

## Optimalisasi Operasi Udara Terpadu Berbasis AFEC dalam Penanggulangan Karhutla di Kalimantan Selatan

Ashari Rahman,<sup>1</sup> Dena Priyanto,<sup>2</sup> Riski Ratnawan G.,<sup>3</sup> Ricky Kharismawan,<sup>4</sup> Reza Yori Prasetyo,<sup>5</sup> Eldi Rianaldi P.,<sup>6</sup> Indra Permana Putra,<sup>7</sup> Riki Arinanda,<sup>8</sup> Sang Made Yogi A.P.,<sup>9</sup> Gianina M.B. Sembiring,<sup>10</sup> Verly Affian P.,<sup>11</sup> Dian Andriyanto N.,<sup>12</sup> Fitriandi,<sup>13</sup> Rofi Eka Wahyudi,<sup>14</sup> Jorry S. Koloay,<sup>15</sup> Handoko Ivan Haryanto,<sup>16</sup> M. Sugiyanto,<sup>17</sup> Badra,<sup>18</sup> Yusa Djujandi<sup>19</sup>

<sup>1-18</sup> Sekolah Staf dan Komando Angkatan Udara Republik Indonesia, Bandung, Indonesia.

<sup>19</sup> Ilmu Politik, Universitas Padjadjaran, Bandung, Indonesia.

e-mail: \*mdyogiarya@gmail.com

### Abstract / Abstrak

*This study examines the current conditions, operational constraints, and optimization strategies of integrated aerial operations for forest and land fire management in South Kalimantan, Indonesia, within the framework of Military Operations Other Than War. A descriptive qualitative case study approach was employed, drawing on semi-structured interviews, field observations, questionnaires involving 1,022 respondents, and operational documentation. Data were analyzed through qualitative data condensation, data display, conclusion verification, and gap analysis, supported by Command and Control (C2), interoperability, collaborative governance, and the OODA Loop. As of September 6, 2026, 2,828 fire incidents, 20,351 hotspots, and approximately 18,938.06 hectares of affected land were recorded. Aerial operations included 77 patrol sorties, 210 water-bombing sorties, 9,713 water drops totaling approximately 40.17 million liters, and 15 weather modification sorties. The findings identify limitations in real-time information updates, air-ground coordination, aircraft availability, water sources, and post-mission evaluation. This study proposes the AFEC-Based Rapid Aerial Response framework, integrating detection, verification, risk-based prioritization, aerial intervention, ground containment, and reassessment into an adaptive decision-making cycle. The framework offers a conceptual-operational basis for strengthening coordinated responses, while its effectiveness requires further empirical validation.*

Penelitian ini menganalisis kondisi aktual, hambatan operasional, dan strategi optimalisasi operasi udara terpadu dalam penanggulangan Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla) di Kalimantan Selatan sebagai bagian dari Operasi Militer Selain Perang (OMSP). Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi kasus melalui wawancara semi-terstruktur, observasi lapangan, kuesioner terhadap 1.022 responden, dan dokumentasi operasional. Analisis dilakukan melalui kondensasi data, penyajian data, verifikasi kesimpulan, dan analisis kesenjangan dengan perspektif *Command and Control* (C2), interoperabilitas, *collaborative governance*, dan OODA Loop. Hingga 6 September 2026, tercatat 2.828 kejadian Karhutla, 20.351 titik panas, dan sekitar 18.938,06 hektare lahan terdampak. Operasi udara mencakup 77 sorti patroli, 210 sorti *water bombing*, 9.713 penjatuhan air dengan volume sekitar 40,17 juta liter, serta 15 sorti modifikasi cuaca. Temuan mengidentifikasi kendala pembaruan informasi secara *real time*, koordinasi udara-darat, kesiapan aset, ketersediaan sumber air, dan evaluasi pascamisi. Penelitian ini merumuskan kerangka AFEC-Based Rapid Aerial Response yang mengintegrasikan deteksi, verifikasi, prioritas berbasis risiko, intervensi udara, pengendalian darat, dan evaluasi ulang dalam satu siklus keputusan adaptif. Kerangka tersebut menjadi dasar konseptual-operasional bagi penguatan respons terpadu, sedangkan efektivitas penerapannya masih memerlukan validasi empiris lebih lanjut.

DOI:

### Article Info

Received: Agustus

Accepted: September

Published: September

Copyright © 2026 The Author(s). Published by Suwaib Amiruddin Foundation, Indonesia.

This is an Open Access article under the CC BY 4.0 license

### Keywords / Kata kunci

*Integrated Aerial Operations; Forest and Land Fires; Command and Control; Interoperability; AFEC-Based Rapid Aerial Response.*

Operasi Udara Terpadu; Kebakaran Hutan dan Lahan; Command and Control; Interoperabilitas; AFEC-Based Rapid Aerial Response.

### Pendahuluan

Indonesia memiliki karakter geografis, iklim, dan tutupan lahan yang menyebabkan sebagian wilayah memiliki tingkat kerawanan Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla) yang tinggi. Menurut BMKG, terjadinya pembukaan lahan yang dilakukan dengan cara dibakar, ditengah kondisi iklim yang kering, menyebabkan cepat dan

masifnya tingkat kebakaran hutan yang menimbulkan polusi asap (Permana, 2026).

Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kalsel mencatat, sepanjang Januari hingga 15 September 2026 terjadi 3.256 peristiwa kebakaran dengan 21.696 hektar lahan terdampak (Rizki, 2026). Karhutla memiliki dampak tidak hanya terhadap kerusakan ekologis, tetapi juga

memengaruhi kesehatan masyarakat, transportasi, aktivitas sosial-ekonomi, keselamatan penerbangan, dan stabilitas wilayah.

Kalimantan Selatan memiliki kawasan hutan dan lahan gambut, wilayah yang sulit dijangkau melalui darat, serta dinamika musim kemarau yang dapat mempercepat perkembangan kebakaran. Kondisi tersebut menuntut respons yang cepat, terintegrasi, adaptif, dan mampu menjangkau area yang luas.

