melakukan pemadaman api hingga kembali mendarat di titik pendaratan. Pada kolom yang ketiga merupakan rata-rata kecepatan angin saat dilakukan penerbangan drone, data ini perlu diambil karena dalam setiap melakukan misi pemadaman kondisi di sekitar drone selalu berubah terutama kecepatan angin. Pada Gambar 9 merupakan posisi bom air saat mendarat di tanah, ini didapat dari hasil pemetaan pin berdasarkan koordinat GPS saat pengukuran, sehingga dapat diilustrasikan menggunakan peta Google Earth.

Tabel 1. Pengukuran posisi jatuh bom air terhadap sumber api (kecepatan drone 2 m/s)

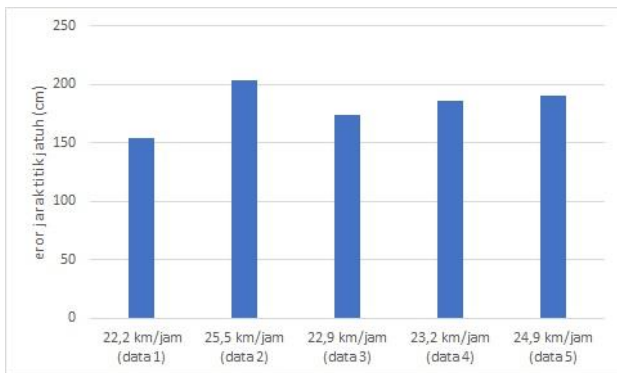
No.	Jarak (cm)	Durasi (menit:detik)	Kec. Angin (Km/Jam)
1	154	01:45.30	22,2
2	203	01:47.44	25,5
3	174	01:46.47	22,9
4	186	01:46.16	23,2
5	190	01:35.54	24,9
Rata-rata	181	01:44	23,74

C. Pembahasan

Berdasarkan pada data Tabel 1 dapat diamati bahwa rata-rata selisih jarak antara bom air dengan sumber api sekitar 181 cm. Dengan selisih jarak tersebut untuk memadamkan api masih cukup efektif karena nantinya air yang ada di bom air akan pecah dan menyebar ketika menyentuh tanah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa keakuratan pemadaman api dengan menggunakan bom air dengan media balon air cukup efektif dengan radius toleransi 2 meter.

Pada durasi proses pemadaman api rata-rata menghabiskan waktu 1 menit 44 detik, sehingga drone dengan kapasitas baterai yang ada dapat melakukan misi pemadaman sebanyak 5 kali. Keadaan angin juga menjadi faktor penentu dalam keakuratan drone dalam proses pemadaman. Jika diamati pada grafik perbandingan jarak jatuh bom air terhadap kecepatan angin pada 5 kali proses pengambilan data pada Gambar 10, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah kecepatan angin maka semakin akurat posisi jatuhnya bom air. Pernyataan tersebut diambil dari hasil pengamatan pada data ke-1 ketika kecepatan angin sekitar 22,2 km/jam maka jarak antara titik api dengan bom air sebesar 154 cm, sedangkan jarak terjauh terjadi saat kecepatan angin berhembus sebesar 25,5 km/jam, yang menyebabkan selisih jarak dengan pusat api sebesar 203 cm.

Tingkat kepresisian bom air diperoleh sekitar 95%, nilai ini diperoleh dengan menggunakan 5 buah data jarak kemudian dihitung menggunakan rumus perhitungan kepresisian pengukuran [17]. Dari nilai tersebut dapat dikatakan bahwa sistem drone ini sudah mampu melakukan tugasnya untuk memadamkan api dengan cukup baik. Namun drone ini masih memiliki beberapa kekurangan, antara lain dari segi daya angkut, durasi terbang dan ketahanan pada hembusan angin yang kencang. Untuk mengatasi kondisi kebakaran yang sesungguhnya terutama pada wilayah terbuka, sistem drone ini harus dibangun dengan dimensi yang lebih besar, yakni dengan meningkatkan frame, motor, dan baterai agar dapat mengangkut dimensi bom air lebih besar. Selain keuntungan tersebut, durasi pemakaian drone akan semakin lama serta lebih stabil jika ada angin kencang saat proses pemadaman, dengan kata lain persentase efektivitas pemadaman api akan semakin meningkatkan efektivitas.



Gambar 10. Grafik perbandingan jarak jatuh dengan kecepatan angin

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian perancangan dan pembangunan drone pemadam otonom dengan mekanisme water bombing, dapat disimpulkan bahwa drone yang dibangun mampu melaksanakan tugasnya dengan baik. Drone yang dibangun mampu menjatuhkan bom air dengan batas toleransi radius keakuratan sekitar 2 meter dari titik api. Tingkat kepresisian drone dalam menjatuhkan bom air juga cukup baik dengan nilai kepresisiannya sekitar 95%.

