



ANALISIS PENURUNAN KINERJA *BOOSTER PUMP* PADA SISTEM BAHAN BAKAR KAPAL

Oleh

Roberto Piere Manuputty¹, Carles Yerid Absalom Nalle², Filemon³, Ryan Puby Sumarta⁴

*Politeknik Pelayaran Sorong¹, Politeknik Pelayaran Sorong²,
Politeknik Pelayaran Sorong³, Politeknik Pelayaran Sorong⁴*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab penurunan kinerja *booster pump* pada sistem bahan bakar kapal dan merumuskan strategi peningkatan keandalannya. Metode yang digunakan adalah observasi langsung serta wawancara dengan masinis dan kepala kamar mesin (KKM) untuk mengidentifikasi gangguan teknis, prosedural, dan pemeliharaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kinerja pompa disebabkan oleh kebocoran *seal*, *shaft* bengkok, *overheating* elektromotor, serta kondisi pelayaran *trim by bow* yang memperburuk kestabilan aliran bahan bakar. Selain itu, lemahnya implementasi *Plant Maintenance System* (PMS), kurangnya pengawasan jam kerja komponen, dan minimnya pelatihan teknis juga berkontribusi terhadap tingginya frekuensi kerusakan. Penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan kinerja *booster pump* tidak hanya dipengaruhi faktor teknis, tetapi juga kelemahan sistemik pada aspek manajerial dan sumber daya manusia.

Kata kunci: Penurunan Kinerja, *Booster Pump*, Bahan Bakar, Kapal

1. PENDAHULUAN

Sistem permesinan kapal merupakan komponen krusial dalam menunjang kelancaran operasional pelayaran. Keandalan mesin utama sangat ditentukan oleh berfungsi seluruh subsistem pendukung, salah satunya sistem distribusi bahan bakar. Sistem ini berperan dalam memastikan suplai bahan bakar berjalan lancar menuju mesin, dengan tekanan dan suhu yang sesuai untuk menjaga performa pembakaran dan daya dorong kapal. Komponen-komponen dalam sistem bahan bakar, seperti filter dan saluran distribusi, dikenal sangat rentan terhadap kerusakan, terutama kebocoran dan

penyumbatan, yang dapat menyebabkan gangguan signifikan hingga penghentian total mesin utama (Almqvist et al., 2023; Brocken, 2016; Islam et al., 2019; Stenger & Richey, 1972).

Dalam sistem bahan bakar, *booster pump* memiliki peran vital dalam meningkatkan tekanan bahan bakar dari tangki menuju pompa tekanan tinggi atau langsung ke mesin induk. Pompa ini memastikan bahan bakar tersedia dalam jumlah dan tekanan yang cukup agar tidak terjadi kavitasi maupun gangguan suplai (Nanthakumar et al., 2013; Timushev & Frolov, 2021; Zhang et al., 2018). Kegagalan

pada *booster pump* dapat menyebabkan penurunan efisiensi pembakaran, gangguan mesin utama, dan penghentian operasional kapal (Alavi-Shoushtari et al., 2012, 2013; Qiao et al., 2021). Studi juga menunjukkan bahwa *booster pump* merupakan salah satu komponen paling rentan dalam sistem bahan bakar dengan nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) rendah (Buswan et al., 2020; Dwisetiono & Asmara, 2022).

Permasalahan teknis yang umum terjadi pada *booster pump* antara lain adalah kebocoran *seal*, *overheating* elektromotor, serta kerusakan mekanis seperti poros bengkok dan keausan *bearing*, yang sering disebabkan oleh korosi, beban aksial berlebih, pelumasan yang buruk, atau kontaminasi partikel (Choi et al., 2019; Deulgaonkar et al., 2021; Gritsenko et al., 2021; Kaliyanda, 2024; Kwak, 2020; Sujata et al., 2014). Salah satu penyebab teknis yang sering diabaikan adalah kondisi pelayaran yang tidak stabil, seperti *trim by bow* atau pitching ekstrem, yang menyebabkan fluktuasi aliran dan tekanan hisap, peningkatan getaran, pembentukan vortex, dan kerusakan struktur pompa secara progresif (Cao et al., 2017; Yuan et al., 2023).

Kondisi tersebut diperburuk oleh lemahnya implementasi sistem pemeliharaan, baik preventif, korektif, maupun prediktif. Banyak kerusakan pada *booster pump* terjadi karena tidak dilakukan perawatan rutin, tidak adanya pengawasan terhadap jam kerja mesin (*running hours*), dan kesalahan dalam pemasangan suku cadang (Azhari et al., 2024; Putra et al., 2024). Studi menunjukkan bahwa pengurangan interval perawatan dari 8.000 menjadi 4.000 jam dapat meningkatkan keandalan sistem hingga 95% (Knežević et al., 2022). Kurangnya inspeksi visual dan dokumentasi *log* pemeliharaan turut menyulitkan proses identifikasi dini terhadap potensi kerusakan (Duffuaa & Haroun, 2009; Kaliyanda, 2024).