Perkembangan penelitian mengenai penanggulangan kebakaran hutan menunjukkan meningkatnya perhatian terhadap penggunaan teknologi pemantauan, sistem pendukung keputusan, optimalisasi sumber daya, dan koordinasi lintas lembaga. Kajian mengenai *decision support tools* dalam manajemen kebakaran hutan (O'Mara et al., 2024) menekankan pentingnya integrasi informasi dalam mendukung perencanaan dan pengambilan keputusan operasional. Sementara itu, penelitian mengenai koordinasi antarlembaga dalam pemadaman kebakaran di Australia (2021) menunjukkan bahwa efektivitas operasi dipengaruhi oleh pengaturan sumber daya dan sinkronisasi pelaksanaan tugas. Meskipun berbagai pendekatan tersebut telah memberikan kontribusi terhadap peningkatan pengelolaan kebakaran, hubungan antara deteksi ancaman, verifikasi informasi, keputusan pengerahan aset, intervensi udara, dan evaluasi hasil operasi masih memerlukan perhatian dalam konteks operasi terpadu yang melibatkan unsur militer dan sipil. Persoalan tersebut semakin relevan pada wilayah dengan karakteristik lahan gambut, keterbatasan akses darat, dan perubahan ancaman kebakaran yang cepat.

Pelibatan TNI dalam membantu penanggulangan bencana merupakan bagian dari OMSP, dan dalam banyak kajian ilmiah, operasi ini dapat dimungkinkan untuk meminimalkan dampak dari suatu bencana, yang bila tidak segera ditangani dapat menimbulkan dampak negatif yang lebih luas (Soltani et al., 2026). Dalam kajian lain yang lebih spesifik menganalisa pelibatan Angkatan Udara dalam operasi penanganan bencana, dikatakan bahwa adanya pelibatan

TNI AU dalam manajemen penanganan bencana merupakan bentuk sinergi positif yang juga dapat berdampak pada stabilitas nasional (Suwaji et al., 2019).

Dalam konteks Karhutla, TNI AU memiliki keunggulan berupa kecepatan, jangkauan, fleksibilitas, kemampuan pemantauan dan patroli udara, mobilitas udara, serta intervensi water bombing. Namun, kekuatan udara tidak dapat bekerja secara terpisah. Efektivitasnya bergantung pada keterpaduan dengan Posko/Satgas, unsur darat, pemerintah daerah, BPBD, BMKG, Manggala Agni, TNI/Polri, relawan, masyarakat, dan pemangku kepentingan lainnya.

Kondisi ideal menuntut agar pemantauan dan patroli udara terhubung langsung dengan pengambilan keputusan dan penentuan prioritas, water bombing menjadi bagian dari pengendalian kebakaran udara-darat, C2 menghubungkan informasi, keputusan, dan tindakan secara cepat, serta dukungan pangkalan dan logistik menjamin keberlanjutan operasi dengan tetap menerapkan manajemen risiko keselamatan penerbangan. Pada kondisi aktual, mekanisme tersebut telah berjalan, tetapi integrasi informasi real time, kesamaan situational awareness, sinkronisasi udara-darat, dan kesinambungan evaluasi pascamisi masih memerlukan penguatan.

Persoalan optimalisasi operasi udara tidak hanya berkaitan dengan kapasitas penerbangan, tetapi juga kemampuan kelembagaan dalam mengubah informasi menjadi keputusan dan tindakan yang tepat. Alberts & Hayes (2006) menjelaskan bahwa *Command and Control* berperan dalam pengelolaan informasi, koordinasi, dan pengambilan keputusan pada lingkungan operasi yang kompleks, sedangkan Ansell & Gash (2008) menekankan pentingnya kolaborasi antarpemangku kepentingan dalam penyelesaian persoalan publik. Kerangka OODA Loop dari Boyd (1986) memberikan perspektif mengenai hubungan antara pengamatan, orientasi, keputusan, dan tindakan dalam situasi dinamis. Di sisi lain, Wiard-Greene et al. (2026) menunjukkan bahwa penilaian efektivitas pemadaman udara memerlukan kehati-

hatian karena perubahan laju penyebaran api tidak selalu dapat diatribusikan secara langsung pada intervensi udara. Dengan demikian, jumlah sorti, volume air, dan frekuensi *water drop* perlu dilengkapi dengan indikator yang menggambarkan kecepatan keputusan, ketepatan pengerahan, integrasi udara-darat, dan hasil pengendalian kebakaran.

Kesenjangan penelitian terletak pada kebutuhan menghubungkan kemampuan udara dengan *decision cycle* berbasis risiko. Banyak ukuran operasional masih berfokus pada jumlah sortie, water drop, jam terbang, atau volume air, sementara ukuran tersebut belum sepenuhnya menunjukkan apakah eskalasi kebakaran berhasil dikendalikan. Karena itu, penelitian ini mengembangkan *AFEC-Based Rapid Aerial Response* sebagai kerangka yang menautkan indikator aktivitas dengan outcome berupa kecepatan respons, ketepatan sasaran, integrasi udara-darat, keselamatan, containment, dan pencegahan re-ignition.

Pengembangan *AFEC-Based Rapid Aerial Response* diarahkan untuk mengintegrasikan kemampuan operasi udara, tata kelola koordinasi lintas instansi, serta evaluasi berbasis dampak operasional dalam satu siklus pengambilan keputusan. Berbeda dengan pendekatan yang menitikberatkan optimalisasi aset penerbangan atau pengukuran jumlah aktivitas secara terpisah, kerangka ini menghubungkan *detection, verification, assessment, risk-based prioritization, aerial intervention, ground containment*, dan *reassessment* sebagai proses yang saling bergantung. Integrasi C2, interoperabilitas, *collaborative governance*, dan OODA Loop memberikan dasar analitis untuk menjelaskan bagaimana kecepatan respons dapat ditingkatkan melalui perbaikan arus informasi, kejelasan kewenangan, dan koordinasi tindakan. Dalam konteks Karhutla di Kalimantan Selatan, pendekatan tersebut menyediakan kerangka untuk mengidentifikasi hambatan operasional dan merumuskan strategi optimalisasi yang memperhatikan kondisi lingkungan, keterbatasan sumber daya, keselamatan

penerbangan, dan efektivitas pelaksanaan OMSP.

Pertanyaan penelitian dirumuskan menjadi tiga bagian: (1) bagaimana kondisi aktual pelaksanaan operasi udara terpadu pada penanggulangan Karhutla di Kalimantan Selatan; (2) faktor apa saja yang mendukung dan menghambat optimalisasi operasi; dan (3) bagaimana strategi optimalisasi yang mampu meningkatkan kecepatan respons, ketepatan penanganan, sinergi antarunsur, dan keberlanjutan operasi. Dengan struktur ini, penelitian tidak hanya menggambarkan kapasitas udara, tetapi menjelaskan mekanisme integrasi informasi, kewenangan, prosedur, personel, aset, dan tindakan udara-darat sebagai satu sistem operasional.

### Metode

Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi kasus di Provinsi Kalimantan Selatan. Pendekatan ini dipilih karena operasi udara terpadu melibatkan interaksi antar personel, struktur kewenangan, sistem informasi, prosedur, sumber daya, kondisi lingkungan, dan koordinasi lintas instansi yang perlu dipahami secara kontekstual.

