



Analisis Kerusakan Bagian *Undercarriage Excavator Amphibious* Tipe *Long Arm*

Delpra Yandi^{1*}, Rafiansyah², Yohanes Irawadi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Batam, Kota Batam, Indonesia

*Korespondensipenulis: delprayandi@gmail.com

ARTICLE INFO

Genesis Artikel:

Diterima, 3 – 12 - 2024

Direvisi, 11 – 12 - 2024

Disetujui, 19 – 12 - 2024

Keywords:

Amphibious excavator, pontoon undercarriage, maintenance, damage, corrosion.

Kata Kunci:

Eksavator amfibi, ponton, undercarriage, pemeliharaan, kerusakan, korosi.

ABSTRACT

An amphibious excavator is heavy machinery designed to operate in challenging terrains like swamps, mud, and shallow waters. Proper maintenance of the undercarriage components is crucial for optimal performance and longevity. Common issues in undercarriage components, including pontoons, track shoes, roller link sets, hydraulic motor tracks, bearings, sprockets, and hydraulic hoses, are often caused by environmental factors such as corrosion from saltwater, mud, and debris. Routine maintenance, including inspections, damage prevention, repairs, and component replacement, can reduce damage and improve operational efficiency. This study, based on field observations and interviews with mechanics, identifies key types of damage to the undercarriage of amphibious excavators and offers maintenance recommendations such as cleaning, inspecting hydraulic systems, replacing worn components, and preventing corrosion. Training for operators is essential for early detection of potential issues. With regular maintenance, amphibious excavators can perform effectively in harsh conditions, ensuring the success of flood control and disaster response efforts

ABSTRAK

Excavator amphibious adalah alat berat yang dirancang untuk beroperasi di medan yang menantang seperti rawa, lumpur, dan perairan dangkal. Pemeliharaan yang tepat pada komponen *undercarriage* sangat penting untuk kinerja optimal dan umur panjang alat. Masalah umum pada komponen *undercarriage*, seperti *ponton, track shoe, roller link set, hydraulic motor track, bearing, sprocket, dan hydraulic hose*, sering disebabkan oleh faktor lingkungan seperti korosi akibat air asin, lumpur, dan sampah. Pemeliharaan rutin, termasuk inspeksi, pencegahan kerusakan, perbaikan, dan penggantian komponen yang aus, dapat mengurangi kerusakan dan meningkatkan efisiensi operasional. Penelitian ini, yang didasarkan pada observasi lapangan dan wawancara dengan mekanik, mengidentifikasi jenis kerusakan pada *undercarriage excavator amphibious* dan memberikan rekomendasi pemeliharaan seperti pembersihan, pemeriksaan sistem hidrolik, penggantian komponen aus, dan pencegahan korosi. Pelatihan operator juga penting untuk mendeteksi masalah sejak dini. Dengan pemeliharaan yang rutin, *excavator amphibious* dapat berfungsi secara efektif di kondisi ekstrem, mendukung keberhasilan pengendalian banjir dan upaya penanggulangan bencana

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2021 by Author. Published by Universitas Batam.



PENDAHULUAN

Alat berat memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai sektor, khususnya konstruksi, pertambangan, kehutanan, dan pertanian. Penggunaan alat berat juga mendukung pembangunan infrastruktur yang ada di wilayah pantai (Delpra et al, 2022) serta pembangunan sarana air bersih dan air limbah di kampung tua di pesisir pantai (Viven et al, 2024). Penggunaan alat berat tidak hanya mempercepat pekerjaan, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan hasil kerja. Alat berat adalah mesin-mesin berukuran besar yang dirancang untuk mempermudah berbagai pekerjaan berat. Kondisi siap pakai dari mesin dan alat berat dapat dijaga dan ditingkatkan dengan diterapkannya pemeliharaan yang tepat (Dewi dan Rinawati, 2015).

