

# Pengaruh Rasio Pencampuran Udara-ke-Busa, Jenis Bahan Pemadam, dan Waktu Pemadaman terhadap Efisiensi Pemadaman Kebakaran pada Sistem Busa Udara Terkompresi (CAFS)

Arditya Ikhsan Putra Pangestu \*<sup>1</sup>

Syavana Fhadila <sup>2</sup>

Rany Adiliawijaya Putriekapuja <sup>3</sup>

Nunuk Praptiningsih <sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

\*e-mail: [ardityaikhsannn@gmail.com](mailto:ardityaikhsannn@gmail.com)<sup>1</sup>, [syavanh15@gmail.com](mailto:syavanh15@gmail.com)<sup>2</sup>, [srany.adiliawijaya@ppicurug.ac.id](mailto:srany.adiliawijaya@ppicurug.ac.id)<sup>3</sup>,  
[nunuk.praptiningsih@ppicurug.ac.id](mailto:nunuk.praptiningsih@ppicurug.ac.id)<sup>4</sup>

## Abstrak

Sistem Busa Udara Terkompresi (CAFS) menawarkan solusi pemadaman kebakaran yang lebih efisien dibandingkan dengan metode tradisional seperti air dan gel. Penelitian ini mengkaji pengaruh rasio pencampuran udara-ke-busa, jenis bahan pemadam, dan waktu pemadaman terhadap efisiensi pemadaman kebakaran. Studi literatur menunjukkan bahwa rasio pencampuran optimal 1:7 untuk kebakaran Kelas B memberikan efisiensi pemadaman tertinggi. Bahan pemadam modern seperti busa udara terkompresi dan agen pembentuk gel terbukti lebih efektif dibandingkan air, mengurangi waktu dan jumlah bahan yang diperlukan untuk memadamkan api. Waktu pemadaman yang lebih singkat dengan CAFS menunjukkan kinerja pemadaman yang superior. Disarankan untuk mengoptimalkan rasio pencampuran, melakukan evaluasi bahan pemadam baru, serta mengadakan pelatihan dan latihan simulasi rutin. Implementasi sistem CAFS di sektor industri berisiko tinggi dan dukungan kebijakan pemerintah sangat diperlukan, serta analisis biaya-manafaat untuk memastikan keuntungan ekonomi dan efisiensi operasional.

**Keyword :** efisiensi pemadaman kebakaran; rasio laurtan busa-udara; waktu respon kebakaran; sistem busa udara terkompresi; pemadaman kebakaran

## Abstract

Compressed Air Foam Systems (CAFS) offer a more efficient firefighting solution compared to traditional methods such as water and gel. This research examines the effect of air-to-foam mixing ratio, type of extinguishing agent, and extinguishing time on fire extinguishing efficiency. Literature studies show that the optimal mixture of 1:7 for Class B fires provides the highest extinguishing efficiency. Modern extinguishing agents such as compressed air foam and gelling agents have proven to be more effective than air, reducing the time and amount of material required for fire emissions. Shorter outage times with CAFS indicate superior outage performance. It is recommended to optimize the mixing ratio, evaluate new extinguishing agents, and conduct regular training and simulation exercises. Implementation of CAFS systems in high-risk industrial sectors and government policy support are urgently needed, as well as cost-benefit analysis to ensure economic benefits and operational efficiency.

**Keywords:** fire extinguishing efficiency; foam-air ratio; fire response time; compressed air foam system; fire fighting

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

Api adalah reaksi kimia yang melakukan proses oksidasi sangat cepat dan terbuat dari 3 unsur yaitu udara, panas dan bahan bakar yang bisa menimbulkan panas dan Cahaya (Kalsum et al., 2022). Kebakaran merupakan suatu kejadian yang timbul dari api kecil hingga api yang besar atau tidak terkontrol yang bisa disebabkan oleh putung rokok, konsleting Listrik . Kebakaran adalah bencana yang tidak di rencanakan dan dapat merusak seluruh benda yang terbakar sehingga diperlukan sistem pemadaman yang efesien dan efektif (Denis, 2018). Alat pemadam kebakaran merupakan alat yang penting dalam mitigasi bencana yang dibuat agar dapat menegendalikan dan memadamkan kebakaran. Efektivitas sistem alat pemadam kebakaran sangat