Data primer diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dan observasi terhadap unsur TNI serta instansi terkait, termasuk unsur pelaksana operasi udara, Posko/Satgas, Liaison Officer (LO), unsur darat, dan pemangku kepentingan lapangan. Data primer dilengkapi kuesioner kepada 1.022 responden yang terdiri atas unsur masyarakat, pelajar, pemerintah daerah, relawan, TNI, Polri, serta instansi/dinas kabupaten/kota di Kalimantan Selatan. Data sekunder meliputi dokumen operasi, data hotspot, aktivitas patroli dan water bombing, data sumber air, informasi meteorologi, laporan kegiatan, peraturan, doktrin, dan literatur terkait.

Pemilihan informan wawancara dilakukan dengan mempertimbangkan keterlibatan, kewenangan, dan pengetahuan informan terhadap penyelenggaraan operasi udara terpadu dalam penanggulangan Karhutla. Kategori informan mencakup unsur pengendali operasi, pelaksana operasi

udara, *Liaison Officer* (LO), unsur Posko/Satgas, instansi penanggulangan bencana, serta personel yang terlibat dalam koordinasi operasi udara-darat. Sementara itu, data kuesioner terhadap 1.022 responden digunakan untuk memperoleh gambaran persepsi pemangku kepentingan mengenai peran TNI AU, sinergi antarinstansi, ketersediaan sumber daya, dan efektivitas penanggulangan Karhutla. Hasil kuesioner dianalisis secara deskriptif untuk melengkapi interpretasi terhadap temuan wawancara, observasi, dan dokumentasi operasional.

Pengumpulan data memanfaatkan dokumentasi kegiatan Pasis Seskoau A-65 TP 2026 pada 31 Agustus sampai 9 September 2026. Data operasional dihimpun terutama pada rentang 1 sampai 6 September 2026 dan dievaluasi pada 7 sampai 9 September 2026. Keabsahan data diperkuat melalui triangulasi sumber dengan membandingkan hasil wawancara, observasi, dokumen operasi, data lapangan, kuesioner, serta regulasi dan doktrin.

Analisis menggunakan model Miles, Huberman, dan Saldaña melalui kondensasi data, penyajian data, serta penarikan dan verifikasi kesimpulan. Proses tersebut dipadukan dengan gap analysis untuk membandingkan kondisi ideal dan kondisi aktual. Data kemudian ditelaah melalui teori optimalisasi, *Command and Control* dari Alberts dan Hayes, interoperabilitas, collaborative governance, dan OODA Loop dari John R. Boyd. Kerangka analisis difokuskan pada bottleneck dalam tahapan detection, verification, decision, intervention, dan re-ignition/evaluation.

Proses analisis diarahkan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara kesiapan sumber daya, mekanisme koordinasi, kecepatan pengambilan keputusan, pelaksanaan intervensi udara, dan kesinambungan penanganan kebakaran. Data wawancara dan observasi dikelompokkan berdasarkan dimensi operasional yang meliputi deteksi, verifikasi, pengambilan keputusan, pengerahan aset, koordinasi udara-darat, dan evaluasi pascamisi. Selanjutnya, temuan tersebut dibandingkan dengan data

operasional serta hasil kuesioner untuk mengidentifikasi kesesuaian, perbedaan, dan hambatan dalam pelaksanaan operasi udara terpadu. Interpretasi dilakukan dengan menghubungkan temuan empiris pada kerangka C2, interoperabilitas, collaborative governance, dan OODA Loop sehingga analisis tidak hanya menghasilkan deskripsi kegiatan, tetapi juga penjelasan mengenai faktor yang memengaruhi optimalisasi operasi.

Gap analysis digunakan untuk membandingkan kondisi aktual dengan kebutuhan operasional yang menjadi acuan dalam pelaksanaan operasi udara terpadu. Perbandingan difokuskan pada enam dimensi, yaitu kecepatan respons, ketepatan verifikasi sasaran, kesiapan aset dan sumber daya, efektivitas koordinasi antarunsur, kesinambungan intervensi udara-darat, serta evaluasi hasil operasi. Setiap dimensi dianalisis berdasarkan informasi operasional yang tersedia, termasuk data waktu respons, kesiapan aset, pelaksanaan sorti, pemanfaatan sumber air, dan koordinasi pascamisi. Hasil identifikasi kesenjangan selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk merumuskan prioritas perbaikan dalam kerangka *AFEC-Based Rapid Aerial Response*.

Unit analisis penelitian adalah decision loop operasi udara terpadu, yaitu hubungan antara ancaman Karhutla, informasi/ISR, kesiapan aset dan sumber daya, C2, interoperabilitas, keputusan pengerahan, intervensi udara, tindakan darat, dan feedback pascamisi. Efektivitas dinilai melalui kecepatan, ketepatan, cakupan, integrasi, keselamatan, dan pencapaian efek. Hasil analisis digunakan untuk merumuskan *AFEC-Based Rapid Aerial Response* sebagai strategi pengendalian eskalasi kebakaran.

## Hasil dan Pembahasan

Kajian lapangan Perwira Siswa (Pasis) Seskoau A-65 TP 2026 di Kalimantan Selatan pada 31 Agustus sampai 9 September 2026 memperlihatkan bahwa operasi udara telah memberikan kontribusi nyata. Pada saat yang sama, tingginya jumlah kejadian, luas area terdampak,

perubahan hotspot yang cepat, keterbatasan sumber daya, serta karakter lahan gambut menunjukkan bahwa ukuran keberhasilan tidak cukup berupa banyaknya aktivitas penerbangan. Efektivitas harus dinilai dari seberapa cepat informasi berubah menjadi keputusan, seberapa tepat aset dikerahkan, seberapa baik intervensi udara terhubung dengan containment darat, serta seberapa jauh kebakaran dapat dicegah agar tidak mengalami eskalasi atau re-ignition.

#### Kondisi Aktual Operasi Udara Terpadu

Data akumulatif sampai 6 September 2026 menunjukkan 2.828 kejadian Karhutla, sekitar 18.938,06 hektare lahan terdampak, dan 20.351 hotspot. Kabupaten Tapin tercatat memiliki sekitar 5.055 hotspot, sedangkan Kabupaten Banjar memiliki sekitar 579 kejadian sekaligus sekitar 4.877 hektare area terdampak. Perbedaan pola tersebut menunjukkan bahwa jumlah hotspot tidak identik dengan jumlah kejadian atau luas dampak sehingga hotspot harus diperlakukan sebagai indikator awal yang memerlukan verifikasi dan penilaian risiko sebelum menjadi sasaran intervensi udara.

