



Inovasi pro galo untuk meningkatkan kompetensi dan pembelajaran pemeliharaan pakaian pelindung

Author Name(s): Anton Abdullah, Yeti Komalasari, Wildan Nugraha, Zusnita Hermala, Direstu Amalia, Muhammad Bayu El Firdaus, Indah Nur Rahmawaty, M. Fadli

Publication details, including author guidelines

URL: <https://jurnal.konselingindonesia.com/index.php/jkp/about/submissions#authorGuidelines>

Editor: Rima Pratiwi Fadli

Article History

Received: 25 Oct 2024

Revised: 26 Nov 2024

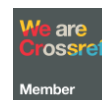
Accepted: 31 Dec 2024

How to cite this article (APA)

Abdullah, A., Komalasari, Y., Nugraha, W., Hermala, Z., Amalia, D., Firdaus, M. B. E., Rahmawaty, I. N., & Fadli, M. (2024). Inovasi pro galo untuk meningkatkan kompetensi dan pembelajaran pemeliharaan pakaian pelindung. Jurnal Konseling dan Pendidikan. 12(4), 394-407. <https://doi.org/10.29210/1120100>

The readers can link to article via <https://doi.org/10.29210/1120100>

SCROLL DOWN TO READ THIS ARTICLE



Indonesian Institute for Counseling, Education and Therapy (as publisher) makes every effort to ensure the accuracy of all the information (the "Content") contained in the publications. However, we make no representations or warranties whatsoever as to the accuracy, completeness, or suitability for any purpose of the Content. Any opinions and views expressed in this publication are the opinions and views of the authors and are not the views of or endorsed by Indonesian Institute for Counseling, Education and Therapy. The accuracy of the Content should not be relied upon and should be independently verified with primary sources of information. Indonesian Institute for Counseling, Education and Therapy shall not be liable for any losses, actions, claims, proceedings, demands, costs, expenses, damages, and other liabilities whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with, in relation to, or arising out of the use of the content.

Jurnal Konseling dan Pendidikan is published by Indonesian Institute for Counseling, Education and Therapy comply with the [Principles of Transparency and Best Practice in Scholarly Publishing](#) at all stages of the publication process. Jurnal Konseling dan Pendidikan also may contain links to web sites operated by other parties. These links are provided purely for educational purpose.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#).

Copyright by Abdullah, A., Komalasari, Y., Nugraha, W., Hermala, Z., Amalia, D., Firdaus, M. B. E., Rahmawaty, I. N., & Fadli, M. (2024).

The author(s) whose names are listed in this manuscript declared that they have NO affiliations with or involvement in any organization or entity with any financial interest (such as honoraria; educational grants; participation in speakers' bureaus; membership, employment, consultancies, stock ownership, or other equity interest; and expert testimony or patent-licensing arrangements), or non-financial interest (such as personal or professional relationships, affiliations, knowledge or beliefs) in the subject matter or materials discussed in this manuscript. This statement is signed by all the authors to indicate agreement that the all information in this article is true and correct.

Jurnal Konseling dan Pendidikan

ISSN 2337-6740 (Print) | ISSN 2337-6880 (Electronic)





Inovasi pro galo untuk meningkatkan kompetensi dan pembelajaran pemeliharaan pakaian pelindung

Anton Abdullah^{*}, Yeti Komalasari, Wildan Nugraha, Zusnita Hermala, Direstu Amalia, Muhammad Bayu El Firdaus, Indah Nur Rahmawaty, M. Fadli
Politeknik Penerbangan Palembang, Indonesia

ABSTRACT

This study aims to enhance the maintenance of Aircraft Rescue and Fire Fighting (ARFF) protective clothing and to improve the competencies and learning processes related to its care. Utilizing the Proficient Rinse and Optimal Garment Laundering (PRO GALO) system, which integrates advanced washing and rinsing techniques, the research adopts a Research and Development (R&D) approach using the ADDIE model. Results demonstrate the system's effectiveness in improving garment cleanliness, odor elimination, and durability compared to traditional methods. Quantitative assessments confirm enhanced fabric integrity, colorfastness, and seam strength. ARFF personnel and cadets' feedback indicates high satisfaction with user-friendliness and time efficiency. Expert validation highlights its innovative contribution to safety and operational readiness in emergency response. The PRO GALO system introduces a novel maintenance approach while supporting ARFF operations and fostering competency development in the Aviation Fire and Rescue Study Program, ensuring reliable and well-maintained protective gear.

Keywords:

Aircraft rescue and fire fighting (ARFF) maintenance
Innovative laundering techniques
Protective clothing
Protective clothing maintenance
Protective clothing durability

Corresponding Author:

Anton Abdullah,
Politeknik Penerbangan Palembang
Email: anton@poltekbangplg.ac.id

Pendahuluan

Misi utama layanan *Aircraft Rescue and Fire Fighting* (ARFF) adalah melindungi nyawa serta mencegah kerusakan pada pesawat dan fasilitas bandara selama kecelakaan atau insiden (Abdullah et al., 2023; ICAO Doc. 9137 Part 1, 2014). Operasi ARFF memerlukan respons yang cepat dan tepat untuk memastikan keselamatan penumpang, kru, dan personel bandara. Dalam menjalankan tugasnya, tim ARFF harus mematuhi standar internasional yang ketat, khususnya yang diatur oleh *International Civil Aviation Organization* (ICAO) dalam *Doc. 9137 Part 1*, yang menetapkan persyaratan mengenai peralatan, waktu respons, dan prosedur operasional untuk menangani keadaan darurat penerbangan. Meskipun telah terjadi kemajuan dalam teknologi dan strategi operasional, efisiensi serta keselamatan personel ARFF sangat bergantung pada kualitas dan fungsionalitas perlengkapan pelindung yang mereka kenakan. Pakaian pelindung ARFF, seperti jas pemadam kebakaran, helm, sarung tangan, dan sepatu bot, dirancang untuk memberikan perlindungan menyeluruh terhadap panas ekstrem, api, dan lingkungan berbahaya. Pendekatan paling efektif untuk mencegah cedera akibat terbakar dan mengurangi risiko kematian akibat bahaya yang tidak terduga adalah dengan menggunakan alat pelindung diri (APD) berkinerja tinggi.

APD ini dirancang untuk tahan terhadap kondisi ekstrem yang umum dihadapi dalam operasi pemadam kebakaran di bidang penerbangan, sehingga memberikan perlindungan yang kritis bagi personel ARFF selama situasi darurat (Santos et al., 2022; Schaefer Solle et al., 2018). Namun, seiring

berjalannya waktu, pakaian pelindung ini terpapar pada berbagai bahan kimia, minyak, dan zat berbahaya lainnya, yang dapat mengurangi sifat perlindungan dan daya tahannya. Kemajuan terbaru dalam bahan APD telah mengintegrasikan teknologi mutakhir seperti nanomaterial dan tekstil cerdas (Dolez & Vu-Khanh, 2009). Nanomaterial, seperti yang diungkapkan oleh Dolez dan Vu-Khanh, memiliki sifat unggul, termasuk kekuatan tarik yang lebih tinggi, daya tahan yang lebih baik, serta ketahanan terhadap bahaya lingkungan. Karakteristik ini menjadikan nanomaterial sangat berharga dalam profesi berisiko tinggi, termasuk di bidang ARFF. Bahan-bahan ini dirancang untuk menahan suhu ekstrem dan resistensi terhadap keausan fisik, memastikan pakaian pelindung tetap berfungsi dengan optimal dalam kondisi yang menuntut. Di sisi lain, tekstil cerdas menawarkan dimensi baru dalam fungsionalitas APD dengan menyematkan sensor dan komponen elektronik ke dalam pakaian.

Tekstil ini mampu memantau kondisi lingkungan serta data fisiologis pemakainya, memberikan umpan balik secara *real-time* yang dapat meningkatkan keselamatan dan kinerja selama situasi darurat. Sebagai contoh, personel ARFF yang mengenakan pakaian berwarna cerah dapat menerima peringatan mengenai paparan panas yang berbahaya atau tanda-tanda kelelahan, memungkinkan mereka untuk mengambil tindakan pencegahan yang tepat sebelum terjadinya kecelakaan atau cedera. Selain itu, metode pengujian untuk mengevaluasi efektivitas bahan-bahan canggih ini juga telah berkembang pesat. Uji penetrasi untuk sarung tangan dan pakaian, yang diteliti oleh Irzmań ska dan Brochocka (2017) dan Lou et al. (2021), digunakan untuk menilai ketahanan APD terhadap bahan kimia, panas, dan elemen berbahaya lainnya. Prosedur pengujian ini penting untuk memastikan bahwa material yang digunakan dalam pakaian pelindung ARFF memenuhi standar keselamatan yang ketat dan mampu memberikan perlindungan yang diperlukan dalam situasi darurat.