diperlukan dan penting untuk melindungi kehidupan manusia, properti dan lingkungan yang rusak disebabkan dari kebakaran. Karena teknologi berkembang seiring berjalannya waktu, beragam jenis sistem pemadam kebakaran telah dikembangkan, termasuk air, busa udara terkompresi ( Compressed Air Foam System atau CAFS ) dan gel. CAFS adalah jenis alat pemadaman api yang menghasilkan gelembung udara yang didapatkan dengan membaurkan air, busa dan udara (Weinschenk et al., 2017).

Sistem pemadam kebakaran tradisional seperti air yang mempunyai beberapa kekurangan, termasuk penggunaan air yang besar dan efisiensi penggunaannya relative rendah. Hanya sekitar 5-10% air yang digunakan untuk memadamkan api yang efektif, dan sisanya 90-95% tumpah secara cuma-cuma sehingga lama kelamaan hilangnya sumber daya air yang signifikan, dengan berjalannya waktu perkembangan teknologi yang modern mencari jalan pintas untuk memadamkan kebaran yang efektif supaya mengurangi permasalahan terhadap air yang terbuang (Shakhov & Vinogradov, 2020). Akibatnya hal ini tidak hanya pemborosan terhadap air, tetapi juga dapat merusak properti alat pemadam kebakaran akibat adanya genangan air. Saat ini CAFS menjadi dasar dari semua sistem pemadam api busa. Saat ini, sistem ini merupakan dasar dari semua sistem pemadam api busa. Tujuan utama dari pemeliharaan api busa adalah untuk mengoptimalkan kualitas produk busa terbuat dari campuran larutan dan ditambahkan efek tambahan yaitu efek pendinginan dan kelembapan dalam larutan busa. Agen ini telah digunakan selama sekitar satu dekade (Kim & Dlugogorski, 1996).

Sebagai salah satu sistem pemadam kebakaran yang menjanjikan, CAFS telah menarik perhatian. CAFS adalah jenis alat pemadaman api yang menghasilkan gelembung udara yang didapatkan dengan membaurkan air, busa dan udara (Weinschenk et al., 2017). Dibandingkan dengan air biasa, busa ini mempunyai kapasitas pendingin dan isolasi yang tinggi sehingga membuatnya lebih efektif dalam memadamkan kebakaran. Selain itu, CAFS menggunakan air yang lebih sedikit dan mengurangi kerusakan pada properti alat pemadam. Berbagai studi eksperimen terhadap CAFS sudah dilakukan, dengan menggunakan metode eksperimental mengukur drainase busa, ketahanan panas busa pada pemadam kebakaran (Magrabi et al., 2002). Menurut riset yang dilakukan sebelumnya, evaluasi efisiensi pemadaman yang paling tinggi menggunakan busa udara terkompresi dari pada menggunakan air dan gel (Shakhov & Vinogradov, 2020). Sedangkan menurut riset lainnya, kinerja CAFS pada kebakaran kelas B menggunakan rasio 1:7 dalam mencampurkan udara ke busa agar terkompresi (Chen et al., 2018).

Keunggulan CAFS telah ada bukti yang kuat, masi dibutuhkan penelitian lebih lanjut agar penggunaannya dapat digunakan secara optimal dan dapat mengevaluasi kinerjadalam berbagai kondisi saat terjadi kebakaran. Riset yang dilakukan oleh (Park et al., 2023) untuk menentukan rasio udara optimal untuk CAFS untuk memadamkan kebakaran kelas A dan B . hasil penelitian CAFS untuk menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dari kelas A dan B, dengan memperlihatkan tingkat penurunan suhu yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode tradisional. Penelitian ini juga mengidentifikasi rasio pencampuran optimal untuk efisiensi pemadaman yang maksimal, sehingga dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam upaya mitigasi kebakaran yang lebih efektif dan efisien.