Perkembangan bulanan menunjukkan peningkatan ancaman memasuki musim kemarau. Hotspot meningkat dari sekitar 661 titik pada Juni menjadi 2.402 pada Juli, 12.853 pada Agustus, dan 3.435 titik pada awal September 2026. Pada periode yang sama, jumlah kejadian meningkat dari 21 menjadi 505, 1.815, dan 464 kejadian, sedangkan luas terdampak meningkat dari sekitar 89 hektare pada Juni menjadi 1.326 hektare pada Juli, 10.964 hektare pada Agustus, dan 6.518 hektare pada awal September. Dinamika tersebut memperlihatkan bahwa sistem C2 harus mampu mengubah prioritas secara cepat mengikuti perubahan ancaman.

Respons udara telah dilaksanakan secara intensif. Sampai 6 September 2026 tercatat 77 sorti patroli udara, 210 sorti water bombing, 9.713 water drop dengan volume kumulatif sekitar 40.173.500 liter air, serta 15 sorti operasi modifikasi cuaca menggunakan sekitar 15.000 kilogram NaCl dengan waktu terbang kumulatif 20 jam 59 menit. Angka tersebut menunjukkan output

operasi yang signifikan, tetapi outcome tetap perlu diukur dari penurunan intensitas kebakaran, perlindungan wilayah prioritas, dukungan terhadap containment darat, dan berkurangnya re-ignition.

**Tabel 1. Ringkasan Data Operasional Karhutla sampai 6 September 2026**

| Indikator                | Nilai                            | Makna Analitis                                                           |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Kejadian Karhutla        | 2.828 kejadian                   | Menunjukkan skala ancaman dan kebutuhan prioritas dinamis.               |
| Luas terdampak           | ±18.938,06 ha                    | Menggambarkan dampak spasial yang harus dikendalikan.                    |
| Hotspot                  | 20.351 titik                     | Indikator awal yang memerlukan verifikasi sebelum dispatch.              |
| Patroli udara            | 77 sorti                         | Mendukung deteksi, verifikasi, dan situational awareness.                |
| Water bombing            | 210 sorti; 9.713 drop            | Output intervensi udara yang harus dihubungkan dengan containment darat. |
| Volume air               | ±40,17 juta liter                | Ukuran aktivitas, bukan satu-satunya ukuran efektivitas.                 |
| Operasi modifikasi cuaca | 15 sorti; ±15.000 kg NaCl        | Mendukung pengendalian kondisi lingkungan operasi.                       |
| Aset udara               | 8 unit; rata-rata 5 siap operasi | Menunjukkan kebutuhan risk-based dispatch saat sasaran meningkat.        |
| Sumber air               | 34 lokasi teridentifikasi        | Keberlanjutan debit dan jarak menjadi faktor tempo operasi.              |

Dari sisi kesiapan, terdapat delapan aset udara dengan rata-rata lima unit siap operasi dan dua unit mengalami unserviceable/downtime. Terdapat 17 personel udara yang memiliki pengalaman Karhutla, enam LO dengan pola satu LO pada setiap helikopter, serta 34 lokasi sumber air yang telah diidentifikasi. Lima sumber air aktif di Ring 1 Bandara Syamsudin Noor mendukung tempo operasi dengan jarak rata-rata sekitar 3-4 NM dari sasaran, pengisian air sekitar satu menit, dan turnaround sekitar empat menit. Namun, penurunan kedalaman dan volume embung dapat mengganggu kesinambungan operasi.

Mekanisme keputusan menunjukkan respons relatif cepat: waktu deteksi sampai verifikasi sekitar 2-5 menit, permintaan dukungan sampai keputusan pengerahan sekitar 5-10 menit, penyampaian permintaan dukungan oleh LO sekitar 1-3 menit setelah verifikasi, dan keputusan sampai pesawat *take-off* paling lama sekitar 30 menit. Kelemahan muncul ketika data aktual dari unsur darat tidak selalu diperbarui secara real time karena personel lapangan pada saat yang sama terlibat langsung dalam pemadaman.

Survei terhadap 1.022 responden menunjukkan persepsi relatif positif terhadap peran TNI AU dan sinergi lintas instansi. Peran TNI AU dinilai baik oleh 72,1% responden dan sinergitas antarinstansi dinilai baik oleh 57,9%. Namun, ketersediaan air, fasilitas pendukung, kecepatan pemadaman, serta pencegahan/mitigasi masih memperoleh porsi penilaian cukup dan kurang yang bermakna. Artinya, legitimasi dan dukungan pemangku kepentingan telah terbentuk, tetapi efektivitas operasional masih perlu diperkuat pada aspek sumber daya, integrasi, dan kecepatan siklus respons.

Temuan tersebut memperlihatkan adanya perbedaan antara persepsi positif terhadap kontribusi TNI AU dan tantangan efektivitas pelaksanaan operasi di lapangan. Penilaian baik terhadap peran TNI AU sebesar 72,1% dan sinergitas antarinstansi sebesar 57,9% menunjukkan bahwa kedua aspek memperoleh tingkat penilaian yang berbeda dari responden. Perbedaan ini menjadi penting karena keberhasilan pelaksanaan operasi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan masing-masing organisasi, tetapi juga oleh keterpaduan informasi, kesiapan sumber daya, serta konsistensi koordinasi antarunsur. Dalam perspektif *Command and Control* (C2), kondisi tersebut menegaskan pentingnya hubungan antara kualitas informasi, kecepatan pengambilan keputusan, dan pelaksanaan tindakan operasional. Dengan demikian, penguatan operasi udara perlu diarahkan tidak hanya pada peningkatan kapasitas penerbangan, tetapi juga pada pengelolaan hubungan antarlembaga yang

memungkinkan respons dilaksanakan secara terkoordinasi dan berkelanjutan.

### **Bottleneck dan Faktor yang Memengaruhi Optimalisasi**

Analisis menunjukkan lima titik kritis yang saling berkaitan dalam siklus operasi, yaitu *detection*, *verification*, *decision*, *intervention*, serta *re-ignition/evaluation*. Keterbatasan pada satu tahap dapat menurunkan kualitas tahap berikutnya sehingga optimalisasi harus diperlakukan sebagai perbaikan sistem, bukan hanya penambahan platform atau *sortie*.