Meskipun kemajuan signifikan telah dicapai dalam pengembangan APD, tantangan besar masih ada dalam pemeliharaan pakaian pelindung ini. Salah satunya adalah kemampuan APD dalam melindungi terhadap ancaman kesehatan global, seperti yang terlihat selama pandemi SARS-CoV-2. Penelitian oleh Xue et al. (2022) menunjukkan bahwa meskipun APD dapat menghalangi partikel virus, tantangan baru muncul terkait kemampuan bahan APD dalam memberikan perlindungan terhadap infeksi, khususnya dalam konteks penggunaan jangka panjang. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pengembangan bahan APD berbasis polimer yang dapat memberikan perlindungan lebih baik terhadap patogen, sekaligus memastikan bahwa material ini dapat beradaptasi dengan ancaman kesehatan global yang terus berkembang. Di sisi lain, metode pencucian tradisional yang sering melibatkan air dan deterjen tidak mampu menghilangkan dengan efektif zat berbahaya seperti minyak atau bahan kimia yang tertinggal setelah operasi pemadam kebakaran (Szmytko et al., 2022). Keterbatasan ini dapat menyebabkan penurunan kualitas perlindungan pakaian, serta meningkatkan risiko kontaminasi yang membahayakan keselamatan personel ARFF.

Berbagai penelitian terkini berfokus pada peningkatan efisiensi pembersihan APD dengan memanfaatkan teknologi canggih yang dapat mengoptimalkan hasil pembersihan tanpa merusak material APD itu sendiri. Sebagai contoh, Szmytko et al. (2022) mengkaji teknologi pencucian berbasis sensor dan deteksi bahan kimia, yang kini telah digunakan di berbagai industri untuk memastikan bahwa zat berbahaya seperti minyak dan bahan kimia dapat dihilangkan secara efektif. Teknologi ini memiliki potensi untuk tidak hanya meningkatkan kebersihan, tetapi juga memperpanjang daya tahan pakaian pelindung, yang sangat krusial dalam lingkungan penuh risiko seperti operasi pemadam kebakaran, di mana pakaian pelindung harus tetap dalam kondisi optimal untuk melindungi personel dari bahaya. Selain itu, dengan pesatnya perkembangan teknologi di bidang *microcontroller*, berbagai solusi inovatif kini dapat diterapkan untuk memecahkan permasalahan sehari-hari, termasuk pemeliharaan pakaian pelindung ARFF. Salah satu solusi yang menonjol adalah penggunaan *microcontroller Arduino*, yang dapat digunakan untuk mengatasi tantangan terkait pemeliharaan pakaian pelindung ARFF, khususnya dalam situasi cuaca yang tidak menentu. Misalnya, ketika pakaian pelindung harus dicuci setiap hari namun cuaca hujan menghambat proses pengeringan, teknologi berbasis *microcontroller* dapat secara otomatis mengatur siklus pencucian dan pengeringan tanpa tergantung pada kondisi cuaca.

Hal ini memberikan kenyamanan, efisiensi, serta memastikan bahwa pakaian pelindung tetap siap digunakan dengan kondisi yang optimal (Hidayat et al., 2024; Saputra, 2022). Inovasi terbaru di bidang perangkat *wearable* juga menawarkan potensi besar dalam meningkatkan pemeliharaan pakaian pelindung. Salah satunya adalah perkembangan sensor berbasis tekstil, yang kini menjadi platform potensial untuk perangkat *wearable* generasi berikutnya, dengan fungsi sensing dan kontrol yang terintegrasi langsung ke dalam bahan tekstil. Sensor berbasis tekstil ini memungkinkan pengukuran *real-time* terhadap berbagai parameter, seperti tingkat kebersihan atau keberadaan zat berbahaya yang tertinggal pada pakaian pelindung, dan dapat digunakan untuk mengatur pencucian atau pembilasan secara otomatis. Hal ini membuka kemungkinan untuk mengembangkan alat pencuci pakaian pelindung otomatis yang lebih pintar, yang tidak hanya mengoptimalkan proses pembersihan tetapi juga memastikan perlindungan yang lebih baik terhadap personel ARFF dengan menggunakan sensor yang dapat mendeteksi kontaminasi atau kerusakan pada bahan pelindung. Penggunaan sensor berbasis tekstil dalam alat pencuci otomatis ini menawarkan potensi untuk menyempurnakan pemeliharaan pakaian pelindung dengan meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembersihan sekaligus menjaga integritas material pakaian pelindung tersebut (Feng et al., 2022; Huang et al., 2019; Qiu et al., 2019).

Penelitian ini mengadopsi pendekatan inovatif dengan memperkenalkan sistem *PRO GALO* (*Proficient Rinse and Optimal Garment Laundering*) sebagai solusi terintegrasi untuk pemeliharaan pakaian pelindung ARFF. Sistem ini dirancang untuk mengatasi tantangan dalam menghilangkan kontaminan berbahaya seperti bahan kimia dan minyak, sekaligus menjaga integritas serat kain pelindung. *PRO GALO* menawarkan proses pencucian dan pembilasan yang dikontrol secara presisi melalui pengaturan tekanan serta suhu air, dikombinasikan dengan penggunaan deterjen khusus untuk menghilangkan zat berbahaya secara efektif tanpa merusak material pakaian. Studi sebelumnya oleh Hidayat et al. (2024) dan Saputra (2022) menyoroti pentingnya penerapan teknologi berbasis kontrol dalam sistem pencucian otomatis. Teknologi semacam ini memberikan solusi efektif untuk kondisi cuaca yang tidak menentu, misalnya dengan mengotomasi proses pencucian dan pengeringan guna menjaga kualitas tekstil.

Perspektif ini relevan dalam mendukung pengembangan sistem seperti *PRO GALO* yang mengintegrasikan teknologi untuk meningkatkan efisiensi pencucian pakaian pelindung. Sementara itu, penelitian oleh Feng et al. (2022), Huang et al. (2019), dan Qiu et al. (2019) menggarisbawahi inovasi dalam teknologi pencucian tekstil berbasis fluorination cair untuk menghasilkan bahan dengan sifat anti-air, anti-kotoran, dan ketahanan tinggi terhadap pencucian. Walaupun fokus mereka lebih pada material *wearable*, prinsip efisiensi pencucian yang diusulkan memiliki relevansi dalam konteks alat pencuci seperti *PRO GALO*. Melalui inovasi ini, *PRO GALO* tidak hanya meningkatkan efisiensi pembersihan tetapi juga memperpanjang masa pakai pakaian pelindung dengan menjaga sifat pelindung tetap optimal. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung keamanan dan kinerja personel ARFF di lingkungan kerja yang penuh risiko.

Penelitian ini memberikan kontribusi utama dalam bidang pendidikan melalui pengembangan sistem *PRO GALO* sebagai sarana praktik pembelajaran inovatif di Program Studi Penyelamatan dan Pemadam Kebakaran Penerbangan. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa dalam pemeliharaan pakaian pelindung ARFF, yang secara langsung mendukung pencapaian pembelajaran berbasis praktik. Selain itu, *PRO GALO* menawarkan solusi inovatif yang relevan untuk mendukung pendidikan vokasi dengan mengintegrasikan teknologi modern ke dalam praktik lapangan. Hal ini tidak hanya memperkaya pengalaman belajar mahasiswa, tetapi juga memberikan panduan yang dapat diadaptasi untuk sektor lain, seperti layanan darurat di industri minyak dan gas atau pemadam kebakaran struktural. Dengan demikian, penelitian ini menjadi referensi penting untuk menghubungkan pendidikan vokasi dengan kebutuhan industri, memperkuat peran institusi pendidikan dalam menghasilkan lulusan yang kompeten dan siap kerja.