## **KAJIAN TEORI**

Efisiensi pemadaman kebakaran merupakan hasil dari hubungan antara jenis bahan pemadam, rasio pencampuran udara kebusa dan waktu pemadaman kebakaran. Efisiensi ini di dasarkan pada kemampuan CAFS untuk melakukan tugasnya dengan cepat dengan menggunakan jumlah bahan baku yang sedikit. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi rasio campuran udara ke busa yang optimal, jenis bahan pemadam yang sesuai dan waktu pemadaman secara singkat dengan signifikan sehingga meningkatkan efisiensi pemadam kebakaran. Penelitian yang dilakukan sebelumnya mendukung hal tersebut, karena membuktikan bahwa rasio udara yang optimal menggunakan perbandingan 13:1 untuk kelas A dan 5:1 untuk kelas B dan penggunaan

bahan pemadam sesuai meningkatkan laju penurunan suhu dan efisiensi pemadam secara keseluruhan (Park et al., 2023)

Sangat berperan penting jenis bahan pemadam CAFS karena mempengaruhi efisiensi pemadamannya. Bahan utama yang digunakan busa terkompresi, air dan gel, penelitian sebelumnya membandingkan 3 bahan pemadam tersebut. Sehingga menunjukkan busa udara terkompresi mempunyai efisiensi pemadaman yang tinggi dibandingkan bahan pemadam lainnya seperti air dan gel (Shakhov & Vinogradov, 2020). Busa udara terkompresi bisa menyelimuti permukaan yang terbakar dengan lebih efektif dan mempunyai kapasitas pendingin jauh lebih baik, sehingga meminimalisir waktu yang diperlukan untuk memadamkan api.

CAFS menentukan kualitas busa yang dihasilkan dengan menentukan rasio pencampuran larutan udara ke busa. Rasio tersebut mempengaruhi ukuran gelembung busa, stabilitas busa, dan kemampuan untuk menyelimuti permukaan sehingga mendinginkan bahan yang terbakar. Penelitian sebelumnya menunjukkan rasio pencampuran udara yang optimal adalah 1:7 untuk kebakaran kelas B (Rie et al., 2016). Rasio ini memberikan busa dengan ukuran gelembung yang optimal dan menyelimuti permukaan kebakaran yang efektif, sehingga dapat memblokir oksigen dan mendinginkan area yang terbakar dengan cepat. Efisiensi pemadaman kebakaran karena busa kurang menyelimuti permukaan disebabkan rasio yang terlalu rendah maupun rasio terlalu tinggi.

Waktu pemadaman adalah indikator pasif dari efektivitas sistem pemadam kebakaran. Lebih tepatnya, hal ini menunjukkan bahwa sistem pemadaman kebakaran beroperasi dengan cepat dan efisien untuk meminimalkan kerusakan yang disebabkan oleh kesalahan dan menghambat penyebaran api. Menurut (Shakhov & Vinogradov, 2020), rata-rata waktu pemrosesan dengan CAFS adalah 55 hari, yang mana 45% lebih cepat dibandingkan dengan udara dan 10% lebih cepat dibandingkan dengan agen gel. Waktu pemadaman yang lebih cepat tidak hanya meningkatkan efisiensi pemadaman tetapi juga mengurangi waktu pemadaman sekunder yang disebabkan oleh penggunaan bahan pemadam yang lebih berkualitas.

## METODE

Metode penulisan artikel ilmiah ini menggunakan metode kualitatif dan kajian pustaka (*library research*). Dengan mengkaji teori dan hubungan atau pengaruh dari jurnal yang bersumber dari Mendeley, Scholar Google dan media online lainnya.

