

IDENTIFIKASI DAN PEMETAAN RISIKO PROSES PREPARASI, INTEGRASI, DAN PENGUJIAN ROKET R-HAN 122B DENGAN PENDEKATAN HIRADC DALAM RANGKA MENJAGA SUMBER DAYA NASIONAL

IDENTIFICATION AND RISK MAPPING IN THE PREPARATION, INTEGRATION, AND TESTING OF THE R-HAN 122B ROCKET USING THE HIRADC APPROACH FOR SAFEGUARDING NATIONAL RESOURCES

Donny Haryogi Ramadhan, Gunaryo, Y H Yogaswara, Jones Hutauruk*

UNIVERSITAS PERTAHANAN RI

(haryogidonny@gmail.com, gunaryo92000@gmail.com, yh.yogaswara@idu.ac.id,
joneshutauruk5@gmail.com)

*Corresponding Author

Abstrak – Pertahanan negara menuntut penguasaan teknologi strategis, termasuk sistem peroketan, untuk menjamin kedaulatan dan keamanan nasional. Roket R-HAN 122B saat ini telah mencapai Tingkat Kesiapan Teknologi (*Technology Readiness Level/TRL*) 8 dan perlu divalidasi menuju TRL 9 melalui uji operasional yang aman. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, dan memetakan sebaran risiko pada tahap preparasi, integrasi, dan pengujian roket R-HAN 122B di Institusi X. Metode yang digunakan adalah *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control* (HIRADC) dengan pendekatan kualitatif. Identifikasi bahaya dilakukan melalui observasi lapangan dan kajian literatur, sedangkan evaluasi risiko dilakukan berdasarkan kombinasi antara kemungkinan (*likelihood*) dan tingkat keparahan (*severity*). Sebaran risiko divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Golden Surfer dan UTM Geo Map. Hasil analisis menunjukkan terdapat sembilan risiko pada tahap preparasi (empat kategori rendah dan lima sedang), sembilan risiko pada tahap integrasi (lima rendah dan empat sedang), serta 21 risiko pada tahap pengujian (16 rendah dan lima sedang). Peta risiko menunjukkan adanya zona aman (biru–kuning) dan zona berbahaya (oranye) yang memerlukan kewaspadaan lebih tinggi. Secara umum, proses operasional roket tergolong aman, namun beberapa risiko dengan tingkat keparahan tinggi masih muncul dan memerlukan langkah pengendalian tambahan. Penelitian ini memberikan dasar empiris bagi penyusunan Standard Operating Procedure (SOP) keselamatan, pengembangan program pelatihan operator, serta pemasangan sistem peringatan di lapangan. Selain itu, hasil pemetaan risiko memperkuat kesiapan teknis menuju TRL 9 dan mendukung keberlanjutan produksi roket R-HAN 122B.

Kata Kunci: HIRADC, identifikasi risiko, keselamatan operasional, peta risiko, Roket R-HAN 122B

Abstract – National defense requires mastery of strategic technologies, including rocket systems, to ensure sovereignty and security. The R-HAN 122B rocket is now at Technology Readiness Level (TRL) 8, but it needs to be tested safely to reach TRL 9. This study aims to identify potential hazards, assess risk levels, and map the spatial distribution of risks during the preparation, integration, and testing stages of the R-HAN 122B rocket at Institution X. A qualitative approach was employed using the Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC) method. Hazards were identified through field observations and literature reviews, while risk evaluation was conducted based on a combination of likelihood and severity. The spatial distribution of risks was visualized using Golden Surfer and UTM Geo Map software. The analysis identified nine risks during the preparation stage (four low and five medium), nine during integration (five low and four medium), and 21 during testing (16

low and five medium). The risk map revealed safe zones (blue–yellow) and hazardous zones (orange) that require greater vigilance. Overall, the rocket’s operational process is relatively safe, although several high-severity hazards persist and necessitate additional control measures. This study provides an empirical foundation for developing safety Standard Operating Procedures (SOPs), designing operator training programs, and implementing on-site warning systems. Furthermore, the risk mapping results strengthen technical readiness for achieving TRL 9 and support the sustainable production of the R-HAN 122B rocket.