Selain aspek teknis, aspek sumber daya manusia juga berkontribusi signifikan terhadap keandalan sistem. Minimnya pemahaman terhadap prosedur standar dan manual peralatan dapat meningkatkan risiko kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan (Chauhan et al., 2023; Maturana et al., 2021; Zarei et al., 2021). Hal ini menunjukkan pentingnya pelatihan, sertifikasi teknis, dan pemahaman prosedural oleh operator mesin kapal.

Sayangnya, banyak kapal niaga masih mengandalkan sistem pemeliharaan tradisional yang tidak adaptif terhadap dinamika kerusakan komponen modern. Strategi reaktif dalam penggantian suku cadang justru menimbulkan pemborosan, peningkatan downtime, serta risiko keselamatan yang lebih tinggi (Akyuz & Celik, 2017; Golovan, 2023; Karatuğ & Arslanoğlu, 2022; Lazakis et al., 2018). Tanpa sistem *Plant Maintenance System* (PMS) yang terstruktur dan berbasis data, kerusakan berulang akan terus terjadi dan menurunkan efisiensi operasi kapal.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis faktor-faktor teknis, operasional, dan manajerial yang menyebabkan penurunan kinerja pompa bahan bakar bantu. Penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi strategi perawatan dan pencegahan kerusakan berdasarkan temuan di lapangan dan pendekatan keandalan mesin, agar dapat mendukung efisiensi operasional dan keselamatan pelayaran secara menyeluruh.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan pada pompa bahan bakar bantu (*booster pump*) serta menganalisis faktor-faktor teknis dan operasional yang memengaruhi kinerja sistem bahan bakar kapal. Metode ini dipilih untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai hubungan antara pola pemeliharaan, praktik operasional, dan kerusakan mekanis yang terjadi. Data dikumpulkan melalui tiga teknik utama, yaitu observasi lapangan, wawancara langsung, dan dokumentasi teknis. Observasi dilakukan dengan fokus pada gejala teknis kerusakan seperti kebocoran, getaran berlebih, panas berlebihan pada elektromotor, serta kondisi komponen seperti ring gear dan shaft. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur dengan masinis dan kepala kamar mesin untuk menggali informasi terkait pelaksanaan perawatan, penerapan *Plant Maintenance System* (PMS), dan kendala pengoperasian *booster pump*. Dokumentasi pendukung seperti *logbook* mesin, jadwal perawatan, dan catatan kerusakan dianalisis untuk memperkuat temuan. Data yang diperoleh dianalisis secara induktif dengan teknik reduksi data, penyajian

data, dan penarikan kesimpulan sebagaimana dijelaskan oleh Miles dan Huberman. Analisis dilakukan dengan membandingkan kondisi aktual di lapangan dengan standar prosedur perawatan dan manual pabrikan. Fokus utama analisis diarahkan pada penyebab teknis kerusakan pompa, pola perawatan yang tidak konsisten, serta dampak kesalahan prosedur pemasangan terhadap sistem bahan bakar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang dilakukan di atas kapal TB. Patra Tunda 4201 menemukan bahwa penurunan kinerja pompa bahan bakar bantu (*booster pump*) disebabkan oleh kombinasi faktor teknis, operasional, dan kelemahan dalam sistem pemeliharaan. *Booster pump* yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan bahan bakar dari tangki menuju pompa tekanan tinggi atau langsung ke mesin induk memiliki peran krusial dalam menjaga kesinambungan suplai bahan bakar dengan tekanan dan suhu optimal (Nanthakumar et al., 2013; Timushev & Frolov, 2021; Zhang et al., 2018).

Kerusakan paling umum yang ditemukan pada *booster pump* adalah kebocoran akibat keausan pada *mechanical seal*, poros (*shaft*) yang bengkok, serta *overheating* pada elektromotor (*elmot*). Kerusakan ini diperparah oleh kondisi pelayaran *trim by bow*, yang menyebabkan distribusi aliran bahan bakar tidak merata, tekanan hisap menurun, dan getaran mekanis meningkat. Studi terdahulu menunjukkan bahwa gerakan pitching ekstrem dapat menyebabkan penurunan signifikan pada tekanan pompa dan pembentukan vortex yang merusak struktur internal pompa (Cao et al., 2017; Yuan et al., 2023).