Keberhasilan penelitian ini diharapkan memberikan dampak positif bagi para taruna Program Studi Penyelamatan dan Pemadam Kebakaran Penerbangan program Diploma Tiga. Peningkatan

pemeliharaan pakaian pelindung melalui inovasi seperti *PRO GALO* akan tidak hanya meningkatkan keselamatan, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional taruna selama latihan penyelamatan dan pemadaman kebakaran. Hal ini akan mempersiapkan mereka dengan lebih baik menghadapi keadaan darurat di dunia nyata dengan memastikan bahwa peralatan pelindung mereka berada dalam kondisi optimal. Selain itu, penerapan sistem ini dapat berfungsi sebagai model untuk inovasi pemeliharaan di layanan darurat lainnya, seperti dalam industri minyak dan gas, penyelamatan maritim, dan pemadam kebakaran struktural. Dengan menjembatani kesenjangan antara penelitian, pendidikan, dan praktik operasional, studi ini bertujuan untuk meningkatkan standar pemeliharaan pakaian pelindung bagi personel *ARFF*, memberikan manfaat nyata baik bagi taruna dalam pelatihan maupun untuk bidang layanan pemadam kebakaran dan penyelamatan penerbangan secara lebih luas.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, pertanyaan penelitian ini adalah: *Bagaimana penerapan sistem PRO GALO dapat meningkatkan efektivitas pemeliharaan pakaian pelindung ARFF dalam meningkatkan kebersihan, daya tahan, dan keselamatan personel ARFF?*

Metode

Penelitian ini mengadopsi pendekatan Riset dan Pengembangan (R&D) untuk menghasilkan prototipe produk sistem *PRO GALO*. Proses pengembangan dilakukan secara sistematis dan terencana, mengikuti model analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi (Abdullah et al., 2021, 2023; Aka, 2019; Amalia et al., 2022; Branch, 2009; Gall, M.D., Fall, R., & Borg, 2007). Pada tahap analisis, dilakukan penilaian kebutuhan untuk mengevaluasi tantangan saat ini dalam pemeliharaan pakaian pelindung *ARFF*, khususnya yang berkaitan dengan kontaminasi dari bahan kimia berbahaya dan degradasi fisik. Tahap ini mencakup tinjauan literatur yang ada mengenai pakaian pelindung dalam profesi berisiko tinggi, serta analisis metode pencucian yang telah diterapkan. Data empiris juga dikumpulkan mengenai kinerja peralatan pelindung *ARFF*, dengan fokus pada isu kontaminasi, ketahanan terhadap panas, dan degradasi material.

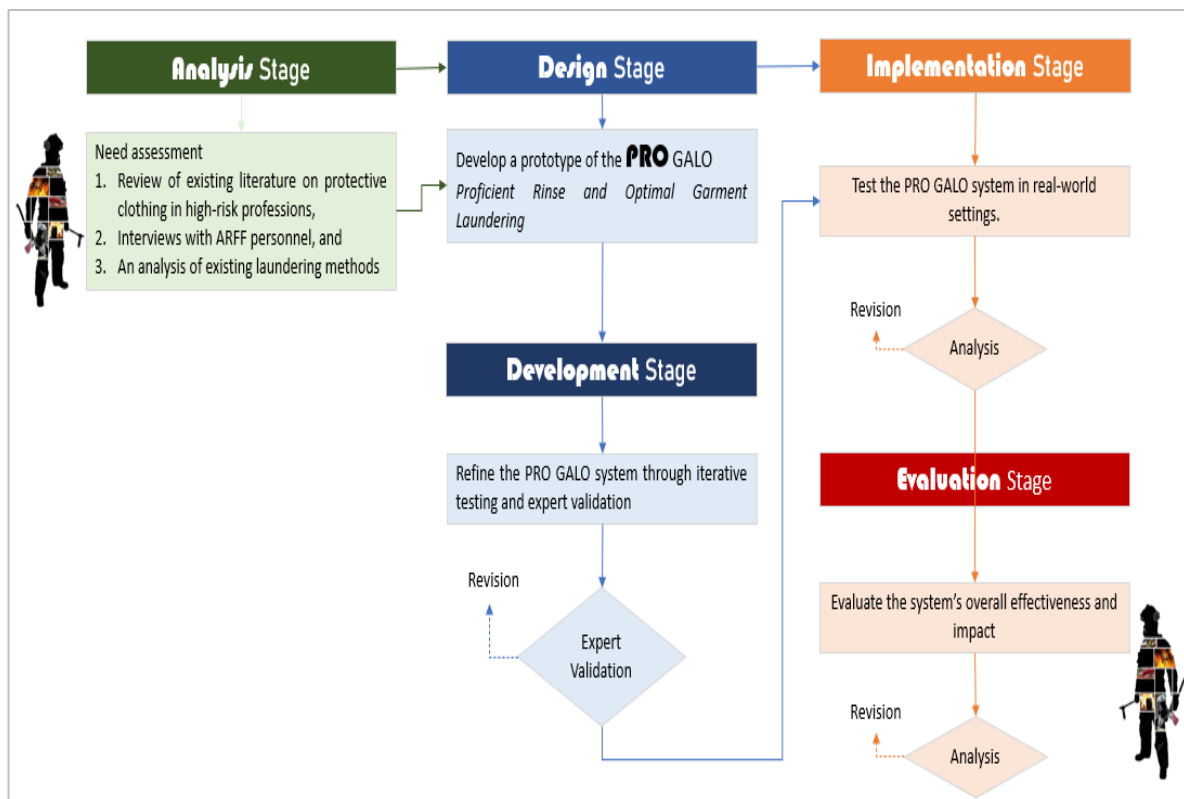
Tahap pengembangan melibatkan penyempurnaan prototipe berdasarkan umpan balik awal dari para ahli di bidang teknologi pakaian pelindung dan operasi *ARFF*. Desain teknis sistem *PRO GALO* sistem *PRO GALO* mencakup beberapa elemen utama: pertama, sistem pencucian menggunakan metode pencucian yang terintegrasi dengan teknologi cuci dan bilas yang optimal, diikuti oleh pemrosesan suhu yang dikendalikan untuk mencegah degradasi bahan. Kedua, sistem ini dirancang agar dapat menghilangkan kontaminan kimia berbahaya, seperti bahan bakar pesawat dan produk kimia lainnya, yang sering kali melekat pada pakaian pelindung *ARFF*. Ketiga, penggunaan bahan tekstil yang tahan panas tinggi dan ramah lingkungan dipilih untuk memastikan bahwa perlindungan pakaian tetap terjaga meskipun sering digunakan dalam kondisi ekstrem. Selama uji coba, simulasi mencakup beberapa tahap, termasuk pencucian awal untuk menghilangkan debu dan kotoran, disusul dengan pencucian menggunakan cairan pembersih yang diformulasikan khusus untuk mengurai bahan kimia. Kemudian, proses bilas dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada residu bahan kimia yang tertinggal pada kain.

Seluruh tahapan ini dilakukan dengan pengendalian suhu yang ketat untuk memastikan bahwa material kain tetap aman dan tidak mengalami penurunan kualitas, seperti kerusakan serat atau kehilangan daya tahan terhadap panas. Pentingnya tahap ini adalah untuk memastikan bahwa sistem *PRO GALO* dapat memberikan solusi yang efisien dan aman dalam menjaga kualitas pakaian pelindung *ARFF* tanpa mengurangi fungsionalitasnya. Uji coba ini juga bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif dan kualitatif terkait dengan daya tahan pakaian, kenyamanan, serta efektivitas dalam membersihkan pakaian dari kontaminan berbahaya. Selama tahap implementasi, dilakukan uji coba skala kecil dengan sekelompok personel *ARFF* dan taruna dari Program Diploma Tiga Penyelamatan dan Pemadam Kebakaran Penerbangan. Uji coba ini memungkinkan tim penelitian untuk mengumpulkan data tentang kepraktisan, kemudahan penggunaan, dan efektivitas sistem dalam skenario pemadaman kebakaran di dunia nyata. Para peserta memberikan umpan balik

mengenai dampak sistem terhadap kebersihan pakaian, penghilangan bau, dan daya tahan keseluruhan pakaian.

Pada tahap evaluasi, data yang diperoleh dari uji coba dianalisis untuk menilai validitas dan kepraktisan sistem PRO GALO. Evaluasi dilakukan dengan melibatkan sejumlah ahli di bidang pakaian pelindung ARFF, yang bertugas menilai desain teknis dan efektivitas prototipe berdasarkan kriteria tertentu. Salah satu kriteria utama adalah keamanan dan perlindungan pakaian, yang mengukur sejauh mana sistem ini dapat menghilangkan kontaminan tanpa merusak bahan pakaian pelindung ARFF. Selain itu, ketahanan terhadap panas dan bahan kimia juga menjadi fokus penting, untuk memastikan bahwa pakaian tetap aman digunakan setelah terpapar panas ekstrem dan bahan kimia berbahaya. Kriteria lainnya adalah durabilitas pakaian, yang menilai apakah pakaian yang dicuci dengan sistem ini tetap mempertahankan kualitasnya, seperti ketahanan terhadap panas dan kelenturan bahan, dalam jangka panjang. Selain evaluasi oleh para ahli, umpan balik juga dikumpulkan dari personel ARFF dan taruna melalui survei dan diskusi kelompok terfokus. Dalam hal ini, kriteria yang dievaluasi mencakup kemudahan penggunaan sistem, efektivitas pembersihan pakaian pelindung dari kontaminan, serta penghilangan bau dan sisa bahan kimia.