Keywords: HIRADC, risk identification, operational safety, risk mapping, R-HAN 122B Rocket

Pendahuluan

Penguasaan teknologi pertahanan menjadi keharusan bagi setiap negara dalam menjaga kedaulatan wilayahnya. Negara dengan wilayah luas dan posisi strategis membutuhkan sistem pertahanan yang andal untuk menghadapi berbagai potensi ancaman. Kekuatan pertahanan tidak hanya berpengaruh pada aspek militer, tetapi juga berdampak pada ideologi, politik, ekonomi, sosial, dan budaya (Kementerian Pertahanan RI, 2015). Ancaman yang bersumber dari dalam maupun luar negeri menuntut kesiapan pasukan penjaga kedaulatan sebagai garda terdepan negara. Kesiapan tersebut hanya dapat dicapai melalui dukungan personel yang berkualitas serta ketersediaan alat utama sistem senjata (alutsista) yang mumpuni, baik di darat, laut, maupun udara.

Selain itu, penguasaan teknologi alutsista berperan penting dalam memastikan kemampuan suatu negara untuk memproduksi sistem pertahanannya secara mandiri dan menghindari risiko

embargo. Namun, pengembangan teknologi persenjataan canggih memerlukan biaya besar dan waktu yang panjang (Anwar, 2018). Peperangan masa depan diperkirakan masih berlandaskan pada teori *Revolution in Military Affairs* (RMA) yang menekankan penggunaan peluru kendali jarak jauh serta potensi peperangan biologis (*bacteriological warfare*) (Fučík, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Samosir (2012) terhadap propulsi roket RX. 320 menunjukkan bahwa meskipun propulsi tersebut memiliki *flash point* yang tinggi, tingkat risikonya tetap signifikan karena kecepatan pembakarannya mencapai 7 mm/s. Titik nyala propelan dalam roket dipicu oleh sistem pengapian listrik yang menghantarkan panas ke propelan dan mesin roket. Kondisi ini menegaskan bahwa potensi risiko dalam setiap tahapan operasional, mulai dari preparasi hingga pengujian, tidak dapat diabaikan dan harus menjadi perhatian utama (Velthuysen et al., 2018).

Sejumlah insiden internasional memperlihatkan besarnya potensi bahaya pada aktivitas pengujian roket. Pada tahun 2010, lebih dari 200 orang meninggal akibat ledakan roket selama tahap pengujian, persiapan peluncuran, dan operasional.

Kasus lain terjadi ketika roket gagal meluncur dan menyebabkan satelit tidak berhasil mengorbit, sebagaimana dialami oleh *China Great Wall Industry Corporation* pada peluncuran roket Long March-3B/G2 yang membawa satelit Nusantara 2 (Nugroho et al., 2022). Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa proses pengujian, preparasi, dan integrasi roket memerlukan sistem kontrol keamanan yang ketat dan sejalan dengan standar internasional (Damayanti, 2020).

Proses preparasi mencakup serangkaian langkah yang memastikan kesiapan roket sebelum peluncuran. Tahapan ini melibatkan pemeriksaan teknis untuk menjamin keselamatan dan kesiapan misi penerbangan (Bridenstine, 2020). Walaupun prosedurnya bervariasi sesuai jenis roket dan misi, prinsip dasarnya tetap sama, yakni memastikan seluruh komponen memenuhi persyaratan teknis sebelum peluncuran dilaksanakan (Larson & Wertz, 1999)

Selanjutnya, proses integrasi roket melibatkan perakitan seluruh komponen utama, seperti sistem propulsi, muatan, sistem avionik, serta perangkat pendukung lainnya. Tahapan ini harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai persyaratan teknis agar kinerja roket optimal dan keselamatan peluncuran terjamin (Sutton & Biblarz, 2011).

Scott Hubbard, mantan Direktur Program Eksplorasi Mars NASA, menegaskan bahwa keberhasilan peluncuran roket tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga pada koordinasi yang cermat antara seluruh komponen penting, mulai dari sistem propulsi, muatan, hingga avionik. Ia menambahkan, setiap tahap integrasi menuntut ketelitian dan disiplin teknis agar semua sistem dapat bekerja selaras sebelum roket benar-benar siap diluncurkan (Kubota, 2018).

Sementara itu, Roger Myers, mantan Direktur Reusable Launch Vehicle Program di Aerojet Rocketdyne, menambahkan bahwa integrasi roket membutuhkan pemahaman menyeluruh terhadap setiap sistem yang terlibat. Proses ini meliputi pemilihan lokasi integrasi yang tepat, penanganan yang hati-hati terhadap roket, serta

serangkaian uji komprehensif untuk memastikan bahwa seluruh sistem terhubung dan berfungsi dengan baik (Myers et al., 1991).