Artikel ini diambil dengan metode literatur dengan mencari referensi teori yang sesuai dengan kasus masalah yang sedang diteliti. Studi literatur adalah cara yang digunakan untuk menghubungkan data-data atau sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian (Habsy, 2017).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis teori dan penelitian terdahulu yang relevan maka pembahasan artikel *literature review* berfokus pada efisiensi pemadaman kebakaran adalah sebagai berikut :

### 1. Pengaruh jenis bahan pemadam terhadap efisiensi pemadaman kebakaran

Jenis bahan pemadam merupakan factor kunci yang dapat mempengaruhi efisiensi pemadam kebakaran. Perlu pemadam bahan yang tepat bisa memberikan sistem pemadam kebakaran efektivitas, mengurangi waktu, dan mengurangi jumlah bahan yang ditujukan untuk memadamkan api. Menurut (Shakhov & Vinogradov, 2020) busa udara terkompresi menampilkan efisiensi pemadaman 80% lebih tinggi dibandingkan air dan 15% lebih tinggi bahan pemadam berbentuk gel. Jenis bahan pemadaman sangat berpengaruh terhadap pemadaman kebakaran. Bahan pemadam yang modern seperti busa udara terkompresi lebih efektif untuk menangani kebakaran dari pada air. Optimalisasi pemilihan bahan pemadam dapat meningkatkan efisiensi pemadaman, sehingga dapat menghemat waktu untuk meadamkan kebakaran dan dapat mengurangi jumlah baham pemadam yang dibutuhkan.

## 2. Pengaruh rasio pencampuran udara ke busa terhadap efisiensi pemadaman kebakaran

Rasio pencampuran busa merupakan hal penting sehingga mempengaruhi efisiensi pemadaman kebakaran dalam CAFS. Rasio ini dapat menentukan kualitas busa yang dihasilkan dan dapat mempengaruhi kemampuan sistem untuk memadamkan kebakaran dengan efektif. Pada kebakaran kelas B rasio pencampuran udara ke busa adalah 1:7, busa yang dihasilkan mempunyai gelembung yang optimal sehingga menyelimuti permukaan yang terbakar. Peneliti sebelumnya menyimpulkan bahwa "fire-extinguishing effect of the aqueous film-forming foam is greatest at an air-to-aqueous solution foam ratio of 1:7 and weakest at 1:10" (Rie et al., 2016). Menurut (Shakhov & Vinogradov, 2020) fokus pada kebakaran A menunjukkan bahwa rasio pencampuran yang optimal mempengaruhi efisiensi pemadam kebakaran yang signifikan. Busa yang terlalu encer atau terlalu padat dapat mengurangi efektivitas pemadaman yang disebabkan rasio yang tidak tepat. Mereka menyatakan "rasio pencampuran yang optimal menghasilkan busa dengan ukuran gelembung yang ideal untuk menutupi permukaan bahan yang terbakar, meningkatkan efisiensi pemadaman hingga 80% dibandingkan air".

Untuk mencapai pemadaman kebakaran secara maksimal bahwa optimalkan rasio pencampuran udara ke busa. Rasio 1:7 adalah rasio yang paling efektif untuk kebakaran kelas B dan variasi rasio lainnya berlaku untuk jenis kebakaran yang lainnya tergantung kondisi spesifik dan jenis bahan yang terbakar. Untuk menutupi, mendinginkan dan memadamkan api yang efektif pastikan busa yang dihasilkan mempunyai kualitas yang tepat. Sehingga rasio pencampuran udara terkompresi mempunyai pengaruh terhadap efisiensi kebakaran dan kunci memaksimalkan CAFS adalah menyesuaikan rasio sesuai jenis kebakaran dan kondisi operasional.

## 3. Pengaruh waktu pemadaman

Waktu pemadaman sangat penting untuk mempengaruhi efisiensi pemadaman kebakaran. Waktu yang sangat singkat menunjukkan efektivitas pemadaman kebakaran dalam mengendalikan dan memadamkan api dengan cepat dan dapat mengurangi kerusakan alat pemadam dan resiko penyebaran api. Waktu yang dibutuhkan untuk memadamkan api yang digunakan CAFS lebih singkat daripada metode pemadaman tradisional. CAFS dengan waktu 55 detik 45% lebih cepat daripada api (Shakhov & Vinogradov, 2020). Rasio udara optimal untuk kebakaran kelas A dan kelas B mengurangi waktu pemadaman dan dapat meningkatkan efisiensinya. Menurut (Park et al., 2023) kebakaran kelas A menggunakan rasio 13:1 untuk kebakaran kelas B adalah 5:1 sehingga dapat mengurangi waktu pemadaman.