**Tabel 2. Bottleneck Operasi dan Implikasi Optimalisasi**

| Tahap                  | Bottleneck Utama                                                           | Implikasi                                                                 |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Detection              | Data berasal dari banyak kanal dan belum selalu terkonsolidasi.            | Perlu COP dengan format status yang seragam.                              |
| Verification           | Ground check/patrol membutuhkan waktu dan sumber daya.                     | Perlu verifikasi cepat melalui darat, patroli, UAV, atau sumber lain.     |
| Decision               | Informasi belum seluruhnya menjadi prioritas berbasis risiko.              | Perlu risk matrix dan batas kewenangan yang jelas.                        |
| Intervention           | Aset, cuaca, visibility, sumber air, dan akses darat membatasi pengerahan. | Perlu konsentrasi kekuatan dan integrasi air-ground package.              |
| Re-ignition/Evaluation | Water bombing tidak otomatis mengakhiri kebakaran.                         | Perlu containment, mopping-up, post-mission assessment, dan reassessment. |

Kesiapan SDM dan aset menjadi faktor pendukung karena pengalaman personel dan keberadaan aset siap operasi mempercepat respons. Namun, jumlah aset yang terbatas dibanding dinamika sasaran menuntut pengerahan berdasarkan prioritas dan efek. Penambahan aktivitas tanpa prioritas yang jelas berisiko menyebarkan sumber daya pada sasaran yang kurang menentukan.

Pada aspek integrasi informasi dan C2, kanal komunikasi telah tersedia, termasuk Grup Aplikasi WhatsApp Tim Teknis Satgas Udara. Permasalahan utama bukan sekadar konektivitas, melainkan kontinuitas, struktur, status pembaruan, dan keterlacakan informasi. Informasi perlu diubah menjadi *Common Operational Picture (COP)* yang memuat koordinat, waktu, sumber laporan, status verifikasi, cuaca, karakter lahan, ancaman objek vital, akses darat, sumber air, kesiapan aset, keputusan terakhir, dan hasil intervensi.

LO telah menjadi interface antara Posko/Satgas dan unsur udara, tetapi fungsi ini perlu diperkuat sebagai penghubung dua arah. Sebelum misi, LO memastikan kesamaan pemahaman sasaran dan efek yang diharapkan; selama misi menjaga sinkronisasi perubahan situasi; dan setelah misi mengembalikan hasil pengamatan, status drop, serta kebutuhan tindak lanjut kepada Posko dan unsur darat.

Integrasi udara-darat merupakan faktor kunci karena mayoritas sasaran sulit dijangkau unsur darat dan waktu tempuh ke sebagian sasaran sekitar 15–20 menit. Keunggulan udara mampu menekan api dengan cepat, tetapi pada lahan gambut water bombing harus diikuti ground containment dan mopping-up. Dengan demikian, pola operasi yang diperlukan adalah Air Intervention–Ground Containment–Mopping Up–Reassessment, bukan water bombing sebagai tindakan yang berdiri sendiri.

Faktor lingkungan operasi cuaca, asap, arah angin, visibility, obstacle, lalu lintas udara, akses darat, dan kondisi sumber air merupakan pembatas eksternal. Selama periode pengamatan tidak tercatat aviation safety concern, near miss/hazard, maupun pembatalan misi akibat cuaca/visibility, tetapi risk management tetap harus melekat pada penentuan prioritas, briefing, deconfliction, pelaksanaan, dan evaluasi misi.

Analisa mendalam terhadap siklus operasi menunjukkan bahwa titik penyumbat (*bottleneck*) utama tidak hanya terletak pada keterbatasan fisik platform udara, melainkan pada terfragmentasinya

aliran informasi dari tahap detection hingga verification. Tingginya jumlah hotspot yang tercatat mencapai 20.351 titik serta 2.828 kejadian kebakaran mengindikasikan bahwa data awal sering kali membanjiri sistem tanpa adanya pembaruan status secara real-time dari unsur darat yang sedang berfokus pada pemadaman di lapangan. Akibatnya, keterbatasan aset udara di mana rata-rata hanya 5 dari 8 unit yang siap operasi berisiko terdistribusi secara kurang efektif jika tidak diarahkan oleh sistem penentuan prioritas berbasis risiko (*risk-based dispatch*) yang padu.

Di sisi lain, faktor lingkungan operasi seperti karakter lahan gambut, waktu tempuh penerbangan 15-20 menit ke sasaran, serta keterbatasan debit sumber air (meskipun telah teridentifikasi 34 lokasi) mempertegas batas kemampuan intervensi udara. Pelaksanaan water bombing dengan total penuangan mencapai sekitar 40,17 juta liter air terbukti efektif menekan intensitas api permukaan, tetapi tidak serta-merta memadamkan bara di bawah lapisan gambut tanpa adanya penanganan langsung di darat. Oleh karena itu, penguatan fungsi Liaison Officer (LO) sebagai penghubung dua arah serta penerapan pola operasi terintegrasi *Air Intervention-Ground Containment-Mopping Up-Reassessment* menjadi faktor penentu utama untuk mencegah terjadinya re-ignition dan eskalasi kebakaran.

Dalam perspektif C2, hambatan pada setiap tahapan operasi menunjukkan bahwa efektivitas pengambilan keputusan dipengaruhi oleh kesinambungan aliran informasi dari unsur pengamatan hingga pelaksana tindakan. Alberts dan Hayes (2006) menjelaskan pentingnya kemampuan organisasi dalam membangun pemahaman situasi dan mengoordinasikan tindakan melalui sistem pengendalian yang adaptif. Temuan mengenai keterbatasan pembaruan data dari unsur darat, perbedaan kanal komunikasi, dan kesiapan aset menunjukkan bahwa persoalan optimalisasi tidak dapat diselesaikan hanya melalui penambahan sarana penerbangan. Interoperabilitas diperlukan untuk memastikan bahwa informasi yang diperoleh berbagai unsur dapat digunakan dalam proses keputusan

yang sama, sementara koordinasi udara-darat menjadi mekanisme penghubung antara intervensi awal dan pengendalian kebakaran secara berkelanjutan. Oleh karena itu, penguatan operasi udara perlu menitikberatkan pada standarisasi informasi, kejelasan tanggung jawab, serta mekanisme umpan balik pascamisi yang memungkinkan penyesuaian prioritas berdasarkan perkembangan ancaman.

### **Optimalisasi C2, Interoperabilitas, dan OODA Loop**

Penguatan C2 diarahkan pada kemampuan mengubah informasi menjadi keputusan sebelum data kehilangan relevansinya. OODA Loop memberikan kerangka untuk mempercepat proses tersebut tanpa mengurangi verifikasi dan keselamatan. Pada tahap *Observe*, hotspot, patroli udara, laporan masyarakat, data cuaca, dan informasi unsur darat dihimpun sebagai indikasi awal. Hotspot tidak langsung diperlakukan sebagai sasaran karena sebagian dapat berasal dari sumber panas non-kebakaran.