Tahap pengujian dan peluncuran memiliki kompleksitas tersendiri. Gwynne Shotwell, Presiden sekaligus COO SpaceX, menekankan bahwa proses peluncuran roket menuntut persiapan yang teliti dan terkoordinasi, termasuk pemeriksaan menyeluruh, pengisian bahan bakar secara hati-hati, serta pengujian akhir sebelum pengapian dan lepas landas. Semua langkah tersebut harus dilaksanakan dengan ketepatan waktu dan standar keselamatan yang tinggi (Shotwell, 2015). Senada dengan hal tersebut, Jim Bridenstine, mantan Administrator NASA, menyatakan bahwa peluncuran roket merupakan hasil kerja sama lintas disiplin yang menuntut koordinasi erat antar tim, dengan pengujian sistem, pengisian bahan bakar, serta pengawasan ketat selama proses hitung mundur (Bridenstine, 2020).

Berdasarkan studi latar belakang dan hasil observasi awal di lapangan, penguasaan teknologi roket menjadi kebutuhan strategis dalam mendukung kemandirian pertahanan nasional. Sejalan dengan hal itu, Institusi X melalui Pusat Teknologi Roket (Pustekroket) melaksanakan

penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan teknologi roket, termasuk rekayasa propelan (Nugroho et al., 2022)

Untuk memperkuat penguasaan teknologi roket dan meningkatkan maturity level industri, diperlukan sistem operasional yang aman, andal, dan mampu meminimalkan kesalahan manusia (*human error*) (Jiang et al., 2019).

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada penyusunan peta potensi risiko dalam proses preparasi, integrasi, dan pengujian roket di Institusi X, sebagai dasar pengembangan ekosistem teknologi persenjataan nasional yang berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif sebagaimana dijelaskan oleh Sugiyono (2018), untuk menggambarkan dan menganalisis hasil identifikasi potensi risiko pada tiga tahapan operasional roket, yaitu tahap preparasi, integrasi, dan pengujian, yang mengacu pada panduan teknis dari NASA (2011). Pendekatan ini dipilih karena sejalan dengan tujuan penelitian, yakni mengidentifikasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, serta memetakan sebaran risiko di area yang relevan.

Urrohmah & Riandadari (2019) menjelaskan bahwa metode kualitatif digunakan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam terhadap suatu fenomena. Sementara Moleong (2017) juga menyatakan bahwa pendekatan ini efektif dalam menggali makna dan konteks dari peristiwa yang dikaji. Berdasarkan prinsip tersebut, penelitian ini menerapkan observasi langsung untuk mengidentifikasi berbagai fenomena yang terjadi selama aktivitas operasional roket.

Untuk mendukung analisis, penelitian ini menerapkan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control* (HIRADC) (Wagesti et al., 2021). Metode ini berfungsi untuk mengidentifikasi potensi bahaya, menentukan tingkat risiko, serta menilai dampak dari setiap aktivitas pada tahap preparasi, integrasi, dan pengujian roket di Institusi X. Pendekatan induktif dalam HIRADC memberikan gambaran yang komprehensif mengenai tingkat potensi risiko yang terdapat pada setiap tahapan operasional (Yudhiman et al., 2023).

Selain itu, penelitian ini menggunakan perangkat lunak Golden Surfer untuk analisis dan visualisasi data spasial (Ramadoni et al., 2021). Aplikasi tersebut menyediakan fitur pemetaan dua dimensi

(2D) dan tiga dimensi (3D) yang memudahkan proses identifikasi serta interpretasi pola distribusi risiko di area penelitian. Pemanfaatan Golden Surfer tidak hanya mendukung analisis teknis, tetapi juga memperkuat proses pengambilan keputusan di Institusi X dan meningkatkan efektivitas komunikasi ilmiah antara berbagai pemangku kepentingan.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi dan penilaian risiko

