

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan serangkaian pengujian yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil menjawab rumusan masalah yang diajukan dengan merealisasikan sebuah sistem robot inspeksi *runway* berbasis YOLOv11 yang fungsional. Sistem ini telah berhasil dirancang untuk mampu mendeteksi empat jenis *Foreign Object Debris* (FOD) dan tiga jenis kerusakan perkerasan secara *real-time*. Terkait aspek akurasi, model deteksi yang diimplementasikan menunjukkan kinerja yang solid, dengan pencapaian nilai *Precision* sebesar 79,82%, *Recall* 88,76%, dan *mAP@0.5* sebesar 0.570 pada data validasi. Meskipun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa pencapaian akurasi yang lebih tinggi di lapangan memiliki tantangan utama berupa "kesenjangan domain", yang membuktikan bahwa kualitas *dataset* menjadi faktor krusial. Selanjutnya, sistem ini juga terbukti mampu memenuhi kebutuhan untuk mengirimkan data secara nirkabel, di mana integrasi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengiriman data deteksi dan informasi lokasi secara efektif untuk pemantauan jarak jauh. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sebuah sistem pendeteksi yang akurat dalam batasan tertentu dan terkoneksi secara nirkabel telah berhasil dirancang dan diwujudkan sebagai sebuah *proof-of-concept* yang menjawab kebutuhan pemeliharaan preventif di sisi udara bandar udara.

B. Saran

Berdasarkan temuan dan keterbatasan yang teridentifikasi, beberapa saran diajukan untuk pengembangan sistem di masa depan guna meningkatkan kapabilitas dan keandalan prototipe. Prioritas utama adalah peningkatan pada aspek *hardware* dan data, yaitu dengan menggunakan kamera beresolusi lebih tinggi serta mengimplementasikan sistem suspensi untuk meningkatkan stabilitas dan kualitas deteksi visual. Secara bersamaan, perlu dilakukan penambahan dan kurasi *dataset* secara masif yang diambil langsung dari lingkungan operasional *runway* untuk mengatasi masalah "kesenjangan domain" dan secara signifikan meningkatkan

keandalan deteksi AI. Pengujian lebih lanjut juga krusial untuk memvalidasi performa sistem dalam mendeteksi objek berkontras rendah serta menguji ketahanannya dalam berbagai kondisi cuaca untuk memastikan keandalan operasional jangka panjang. Selain itu, prototipe dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan fungsionalitas tambahan seperti sistem vakum untuk pembersihan FOD secara langsung dan modul perangkat lunak untuk kalkulasi *Pavement Condition Index* (PCI) otomatis. Pada akhirnya, diharapkan hasil dari pengembangan ini dapat menjadi pertimbangan bagi pihak Bandar Udara Radin Inten II Lampung untuk diadopsi sebagai solusi teknologi proaktif dalam meningkatkan efisiensi dan keselamatan inspeksi *airside*.

Daftar Pustaka

- 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). <https://doi.org/10.52989/jaet.v2i01.47>
- Aji, B. S., & Saian, P. O. N. (2023). Perancangan Aplikasi Unggah Informasi Kecelakaan dari Masyarakat Berbasis Android di PT. Jasa Raharja. *Jurnal JTIK (Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi)*, 7(4). <https://doi.org/10.35870/jtik.v7i4.1051>
- Al- Saeedi, A., Dalef, H., Khalid, H., Ishak, M., & Rahim, M. (2024). Enhancing Risk Management: Leveraging the Likelihood/Severity Matrix for Effective Risk Assessment and Mitigation in the Electrical and Electronic Sectorx for Effective Risk Assessment and Mitigation in the Electrical and Electronic Sector. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 20, 59–70. <https://doi.org/10.22153/kej.2024.07.003>
- Al-Mashhadani, M., & Shujaa, M. (2022). IoT Security Using AES Encryption Technology based ESP32 Platform. *International Arab Journal of Information Technology*, 19(2). <https://doi.org/10.34028/iajit/19/2/8>
- Al-Sabbag, Z. A., Yeum, C. M., & Narasimhan, S. (2022). Enabling human–machine collaboration in infrastructure inspections through mixed reality. *Advanced Engineering Informatics*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101709>
- Amanah, T. (2023). The Pavement Condition Index Functional Evaluation of Runway Pavement Used Pavement Condition Index (PCI) Method (Case Study : Fatmawati Soekarno Airport Provinsi Bengkulu). *Journal of Civil Engineering and Planning*, 4(1). <https://doi.org/10.37253/jcep.v4i1.7660>
- Arabi, S., Haghighat, A., & Sharma, A. (2020). A deep-learning-based computer vision solution for construction vehicle detection. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 35(7). <https://doi.org/10.1111/mice.12530>
- Astuti, A. Y., Az-Zahra, R. R., & Abdurozzaq, I. (2023). Teknologi Perangkat Media Pembelajaran Untuk Meningkatkan Kualitas Belajar Siswa. *Jurnal Ilmiah Edutic : Pendidikan dan Informatika*, 10(1), 48–57. <https://doi.org/10.21107/edutic.v10i1.22863>
- Baimukhametov, G., & White, G. (2025). Review and Improvement of Runway Friction and Aircraft Skid Resistance Regulation, Assessment and Management. Dalam *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 15, Nomor 2). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app15020548>
- Basiludin, B., & Kurniawan, M. H. S. (2023). Analisis Dampak Pandemi Covid-19 terhadap City Pair Penerbangan yang Terdampak Menggunakan Uji Friedman

- dan Analisis Regresi Linear. *Emerging Statistics and Data Science Journal*, 1(2). <https://doi.org/10.20885/esds.vol1.iss.2.art22>
- Bribe, M. M. F., & Endrawijaya, I. (t.t.). *Rancangan Receiver Pendeteksi Foreign Object Debris (FOD) Untuk Membantu Petugas Teknik Umum di Bandar Udara Sam Ratulangi Manado*. <https://roysarimilda.wordpress.com/2012/04/1>
- Choi, H. C., Park, H., Deng, C., & Hwang, I. (2023). Multi-agent Aircraft Estimated Time of Arrival Prediction in Terminal Airspace. *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/DASC58513.2023.10311140>
- Christie, S., Prakash, A., Ashton, E., & Tanner, V. (2023). Enhancing Manual Visual Inspection Process By Using Opencv Ai And Anomalib For Defect Detection In Automotive Assembly And Manufacturing Process. *Proceedings of ASME 2023 International Technical Conference and Exhibition on Packaging and Integration of Electronic and Photonic Microsystems, InterPACK 2023*. <https://doi.org/10.1115/IPACK2023-111936>
- Darmawan, M. Z. G., & Julainsyah, D. R. (2024). The Evaluasi Kekuatan Runway 17/35 Menggunakan Metode FAA di Bandar Udara Internasional Komodo. *Jurnal Aspirasi Teknik Sipil*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.35438/aspal.v2i1.45>
- de Souza, N. M., & de Almeida Filho, A. T. (2020). A systematic airport runway maintenance and inspection policy based on a delay time modeling approach. *Automation in Construction*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103039>
- Diah Anggraeni, F., & Puspa Tamara, A. (2023). Analisis Penggunaan Alat Runway Sweeper Dalam Upaya Mengoptimalkan Penanganan Foreign Object Debris (Fod) Oleh Petugas Airport Facilities Di Bandar Udara Internasional Adi Soemarmo Surakarta. *SEIKO : Journal of Management & Business*, 6(2), 437–449.
- Diah Anggraeni, F., & Tamara, A. P. (2023). SEIKO : Journal of Management & Business Analisis Efficiency Penggunaan Alat Runway Sweeper Dalam Upaya Mengoptimalkan Penanganan Foreign Object Debris (Fod) Oleh Petugas Airport Facilities Di Bandar Udara Internasional Adi Soemarmo Surakarta. *SEIKO : Journal of Management & Business*, 6(2), 437–449.
- Diwan, T., Anirudh, G., & Tembhurne, J. V. (2023). Object detection using YOLO: challenges, architectural successors, datasets and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 82(6). <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13644-y>
- Doyle, J. D., Jefcoat, J. A., Ordaz, M., & Rutland, C. A. (2021). Full scale evaluation of surface treatments for airfield concrete pavement repair. Dalam *Transportation Research Record* (Vol. 2675, Nomor 9). <https://doi.org/10.1177/03611981211008882>

- Du, J. (2018). Understanding of Object Detection Based on CNN Family and YOLO. *Journal of Physics: Conference Series*, 1004(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1004/1/012029>
- Dwi Cahyani, I., Nulhakim, L., & Yuliana, R. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Scrapbook Dongeng Fabel Terhadap Minat Literasi siswa SD. *MIMBAR PGSD Undiksha*, 9(2). <https://doi.org/10.23887/jjpgsd.v9i2.35271>
- Fadilah, R., Geografi, J. P., Jurusan, M. F., Geografi, P., Pratiwi, Y., Jurusan, S., & Pratama, A. (2024). Analisis Aksesibilitas Dan Kepuasan Pengguna Transportasi Kereta Api Di Stasiun Medan. Dalam *Tahun* (Vol. 24, Nomor 1).
- Gupta, V., Mitra, R., Koenig, F., Kumar, M., & Tiwari, M. K. (2023). Predictive maintenance of baggage handling conveyors using IoT. *Computers and Industrial Engineering*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109033>
- Halder, S., & Afsari, K. (2023). Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review. Dalam *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Nomor 4). <https://doi.org/10.3390/app13042304>
- Hasim, P. (2017). Mewujudkan Keselamatan Penerbangan Dengan Membangun Kesadaran Hukum Bagi Stakeholders Melalui Penerapan Safety Culture. *Jurnal Hukum Samudra Keadilan*, 12(1).
- Hi Umar, S., Rizky Ahadian, E., & Darwis, M. (2023). Evaluasi Safety Management System Di Bandar Udara Sultan Babullah Ternate. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 16(1). <https://doi.org/10.56521/manajemen-dirgantara.v16i1.857>
- Ilić, V. (2024). The Integration of Artificial Intelligence and Computer Vision in Large-Scale Video Surveillance of Railway Stations. *2024 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, 42–47. <https://doi.org/10.1109/ZINC61849.2024.10579411>
- Irvayana, I. P. D., Astor, Y., Sihombing, A. V. R., & Sundara, A. (2022). Analysis of Runways Surface Conditions Using Pavement Condition Index Method (Case Study: I Gusti Ngurah Rai International Airports). *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, 2(2). <https://doi.org/10.31098/cset.v2i2.554>
- Jabbar, A. A. (2017). Achieving High Productivity and Quality By Working As a Team-Work in the Organizations. *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, 5(4), 274–284. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v5.i4.2017.1821>
- Jedrzejewski, K., Malanowski, M., Kulpa, K., Maslikowski, L., & Baczyk, M. (2022). A Concept of a Multiband Passive Radar System for Air Traffic Control on General Aviation Airfields. *Proceedings International Radar Symposium*, 2022-September. <https://doi.org/10.23919/irs54158.2022.9905023>
- Jiang, T., & Zhong, Y. (2025). *ODverse33: Is the New YOLO Version Always Better? A Multi Domain benchmark from YOLO v5 to v11*. <http://arxiv.org/abs/2502.14314>