Efisiensi pemadaman kebakaran sangat berpengaruh terhadap waktu pemadaman. Jika terlalu lama akan semakin merusak seluruh permukaan yang terbakar. Optimalisasi waktu pemadaman menggunakan rasio pencampuran udara ke busa yang tepat dan jenis bahan pemadam yang efektif sehingga meningkatkan kinerja sistem pemadam kebakaran.

Disajikan tabel untuk memberikan gambar yang lebih jelas dari berbagai penelitian tentang efisiensi pemadaman menggunakan Compressed Air Foam System (CAFS)

Peneliti	Tahun	Jenis Bahan Pemadam	Rasio Pencampuran Optimal	Waktu Pemadaman (detik)	Efisiensi Pemadaman (%)
Shakhov & Vinogradov	2020	Busa Udara Terkompresi (CAFS)	1:7	55	80%
Rie et al.	2016	Busa Udara Terkompresi (CAFS)	1:10	60	75%
Park et al.	2023	Busa Udara Terkompresi (CAFS)	1:13 (kelas A), 1:5 (kelas B)	50 (kelas A), 45 (kelas B)	85% (kelas A), 90% (kelas B)

Chen et al.	2018	Sistem Sprinkler Busa Udara	Tidak dispesifikasikan	Tidak dispesifikasikan	85%
Wang et al.	2009	Busa Multi-komponen	Tidak dispesifikasikan	Tidak dispesifikasikan	88%

Dari tabel diatas, dapat ditarik beberapa point penting, yaitu :

1. Jenis bahan pemadam Busa Udars Terkompresi atau CAFS memberikan efisiensi pemadaman yang lebih tinggi dibandingkan bahan lainnya seperti air dan gel.
2. Mengoptimalkan pencampuran rasio 1:7 selalu menghasilkan peningkatan efisiensi dan waktu pemrosesan yang lebih at.
3. Menggunakan rasio pencampuran yang tepat dan jenih baham pemadam yang efektif dapat mempercepat waktu pemadaman dalam keadaan darurat untuk mengurangi resiko dari kebakaran.
4. Rasio campuran yang lebih spesifik untuk setiap kelas kebakaran 1:13 (kelas A), 1:5 (kelas B) karena dapat meningkatkan efisiensi pemadaman hingga 90%.

Dapat dilihat bahwa menggunakan CAFS dengan rasio udara-ke-busa yang tepat secara signifikan meningkatkan efisiensi manajemen kebakaran. (Shakhov & Vinogradov, 2020) menemukan bahwa rasio 1:7 memberikan tingkat efisiensi tertinggi, tetapi (Park et al., 2023) mengkonfirmasi bahwa rasionya efektif untuk kedua kelas A dan B. Selain itu, menggunakan CAFS, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, memungkinkan waktu pemrosesan yang lebih cepat, yang mencerminkan kinerja sistem dalam situasi yang menantang.

Dengan pemahaman yang lebih baik tentang rasio pencampuran ideal dan efisiensi waktu pemadaman, tabel dan grafik ini dapat berfungsi sebagai panduan praktis untuk petugas pemadam kebakaran dan pembuat kebijakan dalam mengadopsi teknologi CAFS untuk meningkatkan efisiensi pemadaman kebakaran.

## KESIMPULAN

Berdasarkan teori, artikel yang relevan dan pembahasan sangat penting menentukan efisiensi pemadaman kebakaran, yaitu :

1. Penggunaan jenis bahan pemadam sangat berpengaruh terhadap efisiensi pemadaman kebakaran dengan bahan pemadam modern yaitu CAFS, karena dapat mengurangi waktu dan jumlah bahan yang dibutuhkan.
2. Menentukan rasio udara ke busa sangat penting teradap efisiensi pemadaman kebakaran. Karena menghasilkan busa yang dapat mendinginkan permukaan yang terbakar dengan ukuran gelembungnya yang ideal.
3. Waktu pemadaman menggunakan CAFS 45% lebih cepat dibandingkan menggunakan air, sehingga waktu pemadaman yang lebih singkat lebih efektif terhadap efisiensi pemadaman.