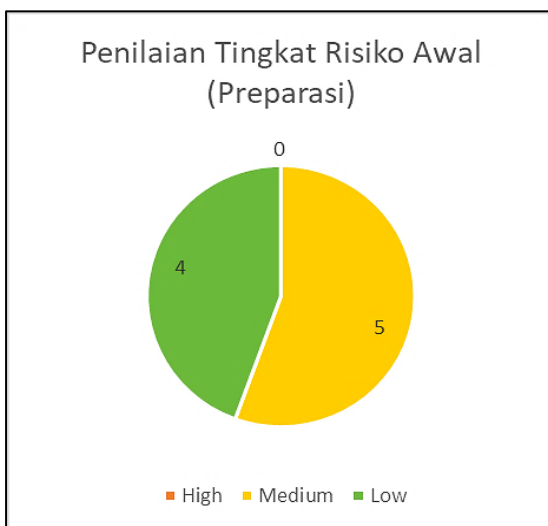
Dalam penentuan penilaian tingkat risiko dilakukan pada kondisi kontrol yang sudah ada atau upaya pengendalian yang sudah tersedia pada proses preparasi, integrasi dan pengujian roket yang dilakukan aktivitasnya di Institusi X, maka didapatkan penilaian tingkatan risiko pada setiap aktivitas dan uraian bahaya yang dicantumkan.

Adapun data penilaian tingkat risiko atas data identifikasi risiko yang didapatkan, digambarkan pada gambar dibawah dibagi menjadi tiga bagian, dimana pada Gambar 1 membahas mengenai hasil pengolahan data berupa identifikasi tingkat risiko pada proses preparasi roket, Gambar 2 menggambarkan mengenai data berupa identifikasi tingkat

risiko pada proses integrasi, serta pada Gambar 3 menggambarkan mengenai data berupa identifikasi tingkat risiko pada proses pengujian roket di Institusi X. Adapun rincian yang dimaksudkan, digambarkan sebagai berikut:

Tahap Preparasi

Pada tahap preparasi, hasil analisis menunjukkan adanya sejumlah aktivitas yang memiliki potensi bahaya serta konsekuensi langsung terhadap tim ahli dan tim lapangan selama proses berlangsung. Variasi tingkat risiko pada tahap ini ditentukan berdasarkan kombinasi antara *likelihood* dan *severity*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



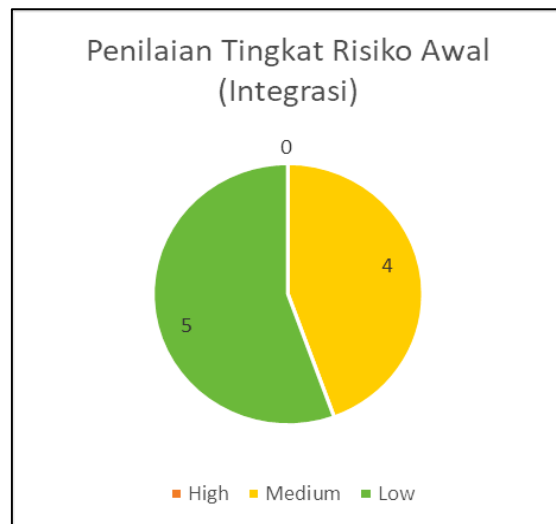
Gambar 1. Nilai tingkat risiko dalam aktivitas Preparasi

Sumber: Diolah Peneliti, 2024

Tahap Integrasi

Tahap integrasi mencakup proses penyatuan berbagai komponen utama roket yang memerlukan tingkat ketelitian

dan presisi tinggi. Pada tahap ini, hasil identifikasi menunjukkan adanya sejumlah aktivitas yang memiliki potensi bahaya serupa dengan tahap preparasi. Tingkat risiko pada fase ini disajikan pada Gambar 2.

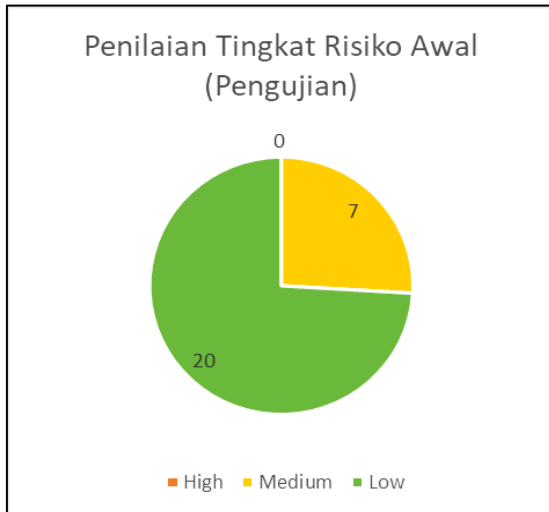


Gambar 2. Nilai tingkat risiko dalam aktivitas Integrasi

Sumber: Diolah Peneliti, 2024

Tahap Pengujian

Tahap pengujian melibatkan dua jenis kegiatan utama, yaitu uji statik dan uji terbang. Pada fase ini, risiko meningkat karena adanya potensi kontak langsung dengan bahan berenergi tinggi. Identifikasi risiko memperlihatkan adanya sejumlah aktivitas yang dapat menimbulkan konsekuensi serius apabila tidak dikendalikan dengan tepat. Hasil penilaian ini disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Nilai tingkat risiko dalam aktivitas Pengujian