Pada tahap *Orient*, informasi terverifikasi dipadukan dengan jenis lahan, arah angin, visibility, akses darat, sumber air, kedekatan permukiman atau objek vital, kesiapan aset, dan tindakan unsur darat. Hasil orientasi harus membentuk *shared situational awareness* dan *risk matrix* sederhana agar prioritas dapat ditetapkan secara konsisten.

Pada tahap *Decide*, jalur keputusan yang telah menghasilkan waktu sekitar 5-10 menit perlu dipertahankan sambil memperjelas kriteria prioritas dan batas kewenangan. Keterbatasan aset justru menuntut *risk-based dispatch* agar kemampuan udara dikonsentrasikan pada sasaran yang memiliki potensi eskalasi dan dampak terbesar.

Pada tahap *Act*, proses yang dapat dijalankan paralel penyiapan crew, pengecekan platform, penilaian cuaca, identifikasi sumber air, dan penyusunan mission briefing dapat dimulai sejak verifikasi. Percepatan dilakukan dengan mengurangi duplikasi dan waktu tunggu, bukan dengan mengurangi *risk assessment*, koordinasi ruang udara, atau ketentuan

keselamatan. Hasil misi kemudian menjadi feedback bagi siklus berikutnya melalui *post-mission assessment* yang mencakup perubahan intensitas api, arah penyebaran, hasil drop, kondisi asap, kebutuhan sortie ulang, indikasi *re-ignition*, dan tindakan lanjutan unsur darat.

Kerangka OODA Loop (*Observe, Orient, Decide, Act*) memberikan pendekatan untuk mempercepat siklus *Command and Control (C2)* agar data operasional tidak kehilangan relevansinya akibat perubahan kondisi kebakaran yang cepat. Pada tahap *Observe* dan *Orient*, akumulasi data hotspot, patroli udara, serta laporan lapangan ditransformasikan ke dalam *Common Operational Picture (COP)* yang memadukan variabel jenis lahan, arah angin, visibilitas, keterjangkauan darat, serta kedekatan dengan pemukiman atau objek vital. Pembentukan *shared situational awareness* ini memungkinkan pimpinan operasi mengambil keputusan (*Decide*) dalam waktu 5-10 menit dengan tingkat ketepatan sasaran yang tinggi berdasarkan skala prioritas risiko.

Pada tahap *Act* dan evaluasi pascamisi, percepatan keputusan dicapai melalui alur kerja paralel, seperti penyiapan kru, penyiapan alutsista, serta identifikasi sumber air yang dijalankan secara bersamaan saat proses verifikasi berlangsung. Interoperabilitas antar-instansi yang menyatungkan TNI AU, Posko/Satgas, BPBD, Manggala Agni, TNI/Polri, dan relawan memastikan bahwa intervensi *water drop* dari udara langsung disambung dengan tindakan *ground containment* dan *mopping-up* oleh unsur darat. Umpan balik (*feedback*) pascamisi ini menutup siklus C2 secara adaptif, menggeser tolok ukur keberhasilan dari sekadar akumulasi sortie atau volume air menjadi dampak operasional berupa kecepatan respons, penekanan eskalasi, dan pencegahan munculnya titik api baru.

Keterkaitan antara C2, interoperabilitas, dan OODA Loop menunjukkan bahwa percepatan respons operasional tidak hanya bergantung pada lamanya proses pengambilan keputusan, tetapi juga pada kualitas informasi yang mendasari keputusan tersebut. Data

penelitian menunjukkan bahwa proses deteksi hingga verifikasi berlangsung sekitar 2–5 menit dan permintaan dukungan hingga keputusan pengerahan sekitar 5-10 menit. Namun, keterbatasan pembaruan informasi dari unsur darat menunjukkan bahwa kecepatan prosedural perlu diimbangi dengan kesinambungan pemutakhiran situasi. Dalam kerangka OODA Loop, informasi yang tidak diperbarui secara memadai dapat memengaruhi proses orientasi dan ketepatan prioritas tindakan berikutnya. Oleh sebab itu, penerapan Common Operational Picture dan penguatan fungsi Liaison Officer perlu dipahami sebagai mekanisme untuk meningkatkan kesamaan pemahaman situasi antarpelaksana operasi, bukan semata-mata sebagai penambahan instrumen komunikasi. Hubungan ini memperlihatkan pentingnya integrasi antara kecepatan siklus keputusan, kualitas informasi, dan koordinasi lintas unsur dalam mendukung pengendalian eskalasi kebakaran.

### **Strategi AFEC-Based Rapid Aerial Response**

AFEC (*Aerial Fire Escalation Control*) dirumuskan sebagai pendekatan untuk mengubah pola pengerahan kemampuan udara dari respons terhadap keberadaan api menjadi intervensi berbasis risiko eskalasi. AFEC menghubungkan data hotspot, verifikasi, assessment, penentuan prioritas, intervensi udara, *ground containment*, verifikasi hasil, dan reassessment dalam satu siklus.

Perumusan *AFEC-Based Rapid Aerial Response* didasarkan pada keterkaitan antara temuan mengenai kesiapan sumber daya, hambatan aliran informasi, mekanisme pengambilan keputusan, dan kebutuhan integrasi intervensi udara-darat. Berbeda dengan pendekatan pengukuran operasi yang bertumpu pada jumlah sorti, volume air, dan intensitas pengerahan aset, AFEC menempatkan pengendalian eskalasi kebakaran sebagai orientasi utama penentuan prioritas. Integrasi Common Operational Picture, Risk-Based Dispatch, Accelerated C2, dan Air-Ground Package memberikan kerangka yang menghubungkan informasi ancaman dengan

keputusan serta tindak lanjut operasional. Dari perspektif tata kelola kolaboratif, pendekatan ini juga menekankan pentingnya koordinasi antarlembaga tanpa menghilangkan kewenangan masing-masing unsur. Dengan demikian, AFEC menjadi kerangka konseptual-operasional yang mengintegrasikan dimensi informasi, keputusan, koordinasi, dan evaluasi hasil operasi. Pengukuran efektivitas penerapannya tetap memerlukan evaluasi terhadap indikator operasional dan hasil pengendalian kebakaran setelah kerangka tersebut diimplementasikan.

Pertama, Common Operational Picture dibangun dengan memanfaatkan sarana yang telah tersedia. COP berisi identitas dan koordinat sasaran, waktu serta sumber informasi, status verifikasi, tingkat risiko, cuaca dan angin, karakter lahan, kedekatan dengan permukiman/objek vital, akses darat, sumber air, kesiapan aset, keputusan terakhir, dan hasil intervensi. Grup komunikasi tetap dapat digunakan sebagai kanal distribusi cepat, sedangkan COP menjadi sumber status operasional bersama.