Permasalahan kebocoran juga disebabkan oleh korosi dan ausnya komponen internal seperti *plunger* dan *spring*, yang jika tidak ditangani secara preventif akan menyebabkan hilangnya tekanan dan gangguan suplai bahan bakar (Deulgaonkara et al., 2019; Park, 2002; Sujata et al., 2014). Sementara itu, *overheating* elektromotor merupakan konsekuensi dari beban kerja berlebih dan ventilasi yang buruk, yang dapat merusak *winding* dan komponen internal *elmot* (Choi et al., 2019; Kwak, 2020).

Pelumasan yang buruk serta kontaminasi partikel turut mempercepat keausan pada *bearing*, menyebabkan getaran, dan akhirnya

menurunkan keandalan sistem pompa (Gritsenko et al., 2021; Kaliyanda, 2024). Semua kerusakan tersebut sebenarnya dapat dicegah melalui implementasi sistem pemeliharaan terjadwal berbasis *Plant Maintenance System* (PMS). Namun, dalam praktiknya, sistem ini tidak berjalan secara konsisten di atas kapal. Banyak pompa tidak diperiksa sesuai jadwal, dan pengawasan terhadap jam kerja komponen (*running hours*) tidak dilakukan. Padahal, penyesuaian interval pemeliharaan dari 8.000 ke 4.000 jam dapat meningkatkan keandalan pompa hingga 95% (Knežević et al., 2022).

Selain itu, 54% teknisi diketahui tidak mengikuti protokol *predictive maintenance*, sehingga peluang terjadinya kegagalan dini semakin tinggi (Azhari et al., 2024). Kurangnya inspeksi visual berkala dan dokumentasi *log* perawatan membuat deteksi dini kerusakan tidak dapat dilakukan secara sistematis (Duffuaa & Haroun, 2009; Kaliyanda, 2024). Hal ini berkontribusi terhadap tingginya biaya perawatan reaktif dan waktu henti kapal yang berdampak pada operasional.

Faktor sumber daya manusia (SDM) juga memainkan peran penting. Wawancara dengan masinis dan kepala kamar mesin (KKM) mengungkapkan bahwa sebagian besar teknisi belum sepenuhnya memahami manual peralatan dan prosedur standar. Minimnya pelatihan teknis menyebabkan kesalahan dalam pemasangan suku cadang, *misalignment*, serta peningkatan vibrasi sistem (Chauhan et al., 2023; Maturana et al., 2021; Zarei et al., 2021).

Kerusakan pada *booster pump* tidak hanya berdampak teknis, tetapi juga berdampak langsung pada operasional dan finansial perusahaan. Kapal tertunda keberangkatannya, pengiriman barang terlambat, dan penggantian suku cadang seperti *ring gear* dan *elmot* menambah beban biaya. Kerugian ini sebenarnya dapat ditekan melalui perawatan rutin dan pelatihan teknis. Namun, banyak kapal niaga masih menerapkan pendekatan pemeliharaan reaktif, yang terbukti tidak efisien dan berisiko tinggi (Akyuz & Celik, 2017; Golovan, 2023; Karatuğ & Arslanoğlu, 2022; Lazakis et al., 2018).