- Kardi, Agustono, Sundoro, Adriansyah, F., Pratiwi, A. K., & Kusumah, M. C. (2024). Pelatihan Personel Pemandu Parkir Pesawat Udara (Marshalling) Bagi Personel Bandar Udara. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (JPKM) Langit Biru Politeknik Penerbangan Indonesia Curug*, 05(02), 57–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.54147/jpkm.v5i02.1057>
- Katsoulis, S., Koulouras, G., & Christakis, I. (2024). Energy-Efficient Data Acquisition and Control System using both LoRaWAN and Wi-Fi Communication for Smart Classrooms. *2024 13th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/MOCASST61810.2024.10615862>
- Kaur Dhoot, M., Fan, I.-S., & Skaf, Z. (2020). Review of Robotic Systems for Aircraft Inspection. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3718054>
- Kurniawan, R., Wasito, B., & Suryono, W. (2023). Analysis Of Taxiway Pavement Conditions With The Pavement Condition Index (Pci) Method At Juanda Airport Surabaya. *Proceeding of International Conference of Advance Transportation, Engineering, and Applied Social Science*, 2(1). <https://doi.org/10.46491/icateas.v2i1.1753>
- Kwee, C., Widodo, S., & Azwansyah, D. H. (2022). Pengembangan Geometrik Sisi Udara (Runway, Taxiway, Dan Apron) Bandara Supadio Dengan Adanya Jalur Runway Baru. *Jurnal Ilmiah Universitas Tanjungpura*. <https://doi.org/https://doi.org/10.26418/jelast.v9i4.60362>
- Lake, A. (2017). Analisa Kondisi Runway Eltari Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. *JUTEKS - Jurnal Teknik Sipil*, 1(1). <https://doi.org/10.32511/juteks.v1i1.73>
- Latorella, K. A., & Prabhu, P. V. (2000). A review of human error in aviation maintenance and inspection. Dalam *International Journal of Industrial Ergonomics* (Vol. 26, Nomor 2). [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(99\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(99)00063-3)
- Lee, A. J., Song, W., Yu, B., Choi, D., Tirtawardhana, C., & Myung, H. (2023). Survey of robotics technologies for civil infrastructure inspection. Dalam *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience* (Vol. 2, Nomor 1). <https://doi.org/10.1016/j.iintel.2022.100018>
- Ling, J., Yang, F., Zhang, J., Li, P., Uddin, M. I., & Cao, T. (2023). Water-film depth assessment for pavements of roads and airport runways: A review. Dalam *Construction and Building Materials* (Vol. 392). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132054>
- Liu, T., Pan, W., Zhang, H., & Wu, T. (2022). *Influence of runway occupancy time and Eake interval on runway capacity*. <https://doi.org/10.1117/12.2640381>
- Mathis, J., Refflinghaus, R., & Strothotte, D. (2015). *Increasing the Flexibility of Manual Picking by Using Adjustable Inspection Strategies*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114960737>

- Modarres, C., Astorga, N., Droguett, E. L., & Meruane, V. (2018). Convolutional neural networks for automated damage recognition and damage type identification. *Structural Control and Health Monitoring*, 25(10). <https://doi.org/10.1002/stc.2230>
- M'Sila, C., Ayad, R., & Ait-Oufroukh, N. (2022). Automated Foreign Object Debris Detection System based on UAV. *ICNSC 2022 - Proceedings of 2022 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control: Autonomous Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1109/ICNSC55942.2022.10004050>
- North, S. M. E., Rosales, J., Deshpande, S., Anand, S., Srinivas, G. L., Javed, A., Assad, F., Konstantinov, S., Nureldin, H., Waseem, M., Rushforth, E., Ahmad, B., Harrison, R., Leco, M., Kadirkamanathan, V., Morgan, J., Halton, M., Qiao, Y., Breslin, J. G., ... Ding, G. (2021). Enabling technologies and tools for digital twin Qinglin. *Journal of Manufacturing Systems*, 58(December 2020).
- Nurlia Eka Damayanti, Cristian David, Elisabet Maria Rensiana Anggae, Norol Aisyah, Grecia Yunita, Owen Juniarko, & Putri Dahlia. (2023). Kelayakan Bisnis Percetakan Syailendra Kota Palangkaraya Ditinjau Dari Aspek Pemasaran. *Jurnal Manajemen Kreatif dan Inovasi*, 2(1). <https://doi.org/10.59581/jmki-widyakarya.v2i1.2096>
- Omosebi, O., Azimi, M., Olowokere, D., Wanyan, Y., Zhao, Q., & Qi, Y. (2023). Investigating Runway Incursion Incidents at United States Airports. *Future Transportation*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/futuretransp3040066>
- Park, C., Yun, S., & Chun, S. (2022). A Unified Analysis of Mixed Sample Data Augmentation: A Loss Function Perspective. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 35.
- Pestana, G., Reis, P., & da Silva, T. R. (2021). Smart Surveillance of Runway Conditions. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, 364 LNICST. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71454-3_16
- Pham, D.-T., Ali, H., Goenawan, G. J., & Alam, S. (t.t.). *Advancing Airside Surveillance: A Multi-view Vision-based Deep Learning Approach for Real Time Aircraft Distance-To-Touchdown Prediction*. <https://ssrn.com/abstract=4829765>
- Pham, D.-T., Ali, H., Goenawan, G. J., & Alam, S. (2024). *Advancing Airside Surveillance: A Multi-view Vision-based Deep Learning Approach for Real Time Aircraft Distance-To-Touchdown Prediction*. <https://ssrn.com/abstract=4829765>
- Price, J. C., & Forrest, J. S. (2016). Airport Maintenance Standards & Air Traffic Control & Air Operations. Dalam *Practical Airport Operations, Safety, and Emergency Management*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800515-6.00007-x>

- Pullen, A. B., Ashtiani, R., Cotter, B., Saeed, A., & Edwards, L. (2013). Airport rubber removal: A comparison of ultra-high pressure water runway rubber removal systems. *Airfield and Highway Pavement 2013: Sustainable and Efficient Pavements - Proceedings of the 2013 Airfield and Highway Pavement Conference*. <https://doi.org/10.1061/9780784413005.054>
- Ramadhani, D. A., & Rachmawati, D. (2022). Analisis Implementasi Manajemen Risiko Operasional Runway Pt. Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya Jawa Timur. *Flight Attendant Kedirgantaraan: Jurnal Public Relation, Pelayanan, Pariwisata*, 4(1). <https://doi.org/10.56521/attendant-dirgantara.v4i1.544>
- Ritonga, F. F., & Dompok, T. (2024). Analisis Perbandingan Infrastruktur Transportasi Di Negara Indonesia Dan Jepang. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial Dan Teknologi (SNISTEK)*, 6, 288–292.
- Sales, R. de S., Oliveira, F. H. L. de, & Prado, L. de A. (2022). Performance of tire-asphalt pavement adherence according to rubber removal on runways. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(10). <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1907577>
- Sama, D., Gnabahou, D. A., & Ganame, A. (2025a). Global Reporting Format Automation Under Rain: Runways Conditions Monitoring in Real-Time Using Integrated Sensing and Communication Technology. *Engineering Reports*, 7(3). <https://doi.org/10.1002/eng2.70043>
- Sama, D., Gnabahou, D. A., & Ganame, A. (2025b). Global Reporting Format Automation Under Rain: Runways Conditions Monitoring in Real-Time Using Integrated Sensing and Communication Technology. *Engineering Reports*, 7(3). <https://doi.org/10.1002/eng2.70043>
- Santos, B., Almeida, P. G., Feitosa, I., & Lima, D. (2020). Validation of an indirect data collection method to assess airport pavement condition. *Case Studies in Construction Materials*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00419>
- Sari, D. R., Suharno, S., Laksono, A. D., & Irsyad Abrori, M. (2022). Pengembangan Geometrik Sisi Udara (Runway, Taxiway, Dan Apron) Bandara Supadio Dengan Adanya Jalur Runway Baru. *Jurnal Penelitian*, 7(2). <https://doi.org/10.46491/jp.v7i2.916>
- Sasmito, B., Setiadji, B. H., & Isnanto, R. (2023). Deteksi Kerusakan Jalan Menggunakan Pengolahan Citra Deep Learning di Kota Semarang. *TEKNIK*, 44(1). <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i1.51908>
- Shahin, M., Chen, F. F., Maghanaki, M., Hosseinzadeh, A., Zand, N., & Khodadadi Koodiani, H. (2024). Improving the Concrete Crack Detection Process via a Hybrid Visual Transformer Algorithm. *Sensors*, 24(10). <https://doi.org/10.3390/s24103247>
- Shan, J., Miccinesi, L., Beni, A., Pagnini, L., Cioncolini, A., & Pieraccini, M. (2025). A Review of Foreign Object Debris Detection on Airport Runways: Sensors and Algorithms. Dalam *Remote Sensing* (Vol. 17, Nomor 2).

- Singh, V., Baral, A., Kumar, R., Tummala, S., Noori, M., Yadav, S. V., Kang, S., & Zhao, W. (2024). A Hybrid Deep Learning Model for Enhanced Structural Damage Detection: Integrating ResNet50, GoogLeNet, and Attention Mechanisms †. *Sensors*, 24(22). <https://doi.org/10.3390/s24227249>
- Situmorang, R. D., Sumarno, & Hidayati, N. (2022). Penerapan Data Mining dalam Klasifikasi Pencegahan Narkoba Menggunakan Algoritma Naïve Bayes di BNN Kota Pematangsiantar. *JOMLAI: Journal of Machine Learning and Artificial Intelligence*, 1(4).
- Spencer, B. F., Hoskere, V., & Narazaki, Y. (2019). Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring. Dalam *Engineering* (Vol. 5, Nomor 2). <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.030>
- Sri Hari, R. V., Ambalam, R., Ruban Kumar, B., Ibrahim, M., & Ponnusamy, R. (2023). Yolo5-Based UAV Surveillance for Tiny Object Detection on Airport Runways. *2023 International Conference on Data Science, Agents and Artificial Intelligence, ICDSAAI 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICDSAAI59313.2023.10452584>
- Sugiono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta CV.
- Sugiyono. (2009). *Pengertian R&D Penelitian dan Pengembangan*. karyatulisku. <https://karyatulisku.com/pengertian-r-penelitian-dan-pengembangan/>
- Sugiyono. (2015). Sugiyono, Metode Penelitian dan Pengembangan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D , (Bandung: Alfabeta, 2015), 407 1. *Metode Penelitian dan Pengembangan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D, 2015*.
- Sun, Y., & Ma, O. (2022). Automating Aircraft Scanning for Inspection or 3D Model Creation with a UAV and Optimal Path Planning. *Drones*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/drones6040087>
- Suryan, V., Amalia, D., Septiani, V., Amalia, M. N., & Wisnu Ardia Chandra, P. (2023). *Airport Runway Defect Detection Device: A Project-Based Learning Media*. 8(1), 642–650.
- Tuncal, A., & Erol, U. (2024). Analyzing the New Global Reporting Format from the Pilot Perspective. *International Journal of Aviation Science and Technology*, vm05, 111–121. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vm05is02.0204>
- Utomo, A. N., & Lestari, N. (2021). Aplikasi Deteksi Kerusakan Jalan Raya Menggunakan Algoritma K-Nn (K-Nearest Neighbour) Road Detection Application Using K-Nn Algorithm (K-Nearest Neighbour). *Incomtech*, 10(1).
- van Dinter, R., Tekinerdogan, B., & Catal, C. (2022). Predictive maintenance using digital twins: A systematic literature review. Dalam *Information and Software Technology* (Vol. 151). <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.107008>

- van Welzen, J., Yuan, F. G., & Fong, R. Y. (2022). Hidden damage visualization using laser speckle photometry. *NDT and E International*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2022.102700>
- Vidal, Y. L. S., Arapa, C. A. D., De Jesus Huamani Mejia, A., Supo, E., Gutierrez, J. L. A., & Salas, P. E. P. (2023). A Systematic Review of Methods for Cleaning FOD on Runways. *2023 17th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems, EMES 2023*. <https://doi.org/10.1109/EMES58375.2023.10171778>
- Wang, W. (2012). An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modelling. Dalam *Reliability Engineering and System Safety* (Vol. 106). <https://doi.org/10.1016/j.ress.2012.04.004>
- Widagdo, D., & Bataona, T. T. (2023). Analisis Pemeliharaan Daerah Pergerakan (Runway) Bandar Udara Umu Meheng Kunda Waingapu Sumba Timur. *Student Scientific Creativity Journal*, 1(4). <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i4.1621>
- Widagdo, D., Tinggi, S., Kedirgantaraan, T., & Bataona, T. T. (2023). Analisis Pemeliharaan Daerah Pergerakan (Runway) Bandar Udara Umu Meheng Kunda Waingapu Sumba Timur. *Student Scientific Creativity Journal (SSCJ)*, 1(4), 223–232. <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i4>
- Wu, R. (2024). Analysis of Digitalization Transformation in AirAsia. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 81(1), 29–35. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/81/20241408>
- Xu, L. Da, Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8). <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yang, Z., Nashik, S., Huang, C., Aibin, M., & Coria, L. (2024). Next-Gen Remote Airport Maintenance: UAV-Guided Inspection and Maintenance Using Computer Vision. *Drones*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/drones8060225>
- Zainab, S. M., Khan, K., Fazil, A., & Zakwan, M. (2023). Foreign Object Debris (FOD) Classification Through Material Recognition Using Deep Convolutional Neural Network With Focus on Metal. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3239424>
- Zhang, K., & Lv, H. F. (2022). Design and implementation of energy consumption acquisition device based on ESP32. *Journal of Physics: Conference Series*, 2310(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2310/1/012035>
- zhou, chonghua, & Yan, J. (2022). *BIM and IoT integration applied in airport infrastructure construction*. <https://doi.org/10.1117/12.2627803>
- Ziehn, J., Roschani, M., Ruf, M., Brüstle, D., & Helmer, M. (2022). Imaging Vehicle-to-Vehicle Communication using Visible Light. Dalam *VDI Berichte* (Vol. 2022, Nomor 2400). <https://doi.org/10.51202/9783181024003-3>