Kedua, Risk-Based Dispatch digunakan untuk menetapkan prioritas berdasarkan kondisi bahan bakar/gambut, cuaca dan angin, aksesibilitas darat, kedekatan terhadap aset kritis atau permukiman, serta indikasi perkembangan api. Sasaran dengan kombinasi risiko tinggi memperoleh intervensi lebih awal sehingga keterbatasan aset dikompensasi melalui konsentrasi kekuatan.

Ketiga, Accelerated C2 dilaksanakan dengan menyiapkan proses paralel sejak verifikasi tanpa mengurangi prosedur keselamatan. Keempat, Air-Ground Package memastikan intervensi udara terhubung dengan containment dan mopping-up darat. Sasaran baru dinyatakan terkendali setelah verifikasi menunjukkan risiko eskalasi menurun dan tidak terdapat indikasi re-ignition yang membutuhkan penanganan lanjutan.

**Tabel 3. Tahapan Implementasi AFEC dan Indikator Keberhasilan**

| Tahapan | Fokus Kegiatan | Indikator Kunci |
|---------|----------------|-----------------|
|---------|----------------|-----------------|

|                                  |                                                                                                                                                   |                                                                                        |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Penyiapan & standarisasi         | Format COP, risk matrix, checklist LO, permintaan dukungan, mission briefing, post-mission assessment, kriteria prioritas, batas kewenangan.      | Kelengkapan dan keseragaman paket informasi.                                           |
| Uji coba terbatas                | Penggunaan hotspot, verifikasi, cuaca, akses darat, sumber air, kesiapan aset pada wilayah prioritas.                                             | Time to Verify dan Time to Decide.                                                     |
| Latihan terpadu udara-darat      | Skenario lonjakan sasaran, kebakaran gambut, visibility rendah, perubahan angin, keterbatasan sumber air, konflik prioritas, gangguan komunikasi. | Interoperabilitas prosedural dan kualitas fungsi LO.                                   |
| Penerapan operasional & evaluasi | Post-mission assessment dan After Action Review.                                                                                                  | Time to Intervene, ketepatan sasaran, keselamatan, kebutuhan sortie ulang.             |
| Pemantapan berkelanjutan         | Perbaikan risk matrix, SOP/petunjuk internal, checklist, koordinasi, pengelolaan sumber air, dan latihan.                                         | Penurunan re-ignition, keberhasilan containment, area protected, prevented escalation. |

Pendekatan AFEC menggeser orientasi evaluasi dari activity-based measurement menuju effect-based measurement. Jumlah sortie, jam terbang, water drop, dan volume air tetap penting sebagai ukuran aktivitas, tetapi keputusan peningkatan kemampuan perlu didasarkan pada outcome yang terukur. Pada tingkat proses, ukuran utama adalah Time to Verify, Time to Decide, dan Time to Intervene. Pada tingkat pelaksanaan, indikator mencakup kelengkapan paket informasi, ketepatan koordinat, efektivitas serah-terima LO, keterpaduan udara-darat, dan kepatuhan terhadap risk assessment.

Pada tingkat hasil, ukuran diarahkan pada menurunnya kebutuhan intervensi ulang dan re-ignition, keberhasilan containment dan mopping-up, area yang berhasil dilindungi, serta jumlah sasaran yang dapat dikendalikan sebelum terjadi eskalasi lebih luas.

Dari perspektif collaborative governance, strategi ini tidak mensyaratkan pembentukan organisasi baru. Kebutuhan utama justru memperkuat mekanisme integrasi yang mampu menyatukan informasi, kewenangan, dan tindakan tanpa menghilangkan tanggung jawab masing-masing organisasi. Dengan demikian, C2 dan interoperabilitas berfungsi sebagai pengungkit untuk mengoptimalkan people, process, technology, information, kewenangan, dan dukungan operasi yang telah tersedia.

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa optimalisasi operasi udara terpadu dalam penanggulangan Karhutla di Kalimantan Selatan berkaitan dengan tiga dimensi utama, yaitu kesiapan kemampuan operasional, integrasi sistem pengambilan keputusan, dan kesinambungan tindakan udara-darat. Data mengenai jumlah sorti, volume air, kesiapan aset, dan waktu respons menunjukkan kapasitas operasi yang telah tersedia, sedangkan temuan mengenai keterbatasan pembaruan informasi, sumber air, dan koordinasi pascamisi mengidentifikasi aspek yang masih perlu diperkuat. Analisis melalui C2, interoperabilitas, collaborative governance, dan OODA Loop memperlihatkan bahwa efektivitas operasi perlu dipahami sebagai hasil interaksi antara sumber daya, informasi, kewenangan, dan kemampuan organisasi dalam menyesuaikan tindakan terhadap perubahan ancaman. Berdasarkan hubungan tersebut, AFEC-Based Rapid Aerial Response dirumuskan sebagai kerangka optimalisasi yang menghubungkan deteksi, verifikasi, prioritas risiko, intervensi, pengendalian darat, serta evaluasi hasil dalam satu siklus keputusan yang adaptif. Kerangka tersebut memberikan dasar konseptual bagi pengembangan sistem operasi udara terpadu yang lebih berorientasi pada hasil

pengendalian eskalasi kebakaran daripada semata-mata pada intensitas kegiatan penerbangan.

### Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa operasi udara terpadu dalam penanggulangan Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla) di Kalimantan Selatan sebagai bagian dari Operasi Militer Selain Perang (OMSP) telah didukung oleh kesiapan personel, aset udara, organisasi Posko/Satgas, *Liaison Officer* (LO), serta pelaksanaan patroli udara, *water bombing*, dan operasi modifikasi cuaca. Namun, efektivitas pelaksanaannya masih menghadapi kendala berupa keterbatasan pembaruan informasi secara *real time*, belum optimalnya integrasi koordinasi udara-darat, keterbatasan aset dan sumber air, serta belum terstandarisasinya evaluasi pascamisi. Temuan tersebut menegaskan bahwa optimalisasi operasi tidak cukup diukur melalui jumlah sorti dan volume air, tetapi juga perlu memperhatikan kecepatan respons, ketepatan pengerahan, keselamatan penerbangan, dan keberhasilan pengendalian eskalasi kebakaran.