Excavator amphibious adalah jenis alat berat yang dirancang khusus untuk bekerja di area rawa, berlumpur, perairan dangkal atau daerah dengan akses darat yang sulit. Alat ini memiliki keunikan berupa ponton atau pelampung besar yang menggantikan roda atau track konvensional. Ponton ini memungkinkan *excavator* bergerak di atas air atau permukaan berlumpur dengan stabilitas yang tinggi. Keunggulan utama *excavator amphibious* terletak pada fleksibilitasnya. Alat ini mampu melakukan pekerjaan penggalian, pengerukan, dan pemindahan material di berbagai lingkungan, seperti rawa-rawa, tambak, delta sungai, dan pesisir pantai. Selain itu, *excavator* ini sering digunakan dalam proyek restorasi ekosistem, seperti pembersihan saluran air, pengendalian banjir, atau pembangunan tanggul. Penggunaan *excavator amphibious* untuk pengendalian banjir sangat sesuai untuk membuat

jalur / aliran pembuangan air yang melewati rawa – rawa atau daerah yang tergenang air, dengan adanya excavator jenis ini bisa membuat kolam olakan atau daerah tampungan air yang lebih luas untuk mengantisipasi banjir. Komponen utama *excavator amphibious* meliputi *boom*, *arm*, dan *bucket* yang mirip dengan excavator biasa, namun dipadukan dengan sistem ponton yang bisa diperpanjang untuk menyesuaikan kedalaman air. Beberapa model juga dilengkapi dengan tambahan aksesoris, seperti pompa pengeruk (*dredging pump*) atau jangkar untuk menambah kestabilan saat beroperasi di area berarus kuat.



Gambar 1. Excavator Amphibious sedang melakukan pendalaman alur sungai

Dalam penggunaannya, *excavator amphibious* memerlukan operator yang terlatih untuk mengoperasikan alat ini secara efisien. Perawatan rutin juga penting dilakukan untuk menjaga performa alat, terutama karena kondisi kerja yang sering kali ekstrem dan penuh tantangan. Dengan kemampuannya yang unik, *excavator amphibious* menjadi solusi andal bagi berbagai proyek konstruksi dan lingkungan di wilayah dengan akses sulit.

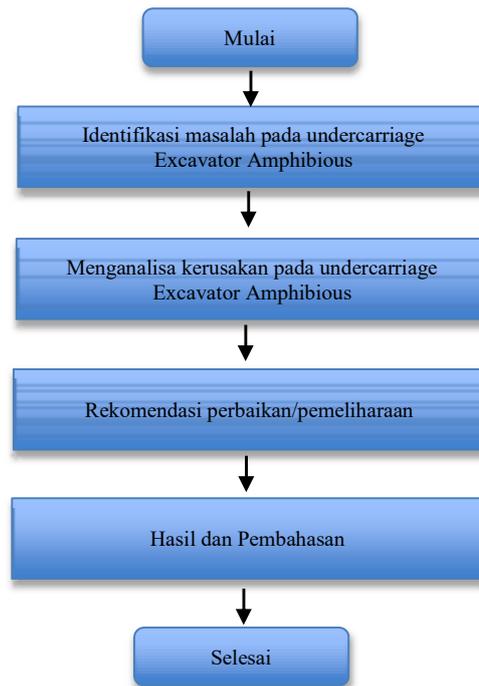
Pemeliharaan *excavator amphibious* sangat membutuhkan perhatian khusus, karena alat berat ini kebanyakan bekerja dalam air dan lumpur, apalagi bekerja didaerah pasang surut airnya payau. Dalam penelitian ini akan membahas jenis kerusakan yang terjadi pada undercarriage excavator amphibious dan solusi penyelesaian masalahnya. *Undercarriage* pada *excavator amphibious* adalah bagian penting yang mendukung mobilitas di darat dan air. Pemeliharaan undercarriage harus dilakukan secara rutin dan menyeluruh untuk menjaga kinerja, keamanan, dan umur pakai. Pemeliharaan (maintenance) merupakan seluruh rangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menjaga sistem dan semua komponennya bekerja sesuai dengan yang seharusnya (Stephens, 2010). Tujuan dari pemeliharaan adalah untuk mengatur kapabilitas dari sistem kembali mengontrol biaya (Stephens, 2010). Manajemen pemeliharaan didefinisikan sebagai suatu sistem memiliki beberapa elemen seperti fasilitas, penggantian komponen atau material, biaya pemeliharaan, perencanaan kegiatan pemeliharaan, dan eksekutor pemeliharaan. Elemen tersebut saling terkait dan saling berinteraksi dalam kegiatan pemeliharaan di industri (Ansori dan Mustajib, 2013). Manajemen pemeliharaan mencakup berbagai kegiatan manajemen yang meliputi penetapan tujuan, prioritas, strategi, tanggung jawab, serta implementasi dalam bentuk perencanaan pemeliharaan, pengawasan, dan peningkatan metode, termasuk aspek ekonomis dalam organisasi (Corder, 1996). Lebih lanjut, Al-Najjar dan Alsyouf (2003) mengatakan bahwa strategipemeliharaan terdiri dari identifikasi, penelitian, dan pelaksanaan berbagai macam keputusanyang terkait dengan perbaikan, penggantian, maupun inspeksi kondisi peralatan atau aset. Pemeliharaan juga diartikan sebagai kegiatan kegiatan yang dilakukan dalam mencegah timbulnya kerusakan tidak normal, mempertahankan kondisi mesin atau mengembalikannya ke dalam kondisi tertentu. Ada 2 macam pemeliharaan yaitu pemeliharaan pencegahan dan pemeliharaan kerusakan (Duffuaa et al., 1999).