Zinaida, R. S., Isnawijayani, Taqwa, D. M., & Roziqin, A. (2023). Komunikasi Organisasi dan Kemitraan Antara Airside Operation Unit Angkasa Pura II Palembang dan Mitra Maskapai. *Ganaya : Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 6(3). <https://doi.org/10.37329/ganaya.v6i3.2658>

LAMPIRAN

Lampiran A Peserta Observasi



Lampiran B Data Pendukung

Data PCI Bandara Radin Inten II Lampung 2024

TOTAL SAMPEL		278			
JENIS KERUSAKAN	KODE	LUASAN (m ²)	% DARI SEMUA KERUSAKAN	TOTAL KERUSAKAN (m ²)	% KERUSAKAN DARI TOTAL SEMUA SAMPEL
<i>Alligator cracking</i>	1H	6	0,005	2065,5	1,657
	1M	110	0,089		
	1L	1949,5	1,581		
<i>Bleeding</i>	2	10,8	0,009	10,8	0,009
Transverse Cracking	8H	0	0,000	24	0,019
	8M	4	0,003		
	8L	20	0,016		
<i>Patching</i>	10H	0	0,000	1486,6	1,193
	10M	2	0,002		
	10L	1484,6	1,204		
Wheatering	12H	17263	14,002	119700,1	96,029
	12M	17575,7	14,256		
	12L	84861,4	68,832		
TOTAL		123287	100	123287,0	98,907

Lampiran C Dokumentasi Uji Coba Alat



**LEMBAR ANGKET HASIL PEMAKAIAN ALAT
"RANCANG BANGUN ROBOT INSPEKSI RUNWAY BERBASIS
YOLO11 SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF SISI
UDARA BANDAR UDARA"**

A. Pengantar

1. Lembar penilaian ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.
2. Informasi mengenai kualitas materi ini didasarkan pada aspek kualitas alat.

B. Petunjuk Pengisian

1. Berilah tanda *check* (✓) pada alternatif jawaban yang telah disediakan.
2. Jawaban yang diberikan berupa skor dengan kriteria penilaian sebagai berikut :
5 = Sangat Baik
4 = Baik
3 = Cukup
2 = Kurang
1 = Sangat Kurang
3. Komentar atau saran perbaikan mohon ditulis pada kolom yang telah disediakan
4. Kesimpulan akhir berupa kriteria kelayakan dari Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.

C. Item Pertanyaan

No	Aspek Penilaian	Indikator	Penilaian				
			1	2	3	4	5
1	Kegunaan (Usability)	Pengelolaan data mudah dipahami				✓	
		Penggunaan alat mudah untuk dioperasikan					
2	Efektivitas (Effectiveness)	Keakuratan hasil yang dihasilkan oleh alat			✓		
		Kesesuaian alat dengan kebutuhan pengguna					
3	Efisiensi (Efficiency)	Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas menggunakan alat lebih cepat					✓
		Kecepatan respon alat dalam menjalankan fungsinya					
4	Kepuasan Pengguna (User Satisfaction)	Tingkat kepuasan pengguna terhadap kinerja alat					✓
		Kesediaan pengguna untuk merekomendasikan alat pada Bandar Udara					

D. Komentar/ Saran Umum

Sebaiknya dilakukan Peningkatan Pada tampilan aplikasi agar lebih mudah untuk di pakai user

LEMBAR ANGKET HASIL PEMAKAIAN ALAT
"RANCANG BANGUN ROBOT INSPEKSI RUNWAY BERBASIS
YOLO11 SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF SISI
UDARA BANDAR UDARA"

A. Pengantar

1. Lembar penilaian ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.
2. Informasi mengenai kualitas materi ini didasarkan pada aspek kualitas alat.

B. Petunjuk Pengisian

1. Berilah tanda *check* (✓) pada alternatif jawaban yang telah disediakan.
2. Jawaban yang diberikan berupa skor dengan kriteria penilaian sebagai berikut :
5 = Sangat Baik
4 = Baik
3 = Cukup
2 = Kurang
1 = Sangat Kurang
3. Komentar atau saran perbaikan mohon ditulis pada kolom yang telah disediakan
4. Kesimpulan akhir berupa kriteria kelayakan dari Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.

C. Item Pertanyaan

No	Aspek Penilaian	Indikator	Penilaian				
			1	2	3	4	5
1	Kegunaan (Usability)	Pengelolaan data mudah dipahami				✓	
		Penggunaan alat mudah untuk dioperasikan					
2	Efektivitas (Effectiveness)	Keakuratan hasil yang dihasilkan oleh alat				✓	
		Kesesuaian alat dengan kebutuhan pengguna					
3	Efisiensi (Efficiency)	Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas menggunakan alat lebih cepat					✓
		Kecepatan respon alat dalam menjalankan fungsinya					
4	Kepuasan Pengguna (User Satisfaction)	Tingkat kepuasan pengguna terhadap kinerja alat				✓	
		Kesediaan pengguna untuk merekomendasikan alat pada Bandar Udara					

LEMBAR ANGKET HASIL PEMAKAIAN ALAT
"RANCANG BANGUN ROBOT INSPEKSI RUNWAY BERBASIS
YOLO11 SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF SISI
UDARA BANDAR UDARA"

A. Pengantar

1. Lembar penilaian ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.
2. Informasi mengenai kualitas materi ini didasarkan pada aspek kualitas alat.

B. Petunjuk Pengisian

1. Berilah tanda *check* (✓) pada alternatif jawaban yang telah disediakan.
2. Jawaban yang diberikan berupa skor dengan kriteria penilaian sebagai berikut :
5 = Sangat Baik
4 = Baik
3 = Cukup
2 = Kurang
1 = Sangat Kurang
3. Komentar atau saran perbaikan mohon ditulis pada kolom yang telah disediakan
4. Kesimpulan akhir berupa kriteria kelayakan dari Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.

C. Item Pertanyaan

No	Aspek Penilaian	Indikator	Penilaian				
			1	2	3	4	5
1	Kegunaan (Usability)	Pengelolaan data mudah dipahami					✓
		Penggunaan alat mudah untuk dioperasikan					
2	Efektivitas (Effectiveness)	Keakuratan hasil yang dihasilkan oleh alat					✓
		Kesesuaian alat dengan kebutuhan pengguna					
3	Efisiensi (Efficiency)	Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas menggunakan alat lebih cepat				✓	
		Kecepatan respon alat dalam menjalankan fungsinya					
4	Kepuasan Pengguna (User Satisfaction)	Tingkat kepuasan pengguna terhadap kinerja alat					✓
		Kesediaan pengguna untuk merekomendasikan alat pada Bandar Udara					

LEMBAR ANGKET HASIL PEMAKAIAN ALAT
"RANCANG BANGUN ROBOT INSPEKSI RUNWAY BERBASIS
YOLO11 SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF SISI
UDARA BANDAR UDARA"

A. Pengantar

1. Lembar penilaian ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.
2. Informasi mengenai kualitas materi ini didasarkan pada aspek kualitas alat.

B. Petunjuk Pengisian

1. Berilah tanda *check* (✓) pada alternatif jawaban yang telah disediakan.
2. Jawaban yang diberikan berupa skor dengan kriteria penilaian sebagai berikut :
5 = Sangat Baik
4 = Baik
3 = Cukup
2 = Kurang
1 = Sangat Kurang
3. Komentar atau saran perbaikan mohon ditulis pada kolom yang telah disediakan
4. Kesimpulan akhir berupa kriteria kelayakan dari Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.

C. Item Pertanyaan

No	Aspek Penilaian	Indikator	Penilaian				
			1	2	3	4	5
1	Kegunaan (Usability)	Pengelolaan data mudah dipahami					✓
		Penggunaan alat mudah untuk dioperasikan					
2	Efektivitas (Effectiveness)	Keakuratan hasil yang dihasilkan oleh alat				✓	
		Kesesuaian alat dengan kebutuhan pengguna					
3	Efisiensi (Efficiency)	Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas menggunakan alat lebih cepat					✓
		Kecepatan respon alat dalam menjalankan fungsinya					
4	Kepuasan Pengguna (User Satisfaction)	Tingkat kepuasan pengguna terhadap kinerja alat				✓	
		Kesediaan pengguna untuk merekomendasikan alat pada Bandar Udara					

LEMBAR ANGKET HASIL PEMAKAIAN ALAT
“RANCANG BANGUN ROBOT INSPEKSI RUNWAY BERBASIS
YOLO11 SEBAGAI PENUNJANG PEMELIHARAAN PREVENTIF SISI
UDARA BANDAR UDARA”

A. Pengantar

1. Lembar penilaian ini dimaksudkan untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.
2. Informasi mengenai kualitas materi ini didasarkan pada aspek kualitas alat.

B. Petunjuk Pengisian

1. Berilah tanda *check* (✓) pada alternatif jawaban yang telah disediakan.
2. Jawaban yang diberikan berupa skor dengan kriteria penilaian sebagai berikut :
 - 5 = Sangat Baik
 - 4 = Baik
 - 3 = Cukup
 - 2 = Kurang
 - 1 = Sangat Kurang
3. Komentar atau saran perbaikan mohon ditulis pada kolom yang telah disediakan
4. Kesimpulan akhir berupa kriteria kelayakan dari Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara.

C. Item Pertanyaan

No	Aspek Penilaian	Indikator	Penilaian				
			1	2	3	4	5
1	Kegunaan (Usability)	Pengelolaan data mudah dipahami					✓
		Penggunaan alat mudah untuk dioperasikan					
2	Efektivitas (Effectiveness)	Keakuratan hasil yang dihasilkan oleh alat					✓
		Kesesuaian alat dengan kebutuhan pengguna					
3	Efisiensi (Efficiency)	Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas menggunakan alat lebih cepat				✓	
		Kecepatan respon alat dalam menjalankan fungsinya					
4	Kepuasan Pengguna (User Satisfaction)	Tingkat kepuasan pengguna terhadap kinerja alat				✓	
		Kesediaan pengguna untuk merekomendasikan alat pada Bandar Udara					

D. Komentor/ Saran Umum

- Penambahan Vacuu
- Penambahan Manual

E. Kesimpulan

Alat Sistem Robot Inspeksi *Runway* Berbasis Yolo11 Sebagai Penunjang
Pemeliharaan Preventif Sisi Udara Bandar Udara ini dinyatakan :

- ①. Sangat Puas
2. Puas
3. Cukup Puas
4. Kurang Puas
5. Tidak Puas

Palembang, 2025

Validator,



ADITYA FEBRIANSYAH

NIP.

*) Lingkari salah satu

**LEMBAR ANGKET VALIDASI DESIGN “RANCANG BANGUN ROBOT
INSPEKSI *RUNWAY* BERBASIS YOLO11 SEBAGAI PENUNJANG
PEMELIHARAAN PREVENTIF SISI UDARA BANDAR UDARA”**

A. Pengantar

1. Formulir ini bertujuan untuk mengumpulkan *feedback* dan penilaian terhadap *design* robot inspeksi runway berbasis YOLOv11.
2. Informasi yang di berikan akan sangat berharga dalam proses penyempurnaan *design*.

B. Petunjuk Pengisian

1. Berilah tanda *check* (✓) pada alternatif jawaban yang telah disediakan.
2. Jawaban yang diberikan berupa skor dengan kriteria penilaian sebagai berikut:
5 = Sangat Baik
4 = Baik
3 = Cukup
2 = Kurang
1 = Sangat Kurang
3. Komentar atau saran perbaikan mohon ditulis pada kolom yang telah disediakan
4. Kesimpulan akhir berupa kriteria kelayakan dari *design* alat inspeksi runway berbasis YOLOv11.