Sumber : Diolah Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil penilaian, tahap preparasi mengandung sembilan risiko, terdiri atas empat dengan tingkat risiko rendah (*low*) dan lima dengan tingkat risiko sedang (*medium*), terutama dipengaruhi oleh nilai *likelihood* 1 dan *severity* 4.

Pada tahap integrasi, juga teridentifikasi sembilan risiko, meliputi lima risiko rendah dan empat risiko sedang, yang dipengaruhi oleh kombinasi *likelihood* 2 dan *severity* 4. Sementara pada tahap pengujian, ditemukan 21 risiko, terdiri atas 16 risiko rendah dan lima risiko sedang. Nilai risiko ini terutama dipengaruhi oleh *likelihood* 1 dan *severity* 5. Risiko pada tahap ini memiliki potensi konsekuensi yang berat, seperti ledakan, kebakaran, luka bakar, kecacatan permanen, hingga kematian bagi pekerja

lapangan maupun tenaga ahli yang terlibat.

Peta sebaran risiko hasil identifikasi

Penentuan titik koordinat

Penentuan titik koordinat merupakan langkah awal dalam menggambarkan posisi suatu titik pada sistem koordinat tertentu, baik dalam ruang dua dimensi maupun tiga dimensi. Dalam konteks identifikasi potensi risiko pada proses preparasi, integrasi, dan pengujian roket di Institusi X, posisi setiap area risiko ditetapkan untuk menghasilkan peta sebaran yang merepresentasikan kondisi aktual di lapangan.

Data koordinat yang digunakan dalam penelitian ini berupa koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*), yang diperoleh melalui aplikasi Google Earth. Sistem koordinat UTM menghasilkan koordinat kartesian dua dimensi dengan sumbu X dan Y, sehingga dipilih karena lebih efisien dan praktis untuk pemetaan pada area terbatas dalam satu zona penelitian.

Adapun titik-titik koordinat yang menjadi dasar pemetaan risiko dalam penelitian ini disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Titik kordinat zona risiko

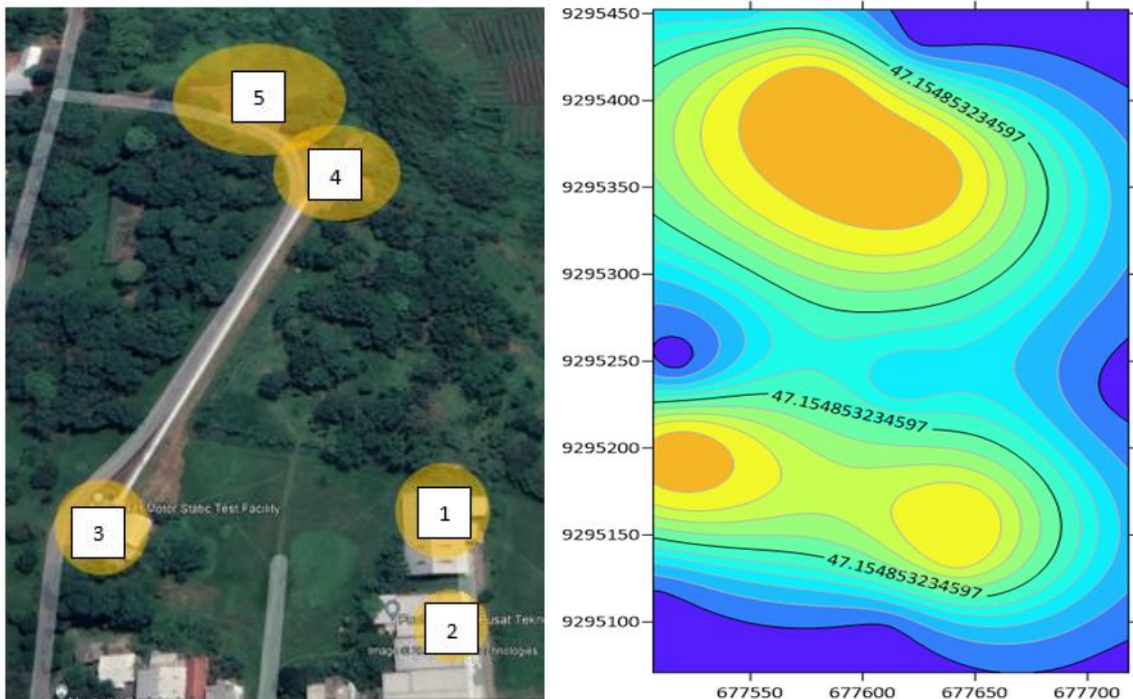
Lokasi / Proses	South (X)	East (Y)	Level (Z)
SE	677718,299	9295070,9	LOW
E	677716,839	9295233,6	LOW
NE	677716,669	9295249	LOW
N	677625,85	9295436,5	LOW
Pengujian statik	677623,047	9295358,3	MED
Central (NSEW)	677616,7	9295237,7	LOW
Preparasi 1	677644,518	9295165,5	MED
Preparasi 2	677641,356	9295138,9	MED
S	677609,089	9295092,4	LOW
SW	677506,733	9295111,3	LOW
W	677516,958	9295250,5	LOW
Pengujian terbang	677578,61	9295406,1	MED
NW	677542,921	9295452,2	LOW
Integrasi	677518,274	9295196,4	MED