Penelitian terdahulu menganalisa kerusakan pada bagian undercarriage dozer di perusahaan tambang batu bara *Dozer D85E*. Amir Rusli et al. (2020) berikutnya Ridha Sidiq et al. (2020) menganalisa low power pada Unit *Caterpillar Hydraulic Excavator 320D* Seri BZP. Namun alat berat yang dianalisis pada penelitian diatas adalah alat berat Dozer dan Hydraulic Excavator, belum ada yang mengangkat tentang undercarriage excavator amphibious. Untuk itu penulis melakukan Analisa terhadap kerusakan terjadi pada undercarriage excavator amphibious type long arm.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan observasi langsung di lapangan dengan aktif terlibat dalam kegiatan pemeliharaan *excavator amphibious* bersama mekanik sehingga bisa memahami secara jelas dan nyata proses yang terjadi. Selain itu, dilakukan juga pengambilan data melalui wawancara langsung dengan staf pemeliharaan untuk mendapatkan informasi yang mendalam. Selain itu, untuk mendokumentasikan secara visual setiap pekerjaan

pemeliharaan, metode penyimpanan data melibatkan pengambilan gambar menggunakan *handphone* untuk merekam secara tepat detail-detail yang relevan dalam proses tersebut.



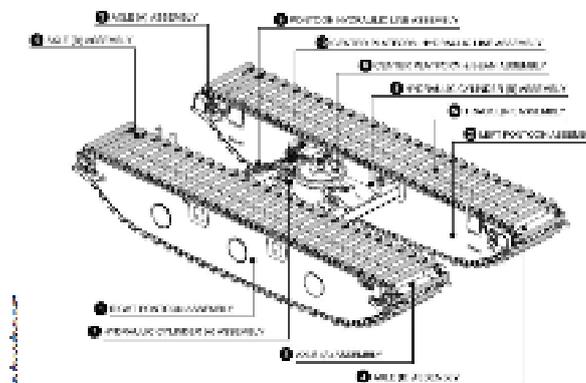
Metode yang akan dilakukan pada analisa ini adalah dengan melakan observasi ke lapangan di waktu pemeliharaan alat berat *excavator amphibious* dan melakukan wawancara dengan mekanik serta staf pemeliharaan yang sudah memiliki banyak pengalaman dala pemeliharaan alat berat khususnya *Excavator Amphibious*.

Berikut adalah urutan metode yang akan dilakukan untuk menentukan penyebab kerusakan pada bagian *undercarriage Excavator Amphibious*.

- a. Mengumpulan data awal untuk mendapatkan spesifikasi yang dibutuhkan.
- b. Melakukan inspeksi visual pada bagian *undercarriage excavator amphibious*
- c. Melakukan pengujian operasional pada unit *excavator amphibious*
- d. Melakukan Analisa akar masalah pada pola kerusakan *undercarriage excavator amphibious*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan yang peneliti dapatkan yaitu pada dasarnya *undercarriage* pada *excavator amphibious* adalah bagian atau komponen yang sangat berpengaruh selain menopang badan alat berat juga sebagai alat penggerak dan alat pengapung, karena *excavator amphibious* ini bekerja pada lokasi rawa atau pantai. Berikut ini adalah komponen yang ada pada *undercarriage excavator amphibious* :



Gambar 2. Komponen pada *Undercarriage Excavator Amphibious*

itu sendiri maka dari itu pasti akan sering sekali terjadinya kerusakan pada undercarriage atau komponen-komponen yang berada di undercarriage antara lain

1. Ponton

Ponton dirancang untuk memberikan daya apung, sehingga *excavator* dapat bekerja di atas air, rawa, atau lumpur tanpa tenggelam. Struktur ponton yang kedap air memastikan stabilitas meskipun berada di medan berair. Kerusakan yang terjadi pada ponton berupa terjadinya korosi pada ponton sehingga menyebabkan dinding ponton menjadi tipis, hal ini menyebabkan memperpesar kemungkinan ponton menjadi bocor. Kebocoran ponton menyebabkan air masuk kedalam ruang ponton sehingga alat *excavator* tidak menjadi stabil dan bisa menyebabkan tenggelam.