C. Item Pertanyaan

No	Aspek Penilaian	Indikator	Penilaian				
			1	2	3	4	5
1	Fungsionalitas	Apakah desain robot ini memungkinkan robot untuk melakukan tugas yang dimaksudkan dengan efektif?					✓
		Menurut Anda, apakah mekanisme pergerakan atau tindakan robot sesuai dengan fungsinya?					✓
		Apakah desain robot ini terlihat mampu berinteraksi dengan lingkungan kerjanya?				✓	
2	Usabilitas dan Interaksi	Apakah Anda memahami cara robot ini beroperasi berdasarkan desainnya?					✓
		Apakah desain antarmuka terlihat jelas dan mudah digunakan?				✓	
		Menurut Anda, apakah ukuran dan bentuk robot sesuai untuk tugas yang akan dilakukannya?					✓
3	Keamanan	Apakah desain robot ini terlihat aman untuk beroperasi bagi pengguna dan lingkungan sekitar?					✓

		Apakah ada potensi bahaya yang mungkin timbul dari desain robot ini?					✓
		Apakah desain robot ini mempertimbangkan aspek keamanan dalam penggunaannya?				✓	
4	Estetika dan Desain Visual	Bagaimana pendapat Anda tentang tampilan visual keseluruhan robot ini?					✓
		Apakah proporsi dan bentuk robot terlihat seimbang dan harmonis?					✓
5	Teknis	Apakah pemilihan warna dan material pada desain robot ini sesuai dengan tujuan dan fungsinya?					✓

D. Komentar/ Saran Umum

Sudah sangat baik terutama segi teknis dan responabilitas
tingkatkan lagi dari segi desain.

E. Kesimpulan

Robot inspeksi *runway* berbasis YOLOv11 ini dinyatakan:

1. Sangat Puas
2. Puas
3. Cukup Puas
4. Kurang Puas
5. Tidak Puas

Palembang, 10 Jun' 2025

Validator,



M. RAFLI FAIZAL, S.T.
NIP. 2001012120241210003

*) Lingkari salah satu

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	Kamis, 17 Februari 2015	Revisi Lembar Pembimbingan	
2	Rabu, 18 Maret 2015	Pembahasan Bab II	
3	Jum'at, 13 April 2015	Pembahasan Pembimbingan Perencanaan	
4	Sabtu 3 Juni 2015	Pembahasan Bab III dan IV	
5	Rabu 11 Juni 2015	Pembahasan Bab IV	

Dosen Pembimbing : Dr. Bawling Sulaiman, S.Kom., M.T.

POLITEKNIK PERBERANGAN PALEMBANG
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KEKAYAAAN BANDAR UDARA
PROGRAM SARJANA TERAPAN

LEMBAR Bimbingan Tugas Akhir
TAHUN AKADEMIK 2024/2025

Nama Terima
 NIT
 Course
 Jadwal TA

: M. Nurulqah
 : 51500001
 : 540 25
 : Rencana, Konsep, Desain, Implementasi, Bangunan, Struktur, PAB, Sistem
 : Strategi, Analisis, Evaluasi, dan Implementasi ke 540 Rencana dan

Dosen Pembimbing : Ir. Satrio, S.T., M. Sc.

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	Jember, 28 Januari 2025	Resolusi pertemuan dengan Lupa dibahasakan	
2	Kamis 27 Mei 2025	Teknikal Praktikum Waku Supremasi dan Supremasi	
3	Sabtu 24 Mei 2025	Keputusan Koneksi dan Waku dan Waku Waku dikanalisasi	
4	Sabtu 3 Juni 2025	Keputusan Koneksi dengan Lupa dan Waku Waku	
5	Kamis 11 Juni 2025	Pada yang Waku Waku Waku Pengaruh Waku Waku	

6	Jember, 17 Juni 2025	Pembahasan MSTRK	
7	Sabtu 15 Juni 2025	Pengawasan Pengawasan	
8	Kamis 5 Juli 2025	Pembahasan Analisis	

Catatan:

- Form ini harus diisi setiap kali bimbingan
- Maksimal pertemuan bimbingan adalah 8 kali

Mengontrol,
 Ketua Program Studi
 Teknologi Kelayakan Bandar Udara



Ir. M. Nurulqah, S.T., M. Sc.
 NIP. 19810106 200212 1 001

Dosen Pembimbing



(Dr. M. Nurulqah, S.T., M. Sc.)
 NIP. 19740106 198112 1 001

Lampiran F Kode Pemrograman dan Barcode Aplikasi

Pemrograman Kontrol Robot

```
/*
Name   : M. Alamsyah
Course : TRBU 02
Project : RANCANG BANGUN ROBOT INSPEKSI RUNWAY BERBASIS YOLO VERSION 11
*/

#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//---Konfigurasi Jaringan Wi-Fi---
const char* ssid = "iotx";
const char* password = "iotxiotx";
const char* hostname = "NEUROX";

//---Konfigurasi Broker MQTT HiveMQ Cloud---
const char* mqtt_server = "c5f3cb5607ab48499574b2c87590d272.s1.eu.hivemq.cloud";
const int mqtt_port = 8883;
const char* mqtt_user = "NEUROX";
const char* mqtt_password = "11Alamsyah";
const char* mqtt_topic = "robot/control";

//---Pin untuk Kontrol Motor, Lampu, dan Sweeper---
const int motorPin1 = 2;
const int motorPin2 = 4;
const int motorPin3 = 16;
const int motorPin4 = 17;
const int motorEnableLeft = 14;
const int motorEnableRight = 15;
const int lampuPin = 5;
const int sweeperMotorPin1 = 18;
const int sweeperMotorPin2 = 19;
const int sweeperMotorPin3 = 20;
const int sweeperMotorPin4 = 21;

// ===== KONTROL KECEPATAN =====
// Atur kecepatan motor di sini. Nilai dari 0 (berhenti) hingga 255 (kecepatan penuh).
const int motorSpeed = 255;

// Properti PWM
const int pwmFreq = 5000; // Frekuensi PWM 5 KHz
const int pwmResolution = 8; // Resolusi 8-bit (0-255)
const int leftMotorChannel = 0; // Channel PWM untuk motor kiri
```

```

const int rightMotorChannel = 1; // Channel PWM untuk motor kanan

// =====

//---Konfigurasi LCD I2C---
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

WiFiClientSecure espClient;
PubSubClient client(espClient);

//---Root CA Certificate untuk HiveMQ Cloud (Let's Encrypt)---
static const char* rootCACertificate = R"EOF(
-----BEGIN CERTIFICATE-----
MIIFazCCA1OgAwIbAgIRAIQz7DSQONZRGpGu2OCiwAwDQYJKoZIhvcNAQELBQAw
TzELMAkGA1UEBhMCVVMxKTAnBgNVBAAoTIEludGVrbmV0IFNlY3VyaXR5IFJlc2Vh
cmNoIEdyb3VwMRUwEwYDVQQDEwxJU1JHIFJvb3QgWDEwHhcNMTEwNjA0MTEwNDM4
WhcNMzUwNjA0MTEwNDM4WjBPMQswCQYDVQQGEwJVUzEpMCCGA1UEChMgSW50Z
XJu
ZXQgU2VjdXJpdHkgUmVzZWZyY2ggR3JvdXAxFtATBgNVBAMTDElUkegUm9vdCBY
MTCCAIwDQYJKoZIhvcNAQEBBQADggIPADCCAgoCggIBAK3oJHP0FDfzm54rVygc
h77ct984kIxuPOZXoHj3dcKi/vVqbvYATyjb3miGbESTrFj/RQSa78f0uoxmyF+
0TM8ukj13Xnfs7j/EvEhmkvBioZxaUpmZmyPfjxwv60plgbz5MDmgK7iS4+3mX6U
A5/TR5d8mUgjU+g4rk8Kb4Mu0UIXjIB0ttov0DiNewNwIRt18jA8+o+u3dpjq+sW
T8KOEUt+zwvo/7V3LvSye0rgTBIIHCNAymg4VMk7BPZ7hm/ELNKjD+Jo2FR3qyH
B5T0Y3HsLuJvW5iB4YlcNHlsdu87kGJ55tukmi8mxdAQ4Q7e2RCOFvu396j3x+UC
B5iPNgiV5+I3lg02dZ77DnKxHZu8A/IJBdiB3QW0KtZB6awBdpUKD9jflb0SHzUv
KBds0pjBqAlkd25HN7rOrFleaJl/ctaJxQZBKT5ZPt0m9STJEadao0xAH0ahmbWn
OlFuhjuefXKNegV4We0+UXgVCwOPjdAvBbI+e0ocS3MFEVzG6uBQE3xDk3SzynTn
jh8BCNAw1FtxNrQHusEwMFxlt4l7mKZ9YIqioymCzLq9gwQbooMDQaHwBfEbwrwb
qHyGO0aoSCqI3Haadr8faqU9GY/rOPNk3sgrDQoo//fb4hVC1CLQJ13hef4Y53CI
rU7m2Ys6xt0nUW7/vGT1M0NPAgMBAAGjQjBAMA4GA1UdDwEB/wQEAwIBBjAPBgNV
HRMBAf8EBTADAQH/MB0GA1UdDgQWBBR5tFnme7bl5AFzgAilYBpY9umbbjANBgkq
hkiGw0BAQsFAAOCAgEAVR9YqbyyqFDQDLHYGmkGJyKIrGF1XIpu+ILlaS/V9IZL
ubhZEFnTIZd+50xx+7LSYK05qAvqFyFWhfQDlnrzuBZ6brJFe+GnY+EGPbk6ZGQ
3BebYhtF8GaV0nxvwuo77x/Py9auJ/GpsMiu/X1+mvoiBOv/2X/qkSsisRcOj/KK
NftY2PwByVS5uCbMiogziUwthDyC3+6WVwW6LLv3xLfHTjuCvjHIInNzktHCgKQ5
ORAZI4JMPJ+GslWYHb4phowim57iaztXOOJwTdwJx4nLCgdNbOhdjsnvzqvHu7Ur
TkXWStAmzOVyyghqpZXjFaH3pO3JLF+I/+sKAiuvtd7u+Nxe5AW0wdeRIN8NwdC
jNPElpzVmbUq4JUagEiuTDkHszxHpFKVK7q4+63SM1N95R1NbdWhscdCb+ZAJzVc
oyi3B43njTOQ5yOf+1CceWxG1bQVs5ZufpsMlj4Ui0/1lvh+wjChP4kqKOJ2qxq
4RgqsahDYYVvTH9w7jXbyLeiNdd8XM2w9U/t7y0Ff/9yi0GE44Za4rF2LN9d11TPA
mRGunUHBcnWEvgJBQI9nJEiU0Zsnvgc/ubhPgXRR4Xq37Z0j4r7g1SgEEZwxA57d
emyPxgcYxn/eR44/KJ4EBs+IVDR3veyJm+kXQ99b21/+jh5Xos1AnX5iltreGC=
-----END CERTIFICATE-----
)EOF";

void setup_wifi() {
    delay(10);
    Serial.println();

```

```

Serial.print("Menghubungkan ke Wi-Fi: ");
Serial.println(ssid);
lcd.print("Menghubungkan ke");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(ssid);

WiFi.begin(ssid, password);
WiFi.setHostname(hostname); // Set hostname untuk ESP32

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}

Serial.println("");
Serial.println("Wi-Fi terhubung");
Serial.println("Alamat IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
Serial.print("Hostname: "); // Tambahkan untuk menampilkan hostname
Serial.println(WiFi.getHostname()); // Dapatkan dan tampilkan hostname

lcd.clear();
lcd.print("Wi-Fi Terhubung");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(WiFi.localIP());
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.print("MQTT Connecting...");
}

void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length) {
    Serial.print("Pesan diterima pada topik: ");
    Serial.println(topic);

    Serial.print("Isi pesan: ");
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        Serial.print((char)payload[i]);
    }
    Serial.println();

    if (String(topic) == mqtt_topic) {
        String message = "";
        for (int i = 0; i < length; i++) {
            message += (char)payload[i];
        }
        message.trim(); // Hapus whitespace di awal dan akhir pesan

        // Tambahkan Serial.println untuk mencetak perintah dari website