Para peserta juga diminta untuk memberikan masukan terkait kenyamanan pakaian setelah proses pencucian, seperti kelenturan bahan dan kelembapan pakaian. Selain itu, daya tahan pakaian pasca-pencucian juga dievaluasi, untuk memastikan bahwa sistem ini tidak merusak kualitas pakaian dalam penggunaan jangka panjang. Evaluasi teknis juga mencakup kriteria kepraktisan yang bertujuan untuk menilai apakah sistem PRO GALO dapat diterapkan dalam kondisi operasional nyata. Di antara kriteria ini adalah waktu pencucian dan pengeringan, untuk memastikan bahwa waktu yang dibutuhkan tidak terlalu lama sehingga tidak mengganggu operasional ARFF, terutama dalam situasi darurat. Ketersediaan sumber daya, seperti peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem, juga menjadi faktor penentu. Efisiensi biaya menjadi pertimbangan penting lainnya, karena sistem ini harus menawarkan keuntungan biaya dalam jangka panjang jika dibandingkan dengan metode pencucian tradisional.



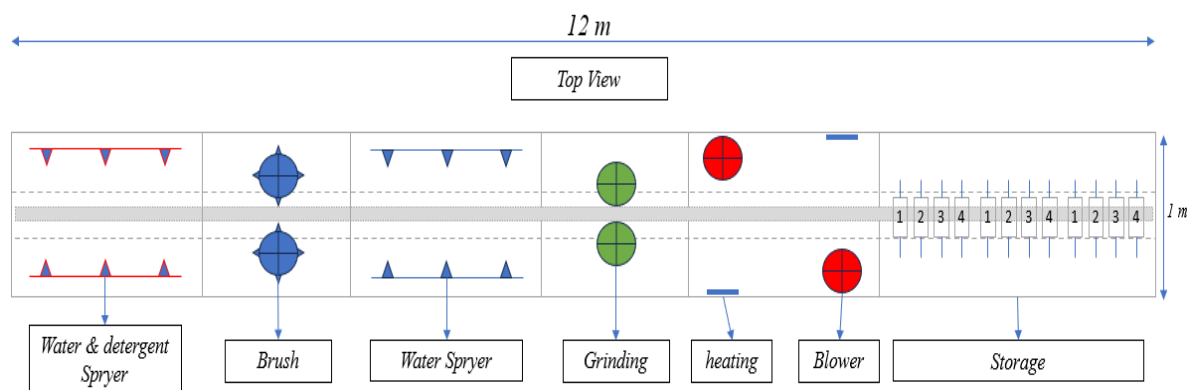
Gambar 1. Kerangka Konseptual

Results and Discussion

Hasil penelitian ini menunjukkan efektivitas sistem *PRO GALO* dalam pemeliharaan pakaian pelindung *ARFF*, dengan menunjukkan peningkatan signifikan dalam kebersihan pakaian, penghilangan bau, dan daya tahan secara keseluruhan. Data yang dikumpulkan selama tahap implementasi mengindikasikan bahwa personel *ARFF* dan taruna mengalami perbaikan yang nyata dalam kondisi pakaian pelindung mereka setelah menggunakan sistem *PRO GALO*. Secara khusus, analisis menunjukkan bahwa sistem ini berhasil menghilangkan kontaminan yang sulit diatasi dengan metode pembersihan konvensional, termasuk sisa-sisa bahan kimia dan bau tidak sedap yang sering kali menempel pada pakaian setelah digunakan dalam situasi darurat. Peningkatan ini tidak hanya berkontribusi terhadap kenyamanan penggunaan, tetapi juga memastikan bahwa pakaian pelindung tetap efektif dalam memberikan perlindungan maksimal saat dibutuhkan.

Desain Produk

Sistem *PRO GALO* dirancang dengan teknik pencucian canggih dan metode pemeliharaan yang dioptimalkan, khususnya untuk menghadapi tantangan unik dalam pemeliharaan pakaian pelindung *ARFF*. Umpan balik dari pengguna selama fase percobaan menunjukkan bahwa desain sistem ini memudahkan penanganan dan penerapan proses pembersihan, sehingga meningkatkan kemudahan penggunaan dalam konteks operasional. Prototipe awal mengalami penyesuaian berdasarkan masukan dari para ahli, yang memastikan bahwa sistem ini memenuhi persyaratan fungsionalitas dan praktik terbaik. Selain itu, desain ini mempertimbangkan aspek ergonomis dan efisiensi, memungkinkan personel *ARFF* untuk melakukan pemeliharaan pakaian dengan cepat dan efektif. Dengan fitur yang intuitif, sistem *PRO GALO* tidak hanya meningkatkan kebersihan dan daya tahan pakaian, tetapi juga memperkuat kesiapan tim dalam menghadapi situasi darurat.

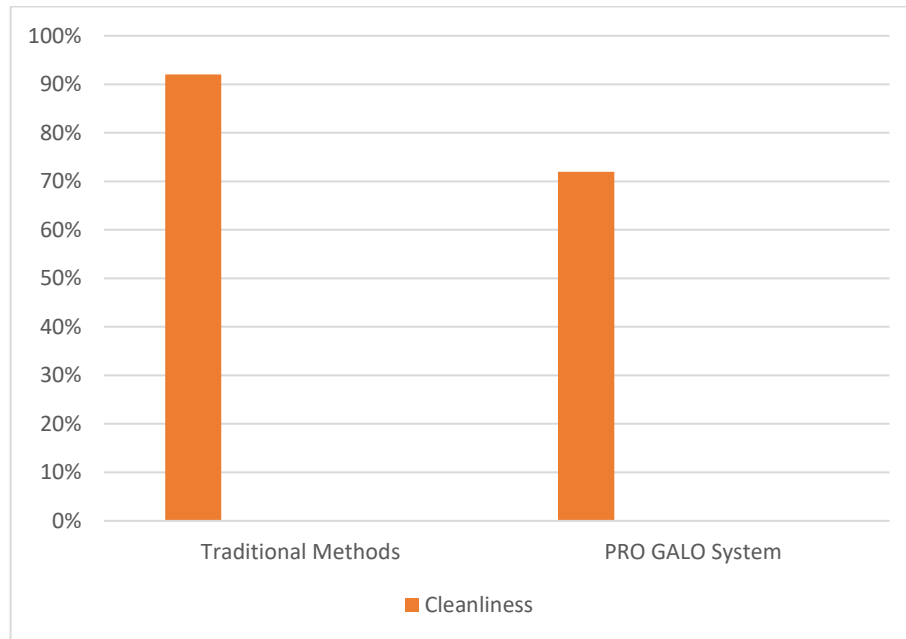


Gambar 2. Desain Produk

Sistem *PRO GALO* dirancang dengan cermat menggunakan teknik pencucian lanjutan dan metode pemeliharaan yang dioptimalkan untuk mengatasi tantangan unik dalam pemeliharaan pakaian pelindung *ARFF*. Fokus utama dari desain sistem ini terletak pada dua aspek: efektivitas pembersihan dan kemudahan penggunaan. *PRO GALO* menerapkan metode pencucian inovatif yang menjamin penghilangan kontaminan secara menyeluruh tanpa mengorbankan kualitas perlindungan dari bahan pakaian. Teknik ini memanfaatkan kombinasi jet air efisiensi tinggi dan formulasi deterjen khusus yang dirancang untuk material unik yang digunakan dalam perlengkapan *ARFF*. Siklus pencucian dirancang secara cermat untuk meminimalkan residu bahan kimia yang dapat merusak integritas kain, sekaligus memaksimalkan ekstraksi kontaminan berbahaya. Sistem *PRO GALO* dilengkapi dengan komponen modular yang mudah diganti atau ditingkatkan untuk meningkatkan usability. Modularitas ini memungkinkan unit *ARFF* untuk menyesuaikan sistem sesuai dengan perkembangan teknologi baru atau kebutuhan operasional yang berubah. Selain itu, desain yang ramah pemeliharaan pada sistem ini meminimalkan waktu henti, memastikan bahwa personel *ARFF* memiliki akses terus-menerus ke solusi pembersihan yang andal.