Gambar 3. Ponton yang berkarat yang disebabkan korosi

2. Track Shoe

Track shoe yang lebar dirancang untuk mendistribusikan berat *excavator* secara merata, sehingga mencegah alat berat tenggelam atau terjebak di tanah lunak atau berlumpur. *Track shoe* berfungsi membantu *excavator* bergerak dengan lancar di berbagai jenis medan, termasuk rawa, lumpur, atau perairan dangkal. Kerusakan yang terjadi pada *track shoe* biasanya adalah bengkok atau berkarat. Penyebabnya selain korosi adalah karena terbentur benda keras di waktu operasional, misalnya terbentur batu atau kayu. Operator kesulitan melihat kayu atau batu yang berada dibawah permukaan air, biasanya operator menyapu pakai bucket untuk mendeteksi benda penghalang pada jalur *track excavator amphibious*. *Track shoe* yang bengkok ini sangat mengganggu perjalanan *excavator* karena akan menyangkut dan bergesekan dengan ponton.



Gambar 4. Track shoe yang bengkok dan berkarat

3. Roller Link Set

Roller link set berfungsi sebagai penopang dan panduan untuk memastikan *track* tetap berada pada jalur yang benar saat *excavator* bergerak. Selain itu *roller link set* berfungsi mengurangi gesekan antara *track* dan bagian undercarriage lainnya, sehingga pergerakan menjadi lebih lancar. Kerusakan yang terjadi pada *roller link set* antara lain *Roller* mengalami stuck sehingga *roller* tidak bergerak dan aus, *bushing* mengalami keausan sehingga pergerakan *roller* menjadi longgar, *roller link plate* mengalami bengkok atau mulur sehingga link menjadi putus, kemudian komponen *track pin* patah, hal ini disebabkan oleh beban *track* dan kualitas *track pin* nya.



Gambar 5. Roller yang habis sebelah dan Link yang putus

4. *Hydraulic Motor Track*

Hydraulic motor track mengubah tekanan hidrolik yang dihasilkan oleh pompa hidrolik menjadi tenaga mekanik untuk menggerakkan track. *Hydraulic motor track* mengatur kecepatan pergerakan track sesuai dengan kebutuhan medan dan tugas. Kerusakan *motor track* karena adanya kebocoran pada seal sehingga lumpur dan sampah masuk ke *motor track* menyebabkan roda gigi di dalam *motor track* menjadi rusak.



Gambar 6. Roda gigi Hydraulic Motor Track yang sudah rusak

5. *Bearing*

Bearing membantu mengurangi gesekan antara komponen yang bergerak, seperti *roller*, *idler*, *sprocket*, dan *track*. Dengan mengurangi gesekan, bearing memungkinkan pergerakan yang lebih lancar dan efisien. Kerusakan bearing diawali dengan kebocoran pada seal sehingga air, sampah dan lumpur masuk ke ruang bearing, hal ini menyebabkan bearing menjadi pecah.



Gambar 7. Bearing pada Excavator Amphibious

6. *Sprocket*

Sprocket mentransfer tenaga dari hydraulic motor ke track, memungkinkan excavator bergerak maju, mundur, atau berbelok. *Sprocket* menjadi penggerak utama track dengan menggigit link track melalui gigi-giginya. Kerusakan pada *sprocket* diakibatkan oleh gesekan pada track link, kondisi *track link* yang sudah aus sehingga bergerak tidak teratur menyebabkan keausan pada *sprocket*.



Gambar 8. Sprocket pada Excavator Amphibious

7. Hydraulic Hose

Hydraulic hose berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan cairan hidrolik bertekanan yang dihasilkan oleh pompa hidrolik. Energi ini digunakan untuk menggerakkan sistem undercarriage, boom, dan attachment lainnya. Hose memungkinkan cairan mengalir dengan lancar meskipun ada pergerakan komponen yang dinamis. *Hydraulic hose* menghubungkan komponen-komponen sistem hidrolik seperti pompa, silinder, motor hidrolik, dan valve, sehingga sistem dapat bekerja secara terpadu. Kerusakan pada *hydraulic hose* biasanya adalah pecah, kemudian adaptor mengalami korosi sehingga patah, hal ini disebabkan oleh umur hose dan juga korosi yang terjadi pada adaptor.