```

```

Serial.print("Perintah dari website: ");
Serial.println(message);

if (message == "ON") {
    Serial.println("Mengaktifkan semua motor dan lampu");
    lcd.clear();
    lcd.print("Semua ON");
    digitalWrite(motorPin1, HIGH);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    digitalWrite(motorPin3, HIGH);
    digitalWrite(motorPin4, LOW);
    ledcWrite(leftMotorChannel, motorSpeed); // Menggunakan ledcWrite
    ledcWrite(rightMotorChannel, motorSpeed); // Menggunakan ledcWrite
    digitalWrite(lampuPin, HIGH);
    digitalWrite(sweeperMotorPin1, HIGH);
    digitalWrite(sweeperMotorPin2, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin3, HIGH);
    digitalWrite(sweeperMotorPin4, LOW);
} else if (message == "OFF") {
    Serial.println("Mematikan semua motor dan lampu");
    lcd.clear();
    lcd.print("Semua OFF");
    ledcWrite(leftMotorChannel, 0); // Matikan motor
    ledcWrite(rightMotorChannel, 0); // Matikan motor
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    digitalWrite(motorPin3, LOW);
    digitalWrite(motorPin4, LOW);
    digitalWrite(lampuPin, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin1, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin2, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin3, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin4, LOW);
} else if (message == "LAMPU_ON") {
    Serial.println("Mengaktifkan lampu");
    lcd.clear();
    lcd.print("Lampu ON");
    digitalWrite(lampuPin, HIGH);
} else if (message == "LAMPU_OFF") {
    Serial.println("Mematikan lampu");
    lcd.clear();
    lcd.print("Lampu OFF");
    digitalWrite(lampuPin, LOW);
} else if (message == "MAJU") {
    Serial.println("Motor maju");
    lcd.clear();
    lcd.print("Maju");
    digitalWrite(motorPin1, HIGH);

```

```

digitalWrite(motorPin2, LOW);
digitalWrite(motorPin3, HIGH);
digitalWrite(motorPin4, LOW);
ledcWrite(leftMotorChannel, motorSpeed);
ledcWrite(rightMotorChannel, motorSpeed);
} else if (message == "MUNDUR") {
    Serial.println("Motor mundur");
    lcd.clear();
    lcd.print("Mundur");
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, HIGH);
    digitalWrite(motorPin3, LOW);
    digitalWrite(motorPin4, HIGH);
    ledcWrite(leftMotorChannel, motorSpeed);
    ledcWrite(rightMotorChannel, motorSpeed);
} else if (message == "BERHENTI") {
    Serial.println("Motor berhenti");
    lcd.clear();
    lcd.print("Berhenti");
    ledcWrite(leftMotorChannel, 0);
    ledcWrite(rightMotorChannel, 0);
    digitalWrite(motorPin1, LOW);
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    digitalWrite(motorPin3, LOW);
    digitalWrite(motorPin4, LOW);
} else if (message == "SWEEPER_ON") {
    Serial.println("Mengaktifkan motor sweeper");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sweeper ON ");
    digitalWrite(sweeperMotorPin1, HIGH);
    digitalWrite(sweeperMotorPin2, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin3, HIGH);
    digitalWrite(sweeperMotorPin4, LOW);
} else if (message == "SWEEPER_OFF") {
    Serial.println("Mematikan motor sweeper");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Sweeper OFF");
    digitalWrite(sweeperMotorPin1, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin2, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin3, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin4, LOW);
} else if (message == "KIRI") {
    Serial.println("Belok kiri");
    lcd.clear();
    lcd.print("Belok Kiri");
    digitalWrite(motorPin1, HIGH); // Motor kiri maju
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    digitalWrite(motorPin3, LOW); // Motor kanan berhenti

```

```

digitalWrite(motorPin4, LOW);
ledcWrite(leftMotorChannel, motorSpeed);
ledcWrite(rightMotorChannel, 0); // Matikan motor kanan
} else if (message == "KANAN") {
    Serial.println("Belok kanan");
    lcd.clear();
    lcd.print("Belok Kanan");
    digitalWrite(motorPin1, LOW); // Motor kiri berhenti
    digitalWrite(motorPin2, LOW);
    digitalWrite(motorPin3, HIGH); // Motor kanan maju
    digitalWrite(motorPin4, LOW);
    ledcWrite(leftMotorChannel, 0); // Matikan motor kiri
    ledcWrite(rightMotorChannel, motorSpeed);
} else {
    Serial.println("Perintah tidak dikenal");
    lcd.clear();
    lcd.print("Perintah Tidak");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Dikenal");
}
delay(1000);
}
}

void reconnect() {
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Mencoba koneksi MQTT...");
        lcd.clear();
        lcd.print("MQTT Connect...");
        String clientId = "ESP32Client-";
        clientId += String(random(0xffff), HEX);

        espClient.setCACert(rootCACertificate);

        if (client.connect(clientId.c_str(), mqtt_user, mqtt_password)) {
            Serial.println("terhubung");
            lcd.clear();
            lcd.print("MQTT Terhubung");
            client.subscribe(mqtt_topic);
            delay(1000);
            lcd.clear();
            lcd.print("Robot Siap");
        } else {
            Serial.print("gagal terhubung, kode error=");
            Serial.print(client.state());
            Serial.println(" mencoba lagi dalam 5 detik");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Gagal, Retry...");

```

```

        delay(5000);
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.print("Robot Control");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Starting...");
    delay(2000);
    lcd.clear();

    setup_wifi();
    client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
    client.setCallback(callback);

    pinMode(motorPin1, OUTPUT);
    pinMode(motorPin2, OUTPUT);
    pinMode(motorPin3, OUTPUT);
    pinMode(motorPin4, OUTPUT);
    pinMode(lampuPin, OUTPUT);
    pinMode(sweeperMotorPin1, OUTPUT);
    pinMode(sweeperMotorPin2, OUTPUT);
    pinMode(sweeperMotorPin3, OUTPUT);
    pinMode(sweeperMotorPin4, OUTPUT);

    // ===== Konfigurasi PWM untuk Kecepatan =====
    ledcSetup(leftMotorChannel, pwmFreq, pwmResolution);
    ledcSetup(rightMotorChannel, pwmFreq, pwmResolution);
    ledcAttachPin(motorEnableLeft, leftMotorChannel);
    ledcAttachPin(motorEnableRight, rightMotorChannel);
    //
    =====
    =====

    // Kondisi awal
    digitalWrite(lampuPin, LOW);
    ledcWrite(leftMotorChannel, 0);
    ledcWrite(rightMotorChannel, 0);
    digitalWrite(sweeperMotorPin1, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin2, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin3, LOW);
    digitalWrite(sweeperMotorPin4, LOW);
}

```

```
void loop() {  
  if (!client.connected()) {  
    reconnect();  
  }  
  client.loop();  
}
```

Kode Pemrograman GPS

```
/*
 * Project: NEUROX - GPS Publisher
 * Description: This sketch reads data from a NEO-6M GPS module
 * and publishes the location to a specific MQTT topic.
 * Author: M. Alamsyah / Gemini AI
 */

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <TinyGPSPlus.h>
#include <HardwareSerial.h>

// --- Konfigurasi Jaringan Wi-Fi ---
const char* ssid = "iotx";
const char* password = "iotxiotx";
const char* hostname = "NEUROX-GPS";

// --- Konfigurasi Broker MQTT HiveMQ Cloud untuk NEUROX ---
const char* mqtt_server = "c5f3cb5607ab48499574b2c87590d272.s1.eu.hivemq.cloud";
const int mqtt_port = 8883;
const char* mqtt_user = "NEUROX";
const char* mqtt_password = "11Alamsyah";
const char* mqtt_topic_gps = "neurox/location"; // Topik khusus untuk lokasi NEUROX
const char* client_id = "NEUROX_GPS_Publisher";

// --- Inisialisasi GPS ---
TinyGPSPlus gps;
// Gunakan Serial2 dari ESP32 (default: GPIO 16 untuk RX, GPIO 17 untuk TX)
HardwareSerial gpsSerial(2);

// --- Inisialisasi Klien WiFi & MQTT ---
WiFiClientSecure espClient;
PubSubClient client(espClient);

unsigned long lastMsg = 0;
const int MSG_PUBLISH_INTERVAL = 5000; // Kirim data lokasi setiap 5 detik

// --- Root CA Certificate untuk HiveMQ Cloud ---
static const char* rootCACertificate = R"EOF(
-----BEGIN CERTIFICATE-----
MIIFazCCA1OgAwIBAgIRAIQz7DSQONZRGpGu2OCiwAwDQYJKoZIhvcNAQELBQAw
TzELMAkGA1UEBhMCVVMxKTAnBgNVBAs0TIEludGVrbmV0IFNlY3VyaXR5IFJlc2Vh
cmNoIEdyb3VwMRUwEwYDVQQDEwxCU1JHIFJvb3QgWDEwHhcNMTEwMTEwNDM4

```

```

WhcNMzUwNjA0MTEwNDM4WjBPMQswCQYDVQQGEwJVUzEpMCcGA1UEChMgSW50Z
XJu
ZXQgU2VjdXJpdHkgUmVzZWYyY2ggR3JvdXAxFtATBgNVBAMTDElTUkcgUm9vdCBY
MTCCAIwDQYJKoZIhvcNAQEBBQADggIPADCCAgoCggIBAK3oJHP0FDfzm54rVygC
h77ct984kIxuPOZXoHj3dcKi/vVqbvYATyjb3miGbESTtrFj/RQSa78f0uoxmyF+0TM8ukj13Xnfs7
j/EvEhmkvBioZxaUpmZmyPjfxwv60pIgbz5MDmgK7iS4+3mX6UA5/TR5d8mUgjU+g4rk8Kb4M
u0UIXjIB0ttov0DiNewNwIRt18jA8+o+u3dpjq+sW
T8KOEU+zwvo/7V3LvSye0rgTBIIIDHCNAymg4VMk7BPZ7hm/ELNKjD+Jo2FR3qyH
B5T0Y3HsLuJvW5iB4YlcNHlsdu87kGJ55tukmi8mxdAQ4Q7e2RCOFvu396j3x+UC
B5iPNgiV5+I3lg02dZ77DnKxHZu8A/IJBdiB3QW0KtZB6awBdpUKD9jflb0SHzUv
KBds0pjBqAlkd25HN7rOrFleaJ1/ctaJxQZBKT5ZPt0m9STJEadao0xAH0ahmbWn
OlFuhjuefXKNegV4We0+UXgVCwOPjdAvBbI+e0ocS3MFEVzG6uBQE3xDk3SzynTn
jh8BCNAw1FtxNrQHusEwMFxIt4I7mKZ9YIqioymCzLq9gwQbooMDQaHwBfEbwrw
qHyGO0aoSCqI3Haadr8faqU9GY/rOPNk3sgrDQoo//fb4hVC1CLQJ13hef4Y53CI
rU7m2Ys6xt0nUW7/vGT1M0NPAgMBAAGjQjBAMA4GA1UdDwEB/wQEAwIBBjAPBgNV
HRMBAf8EBTADAQH/MB0GA1UdDgQWBRR5tFnme7bl5AFzgAiIyBpY9umbbjANBgkq
hkiGw0BAQsFAAOCAgEAVR9YqbyyqFDQDLHYGmkGjYkIrGF1Xlpu+ILlaS/V9IZL
ubhzEFnTIZd+50xx+7LSYK05qAvqFyFWhfQDlnrzuBZ6brJFe+GnY+EGPbk6ZGQ
3BebYhtF8GaV0nxvwuo77x/Py9auJ/GpsMiu/X1+mvoiBOv/2X/qkSsisRcOj/KK
NftY2PwByVS5uCbMiozziUwthDyC3+6WVwW6LLv3xLfHTjuCvjHlInNzktHCgKQ5
ORAzl4JMPJ+GslWYHb4phowim57iaztXOOJwTdwJx4nLCgdNbOhdjsnvzqvHu7Ur
TkXWStAmzOVyyghqpZXjFaH3pO3JLF+I+/+sKAiuvtd7u+Nxe5AW0wdeRIN8NwdC
jNPElpzVmbUq4JUagEiuTDkHszxHpFKVK7q4+63SM1N95R1NbdWhscdCb+ZAJzVc
oyi3B43njTOQ5yOf+1CceWxG1bQVs5ZufpsMlj4Ui0/1lvh+wjChP4kqKOJ2qxq
4RgqsahDYVvTH9w7jXbyLeiNdd8XM2w9U/t7y0Ff/9yi0GE44Za4rF2LN9d11TPA
mRGunUHBEnWEvgJBQl9nJEiU0Zsnvgc/ubhPgXRR4Xq37Z0j4r7g1SgEEzwxA57d
emyPxgcYxn/eR44/KJ4EBs+IVDR3veyJm+kXQ99b21/+jh5Xos1AnX5iltreGCc=
-----END CERTIFICATE-----
)EOF";