Sumber: Diolah Peneliti, 2024

Visualisasi peta sebaran risiko

Visualisasi peta sebaran risiko dilakukan menggunakan perangkat lunak Golden Surfer, yang berfungsi untuk menganalisis dan menampilkan area

berdasarkan tingkat potensi bahaya. Hasil pengolahan data menghasilkan peta zona risiko sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Hasil peta potensi risiko dari hasil identifikasi risiko

Sumber : Diolah Peneliti, 2024

Melalui konfigurasi perangkat lunak Golden Surfer, area penelitian terbagi menjadi beberapa zona dengan tingkat bahaya yang berbeda. Zona biru, hijau, dan kuning merepresentasikan area dengan tingkat risiko rendah hingga sedang, sedangkan zona oranye menunjukkan area yang tergolong berbahaya dan memerlukan kewaspadaan lebih tinggi.

Peta risiko ini menunjukkan bahwa poin satu dan dua merupakan area yang mendukung aktivitas pada tahap preparasi, poin tiga berkaitan dengan aktivitas integrasi, sementara poin empat dan lima berhubungan dengan aktivitas pengujian roket, baik uji statik maupun uji terbang.

Secara umum, area pertama hingga kelima memperlihatkan tingkat risiko yang relatif serupa, yaitu dalam kategori *low* dan *medium*. Namun, penting untuk dipahami bahwa potensi risiko tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, risiko hanya dapat diminimalkan melalui penerapan langkah pengendalian yang efektif agar kemungkinan terjadinya bahaya dapat ditekan sekecil mungkin.

Visualisasi peta risiko ini memiliki peran strategis sebagai alat peningkatan kesadaran (*awareness*) di lapangan,

misalnya dengan pemasangan papan peringatan yang menunjukkan status bahaya di setiap area kerja. Selain itu, hasil pemetaan risiko dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemangku kebijakan dalam menentukan arah pengelolaan keselamatan kerja dan penataan tata letak fasilitas uji roket di masa mendatang.

Kesimpulan, Rekomendasi dan Pembatasan

Berdasarkan hasil penilaian risiko awal, pada proses preparasi teridentifikasi 9 risiko, pada proses integrasi ditemukan 9 risiko, sedangkan pada proses pengujian roket terdapat 21 risiko. Risiko-risiko tersebut berpotensi menimbulkan konsekuensi serius berupa ledakan, kebakaran, luka bakar, kecacatan, hingga kematian bagi pekerja lapangan maupun tenaga ahli. Temuan ini menunjukkan bahwa secara umum aktivitas operasional masih berada dalam kategori aman, namun sejumlah bahaya dengan tingkat keparahan tinggi tetap ada dan memerlukan perhatian khusus. Hasil penelitian ini juga memperkuat kesiapan teknis dalam mendukung proses validasi menuju *Technology Readiness Level* (TRL) 9. Berdasarkan konfigurasi perangkat lunak yang digunakan, yaitu analisis peta