IV. SARAN

Untuk meningkatkan keefektifitasannya, pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengembangan dengan meningkatkan dimensi drone agar mampu terbang stabil pada kondisi angin yang besar serta meningkatkan daya angkut bom air, sehingga dapat digunakan pada kasus kebakaran sesungguhnya dengan keefektifan pemadaman yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "BRIN Soal Biaya Modifikasi Cuaca: Rp200 Juta Per Hari." Accessed: Mar. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20230103173450-199-895651/brin-soal-biaya-modifikasi-cuaca-rp200-juta-per-hari>
- [2] B. Permatasari, K. Kunci, and P. Keadilan Antar Generasi Kebakaran Hutan, "PERLINDUNGAN TERHADAP KEADILAN ANTAR GENERASI DALAM KASUS KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN DI INDONESIA: STUDI PUTUSAN PENGADILAN," *Jurnal Ilmu Hukum*, vol. 10, no. 1, pp. 95–112, Feb. 2021, doi: 10.30652/JIH.V10I1.7972.
- [3] S. Hidayat, S. Hidayat, and B. Tristiyono, "Pengembangan Desain Storage Drone sebagai Sarana Penunjang Pemetaan Lahan Pertanian Berbasis Drone DJI Mavic 2 Pro,"

- Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 9, no. 2, pp. F253–F258, Mar. 2021, doi: 10.12962/j23373520.v9i2.57402.
- [4] L. Tacconi, "Kebakaran hutan di Indonesia: penyebab, biaya dan implikasi kebijakan," 2003, Accessed: Oct. 24, 2023. [Online]. Available: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/18674>
- [5] H. Sanjaya *et al.*, "Indonesia Fire Danger Rating System (Ina-FDRS), a New Algorithm for the Fire Prevention in Indonesia," *AGERS 2019 - 2nd IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology: Understanding and Forecasting the Dynamics of Land, Ocean and Maritime, Proceeding*, pp. 1–5, Aug. 2019, doi: 10.1109/AGERS48446.2019.9034326.
- [6] G. Guswanto and E. Heriyanto, "OPERATIONAL WEATHER SYSTEMS FOR NATIONAL FIRE DANGER RATING," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 10, no. 2, Jul. 2009, doi: 10.31172/JMG.V10I2.37.
- [7] "Luas Kebakaran Hutan dan Lahan Indonesia Meningkat pada 2021." Accessed: Mar. 20, 2023. [Online]. Available: <https://dataindonesia.id/varia/detail/luas-kebakaran-hutan-dan-lahan-indonesia-meningkat-pada-2021>
- [8] "Kebakaran Bromo gegara Flare Prewedding Rugikan Negara Rp 5,4 M!" Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.detik.com/sulsel/berita/d-6945379/kebakaran-bromo-gegara-flare-prewedding-rugikan-negara-rp-5-4-m>
- [9] "Kebakaran di Bromo Timbulkan Kerugian Rp89,7 Miliar Bagi Sektor Pariwisata." Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.voaindonesia.com/a/kebakaran-di-bromo-timbulkan-kerugian-rp89-7-miliar-bagi-sektor-pariwisata/7283241.html>
- [10] B. Harsoyo, "PEMANFAATAN TEKNOLOGI MODIFIKASI CUACA UNTUK PENANGGULANGAN BENCANA ASAP KEBAKARAN LAHAN DAN HUTAN," *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, vol. 13, no. 2, pp. 47–50, Dec. 2012, doi: 10.29122/JSTMC.V13I2.2571.
- [11] P. Kal'avsky *et al.*, "The efficiency of aerial firefighting in varying flying conditions," *ICMT 2019 - 7th International Conference on Military Technologies, Proceedings*, May 2019, doi: 10.1109/MILTECHS.2019.8870050.
- [12] "Mengenal Teknik Water Bombing yang Tak Murah untuk Padamkan Kebakaran Hutan|

SINAU.” Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available:

<https://www.kompas.tv/video/449821/mengenal-teknik-water-bombing-yang-tak-murah-untuk-padamkan-kebakaran-hutan-sinau>

- [13] K. P. Valavanis and G. J. Vachtsevanos, “Handbook of unmanned aerial vehicles,” *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, pp. 1–3022, Jan. 2015, doi: 10.1007/978-90-481-9707-1/COVER.
- [14] C. Seguin, G. Blaquièrre, A. Loundou, P. Michelet, and T. Markarian, “Unmanned aerial vehicles (drones) to prevent drowning,” *Resuscitation*, vol. 127, pp. 63–67, Jun. 2018, doi: 10.1016/J.RESUSCITATION.2018.04.005.
- [15] J. Tomotani, “Using unmanned aerial vehicles in search operations,” *Journal of Geek Studies*, vol. 2, pp. 41–53, 2018.
- [16] L. Deng, Y. He, and Q. Liu, “Research on Application of Fire Uumanned Aerial Vehicles in Emergency Rescue,” *2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering, ICFSFPE 2019*, Oct. 2019, doi: 10.1109/ICFSFPE48751.2019.9055875.
- [17] A. Sujiwa and P. K. Antu, “Implementasi Wahana Tanpa Awak Otomatis Berbasis Drone Quadcopter untuk Pengiriman Makanan,” *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 74–78, Dec. 2022, doi: 10.30871/JAEE.V6I2.4803.