Berdasarkan analisis *Command and Control* (C2), interoperabilitas, *collaborative governance*, dan OODA Loop, penelitian ini merumuskan AFEC-Based Rapid Aerial Response sebagai kerangka konseptual-operasional yang mengintegrasikan deteksi, verifikasi, penilaian risiko, penentuan prioritas, intervensi udara, pengendalian darat, dan evaluasi hasil dalam satu siklus keputusan adaptif. Kerangka ini menekankan penguatan *Common Operational Picture*, *Risk-Based Dispatch*, *Accelerated C2*, dan *Air-Ground Package* untuk mendukung koordinasi serta pengambilan keputusan berbasis risiko. Secara praktis, penelitian merekomendasikan standarisasi informasi, penguatan fungsi LO, latihan terpadu udara-darat, dan evaluasi pascamisi berbasis hasil. Meskipun demikian, efektivitas AFEC belum diuji secara langsung sehingga penelitian selanjutnya perlu melakukan validasi melalui simulasi atau penerapan terbatas dengan indikator waktu respons,

keberhasilan *containment*, dan tingkat *re-ignition*.

### References

- Alberts, D. S., & Hayes, R. E. (2006). *Understanding Command and Control*. Command and Control Research Program.
- Ansell, C., & Gash, A. (2008). Collaborative Governance in Theory and Practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(4), 543–571. <https://doi.org/10.1093/jopart/mum032>
- Bodin, Ö., Guerrero, A. M., Nohrstedt, D., Baird, J., Summers, R., Plummer, R., & Jasny, L. (2022). Choose Your Collaborators Wisely: Addressing Interdependent Tasks through Collaboration in Responding to Wildfire Disasters. *Public Administration Review*, 82(6), 1154–1167. <https://doi.org/10.1111/puar.13518>
- Boyd, J. R. (1986). *Patterns of Conflict*.
- Calkin, D. E., Stonesifer, C. S., Thompson, M. P., & McHugh, C. W. (2014). Large Airtanker Use and Outcomes in Suppressing Wildland Fires in the United States. *International Journal of Wildland Fire*, 23(2), 259–271. <https://doi.org/10.1071/WF13031>
- Hsu, B.-W. (2026). Integrating Explainable AI and Multi-Objective Optimization for Wildfire Resource Allocation under Fixed Staffing Constraints: A Decision-Oriented Framework. *Scientific Reports*, 16. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-50836-0>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, (2007).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, (2009).
- Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 tentang Penanggulangan Kebakaran Hutan dan Lahan, (2020).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2025 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 34 Tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia, (2025).

- Indonesia, T. N. (2026). *Doktrin TNI Perisai Trisula Nusantara*.
- Jongen, H. T., Meer, K., & Triesch, E. (2004). *Optimization Theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b130886>
- ke-65, S. S. dan K. A. U. A. (2026a). *Analisis Mitigasi Kebakaran Hutan dan Lahan: Hasil Kegiatan Pasis Seskoau Angkatan ke-65 TP 2026 di Provinsi Kalimantan Selatan*.
- ke-65, S. S. dan K. A. U. A. (2026b). *Optimalisasi Operasi Udara Terpadu pada Penanggulangan Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Selatan dalam Operasi Militer Selain Perang*.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3rd ed.). SAGE Publications.
- O'Mara, T., Sánchez Meador, A., Colavito, M., Waltz, A., & Barton, E. (2024). Navigating the Evolving Landscape of Wildfire Management: A Systematic Review of Decision Support Tools. *Trees, Forests and People*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100575>
- Ogredik, H. (2026). Military Involvement in Disaster Management: Bibliometric Insights into Central-Peripheral Dynamics and Historical Crises. *Progress in Disaster Science*, 29, 1–14.
- Organization, N. A. T. (2021). *AAP-06: NATO Glossary of Terms and Definitions*. North Atlantic Treaty Organization.
- Permana, R. H. (2026). *BMKG Ungkap Penyebab Karhutla di Kalimantan: Iklim Kering Efek El Nino*. <https://news.detik.com/berita/d-8628464/bmkg-ungkap-penyebab-karhutla-di-kalimantan-iklim-kering-efek-el-nino>
- Petrovic, N., Alderson, D. L., & Carlson, J. M. (2012). Dynamic Resource Allocation in Disaster Response: Tradeoffs in Wildfire Suppression. *PLOS ONE*, 7(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033285>
- Rizki, R. D. (2026). *Korban Asap Kebakaran Hutan Terus Berjatuhan, Ekonomi Warga pun Terdampak*. <https://mongabay.co.id/2026/10/11/korban-asap-kebakaran-hutan-terus-berjatuhan-ekonomi-warga-pun-terdampak/>
- Ruswandi, D., Sumartono, Maarif, S., & Wijaya, A. F. (2021). Strategic Analysis of Collaborative Governance for Disaster Management on Forest and Land Fires in Indonesia. *International Journal of Criminology and Sociology*, 10. <https://doi.org/10.6000/1929-4409.2021.10.193>
- Keputusan Gubernur Kalimantan Selatan Nomor 100.3.3.1/0460/KUM/2026 tentang Status Darurat Kebakaran Hutan dan Lahan, (2026).
- Keputusan Gubernur Kalimantan Selatan Nomor 100.3.3.1/0470/KUM/2026 tentang Pembentukan Pos Komando Penanganan Darurat Bencana Kebakaran Hutan dan/atau Lahan dan Kekeringan di Provinsi Kalimantan Selatan Tahun 2026, (2026).
- Shahparvari, S., Bodaghi, B., Roozbeh, I., Mohammadi, M., Soleimani, H., & Chhetri, P. (2021). A Cooperative (or Coordinated) Multi-Agency Response to Enhance the Effectiveness of Aerial Bushfire Suppression Operations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102352>
- Sherry, L., & Chaudhari, M. (2025). Aerial Fire Fighting Operational Statistics (2024): Very Large/Large Air Tankers. *Fire*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/fire8040160>
- Soltani, A., Asgharzadeh, A., & Omidian, A. (2026). The Role of Militaries in Natural Disaster Management: A Systematic Review. *Journal of Rescue and Relief*, 18(1), 57–69.
- Suwaji, Dermawan, W., & Ramadhan, R. A. (2019). The Role of Indonesian Airforce in Disaster Management for Assisting with Natural Disaster. *Central European Journal of International and Security Studies*, 13(4), 51–64.
- Udara, T. N. I. A. (2025). *Doktrin TNI AU Swa Bhuwana Paksa*.
- Wiard-Greene, L., Johnson, J., Hogland, J., Bunt, F., & Bova, J. (2026). Investigating the Impact of Aerial Firefighting on Rate of Wildfire Spread. *Fire*, 9(1).

<https://doi.org/10.3390/fire9010002>