Sistem PMS tradisional pun memiliki kelemahan karena terlalu bergantung pada

keandalan manusia, yang rawan terjadi kesalahan dalam inspeksi dan pengambilan keputusan (Kandemir & Celik, 2020). Tanpa sistem pemeliharaan berbasis data yang terstruktur, kerusakan berulang akan terus terjadi. Oleh karena itu, penguatan implementasi PMS, peningkatan pelatihan teknis, dan pengelolaan data pemeliharaan menjadi prioritas untuk mengoptimalkan keandalan *booster pump* dan efisiensi sistem bahan bakar secara keseluruhan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penurunan kinerja *booster pump* pada kapal disebabkan oleh faktor teknis seperti keausan *seal*, *shaft* bengkok, dan *overheating* elektromotor, yang diperburuk oleh kondisi pelayaran tidak stabil (*trim by bow*). Ketidakteraturan dalam penerapan sistem pemeliharaan berbasis *Plant Maintenance System* (PMS), pengawasan jam operasi, serta kurangnya pemahaman teknis operator turut mempercepat kerusakan. Aspek manajerial dan sumber daya manusia, terutama dalam hal pelatihan, inspeksi, dan dokumentasi pemeliharaan, juga berkontribusi terhadap kegagalan sistem dan tingginya biaya operasional akibat penggantian suku cadang yang seharusnya dapat dicegah. Diperlukan penerapan PMS yang disiplin dan berbasis data, disertai pelatihan berkala kepada teknisi tentang pemasangan dan pemeliharaan pompa sesuai manual. Pengawasan terhadap *running hours* harus diperketat, dan inspeksi visual wajib dilakukan secara terstruktur. Selain itu, dokumentasi *log* operasional harus dilaksanakan sebagai dasar analisis perbaikan berkelanjutan untuk menghindari kerugian teknis dan finansial lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Akyuz, E., & Celik, M. (2017). Using of A'WOT to design an enhanced planned maintenance system (E-PMS) on-board ship. *Brodogradnja*, 68(1), 61–75. <https://doi.org/10.21278/brod68104>
- Alavi-Shoushtari, A., Mousavi, S. M., & Azimi-Yancheshmeh, D. (2012). Failure Analyses of Damaged Booster Pumps in a Power Plant. *Advanced Materials Research*, 378–379, 610–613. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.378-379.610>
- Alavi-Shoushtari, A., Ranjbar, K., Mousavi, S. M., & Azimi Yancheshmeh, D. (2013). Study on failure analyses and material characterizations of a damaged booster pump. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 13(4), 489–495. <https://doi.org/10.1007/s11668-013-9704-3>
- Almquist, E. T., McCoy, T. J., Olson, S. A., Kerkmaz, A., Williamson, M., & Zayko, H. (2023). Hardware Modeling of Diesel Engine Fuel System Failure Modes and Coupled Shipboard Dynamics. 2023 *IEEE Electric Ship Technologies Symposium, ESTS 2023*, 290–298. <https://doi.org/10.1109/ESTS56571.2023.10220505>
- Azhari, H., Ganap, J. G., & Nisah, F. A. (2024). Analisis Perawatan Mesin Kapal dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) di PT Jasa Armada Indonesia Tbk. *Industrika : Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 8(2), 407–417. <https://doi.org/10.37090/indstrk.v8i2.1261>
- Brocken, E. M. (2016). *Improving The Reliability Of Ship Machinery: A Step Towards Unmanned Shipping* [the Delft University of Technology]. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:54a835fe-4b47-4827-8cd3-811b48b5a7ec>
- Buswan, Fachruddin, I., & Genda. (2020). Optimalisasi Pengoperasian Pompa Bahan Bakar Bertekanan Tinggi Terhadap Kelancaran Operasional Motor Bantu di MT. Soechi Anindya. *Prosiding Seminar Pelayaran Dan Teknologi Terapan*, 2(1), 140–147. <https://doi.org/10.36101/pcsa.v2i1.135>
- Cao, P., Wang, Y., Kang, C., Li, G., & Zhang, X. (2017). Investigation of the role of non-uniform suction flow in the performance of water-jet pump. *Ocean Engineering*, 140, 258–269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.05.034>
- Chauhan, A., Golestani, N., Yazdi, M., Njue, J. C. W., Abbassi, R., & Salehi, F. (2023). A novel integrated methodology for human reliability assessment in hydrogen fuelling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(34), 12917–12933.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.12.181>
- Choi, H., Kim, T.-K., Heo, G.-R., Sung-Dae, C., & Hur, J.-W. (2019). Study of Fuel Pump Failure Prognostic Based on Machine Learning Using Artificial Neural Network. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 18(9), 52–57. <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2019.18.9.052>
- Deulgaonkar, V., Joshi, K., Jawale, P., Bhutada, S., & Fernandes, S. (2021). Failure Analysis of Timing Device Piston and Supply Pump Vanes in Fuel Injection System for Transport Utility Vehicles. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 21(1), 172–178. <https://doi.org/10.1007/s11668-020-01052-z>
- Deulgaonkara, V. R., Pawarb, K., Kudleb, P., Raverkara, A., & Rautc, A. (2019). Failure analysis of fuel pumps used for diesel engines in transport utility vehicles. *Engineering Failure Analysis*, 105, 1262–1272. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.07.048>
- Duffuaa, S. O., & Haroun, A. E. (2009). Maintenance control. In *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (pp. 93–113). https://doi.org/10.1007/978-1-84882-472-0_5
- Dwisetiono, & Asmara, R. G. E. (2022). Analisa Kegagalan Sistem Bahan Bakar Kapal Dengan Menggunakan Metode Preliminary Hazard Analysis (PHA) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Hexagon Jurnal Teknik Dan Sains*, 3(1), 34–39. <https://doi.org/10.36761/hexagon.v3i1.1348>
- Golovan, A. I. (2023). Formation of optimal parameters of the cargo ship maintenance system through digital strategies. *Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical Sciences*, 47, 297–305. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300116>
- Gritsenko, A., Shepelev, V., Burzev, A., & Salimonenko, G. (2021). A Study of the Output Characteristics of Electric Fuel Pumps during Artificial Fault Simulation. *FME Transactions*, 49(2), 480–487. <https://doi.org/10.5937/fme2102480G>
- Islam, R., Anantharaman, M., Khan, F., & Garaniya, V. (2019). Reliability assessment of a main propulsion engine fuel oil system-what are the failure-prone components? *TransNav*, 13(2), 415–420. <https://doi.org/10.12716/1001.13.02.20>
- Kaliyanda, A. (2024). Comprehensive Analysis of Needle Bearing Failures in Fuel Transfer Pumps: Insights from Testing and Finite Element Analysis. *SAE International Journal of Engines*, 18(1), 39–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/03-18-01-0004> UI - 03-18-01-0004
- Kandemir, C., & Celik, M. (2020). A human reliability assessment of marine auxiliary machinery maintenance operations under ship PMS and maintenance 4.0 concepts. *Cognition, Technology and Work*, 22(3), 473–487. <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00590-3>
- Karatuğ, Ç., & Arslanoğlu, Y. (2022). Development of condition-based maintenance strategy for fault diagnosis for ship engine systems. *Ocean Engineering*, 256, 111515. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111515>
- Knežević, V., Stazić, L., Orović, J., & Pavin, Z. (2022). Optimisation of Reliability and Maintenance Plan of the High-Pressure Fuel Pump System on Marine Engine. *Polish Maritime Research*, 29(4), 97–104. <https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0047>
- Kwak, D. (2020). Failure Analysis and Heat-resistant Evaluation of Electric Fuel Pump for Combat Vehicle. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 21(11), 634–640. <https://doi.org/https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.634>
- Lazakis, I., Raptodimos, Y., & Varelas, T. (2018). Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, 152(September), 404–415. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.017>