Golden Surfer, diperoleh visualisasi berupa zona tidak berbahaya dan zona berbahaya yang merepresentasikan aktivitas di area penelitian. Visualisasi ini bermanfaat untuk meningkatkan awareness melalui papan peringatan yang menampilkan status tingkat bahaya dan persebarannya bagi operator lapangan maupun tenaga ahli pada tahap preparasi, integrasi, maupun pengujian roket. Hasil pemetaan risiko yang dihasilkan melalui perangkat lunak Golden Surfer menunjukkan visualisasi zona tidak berbahaya (*safe zones*) dan zona berbahaya (*hazard zones*) yang menggambarkan tingkat potensi bahaya pada area penelitian. Visualisasi ini bermanfaat untuk meningkatkan kesadaran keselamatan kerja (*safety awareness*) di lapangan melalui pemasangan papan peringatan yang menampilkan status dan persebaran bahaya bagi operator serta tenaga ahli pada tahap preparasi, integrasi, dan pengujian roket.

Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini merekomendasikan beberapa langkah strategis, yaitu: memperkuat Standar Operasional Prosedur (SOP) keselamatan, menyelenggarakan pelatihan rutin bagi operator dan teknisi, serta mengembangkan sistem peringatan

dini (*early warning system*) di area operasional. Penerapan langkah-langkah tersebut diharapkan dapat menekan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja sekaligus memperkuat budaya keselamatan dalam kegiatan pengujian roket. Selain itu, hasil pemetaan risiko dapat dimanfaatkan sebagai dasar adaptasi kebijakan bagi pemangku kepentingan dalam menentukan prioritas penanganan risiko di masa mendatang.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, cakupan area pemetaan hanya terbatas pada zona operasional tertentu di institusi x, sehingga hasilnya tidak serta-merta dapat digeneralisasikan ke fasilitas lain dengan kondisi berbeda. Kedua, variabel risiko yang dianalisis hanya difokuskan pada tahapan preparasi, integrasi, dan pengujian, sehingga belum mencakup keseluruhan siklus operasional roket. Ketiga, penggunaan perangkat lunak golden surfer memiliki keterbatasan pada tingkat resolusi data spasial, sehingga interpretasi peta risiko masih bergantung pada kualitas data input. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dengan cakupan area yang lebih luas, variabel yang lebih beragam, serta pemanfaatan perangkat analisis spasial yang lebih canggih sangat disarankan agar diperoleh peta risiko

yang lebih komprehensif dan presisi. Upaya ini diharapkan dapat memperkuat sistem keselamatan kerja dan mendukung keberlanjutan program pengembangan teknologi roket nasional.

Daftar Pustaka

- Anwar, S. (2018). Penguasaan Teknologi Pertahanan oleh SDM Pertahanan Indonesia dalam Rangka Menghadapi Peperangan Masa Depan. *Jurnal Pertahanan & Bela Negara*, 5(1). <https://doi.org/10.33172/jpbh.v5i1.346>
- Bridenstine, J. (2020). *Prepared Remarks for State of NASA*. NASA. https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2021/04/bridenstine_prepared_remarks_state_of_nasa_2020.pdf
- Damayanti, C. (2020). Tinjauan Yuridis Keselamatan Peluncuran Wahana Antariksa dalam Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Penguasaan Teknologi Keantariksaan. *Jurnal Bina Mulia Hukum*, 5(1), 74–88. <https://doi.org/10.23920/jbmh.v5i1.4>
- Fučík, J. (2017). Revolution in Military Affairs and Outer Space. *International Conference Knowledge-Based Organization*, 23(1), 106–111. <https://doi.org/10.1515/kbo-2017-0016>
- Jiang, C., Han, T., Gao, Z., & Lee, C.-H. (2019). A review of impinging jets during rocket launching. *Progress in Aerospace Sciences*, 109(August), 100547. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2019.05.007>
- Kementerian Pertahanan RI. (2015). *Buku Putih Pertahanan Indonesia* (3rd ed.). Kementerian Pertahanan RI. <https://www.kemhan.go.id/wp-content/uploads/2022/08/BUKU-PUTIH.pdf>
- Kubota, T. (2018). *First Mars program director Scott Hubbard on InSight | Stanford Report*. Stanford Report. <https://news.stanford.edu/stories/2018/11/first-mars-program-director-scott-hubbard-insight>
- Larson, W. J., & Wertz, J. R. (1999). *Space mission analysis and design* (TR 1605-1725). Carleton University. <https://carleton.simplesyllabus.ca.com/api2/doc-pdf/6iotjwsx6/Winter-2025-AERO-3841-A-.pdf>
- Moleong, L. J. (2017). Metodologi Penelitian Kualitatif (Edisi Revisi). PT. Remaja Rosda Karya, 103, 424.
- Myers, R. M., Mantenieks, M. A., & Lapointe, M. R. (1991). MPD thruster technology. *Conference on Advanced Space Exploration Initiative Technologies*. <https://scispace.com/pdf/mpd-thruster-technology-18a9t269vm.pdf>
- NASA. (2011). *Final Environmental Assessment for Launch of NASA Routine Payloads on Expendable Launch Vehicles*. https://www.vandenberg.spaceforce.mil/Portals/18/documents/Environmental/EIAP-2011-11_EA_ProgrammaticNASARoutinePayloads_ExpendableLaunchVehicles.pdf?ver=0YCTsNGDrYeIguWSMoHVNQ%3D%3D&utm_source=chatgpt.com#page=23.10
- Nugroho, W., Tjahjadi, H., Yogaswara, Y. H., & Lestariana, E. (2022). Risk Identifikasi dan Pemetaan Risiko Proses Preparasi, Integrasi, dan Pengujian Roket R-Han 122b dengan Pendekatan HIRADC dalam Rangka Menjaga Sumber Daya Nasional | Donny Haryogi Ramadhan, Y H Yogaswara, Jones Hutauruk | 79