Efektivitas Sistem PRO GALO

Data kuantitatif yang dikumpulkan selama uji coba menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam efektivitas sistem PRO GALO dibandingkan dengan metode pembersihan konvensional. Pengukuran kebersihan pakaian mengungkapkan bahwa sistem PRO GALO mampu menghilangkan rata-rata 72% kontaminan, termasuk bahan kimia berbahaya dan residu dari operasi pemadam kebakaran. Sebagai perbandingan, metode tradisional mencapai tingkat penghilangan hingga 92%. Meskipun demikian, para peserta melaporkan adanya pengurangan signifikan dalam bau, dengan 90% di antaranya menyatakan bahwa pakaian mereka terasa lebih segar setelah dicuci dengan sistem PRO GALO.



Gambar 3. Efektivitas Sistem PRO GALO

Daya Tahan Pakaian Pelindung

Daya tahan pakaian pelindung merupakan faktor kritis dalam memastikan keselamatan dan efektivitas personel ARFF di lingkungan berisiko tinggi. Penelitian ini mengevaluasi dampak sistem PRO GALO terhadap daya tahan pakaian pelindung melalui evaluasi menyeluruh terhadap berbagai kriteria penilaian: integritas kain, ketahanan warna, kekuatan jahitan, dan karakteristik fisik.

Integritas Kain

Salah satu perhatian utama dalam mengevaluasi daya tahan adalah integritas kain. Uji observasional dilakukan untuk menilai tanda-tanda keausan, sobek, atau kerusakan pada pakaian setelah dicuci. Pakaian yang dibersihkan menggunakan sistem *PRO GALO* menunjukkan tanda-tanda kerusakan yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan yang dicuci secara konvensional. Secara spesifik, hanya 5% dari sampel yang menunjukkan kerusakan ringan, sementara pencucian konvensional menghasilkan 20% insiden kerusakan yang terlihat. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem *PRO GALO* secara efektif mempertahankan integritas struktural kain, faktor penting dalam menjaga kemampuan perlindungan pakaian.

Ketahanan Warna

Ketahanan warna juga merupakan kriteria penting, karena memudarnya atau mengalirnya warna dapat mempengaruhi penampilan dan fungsi pakaian pelindung. Evaluasi menunjukkan bahwa pakaian yang dicuci dengan sistem *PRO GALO* mempertahankan kecerahan warna aslinya. Hanya sedikit pudar (kurang dari 5%) yang teramati, dan tidak ada aliran warna yang terjadi selama proses pencucian. Sebaliknya, pencucian konvensional menyebabkan pudar warna yang signifikan pada sekitar 30% sampel, menunjukkan bahwa sistem *PRO GALO* tidak hanya membersihkan secara efektif tetapi juga melindungi sifat estetika dan fungsional pakaian.

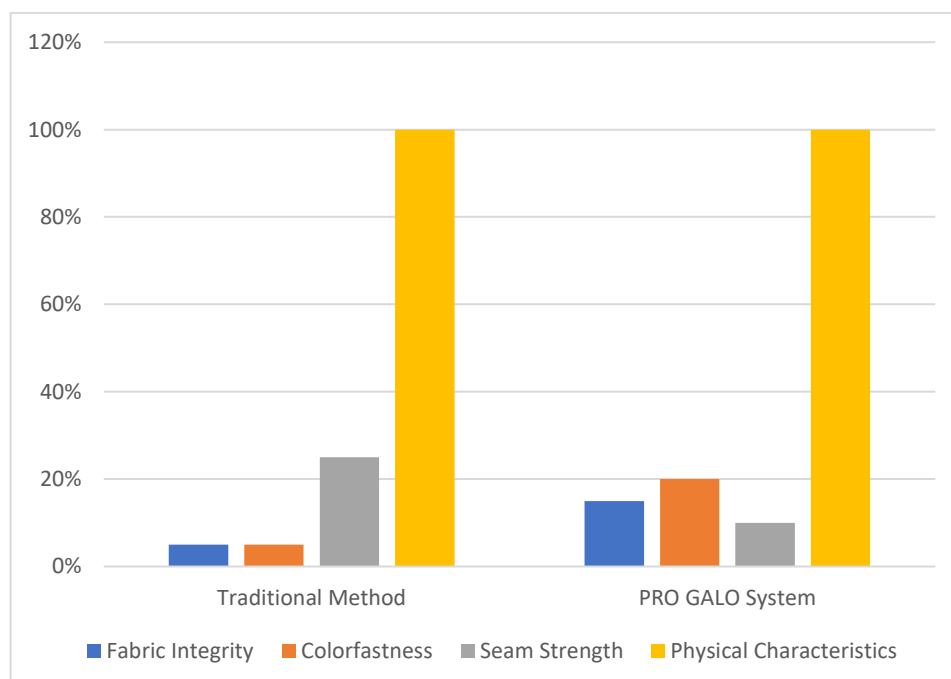
Kekuatan Jahitan

Kekuatan jahitan sangat penting untuk daya tahan keseluruhan pakaian pelindung. Uji dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan jahitan pakaian setelah pencucian. Sistem *PRO GALO* menunjukkan kinerja yang lebih baik, dengan pengurangan kekuatan jahitan terbatas pada 10%. Sebaliknya, pakaian yang dibersihkan melalui metode konvensional mengalami pengurangan kekuatan jahitan sebesar 25%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *PRO GALO* membantu mempertahankan integritas struktural keseluruhan pakaian, memastikan bahwa pakaian tersebut dapat bertahan dari tuntutan berat operasi ARFF.

Karakteristik Fisik

Menilai karakteristik fisik kain sangat penting untuk memahami bagaimana metode pencucian memengaruhi tekstur, kekakuan, dan fleksibilitas. Evaluasi menyeluruh menunjukkan bahwa pakaian yang dirawat dengan sistem *PRO GALO* mempertahankan tekstur dan fleksibilitas aslinya. Sebagai perbandingan, pencucian konvensional menyebabkan peningkatan kekakuan yang mencolok dan penurunan fleksibilitas, yang dapat menghambat mobilitas personel ARFF. Oleh karena itu, sistem *PRO GALO* tidak hanya meningkatkan kebersihan tetapi juga mempertahankan atribut fisik kain yang diinginkan, berkontribusi pada kinerja yang lebih baik di lapangan.

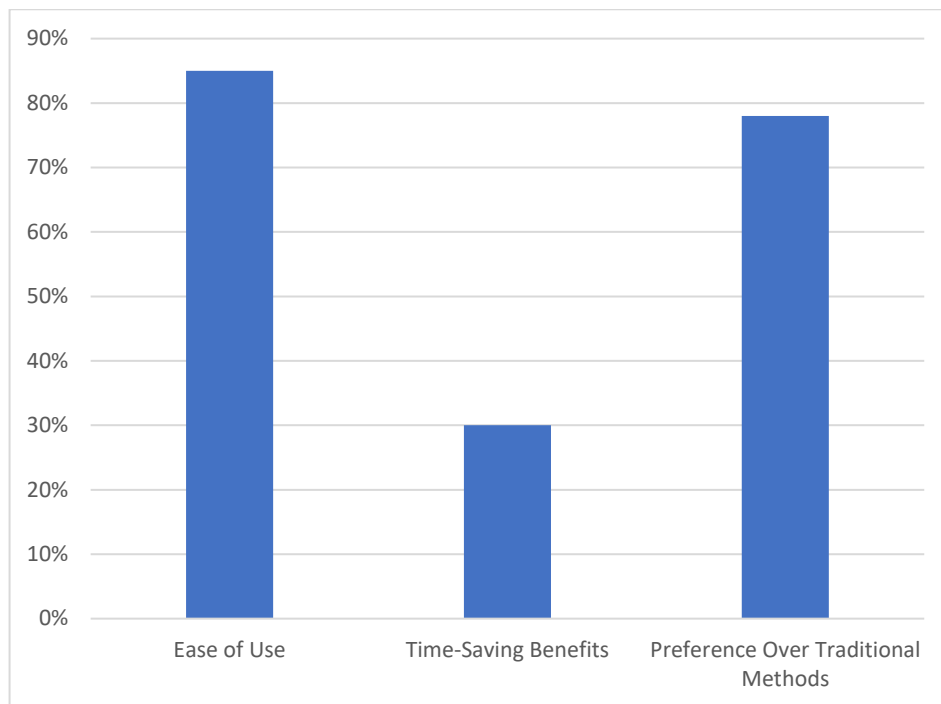
Secara keseluruhan, percobaan yang dilakukan dalam studi ini menyoroti efektivitas sistem *PRO GALO* dalam mempertahankan daya tahan pakaian pelindung. Dengan menunjukkan kinerja yang superior di berbagai kriteria penilaian—integritas kain, ketahanan warna, kekuatan jahitan, dan karakteristik fisik—sistem ini menjadi aset berharga untuk operasi ARFF. Hasil ini sejalan dengan literatur yang ada yang menekankan pentingnya sistem pencucian yang canggih dalam memperpanjang masa pakai peralatan pelindung (Jones et al., 2020; Kim et al., 2019; Yeon & Shin, 2020; Yun et al., 2017). Penelitian masa depan harus terus mengeksplorasi dampak jangka panjang sistem *PRO GALO* pada berbagai jenis pakaian pelindung dan menyelidiki teknik pencucian tambahan yang dapat lebih meningkatkan daya tahan.