- Maturana, M. C., Martins, M. R., & Frutuoso e Melo, P. F. F. (2021). Application of a quantitative human performance model to the operational procedure design of a fuel storage pool cooling system. *Reliability Engineering & System Safety*, 216, 107989. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107989>
- Nanthakumar, S., Saravanan, N., & Raj, P. J. J. (2013). Design and Experimental Analysis of Fuel Booster Pump. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(12), 2838–2842.
- Park, M. (2002). Engine failure caused by erosion-corrosion of fuel manifold. *Engineering Failure Analysis*, 9(6), 673–681. [https://doi.org/10.1016/S1350-6307\(02\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S1350-6307(02)00005-5)
- Putra, R., Arungpadang, T. A. R., & Neyland, J. S. C. (2024). PERAWATAN SISTEM PENGISIAN PRODUK MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DI PT PERTAMINA PATRA NIAGA INTEGRATED TERMINAL BITUNG. *Jurnal Tekno Mesin*, 10(2), 129–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/jtm.v10i2.59195>
- Qiao, Y., Chen, X., Li, J., & Zhang, Z. (2021). Intelligent Emergency Control for the Middle Route of China's South-to-North Water Diversion Project. *2021 7th International Conference on Hydraulic and Civil Engineering & Smart Water Conservancy and Intelligent Disaster Reduction Forum (ICHCE & SWIDR)*, 1018–1023. <https://doi.org/10.1109/ICHCESWIDR54323.2021.9656302>
- Stenger, R. E., & Richey, J. M. (1972). *Fuel Distribution System* (Patent No. 3775975).
- Sujata, M., Madan, M., & Bhaumik, S. K. (2014). Investigation of failure in main fuel pump of an aeroengine. *Engineering Failure Analysis*, 42, 377–389. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.03.009>
- Timushev, S. F., & Frolov, A. A. (2021). Automatic Unloading Liquid Rocket Engine Fuel Feed System Booster Pump Radial Thrust Bearings from Axial Force. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 7(7 (736)), 54–61. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2021-7-54-61>
- Yuan, Y., Gong, W., Wang, G., & Wang, J. (2023). Research on the Performance Characteristics and Unsteady Flow Mechanism of a Centrifugal Pump under Pitch Motion. *Water (Switzerland)*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203706>
- Zarei, E., Khan, F., & Abbassi, R. (2021). Importance of human reliability in process operation: A critical analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 211(September 2020), 107607. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107607>
- Zhang, Q., Szytykiel, M., Norman, P., & Burt, G. (2018). *Towards Dual and Three-Channel Electrical Architecture Design for More-Electric Engines*. SAE International. <https://doi.org/https://doi.org/10.4271/2018-01-1935> UI - 2018-01-1935