- Analysis of Operation Igniter Technology System For Rocket Motor X. *Indonesian Journal of Aerospace*, 20(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.30536/j.jtd.2022.v20.a3708>
- Ramadoni, A., Jumingin, J., & Sihombing, S. C. (2021). Pemetaan Kebisingan Menggunakan Software Golden Surfer 11 di Kawasan Universitas PGRI Palembang. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 18(2), 146. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v18i2.6619>
- Samosir, G. (2012). Perhitungan dan Perancangan Igniter Berbasis Kalkulasi Propulsi Roket (Studi Kasus Roket RX-320). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 9(2). <https://doi.org/10.30536/j.jtd.2011.v9.a1678>
- Shotwell, G. (2015). Statement of Gwynne Shotwell, President & Chief Operating Officer, Space Exploration Technologies Corp. (SpaceX). In *Hearing testimony before the U.S. House of Representatives Committee on Science, Space, and Technology, Subcommittee on Space & Aeronautics*. House.gov. <https://docs.house.gov/meetings/A/AS29/20150317/103135/HHRG-114-AS29-Wstate-ShotwellG-20150317.pdf>
- Sugiyono, D. (2018). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R & D/Sugiyono. In *Bandung: Alfabeta* (Vol. 15, Issue 2010). Alfabeta.
- Sutton, G. P., & Biblarz, O. (2011). *Rocket propulsion elements* (8th ed.). John Wiley & Sons. https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=pFktwoGYSX8C&oi=fn&pg=PT9&dq=Rocket+propulsion+elements+Handbook+of+Fluid+Dynamics,+Second+Edition&ots=FFzYbmUL6W&sig=au2rV4XP9o8tz64ZbxAB6YTQ24A&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Urrohman, D. S., & Riandadari, D. (2019). Identifikasi Bahaya dengan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) dalam Upaya Memperkecil Risiko Kecelakaan Kerja di PT. PAL Indonesia. *Jurusan Teknik Mesin*, 8(1), 34–42. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-pendidikan-teknik-mesin/article/view/27090>
- Velthuysen, T. J., Broughton, K. M., Brooks, M. J., Pitot, J., Lineberry, D. M., & Tingley, E. (2018, July 9). Safety Aspects of Nitrous Oxide Use in Hybrid Rocket Motor Design and Testing. 2018 Joint Propulsion Conference. <https://doi.org/10.2514/6.2018-4411>
- Wagesti, P., Hadi Anshari, L., & Fitriyani, F. (2021). Analisis Potensi Bahaya Menggunakan Metode Hirarc Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja Pada Puskesmas Bengkalis Tahun 2020. *Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja Dan Lingkungan*, 2(1), 23–34. <https://doi.org/10.25077/jk3l.2.1.23-34.2021>
- Yudhiman, E., Susanto, A., & Corsita, L. (2023). Analisis risiko dampak pembukaan lahan pada kegiatan pertambangan emas PT Meares Soputan Mining. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, 7(1), 96. <https://doi.org/10.32522/ujht.v7i1.9905>