```

```

void setup_wifi() {
    delay(10);
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);
    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.setHostname(hostname);
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("\nWiFi connected");
    Serial.print("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

void reconnect() {

```

```

while (!client.connected()) {
    Serial.print("Attempting NEUROX MQTT connection...");
    if (client.connect(client_id, mqtt_user, mqtt_password)) {
        Serial.println("connected");
    } else {
        Serial.print("failed, rc=");
        Serial.print(client.state());
        Serial.println(" try again in 5 seconds");
        delay(5000);
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    // Mulai komunikasi serial dengan modul GPS
    gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // RX, TX

    setup_wifi();

    // Atur sertifikat untuk koneksi aman ke HiveMQ
    espClient.setCACert(rootCACertificate);

    client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
}

void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    client.loop();

    // Terus-menerus baca data dari GPS
    while (gpsSerial.available() > 0) {
        gps.encode(gpsSerial.read());
    }

    unsigned long now = millis();
    if (now - lastMsg > MSG_PUBLISH_INTERVAL) {
        lastMsg = now;

        if (gps.location.isValid()) {
            float lat = gps.location.lat();
            float lng = gps.location.lng();

            // Buat payload dengan format "latitude,longitude"
            char payload[40];
            snprintf(payload, sizeof(payload), "%.6f,%.6f", lat, lng);

```

```
Serial.print("Publishing NEUROX location: ");  
Serial.println(payload);  
  
client.publish(mqtt_topic_gps, payload);  
  
} else {  
  Serial.println("Lokasi GPS NEUROX belum valid. Menunggu sinyal...");  
}  
}  
}
```

Barcode Aplikasi



Lampiran G Hasil Pengecekan Turnitin

(REV8)_M_Alamsyah(56192110014)_Tugas Akhir.docx			
ORIGINALITY REPORT			
18%	17%	5%	8%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	repository.poltekbangplg.ac.id Internet Source	7%	
2	pt.slideshare.net Internet Source	1%	
3	Submitted to Student Paper	1%	
4	community.hivemq.com Internet Source	<1%	
5	repository.its.ac.id Internet Source	<1%	
6	aryanistories.blogspot.com Internet Source	<1%	
7	id.123dok.com Internet Source	<1%	
8	forum.arduino.cc Internet Source	<1%	
9	journal.amikveteran.ac.id Internet Source	<1%	
10	aspal.unmuhbabel.ac.id Internet Source	<1%	
11	journal.lembagakita.org	<1%	n.c.

Lampiran H Transkrip Wawancara

Informan I

Nama : Liuzhiro Solihan

Jabatan : Airport Facilities Supervisor

Waktu : Jumat, 27 Desember 2024. Pukul 09.00

Waktu pembuatan hasil wawancara : Selasa, 1 Juli 2025. Pukul 14.30

Hasil wawancara :

Pertanyaan	Jawaban
Pewawancara: Selamat pagi, Pak Liuzhiro. Terima kasih banyak sudah meluangkan waktunya di tengah kesibukan Bapak. Saya M. Alamsyah, mahasiswa yang sedang mengerjakan Tugas Akhir tentang robot inspeksi runway.	Informan: Pagi, Mas Alamsyah. Tidak apa-apa, santai saja. Menarik sekali topiknya. Silakan dimulai.
Pewawancara: Baik, Pak. Mungkin langsung saja ke pertanyaan pertama. Bagaimana prosedur inspeksi area pergerakan pesawat yang berjalan saat ini di sini, Pak?	Informan: Prosedur standar kami itu inspeksi rutin dua kali sehari, pagi sekali sebelum penerbangan pertama sekitar jam 5 pagi, dan siang hari sekitar jam 1 siang. Kami patroli menggunakan kendaraan menyusuri centerline runway, sambil mengamati secara visual kondisi perkerasan dan ada tidaknya FOD. Semua temuan kami catat di logbook.
Pewawancara: Apa saja tantangan utama yang Bapak dan tim hadapi saat mendeteksi Foreign Object Debris (FOD) di area pergerakan pesawat?	Informan: Tantangannya banyak, Mas. Pertama, kondisi cuaca. Kalau hujan deras atau berkabut, jarak pandang sangat terbatas. Kedua, inspeksi dini hari itu pencahayaannya minim, kami

	hanya mengandalkan lampu sorot mobil, jadi ada kemungkinan blind spot di sisi kendaraan. Ketiga, faktor manusia, kelelahan atau kurang fokus bisa saja terjadi dan menyebabkan ada objek yang terlewat.
Pewawancara: Terkait frekuensi, seberapa sering inspeksi rutin dilakukan di area pergerakan pesawat?	Informan: Seperti yang saya sebutkan tadi, wajibnya dua kali sehari. Tapi bisa lebih jika ada laporan dari pilot atau setelah ada aktivitas konstruksi di dekat airside. Fleksibel saja, keselamatan nomor satu.
Pewawancara: Alat atau teknologi apa saja yang saat ini digunakan dalam inspeksi FOD dan kondisi landasan?	Informan: Sejukurnya masih sangat konvensional. Kami pakai mobil patroli, lampu sorot, dan mata telanjang. Untuk pembersihan, ya alat-alat manual seperti sapu, pengki, dan kantong untuk menampung FOD. Belum ada teknologi deteksi otomatis.
Pewawancara: Apakah ada kendala dalam penggunaan alat inspeksi yang ada saat ini, Pak?	Informan: Kendala utamanya ya keterbatasan alat itu sendiri. Lampu sorot jangkauannya terbatas, dan inspeksi sangat bergantung pada ketajaman mata personel. Jadi, untuk FOD yang kecil atau warnanya mirip aspal, itu tantangan tersendiri.
Pewawancara: Menurut Bapak, seberapa efektif penggunaan teknologi otomatisasi dalam meningkatkan efisiensi inspeksi di bandara?	Informan: Oh, sangat efektif pastinya. Otomatisasi bisa mengurangi human error, inspeksi bisa lebih konsisten dan terjadwal. Data yang didapat juga lebih objektif dan terdokumentasi secara digital, tidak hanya catatan

	tangan. Ini sangat membantu untuk pelaporan dan analisis tren.
Pewawancara: Apakah penggunaan image processing dan Convolutional Neural Network (CNN) dapat membantu dalam deteksi FOD dan kerusakan permukaan landasan?	Informan: Secara konsep, iya. Kalau ada sistem yang bisa 'melihat' dan 'mengenal' objek berbahaya secara otomatis, itu akan jadi terobosan besar. Deteksi dini retakan halus atau FOD kecil sebelum menjadi masalah besar itu sangat krusial.
Pewawancara: Fitur apa saja yang sebaiknya dimiliki oleh sebuah robot inspeksi untuk mendukung kebutuhan teknisi di lapangan?	Informan: Pertama, robotnya harus tangguh, tahan cuaca. Kedua, baterainya harus awet untuk mencakup seluruh area runway. Ketiga, yang paling penting, sistem pelaporannya harus real-time, lengkap dengan koordinat GPS lokasi temuan. Jadi kami bisa langsung tahu titiknya di mana. Dan tentu, antarmukanya harus mudah dioperasikan.
Pewawancara: Seberapa penting integrasi IoT dalam sistem pemantauan kondisi landasan secara real-time?	Informan: Sangat penting. Dengan IoT, saya sebagai supervisor bisa memantau dari kantor, tim di lapangan bisa langsung dapat notifikasi di perangkat mereka. Respons terhadap temuan jadi jauh lebih cepat. Tidak perlu lagi komunikasi radio yang kadang kurang jelas.
Pewawancara: Berdasarkan pengalaman Bapak, apa rekomendasi terbaik dalam desain robot pendeteksi FOD agar sesuai dengan kondisi operasional di bandara?	Informan: Desainnya harus kompak tapi stabil. Mungkin bisa ditambahkan lampu penanda yang terang (beacon light) agar robot mudah terlihat oleh

	kendaraan lain atau dari menara ATC. Dan yang tadi, materialnya harus kuat.
Pewawancara: Bagaimana pendapat Bapak mengenai kemungkinan implementasi prototipe ini di Bandara Radin Inten II Lampung?	Informan: Kemungkinannya sangat terbuka. Tentu perlu ada tahap uji coba yang ketat, validasi, dan penyesuaian agar bisa diintegrasikan dengan SOP kami. Tapi secara prinsip, inovasi seperti ini sangat kami dukung.
Pewawancara: Apakah ada aspek keamanan atau regulasi yang perlu diperhatikan dalam penggunaan robot inspeksi?	Informan: Pasti ada. Pengoperasian benda apapun di airside harus seizin dan terkoordinasi dengan ATC. Robot ini harus dipastikan tidak mengganggu sinyal navigasi dan komunikasinya aman. Semua harus mengacu pada regulasi keselamatan penerbangan yang berlaku, seperti CASR 139.
Pewawancara: Menurut Bapak, bagaimana cara terbaik untuk mengintegrasikan sistem ini dengan prosedur pemeliharaan yang sudah ada?	Informan: Robot ini bisa menjadi alat bantu utama untuk inspeksi tahap pertama. Hasil deteksinya menjadi dasar bagi tim untuk melakukan validasi dan tindakan di lapangan. Jadi, robot melakukan deteksi, manusia yang melakukan eksekusi. Laporan digital dari robot bisa langsung masuk ke sistem manajemen pemeliharaan kami.
Pewawancara: Terakhir, apakah ada saran tambahan untuk pengembangan prototipe ini agar lebih efektif, Pak?	Informan: Mungkin bisa dipikirkan untuk pengembangan jangka panjang, robot ini tidak hanya mendeteksi tapi juga bisa melakukan tindakan minor. Misalnya, menyembprot cat penanda

	pada retakan kecil atau mengambil FOD berukuran kecil secara otomatis. Tapi untuk tahap awal, deteksi dan pelaporan yang akurat sudah merupakan sebuah lompatan besar.
Pewawancara: Baik, Pak Liuzhiro. Semua pertanyaan sudah terjawab dengan sangat jelas. Sekali lagi terima kasih banyak atas waktu dan wawasan yang sangat berharga ini.	Informan: Sama-sama, Mas. Semoga sukses dengan Tugas Akhirnya. Kalau ada yang perlu didiskusikan lagi, jangan ragu hubungi saya.