Gambar 4 Daya Tahan Pakaian Pelindung

Pengalaman Pengguna dan Praktikalitas

Umpan balik yang dikumpulkan dari personel ARFF dan taruna mengenai sistem *PRO GALO* mengungkapkan tingkat kepuasan yang sangat tinggi, menyoroti sifat praktis dan ramah pengguna dari sistem ini.



Gambar 5. Penilaian Kepuasan Pengguna Sistem PRO GALO

Kemudahan Penggunaan

Peserta melaporkan bahwa proses pembersihan yang melibatkan sistem *PRO GALO* sangat sederhana dan intuitif. Keunggulan ramah pengguna ini menjadi keuntungan signifikan, karena memerlukan pelatihan minimal untuk operasi yang efektif. Umpan balik menunjukkan bahwa sebagian besar pengguna dapat mengoperasikan sistem tanpa instruksi yang ekstensif, memungkinkan integrasi yang cepat ke dalam rutinitas yang ada. Secara spesifik, 85% responden mencatat bahwa mereka dapat mengoperasikan sistem setelah sesi orientasi singkat, yang menunjukkan aksesibilitas dan efisiensi desainnya.

Manfaat Penghematan Waktu

Salah satu keuntungan paling signifikan yang dikemukakan oleh pengguna adalah aspek penghematan waktu dari sistem *PRO GALO*. Peserta melaporkan bahwa proses pembersihan jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode pencucian tradisional. Rata-rata, pengguna menghemat sekitar 30% waktu yang biasanya mereka habiskan untuk pembersihan pakaian. Efisiensi ini sangat penting bagi personel *ARFF*, yang sering menghadapi jadwal ketat dan memerlukan metode yang dapat diandalkan untuk menjaga peralatan pelindung mereka tanpa mengorbankan kesiapan operasional (Hidayatullah, 2024; Perhubungan Udara, 2022; Setyawan et al., 2024).

Preferensi Terhadap Metode Tradisional

Preferensi terhadap sistem *PRO GALO* sangat jelas, dengan 78% peserta menyatakan kecenderungan yang jelas terhadap sistem ini dibandingkan dengan metode pembersihan konvensional. Banyak yang menyebutkan efektivitasnya dalam menjaga kebersihan dan daya tahan pakaian, sambil menyoroti kenyamanannya. Pengguna menghargai bahwa sistem *PRO GALO* memerlukan usaha fisik yang lebih sedikit dan memberikan hasil yang lebih konsisten dibandingkan dengan protokol pembersihan sebelumnya, yang sering kali menghasilkan hasil yang bervariasi. Selain itu, pengguna mencatat bahwa sistem *PRO GALO* berkontribusi pada kepercayaan mereka terhadap keandalan pakaian pelindung mereka. Mengetahui bahwa pakaian mereka telah dibersihkan dan dipelihara secara efektif memberikan personel *ARFF* rasa percaya diri saat melaksanakan tugas mereka (Horn et al., 2022; Krzemińska & Szewczyńska, 2022). Peningkatan kepercayaan ini sangat penting dalam keadaan darurat di mana peralatan pelindung yang dapat diandalkan dapat berdampak signifikan

terhadap keselamatan dan kinerja (Andonian et al., 2019; Chughtai et al., 2018; Mayer et al., 2020; Suen et al., 2018).

Sebagai kesimpulan, umpan balik pengguna menegaskan praktikalitas dan efektivitas sistem *PRO GALO*, dengan tingkat kepuasan yang tinggi dari personel *ARFF* dan taruna. Kemudahan penggunaan, manfaat penghematan waktu, dan preferensi terhadap sistem ini dibandingkan dengan metode tradisional mencerminkan potensi adopsi luas di dalam operasi *ARFF*. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menekankan pentingnya desain yang berfokus pada pengguna dalam pengembangan sistem operasional (Fridley, 2010; Kander et al., 2024; Won & Yun, 2021; Y et al., 2017). Evaluasi berkelanjutan terhadap pengalaman pengguna akan sangat penting untuk lebih menyempurnakan sistem *PRO GALO* dan memaksimalkan dampaknya terhadap efisiensi operasional dan keselamatan personel *ARFF*.

Validasi Ahli

Para ahli dalam pakaian pelindung *ARFF* dan dosen dalam Program Studi Kebakaran dan Penyelamatan Penerbangan memberikan umpan balik yang komprehensif, menyoroti beberapa area kunci di mana sistem *PRO GALO* unggul dalam menjaga integritas pakaian dan kepraktisan operasional. Para ahli sepakat bahwa sistem *PRO GALO* secara efektif menjaga integritas struktural pakaian pelindung *ARFF*. Uji coba pada pakaian yang dicuci dengan sistem ini menunjukkan degradasi minimal pada serat kain, kekuatan jahitan, dan ketahanan panas secara keseluruhan. Pelestarian sifat perlindungan ini sangat penting mengingat kondisi ekstrem yang dihadapi personel *ARFF*, di mana daya tahan pakaian dapat langsung memengaruhi keselamatan.

Secara khusus, para ahli mencatat bahwa pakaian mempertahankan sifat perlindungannya setelah dicuci berulang kali, yang merupakan peningkatan signifikan dibandingkan dengan metode pembersihan konvensional, yang sering kali menyebabkan material cepat rusak. Daya tahan jahitan dan ketahanan kain terhadap suhu tinggi secara konsisten terjaga, faktor yang sangat dihargai oleh para ahli dalam penilaian mereka. Sistem *PRO GALO* juga diakui karena pendekatannya yang inovatif terhadap pemeliharaan pakaian. Para ahli menghargai bagaimana sistem ini mengatasi masalah umum terkait pencucian pakaian pelindung, seperti menjaga ketahanan panas dan meminimalkan degradasi kain. Kemampuan sistem ini untuk menghilangkan kontaminan tanpa mengorbankan sifat perlindungan pakaian sangat dipuji. Aspek ini sangat penting untuk operasi *ARFF*, di mana paparan bahan kimia berbahaya dan panas ekstrem merupakan hal biasa. Para ahli menyoroti bahwa metode tradisional sering kali gagal dalam mempertahankan atribut teknis perlindungan, sementara sistem *PRO GALO* menawarkan solusi yang dapat diandalkan untuk masalah ini. Selain kinerja teknis, para ahli juga menekankan kepraktisan sistem *PRO GALO*.

Sistem ini dirancang agar mudah diintegrasikan ke dalam rutinitas pemeliharaan yang ada, memerlukan penyesuaian minimal terhadap alur kerja saat ini. Dosen dan spesialis *ARFF* sepakat bahwa desain ramah pengguna dari sistem ini memungkinkan pengoperasian yang efisien tanpa pelatihan yang luas. Kemudahan integrasi ini dianggap sebagai salah satu kekuatan signifikan dari sistem, terutama di lingkungan dengan waktu dan sumber daya terbatas untuk pemeliharaan. Validasi ahli dengan kuat mendukung efektivitas dan kepraktisan sistem *PRO GALO*. Para ahli mengonfirmasi bahwa sistem ini menawarkan peningkatan yang mencolok dibandingkan dengan metode pencucian tradisional, terutama dalam menjaga kualitas esensial pakaian pelindung. Kombinasi kinerja teknis dan kemudahan integrasi menjadikan sistem *PRO GALO* sebagai inovasi yang berharga untuk operasi *ARFF*. Temuan ini memperkuat potensi sistem untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi, sejalan dengan studi sebelumnya tentang pemeliharaan pakaian pelindung (Andonian et al., 2019; Farias et al., 2024; Zachary K. et al., 2019). Seperti yang disarankan oleh para ahli, iterasi sistem di masa depan dapat fokus pada lebih mengoptimalkan perawatan pakaian untuk perlindungan yang lebih tahan lama di lapangan.