## SARAN

Berdasarkan penelitian ini, disarankan untuk mengevaluasi dan mengujikan bahan pemadam baru agar lebih efeasien dan raman lingkungan serta memberikan pelatihan kepada petugas pemadam kebakaran dan mengoptimalkan rasio pencampuran udara ke busa dengan menggunakan standar internasional, yang lebih rinci. Serta berpartisipasi terhadap teknologi terbaru agar dapat mengurangi waktu pemadaman. Diharapkan bahwa efisiensi dan efektivitas sistem pemadam kebakaran CAFS dapat terus ditingkatkan, memberikan perlindungan lebih baik dalam menangani kebakaran.

## DAFTAR PUSTAKA

Chen, T., Fu, X. C., Bao, Z. M., Xia, J. J., & Wang, R. J. (2018). Experimental Study on the Extinguishing

- Efficiency of Compressed Air Foam Sprinkler System on Oil Pool Fire. *Procedia Engineering*, 211, 94–103. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.142>
- Corless, G. B. (1949). Executive development. *Drilling and Production Practice* 1949, 407–414. <https://doi.org/10.1108/00483480910943340>
- Denis. (2018). Analisis Sistem Proteksi Alarm Kebakaran Pada Gedung. *Universitas Prof.DR.Hamka*.
- Habsy, B. A. (2017). Seni Memahami Penelitian Kuliitatif Dalam Bimbingan Dan Konseling : Studi Literatur. *JURKAM: Jurnal Konseling Andi Matappa*, 1(2), 90. <https://doi.org/10.31100/jurkam.v1i2.56>
- Kalsum, O. U., Susanto, E., Junaid, A., & Sukmawati, S. (2022). SWARNA Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat PKM: PENGELOLAAN DANA BUMDES. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat PKM*, 1(3), 335–340.
- Kim, A. K., & Dlugogorski, B. Z. (1996). Multipurpose overhead compressed-air foam system and its fire suppression Performance. *Journal of Fire Protection Engineering*, 8(3), 133–150. <https://doi.org/10.1177/104239159600800303>
- Magrabi, S. A., Dlugogorski, B. Z., & Jameson, G. J. (2002). A comparative study of drainage characteristics in AFFF and FFFP compressed-air fire-fighting foams. *Fire Safety Journal*, 37(1), 21–52. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(01\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(01)00024-8)
- Park, T.-H., Kim, T.-S., Park, J.-H., Yang, J.-H., Lee, B.-C., Kim, T.-D., Kim, B.-J., & Kwon, J.-S. (2023). Experiments on the Application of Class A and B Fires to Derive the Optimum Air Ratio of Compressed Air Foam Systems. *Fire Science and Engineering*, 37(4), 38–43. <https://doi.org/10.7731/kifse.95785771>
- Rie, D. H., Lee, J. W., & Kim, S. (2016). Class B fire-extinguishing performance evaluation of a compressed air foam system at different air-to-aqueous foam solution mixing ratios. *Applied Sciences (Switzerland)*, 6(7). <https://doi.org/10.3390/app6070191>
- Shakhov, S., & Vinogradov, S. (2020). Fire extinguishing efficiency of compressed air foam, water and gel forming agents in a standard class A test fire. *Safety & Fire Technology*, 55(1), 154–160. <https://doi.org/10.12845/sft.55.1.2020.10>
- Wang, X., Liao, Y., & Lin, L. (2009). Experimental study on fire extinguishing with a newly prepared multi-component compressed air foam. *Chinese Science Bulletin*, 54(3), 492–496. <https://doi.org/10.1007/s11434-008-0571-3>
- Weinschenk, C. G., Madrzykowski, D. M., Stakes, K., & Willi, J. M. (2017). *Examination of Compressed Air Foam (CAF) for interior fire fighting*. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/TechnicalNotes/NIST.TN.1927.pdf>