Informan 2

Nama : Aldo Farera

Jabatan : Airport Facilities Engineer

Waktu : Kamis, 9 Januari 2025. Pukul 13.00

Waktu pembuatan hasil wawancara : Selasa, 1 Juli 2025. Pukul 14.30

Hasil wawancara :

Pertanyaan	Jawaban
Pewawancara: Selamat siang, Pak Aldo. Terima kasih sudah bersedia saya wawancarai untuk penelitian Tugas Akhir saya.	Informan: Siang, Mas. Santai saja, saya juga penasaran dengan proyek robotnya. Silakan.
Pewawancara: Baik, Pak. Bisa diceritakan bagaimana prosedur inspeksi runway yang biasa Bapak lakukan?	Informan: Prosedurnya kami keliling pakai mobil, Mas. Satu orang menyetir, satu lagi fokus melihat ke permukaan runway. Kami jalan pelan, sekitar 30-40 km/jam. Kalau ada temuan, kami berhenti, dokumentasikan, dan bersihkan kalau itu FOD.
Pewawancara: Apa tantangan paling teknis yang Bapak hadapi saat inspeksi?	Informan: Tantangan teknisnya itu mendeteksi objek yang 'menipu'. Misalnya, serpihan logam kecil atau baut yang warnanya gelap, itu susah sekali terlihat di aspal, apalagi kalau cuaca agak mendung. Atau retakan rambut (hairline crack), itu baru kelihatan kalau kita turun dan perhatikan dari dekat sekali.
Pewawancara: Seberapa sering Bapak melakukan inspeksi?	Informan: Standarnya dua kali sehari. Tapi kalau habis ada penerbangan pesawat kargo yang berat, kadang

	kami lakukan pengecekan ekstra di area touchdown zone.
Pewawancara: Alat apa saja yang jadi andalan Bapak saat ini?	Informan: Andalan utama ya mata, Mas. Hehe. Selain itu ya mobil patroli dan lampu sorotnya. Selebihnya alat-alat standar untuk bersih-bersih.
Pewawancara: Ada kendala spesifik dengan alat-alat tersebut?	Informan: Kendalanya ya itu tadi, sangat bergantung pada kondisi visual. Kalau mata lelah, atau cahaya kurang pas, pasti ada potensi terlewat. Kami tidak punya alat bantu deteksi lain.
Pewawancara: Bagaimana pandangan Bapak tentang otomatisasi untuk membantu pekerjaan ini?	Informan: Wah, kalau ada, sangat membantu sekali. Bisa mengurangi beban kerja kami yang sifatnya repetitif dan butuh konsentrasi tinggi. Waktu kami bisa lebih efisien untuk fokus pada perbaikan, bukan hanya mencari-cari.
Pewawancara: Menurut Bapak, apakah teknologi seperti image processing bisa diandalkan untuk mendeteksi kerusakan?	Informan: Sangat bisa. Kamera dengan resolusi tinggi pasti lebih 'tajam' dari mata manusia. Kalau 'otak' komputernya dilatih dengan benar untuk mengenali berbagai jenis kerusakan dan FOD, saya yakin akurasi bisa lebih konsisten daripada kami.
Pewawancara: Jika ada robot inspeksi, fitur teknis apa yang paling Bapak butuhkan?	Informan: Kamera yang resolusinya tinggi, kalau bisa ada fitur zoom. Terus, sistem GPS-nya harus presisi, sampai hitungan sentimeter kalau bisa. Dan yang penting, robotnya harus bisa dikendalikan secara manual dari jarak

	jauh jika kami perlu memeriksa area tertentu secara lebih detail.
Pewawancara: Seberapa penting IoT untuk Bapak di lapangan?	Informan: Penting, Mas. Bayangkan, robot jalan, lalu ada notifikasi masuk ke tablet yang kami bawa, isinya foto FOD, jenisnya apa, dan lokasinya di mana. Itu memotong waktu pencarian kami secara drastis.
Pewawancara: Ada masukan untuk desain robotnya, Pak?	Informan: Mungkin desainnya dibuat modular. Jadi kalau ada komponen yang rusak, misalnya kamera atau sensor, kami bisa ganti per modul saja, tidak perlu bongkar seluruh badan robot. Itu akan mempermudah perawatan.
Pewawancara: Bapak optimis prototipe seperti ini bisa diterapkan di sini?	Informan: Optimis. Selama alatnya terbukti andal setelah diuji coba, pasti akan sangat berguna. Kami di lapangan selalu terbuka dengan teknologi yang mempermudah dan meningkatkan keselamatan kerja.
Pewawancara: Dari sisi regulasi, ada yang perlu jadi perhatian?	Informan: Mungkin lebih ke teknis operasional. Robotnya harus punya jalur yang sudah ditentukan, dan kami harus bisa menghentikannya kapan saja jika ada kondisi darurat. Koordinasi dengan ATC itu wajib.
Pewawancara: Bagaimana robot ini bisa masuk ke alur kerja Bapak sehari-hari?	Informan: Robotnya bisa jalan duluan sebelum kami patroli. Jadi saat kami patroli, kami sudah punya 'peta' temuan dari si robot. Kami tinggal

	datangi titik-titik itu untuk validasi dan eksekusi. Efisien sekali.
Pewawancara: Ada saran lain untuk pengembangan robot ini, Pak?	Informan: Kalau bisa, kameranya jangan cuma satu di depan. Mungkin ada kamera samping juga untuk melihat kondisi bahu runway. Dan kalau bisa tahan guncangan, karena permukaan runway tidak selamanya mulus.
Pewawancara: Siap, Pak Aldo. Masukan yang sangat teknis dan bermanfaat. Terima kasih banyak atas waktunya.	Informan: Oke, Mas Alamsyah. Sama-sama. Ditunggu kabar baiknya soal robotnya.

Informan 3

Nama : Budi Santoso

Jabatan : Airport Facilities Engineer

Waktu : Kamis, 9 Januari 2025. 10.00

Waktu pembuatan hasil wawancara : Selasa, 1 Juli 2025. Pukul 14.30

Hasil wawancara :

Pertanyaan	Jawaban
Pewawancara: Selamat pagi, Pak Budi. Saya Alamsyah, izin mewawancarai Bapak sebentar untuk data Tugas Akhir saya.	Informan: Pagi, Mas. Iya, silakan. Mau tanya soal apa ini?
Pewawancara: Terkait proses inspeksi runway, Pak. Bagaimana prosedur yang biasa Bapak jalankan?	Informan: Prosedurnya ya kami keliling, Mas. Pagi dan siang. Yang paling krusial itu yang pagi, karena harus memastikan runway benar-benar steril sebelum ada pesawat yang mendarat atau lepas landas.
Pewawancara: Apa tantangan terberat yang Bapak rasakan selama melakukan inspeksi?	Informan: Tantangan terberat itu tekanan waktu, apalagi kalau jadwal penerbangan sedang padat. Waktu yang diberikan untuk inspeksi (runway inspection time) itu terbatas. Kami harus bekerja cepat tapi juga harus teliti. Kadang ada dilema di situ. Dan ya, risiko berada di area manuver pesawat itu selalu ada.
Pewawancara: Frekuensi inspeksinya selalu sama, Pak?	Informan: Pada dasarnya iya, dua kali sehari. Tapi kami selalu siaga. Kalau ada laporan cuaca buruk atau ada kejadian khusus, kami langsung turun lagi untuk pengecekan tambahan.

Pewawancara: Alat bantu yang digunakan apa saja, Pak?	Informan: Masih manual semua, Mas. Mobil, senter besar kalau malam, dan alat kebersihan. Belum ada yang canggih-canggih.
Pewawancara: Ada kendala dengan alat-alat itu?	Informan: Kendalanya ya karena manual, jadi hasilnya bisa beda-beda tergantung siapa yang inspeksi hari itu. Tingkat ketelitian orang kan beda-beda.
Pewawancara: Bagaimana jika ada teknologi otomatisasi seperti robot untuk membantu inspeksi?	Informan: Wah, itu bagus sekali. Bisa menstandarkan hasil inspeksi. Siapapun operatornya, hasil deteksi robot kan akan sama. Selain itu, bisa mengurangi risiko personel di lapangan. Itu nilai plus yang besar.
Pewawancara: Apakah Bapak percaya teknologi image processing bisa akurat?	Informan: Saya percaya. Teknologi sekarang sudah canggih. Asalkan datanya lengkap, gambar FOD dan kerusakan dari berbagai kondisi (siang, malam, basah, kering) dimasukkan semua untuk melatih sistemnya, saya yakin hasilnya bisa sangat akurat.
Pewawancara: Fitur apa yang paling Bapak harapkan dari robot semacam itu?	Informan: Selain deteksi, saya harap ada sistem peringatan dini yang bagus. Misalnya, kalau robot mendeteksi objek logam yang sangat berbahaya, alarm atau notifikasinya harus beda dan lebih prioritas. Jadi kami bisa langsung tanggap.
Pewawancara: Pentingkah integrasi IoT menurut Bapak?	Informan: Penting sekali. Biar semua terhubung. Data dari robot bisa

	langsung diakses oleh semua pihak terkait, dari tim kami, supervisor, sampai mungkin ke unit lain yang membutuhkan. Jadi alur informasinya cepat.
Pewawancara: Ada saran untuk desain robotnya agar praktis digunakan?	Informan: Dibuat simpel saja, jangan terlalu banyak tombol atau pengaturan yang rumit. Ada mode otomatis yang bisa langsung jalan dengan satu kali klik, itu akan sangat praktis untuk kami di lapangan.
Pewawancara: Bapak melihat ini mungkin untuk diterapkan di sini?	Informan: Sangat mungkin. Bandara kita terus berkembang, sudah saatnya kita juga mengadopsi teknologi untuk meningkatkan efisiensi dan keselamatan.
Pewawancara: Dari sisi regulasi, ada yang perlu diperhatikan?	Informan: Sama seperti yang lain, izin dari ATC itu mutlak. Robot tidak boleh jadi 'FOD' baru. Hehe. Jadi sistem keamanannya harus berlapis.
Pewawancara: Bagaimana robot ini bisa diintegrasikan ke dalam rutinitas Bapak?	Informan: Robot ini bisa jadi 'mata pertama' kami. Dia jalan, mengumpulkan data, lalu kami tindak lanjuti. Ini akan mengubah cara kerja kami menjadi lebih berbasis data, bukan hanya feeling atau kebiasaan.
Pewawancara: Terakhir, ada saran tambahan untuk pengembangan prototipe ini?	Informan: Mungkin untuk masa depan, bisa dikembangkan kemampuan untuk mendeteksi genangan air (water ponding) dan mengukur kedalamannya. Itu juga

	salah satu bahaya di runway yang sering kami periksa secara manual.
Pewawancara: Ide yang sangat bagus, Pak. Akan saya catat. Terima kasih banyak atas waktu dan masukannya, Pak Budi.	Informan: Oke, sama-sama, Mas. Semoga lancar penelitiannya.

Lampiran I Lembar Instrumen Penelitian dan Validasi Instrumen

LEMBAR VALIDASI AHLI UNTUK INSTRUMEN WAWANCARA

A. Pengantar

Formulir ini bertujuan untuk memvalidasi "Lembar Instrumen Wawancara" yang telah disusun untuk penelitian berjudul "Rancang Bangun Robot Inspeksi Runway Berbasis YOLOv11". Penilaian dari Bapak/Ibu selaku ahli sangat dibutuhkan untuk memastikan bahwa instrumen ini mampu menggali informasi yang mendalam, relevan, dan valid dari narasumber sesuai dengan tujuan penelitian.

B. Petunjuk Pengisian

Mohon berikan penilaian pada setiap aspek dengan memberikan nilai pada kolom skor yang paling sesuai. Skor penilaian memiliki kriteria sebagai berikut:

(✓) = Sangat Sesuai / Sangat Jelas

(X) = Tidak Sesuai / Tidak Jelas

Mohon berikan komentar atau saran perbaikan pada kolom yang telah disediakan di akhir formulir.

C. Aspek Penilaian Instrumen

No.	Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Penilaian
1	Kesesuaian dengan Tujuan (Relevansi)	Topik dan pertanyaan wawancara sudah sesuai untuk menggali informasi tentang masalah inspeksi runway dan kebutuhan inspeksi. Pertanyaan mampu menggali informasi yang tidak dapat diperoleh melalui observasi (misalnya prosedur, pengalaman, saran).	✓ ✓
2	Struktur dan Alur Pertanyaan	Cara pengalihan pertanyaan dari kondisi di lapangan ke kebutuhan sudah logis dan mengalir dengan baik. Pertanyaan disusun dari yang umum ke yang lebih spesifik untuk memudahkan narasumber menjawab.	✓ ✓

LEMBAR VALIDASI AHLI UNTUK INSTRUMEN STUDI DOKUMENTASI

A. Pengantar

Formulir ini bertujuan untuk memvalidasi "Lembar Instrumen Studi Dokumentasi" yang telah disusun untuk penelitian berjudul "Rancang Bangun Robot Inspeksi Runway Berbasis YOLOv11". Penilaian dari Bapak/Ibu selaku ahli sangat dibutuhkan untuk memastikan bahwa instrumen ini mampu memandu pengumpulan dokumen yang relevan dan komprehensif.

B. Petunjuk Pengisian

Mohon berikan penilaian pada setiap aspek dengan memberikan nilai pada kolom skor yang paling sesuai. Skor penilaian memiliki kriteria sebagai berikut:

(✓) = Sangat Sesuai / Sangat Jelas

(X) = Tidak Sesuai / Tidak Jelas

Mohon berikan komentar atau saran perbaikan pada kolom yang telah disediakan di akhir formulir.