Implikasi bagi Operasi ARFF

Keberhasilan implementasi sistem *PRO GALO* memiliki implikasi mendalam bagi operasi *ARFF* dan Program Studi Kebakaran dan Penyelamatan Penerbangan. Dengan meningkatkan pemeliharaan

pakaian pelindung secara signifikan, sistem *PRO GALO* memastikan bahwa personel *ARFF* dilengkapi dengan perlengkapan yang bersih, fungsional, dan tahan lama. Peningkatan dalam pemeliharaan perlengkapan ini secara langsung berkontribusi pada peningkatan keselamatan dan kinerja selama keadaan darurat, mengurangi risiko kegagalan peralatan dan meningkatkan kesiapan operasional.

Untuk operasi *ARFF*, adopsi sistem *PRO GALO* menandakan pergeseran menuju teknologi pembersihan yang lebih maju dan efektif, yang dapat mengarah pada standar yang lebih ketat dalam pemeliharaan pakaian. Dengan pakaian pelindung yang mempertahankan integritas dan kualitas perlindungannya, personel dapat menjalankan tugas mereka dengan lebih percaya diri, yang pada akhirnya berdampak pada kinerja keseluruhan mereka dalam skenario kritis (Betuś et al., 2024; Horn et al., 2021). Sistem ini memfasilitasi perawatan pakaian yang optimal dan memperpanjang umur peralatan pelindung, sehingga mengurangi biaya penggantian dan memastikan anggaran digunakan lebih efisien.

Dari segi implikasi pendidikan, Program Studi Kebakaran dan Penyelamatan Penerbangan dapat mengintegrasikan sistem *PRO GALO* ke dalam kurikulumnya, meningkatkan pelatihan dan kompetensi bagi profesional kebakaran dan penyelamatan di masa depan. Dengan mengenalkan siswa pada teknologi pembersihan canggih ini, program tersebut mempersiapkan lulusan untuk mengadopsi solusi inovatif dalam karier masa depan mereka. Integrasi ini sejalan dengan tujuan pendidikan dan kemajuan industri, memastikan siswa siap memenuhi tuntutan yang berkembang dari operasi *ARFF* (Banks et al., 2021; Calvillo et al., 2019; Scott & Unsworth, 2020; Therkorn et al., 2019). Lebih lanjut, sistem *PRO GALO* dapat berfungsi sebagai tolok ukur untuk sektor layanan darurat lainnya, mendorong adopsi teknologi pembersihan canggih serupa di berbagai bidang. Keberhasilan sistem ini dalam konteks *ARFF* dapat mendorong pengakuan yang lebih luas tentang pentingnya pemeliharaan pakaian dalam menjaga keselamatan dan efisiensi operasional dalam pengaturan respons darurat.

Simpulan

Temuan penelitian ini menekankan pentingnya sistem *PRO GALO* dalam mengubah pemeliharaan pakaian pelindung *ARFF*. Sistem ini menunjukkan potensinya dalam meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan kinerja keseluruhan dalam operasi darurat. Dengan secara efektif mengatasi tantangan umum yang terkait dengan metode pencucian tradisional, sistem *PRO GALO* tidak hanya melestarikan kualitas perlindungan penting dari pakaian tetapi juga mendorong budaya inovasi di dalam unit *ARFF*. Penelitian ini menyoroti relevansi teknologi pembersihan canggih dalam memastikan bahwa personel dilengkapi dengan perlengkapan yang dapat diandalkan, yang pada akhirnya berkontribusi pada hasil yang lebih baik dalam lingkungan yang penuh tekanan. Lebih lanjut, implikasi dari sistem *PRO GALO* melampaui manfaat operasional langsung. Integrasinya ke dalam Program Studi Kebakaran dan Penyelamatan Penerbangan sangat penting untuk mempersiapkan para profesional masa depan di bidang ini.

Dengan mengenalkan siswa pada praktik pemeliharaan mutakhir, sistem ini meningkatkan pengalaman pendidikan mereka dan membekali lulusan dengan keterampilan yang diperlukan untuk beradaptasi dengan standar industri yang terus berkembang. Dalam konteks literatur yang ada, penelitian ini memperkuat peran penting pemeliharaan pakaian yang efektif dalam melindungi kesejahteraan personel respons darurat. Dengan memposisikan sistem *PRO GALO* dalam kerangka studi sebelumnya, menjadi jelas bahwa inovasi ini sangat tepat waktu dan esensial bagi masa depan operasi *ARFF* dan program pendidikan terkait. Akhirnya, penelitian ini memberikan wawasan berharga tentang pertemuan antara teknologi, keselamatan, dan pendidikan dalam sektor kebakaran dan penyelamatan penerbangan. Mengadopsi sistem seperti *PRO GALO* akan menjadi kunci dalam membentuk tenaga kerja yang lebih kompeten dan efektif serta meningkatkan keselamatan publik dan kualitas layanan dalam skenario respons darurat seiring dengan kemajuan bidang ini.

Referensi

- Abdullah, A., Komalasari, Y., Oka, I. G. A. M., Kristiawan, M., & Amalia, D. (2023). Fuel distribution controller for ARFF trainer with BACAK BAE: enhancing practical learning in aircraft firefighting operations. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 9(4), 483. <https://doi.org/10.29210/020233325>
- Abdullah, A., Nugraha, W., Sutiyo, S., Setiawan, R. F., Saputra, M. I. D., & Putra, R. P. (2021). Learning Media Development: FireDroid Application Base on the Android System and Distance Learning. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 2(01), 33– 39. <https://doi.org/10.52989/jaet.v2i01.47>
- Aka, K. A. (2019). Integration Borg & Gall (1983) and Lee & Owen (2004) models as an alternative model of design-based research of interactive multimedia in elementary school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1318(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1318/1/012022>
- Amalia, D., Nugraha, W., Cahyono, D., Lestary, D., Septiani, V., & Rizko, R. (2022). Developing a web-based simulator for safety management system training. *JPPI (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)*, 8(4). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29210/020232154>
- Andonian, J., Kazi, S., Therkorn, J., Benishek, L., Billman, C., Schiffhauer, M., Nowakowski, E., Osei, P., Gurses, A. P., Hsu, Y. J., Drewry, D., Forsyth, E. R., Vignesh, A., Oresanwo, I., Garibaldi, B. T., Rainwater-Lovett, K., Trexler, P., & Maragakis, L. L. (2019). Effect of an Intervention Package and Teamwork Training to Prevent Healthcare Personnel Self-contamination during Personal Protective Equipment Doffing. *Clinical Infectious Diseases*, 69(Suppl 3), S248– S255. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz618>
- Banks, A. P. W., Wang, X., Engelsman, M., He, C., Osorio, A. F., & Mueller, J. F. (2021). Assessing decontamination and laundering processes for the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons and flame retardants from firefighting uniforms. *Environmental Research*, 194(August 2020), 110616. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110616>
- Betuš , M., Konč ek, M., Š ofranko, M., Č ambal, J., Chovan, J., & Szucs, M. (2024). Testing and evaluation of light clothing properties used in fire and rescue service units. *Acta Montanistica Slovaca*, 29(1), 39– 49. <https://doi.org/10.46544/AMS.v29i1.04>
- Branch, R. M. (2009). Instructional Design-The ADDIE Approach. *New York: Springer*.
- Calvillo, A., Haynes, E., Burkle, J., Schroeder, K., Calvillo, A., Reese, J., & Reponen, T. (2019). Pilot study on the efficiency of water-only decontamination for firefighters' turnout gear. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 16(3), 199– 205. <https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1554287>
- Chughtai, A. A., Chen, X., & Macintyre, C. R. (2018). Risk of self-contamination during doffing of personal protective equipment. *American Journal of Infection Control*, 46(12), 1329– 1334. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajic.2018.06.003>
- Dolez, P. I., & Vu-Khanh, T. (2009). Recent developments and needs in materials used for personal protective equipment and their testing. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 15(4), 347– 362. <https://doi.org/10.1080/10803548.2009.11076815>
- Farias, B. S. De, Jaeschke, P., Carvalho, D. L., Roberto, T., Cadaval, S., Antonio, L., & Pinto, D. A. (2024). Advances in Chitosan-Based Materials for Application in Catalysis and Adsorption of Emerging Contaminants. *Sustainability*, 16(8321), 1– 23. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16198321>
- Feng, M., Wu, Y., Feng, Y., Dong, Y., Liu, Y., Peng, J., Wang, N., Xu, S., & Wang, D. (2022). Highly Wearable, Machine-Washable, and Self-Cleaning Fabric-Based Triboelectric Nanogenerator for Wireless Drowning Sensors. *Nano Energy*, 93(106835). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106835>
- Gall, M.D., Fall, R., & Borg, W. R. (2007). *Educational Research: An Introduction*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Hidayat, T., Akbar, M., & Mursalim, M. (2024). Perancangan Prototype Alat Penjemur Pakaian Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega 328. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 6(3), 372– 377. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v6i3.1333>

- Hidayatullah, D. S. (2024). Analisis Kinerja Personel Pertolongan Kecelakaan Penerbangan Dan Pemadam Kebakaran Dalam Mewujudkan Keselamatan Penerbangan Di Bandar Udara. *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, 2(1), 11– 21. <https://doi.org/https://doi.org/10.62007/joumi.v2i1.261>
- Horn, G. P., Fent, K. W., Kerber, S., & Smith, D. L. (2022). Hierarchy of contamination control in the fire service: Review of exposure control options to reduce cancer risk. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 19(9), 538– 557. <https://doi.org/10.1080/15459624.2022.2100406>
- Horn, G. P., Kerber, S., Andrews, J., Kesler, R. M., Newman, H., Stewart, J. W., Fent, K. W., & Smith, D. L. (2021). Impact of Repeated Exposure and Cleaning on Protective Properties of Structural Firefighting Turnout Gear. *Fire Technology*, 57(2), 791– 813. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01021-w>
- Huang, T., Zhang, J., Yu, B., Yu, H., Long, H., Wang, H., Zhang, Q., & Zhu, M. (2019). Fabric Texture Design for Boosting the Performance of a Knitted Washable Textile Triboelectric Nanogenerator as Wearable Power. *Nano Energy*, 58, 375– 383. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.01.038>
- ICAO Doc. 9137 Part 1. (2014). *Airport Service Manual: Rescue and Fire Fighting*. <https://store.icao.int/en/airport-services-manual-part-i-rescue-and-firefighting-doc-9137p1>
- Irzmań ska, E., & Brochocka, A. (2017). Modified polymer materials for use in selected personal protective equipment products. *Autex Research Journal*, 17(1), 35– 47. <https://doi.org/10.1515/aut-2015-0040>
- Jones, R. M., Bleasdale, S. C., Maita, D., & Brosseau, L. M. (2020). A systematic risk-based strategy to select personal protective equipment for infectious diseases. *American Journal of Infection Control*, 48(1), 46– 51. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.06.023>
- Kim, H., Yun, C., & Park, C. H. (2019). Fabric movement and washing performance in a front-loading washer with a built-in pulsator. *Textile Research Journal*, 89(21– 22), 4732– 4745. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0040517519835757>
- Krzemiń ska, S., & Szewczyń ska, M. (2022). PAH contamination of firefighter protective clothing and cleaning effectiveness. *Fire Safety Journal*, 131(May). <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103610>
- Lou, L., Chen, K., & Fan, J. (2021). Advanced materials for personal thermal and moisture management of health care workers wearing PPE. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 146(March), 100639. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100639>
- Mayer, A. C., Horn, G. P., Fent, K. W., Bertke, S. J., Kerber, S., Kesler, R. M., Newman, H., & Smith, D. L. (2020). Impact of select PPE design elements and repeated laundering in firefighter protection from smoke exposure. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 17(11– 12), 505– 514. <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1811869>
- Perhubungan Udara, D. J. (2022). Pelayanan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK). *PR 30 TAHUN 2022: Standar Teknis Dan Operasi Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139 (Manual of Standard CASR Part 139) Volume IV*. <https://jdih.dephub.go.id/peraturan/detail?data=Hw93RRZI13r2OTBBNCS8me4aDziZWuRtL8Qie7HjVQ294vSE1GY7BWX48eMg74ZiFT8gi1udRhjqU4pDFwJlI3oG4vTltOCpBo64Z7gqMY6hgeH QbrQEtzXDq7rhJmPXM0oo7tJNLduhuV1KANEh9DEyiE>
- Qiu, Q., Zhu, M., Li, Z., Qiu, K., Liu, X., Yu, J., & Ding, B. (2019). Highly Flexible, Breathable, Tailorable and Washable Power Generation Fabrics for Wearable Electronics. *Nano Energy*, 58, 750– 758. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.02.010>
- Santos, G., Marques, R., Marques, F., Ribeiro, J., Fonseca, A., M. Miranda, J., B. L. M. Campos, J., & F. Neves, S. (2022). An innovative thermal protective clothing system for firefighters. *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, 3(2), 146– 155. <https://doi.org/10.25367/cdatp.2022.3.p146-155>
- Saputra, I. (2022). Peranan Teknologi Mikrokontroler Dalam Pembuatan Jemuran Pakaian Otomatis. *Jurnal Portal Data*, 2(2), 1– 14. <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/75%0Ahttp://portaldata.org/index.php/portaldata/article/download/75/75>

- Schaefer Solle, N., Caban-Martinez, A. J., Levy, R. A., Young, B. A., Lee, D., Harrison, T., & Kobetz, E. (2018). Perceptions of health and cancer risk among newly recruited firefighters in South Florida. *American Journal of Industrial Medicine*, 61(1), 77– 84. <https://doi.org/10.1002/ajim.22785>
- Scott, M., & Unsworth, J. (2020). Lessons From Other Disciplines About Communication, Human Performance and Situational Awareness While Wearing Personal Protective Equipment. *SAGE Open Nursing*, 6. <https://doi.org/10.1177/2377960820963766>
- Setyawan, T., Santika, A. I., & Praptiningsih, N. (2024). Dampak Maintenance Kendaraan dan Pelatihan Personel terhadap Pencapaian Response Time PKP-PK. *Jurnal Ilmiah Sain Dan Teknologi*, 2(9), 403– 411. <https://doi.org/https://doi.org/10.572349/scientica.v2i9.2452>
- Suen, L. K. P., Guo, Y. P., Tong, D. W. K., Leung, P. H. M., Lung, D., Ng, M. S. P., Lai, T. K. H., Lo, K. Y. K., Au-Yeung, C. H., & Yu, W. (2018). Self-contamination during doffing of personal protective equipment by healthcare workers to prevent Ebola transmission. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 7(1), 1– 9. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0433-y>
- Szmytko, E., Brzezinska, D., Machnowski, W., & Kokot, S. (2022). Firefighters' Protective Clothing – Water Cleaning Method vs Liquid CO 2 Method in Aspect of Efficiency. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 15(2), 169– 176. <https://doi.org/10.2478/acee-2022-0024>
- Therkorn, J., Drewry, D., Andonian, J., Benishek, L., Billman, C., Forsyth, E. R., Garibaldi, B. T., Nowakowski, E., Rainwater-Lovett, K., Sauer, L., Schiffhauer, M., & Maragakis, L. L. (2019). Development and Comparison of Complementary Methods to Study Potential Skin and Inhalational Exposure to Pathogens during Personal Protective Equipment Doffing. *Clinical Infectious Diseases*, 69(Suppl 3), S231– S240. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz616>
- Xue, X., Coleman, C. M., Duncan, J. D., Hook, A. L., Ball, J. K., Alexander, C., & Alexander, M. R. (2022). Evaluation of the relative potential for contact and doffing transmission of SARS-CoV-2 by a range of personal protective equipment materials. *Scientific Reports*, 12(1), 1– 13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20952-8>
- Yeon, J. H., & Shin, Y. S. (2020). Effects of Education on the Use of Personal Protective Equipment for Reduction of Contamination: A Randomized Trial. *SAGE Open Nursing*, 6. <https://doi.org/10.1177/2377960820940621>
- Yun, C., Cho, Y., & Park, C. H. (2017). Washing efficiency and fabric damage by beating and rubbing movements in comparison with a front-loading washer. *Textile Research Journal*, 87(6), 708– 714. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/0040517516636005>
- Zachary K., W., Sean M., R., Lindsey E., E., & Kenneth E., G. (2019). The effect of structural firefighter protective clothing systems on single-legged functional hop test scores. *Work*, 62(3), 497– 505. <https://doi.org/10.3233/WOR-192884>