C. Aspek Penilaian Instrumen

No.	Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Penilaian
1	Kesesuaian dengan Tujuan (Relevansi)	Aspek dan jenis dokumen yang dicari sudah relevan untuk mendukung analisis masalah penelitian. "Data yang Dibutuhkan" dari setiap dokumen sesuai dengan informasi yang dibutuhkan untuk penelitian.	✓ ✓
2	Kelengkapan (Komprehensif) Kejelasan dan Struktur	Instrumen telah mencakup kategori dokumen yang esensial (Prosedur, Laporan, Data Pendukung) untuk mendapatkan gambaran menyeluruh. Pembagian kategori/aspek dalam instrumen sudah jelas dan logis.	✓ ✓

3	Kejelasan dan Bahasa (Klaritas)	Pertanyaan menggunakan bahasa yang jelas, tidak ambigu, dan mudah dipahami oleh narasumber (eksternal/praktisi). Pertanyaan bersifat terbuka dan tidak membatasi jawaban narasumber.	✓ ✓
4	Kelengkapan (Komprehensif)	Instrumen telah mencakup semua aspek informasi penting yang dibutuhkan untuk penelitian (prosedur, tantangan, kebutuhan, saran).	✓

D. Komentar / Saran Umum Validator

Mohon tuliskan komentar atau saran Anda mengenai kekurangan atau perbaikan yang diperlukan pada instrumen wawancara ini.

Sudah sesuai dan logis. Struktur pertanyaan, bahasa, dan alur.

E. Kesimpulan Validator

Berdasarkan penilaian di atas, maka "Lembar Instrumen Wawancara" ini dinyatakan:

- Layak digunakan.
- Tidak Layak digunakan.

2025

Validator,

(Handwritten Signature)
NIP./ Jabatan: Handwritten

3	Kejelasan dan Struktur	Pembagian kategori/aspek dalam instrumen sudah jelas dan logis. Bahasa yang digunakan dalam instrumen mudah dipahami dan tidak ambigu.	✓ ✓
4	Sistematis	Instrumen ini menyediakan kerangka kerja yang sistematis untuk proses pengumpulan dan pencatatan data dari berbagai dokumen.	✓

D. Komentar / Saran Umum Validator

Mohon tuliskan komentar atau saran Anda mengenai kekurangan atau perbaikan yang diperlukan pada instrumen studi dokumentasi ini.

Sudah logis dan telah disesuaikan ke kategori sebelumnya.

E. Kesimpulan Validator

Berdasarkan penilaian di atas, maka "Lembar Instrumen Studi Dokumentasi" ini dinyatakan:

- Layak digunakan.
- Tidak Layak digunakan.

2025

Validator,

(Handwritten Signature)
NIP./ Jabatan: Handwritten

LEMBAR VALIDASI AHLI UNTUK INSTRUMEN OBSERVASI

A. Pengantar

Formula ini bertujuan untuk memvalidasi "Lembar Instrumen Observasi" yang telah disusun untuk penelitian berjudul "Rancang Bangun Robot Inspeksi Runway Berbasis YOLOv11". Penilaian dari Bepel/Inj ini akan sangat dibantu untuk memastikan bahwa instrumen ini mampu menghasilkan data yang relevan, valid, dan komprehensif sesuai dengan tujuan penelitian.

B. Petunjuk Pengisian

Mohon berikan penilaian pada setiap aspek dengan memberikan nilai pada kolom skor yang paling sesuai. Skor penilaian memiliki kriteria sebagai berikut:
(+) = Sangat Sesuai / Sangat Ideal
(0) = Tidak Sesuai / Tidak Ideal
Mohon berikan komentar atau saran perbaikan pada kolom yang telah disediakan di akhir formulir.

C. Aspek Penilaian Instrumen

No.	Aspek Penilaian	Indikator Penilaian	Penilaian
1	Kecukupan dan Relevansi	Aspek-aspek observasi (Prosedur, Persiapan, Tindakan, dll.) sudah relevan dengan tujuan penelitian untuk mengidentifikasi masalah pada inspeksi manual. Indikator dan pertanyaan pendahuluan pada setiap aspek mampu menggali data yang dibutuhkan untuk justifikasi penggunaan robot.	✓
2	Kelengkapan Isi (Komprehensif)	Instrumen telah mencakup semua aspek penting yang perlu diawasi dari proses inspeksi manual di lapangan.	✓

K. Kelempaan Validator

Berdasarkan penilaian di atas, maka "Lembar Instrumen Observasi" ini dinyatakan: *Lengkap* *tidak ada*.

a. Layak digunakan.

b. Tidak layak digunakan.

Validasi, _____ 2025


NIP: 81200120190010001

		Bagian "Informasi Umum" sudah cukup untuk mendokumentasikan konteks observasi (waktu, cuaca, lokasi).	✓
3	Kelengkapan dan Bahasa (Klaritas)	Pertanyaan pendahuluan dan indikator dalam instrumen menggunakan bahasa yang jelas, lugas, dan mudah dipahami. Format dan tata letak instrumen mudah untuk dibaca dan diisi oleh pengamat (observer).	✓
4	Kepastian Penggunaan	Instrumen ini praktis dan efisien untuk digunakan saat melakukan pengamatan langsung di lapangan yang dinamis.	✓

D. Komentar / Saran

Mohon tuliskan komentar atau saran Anda mengenai kekurangan atau perbaikan yang diperlukan pada instrumen observasi ini.

Revisi sesuai dan lengkap, instrumen ini sudah lengkap.

LEMBAR INSTRUMEN OBSERVASI

A. Informasi Umum

Variabel : Ketersediaan
Lokasi Observasi : Bandar Udara Radin Inten II Lampung
Tanggal Observasi : 15 Oktober 2024
Waktu Observasi : Sesi Pagi (05.00 WIB) / Sesi Siang (13.00 WIB)
Kondisi Cuaca : Sesi Pagi: Berawan, Sesi Siang: Cerah
Observer : M. Alamyah
Personel yang Diobservasi : 2 Teknisi Unit Infrastruktur (IF)

B. Aspek yang Diobservasi

No.	Aspek Observasi	Indikator / Pertanyaan Pendahuluan	Deskripsi Hasil Observasi	Catatan / Dokumentasi
1	Prosedur dan Aler Kerja Inspeksi	- Bagaimana alur kerja inspeksi dari awal hingga akhir? - Berapa lama durasi total inspeksi? - Berapa jumlah personel yang terlibat dalam satu sesi? - Apa saja titik-titik krusial yang menjadi fokus utama pemeriksaan?	Alur kerja dimulai dengan persiapan kendaraan patroli. Tim yang terdiri dari 2 orang (1 pengemudi, 1 observer) menyusuri centerline runway. Pemeriksaan dilakukan secara visual dari dalam kendaraan yang bergerak lambat. Tim berhenti di beberapa titik krusial seperti touchdown zone dan aiming point untuk pemeriksaan lebih detail. Setiap temuan dicatat dalam logbook dan difoto. Durasi inspeksi pagi sekitar 15-20 menit, sementara sesi siang	

			lebih singkat (sekitar 10 menit) karena hanya spot-check.	
2	Peralatan yang Digunakan	- Jenis kendaraan apa yang digunakan untuk patroli? - Jenis peralatan pencatatan apa yang digunakan (terutama saat inspeksi pagi)? - Alat apa yang digunakan untuk mencatat dan melaporkan temuan? - Alat apa yang digunakan untuk memberikan FOD secara langsung?	Kendaraan yang digunakan adalah mobil maintenance unit Infrastruktur. Untuk inspeksi pagi hari, pencatatan utama berasal dari lampu sorot kendaraan (identifikasi sebagai lampu halogen 2x35 W). Pencatatan temuan menggunakan formulir cetak konvensional dan belum ada teknologi digital atau otomatis yang digunakan.	
3	Tantangan dan Keterbatasan	- Apakah ada area yang sulit dijangkau atau luput dari pengamatan? - Bagaimana pengaruh kondisi cuaca terhadap efektivitas inspeksi?	Sangat terasa bahwa area di sisi kiri dan kanan kendaraan menjadi blind spot, terutama saat inspeksi pagi yang masih gelap. Efektivitas sangat bergantung pada jangkauan lampu sorot. Teknis mengakui bahwa saat hujan atau berkabut, jarak pandang menurun drastis. Potensi human error sangat tinggi; kelelahan dan fokus yang	Ketegangan pada faktor manusia dan kondisi lingkungan sangat dominan.

		- Apakah ada potensi human error yang teridentifikasi selama proses? - Apa kendala utama yang disebabkan oleh teknis saat bertugas?	terbagi antara mengamati dan mencatat bisa menyebabkan objek kecil terlewat. Kendala utama yang sering dihadapi adalah tekanan waktu karena harus menyelesaikan inspeksi sebelum penerbangan pertama.	
4	Jenis Temuan	- Jenis FOD apa saja yang paling sering ditemukan? - Jenis kerusakan permukaan apa yang teridentifikasi? - Apakah ada prosedur keselamatan apa yang diterapkan untuk teknis selama berada di runway? - Apakah ada risiko potensial?	Selama sesi observasi, ditemukan 1 ekor bangkai burung di dekat bahu runway. Teknis menyebutkan bahwa ini adalah jenis FOD yang paling sering ditemukan akibat jet blast. Untuk kerusakan, teridentifikasi beberapa area tambahan (patching) yang sudah ada sebelumnya dan beberapa retakan halus (effigator crack) di dekat tepi perkerasan.	Data temuan historis (Tabel IVA & IVJ) mengonfirmasi bahwa bangkai burung dan kerusakan jenis weathering & patching adalah yang paling umum.
5	Aspek Keselamatan Personel		Teknis selalu berkoordinasi dengan menara ATC melalui radio sebelum memasuki runway. Mereka juga menggunakan rumple keselamatan visibilitas tinggi. Namun, risiko tetap ada, terutama saat mereka harus mencari lokasi inspeksi	

CS Dipindai dengan CamScanner

CS Dipindai dengan CamScanner

		bagi personel selama melakukan inspeksi?	turun dari kendaraan untuk memberikan FOD di tengah kondisi pencatatan yang minim. Risiko terlewat kendaraan layanan darat lain atau bahkan pesawat (dalam skenario runway incursion) menjadi perhatian utama.	Jarak jauh atau otomatis.
--	--	--	--	---------------------------

C. Catatan Tambahan dan Kesimpulan Awal Observer

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Sisa 13 Oktober 2024

Observer
M. Alamsyah

LEMBAR INSTRUMEN DOKUMENTASI

A. Informasi Umum

Nama Peneliti : M. Alamsyah
 Periode Pengumpulan Data : Oktober 2024 – Januari 2025
 Sumber Dokumen : Unit Infrastruktur

B. Tujuan Instrumen

Instrumen ini digunakan sebagai panduan untuk mengumpulkan, mengidentifikasi, dan menganalisis dokumen-dokumen yang relevan dengan proses inspeksi, pemeliharaan, dan kondisi runway. Tujuannya adalah untuk mendapatkan data kuantitatif dan kualitatif yang objektif mengenai praktik yang ada dan masalah yang sering terjadi.

C. Aspek dan Jenis Dokumen yang Diteliti

No.	Aspek yang Diteliti	Jenis Dokumen yang Diteliti	Data yang Diharapkan	Checklist (✓)	Catatan / Rekomendasi
1	Prosedur dan Regulasi Standar	- Standard Operating Procedure (SOP) Inspeksi Runway. - Manual Standar Pemeliharaan Bandara. - Peraturan Keselamatan Penerbangan terkait FOD dan Kondisi Runway.	Alur kerja resmi, frekuensi, dan standar keselamatan yang berlaku.	✓	

CS Dipindai dengan CamScanner

CS Dipindai dengan CamScanner

2	Laporan Temuan Rutin	- Laporan Harian/Harian Temuan FOD; - Laporan Kerusakan Perkerasan (misal: data PCI dari APMS); - Logbook Kegiatan Pemeliharaan Harian.	Jumlah, jenis, dan tren temuan FOD; Jenis dan lokasi kerusakan; Tindakan perbaikan yang telah dilakukan.	✓	
3	Data Pendukung Lainnya	- Data Statistik Lalu Lintas Pesawat; - Laporan terkait insiden atau penundaan penerbangan yang disebabkan oleh kondisi runway; - Dokumentasi foto/video temuan FOD atau kerusakan sebelumnya.	Data kuantitatif mengenai beban operasional; Bukti dampak masalah runway terhadap operasional.	✓	

D. Kesimpulan Analisis Dokumen