Gambar 9. Hose yang rusak pada excavator amphibious

Secara garis besar penyebab kerusakan yang terjadi pada *Excavator Amphibious* adalah

1. Kondisi geografis lokasi kerja yang dikelilingi lautan menyebabkan peningkatan laju korosi
2. Lokasi kerja *Excavator Amphibious* sering berpindah kerja dari satu lokasi ke lokasi lain.
3. *Excavator Amphibious* sering *rolling/* berjalan di daratan untuk mencapai lokasi kerja
4. *Excavator Amphibious* kebanyakan bekerja di muara sungai (pertemuan air asin dan payau)

Rekomendasi pemeliharaan/perbaikan/perawatan pada excavator amphibious

1. Ponton

Ponton yang terkena korosi harus dilakukan pencegahan dengan melakukan pengecatan ulang, semua karat harus dibersihkan dan di beri cat dasar sebelum cat anti karat diberikan. Vertikal dan Horizontal *Wearing strip* harus diganti jika sudah rusak atau terbongkar. Proses pengelasan untuk *wearing strip* dilakukan dengan hati hati , jangan sampai kena ponton yang menyebabkan kebocoran akibat api pengelasan, proses pengelasan ini juga harus memperhatikan posisi track link dan sprocket. Bagian ponton yang bocor atau tipis dilakukan penggantian per segmen dan dilakukan hidro test untuk mengecek kebocoran ponton. Jika ponton sudah terlalu tipis dilakukan penggantian ponton satu set supaya lebih aman dan mencegah kecelakaan kerja.

2. Track Shoe

Operator alat berat harus hati hati dalam melihat jalur jalannya *excavator amphibious*, sehingga masalah *track shoe* yang bengkok bisa dihindari. Kebanyakan batu dan kayu yang terendam tidak bisa terlihat secara visual untuk itu perlu dilakukan penyapuan ke kiri dan ke kanan menggunakan bucket sebelum maju ke depan. Track shoe yang berkarat bisa dihindari dengan selalu membersihkan *track shoe* dengan air serta melakukan pengecatan ulang untuk mencegah karat. *Track shoe* yang bengkok atau sudah berkarat parah harus diganti dengan yang baru.

3. *Roller Link Set*

Operator harus selalu memperhatikan jika ada roller yang macet, minta penggantian roller dengan mekanik, karena jika dibiarkan akan membuat ponton menjadi terkikis. Link yang bengkok atau putus harus diganti dengan segera. Terkadang putusannya link berada ditengah rawa sehingga menyulitkan mekanik dalam penggantian. Operator harus memperhatikan tempat parkir alat sehingga memudahkan dalam penggantian komponen roller link set di lapangan.

4. *Hydraulic Motor Track*

Operator alat berat harus melapor ke mekanik jika ditemukan indikasi ada kebocoran oli final drive, jika warna oli masih normal dilakukan penambahan oli, jika oli jauh berkurang setiap saat, maka dilakukan penggantian seal. Jika pada motor track sudah diketemukan sampah atau lumpur, maka perlu dicek roda gigi yang berada di dalam motor track, jika sudah rusak maka dilakukan penggantian roda gigi yang rusak. Jika semua roda gigi sudah rusak, maka dilakukan penggantian motor track satu set.

5. *Bearing*

Bearing yang telah pecah harus diganti, bearing yang pecah menyebabkan jalannya excavator tidak stabil. Sebelum penggantian bearing perlu penggantian seal untuk mencegah lumpur dan sampah masuk ke ruang bearing kembali sehingga kejadian bearing pecah tidak terulang.

6. *Sprocket*

Sprocket yang aus menyebabkan jalan *track link* tidak teratur, untuk sprocket yang aus ini jika ausnya belum terlalu parah dilakukan pengelasan (menambah daging) pada sprocket. Jika *sprocket* sudah terlalu longgar, jarak *pitch* antar roda gigi sudah terlalu lebar, maka dilakukan penggantian *sprocket* satu set kiri dan kanan ponton.

7. *Hydraulic hose*

Hydraulick yang pecah disebabkan beberapa hal diantaranya *life time* dari hose tersebut, atau hose tersangkut materi lain seperti kayu, atau adaptor lepas karena sudah mengalami korosi. Untuk *hydraulic hose* yang pecah harus diganti dengan segera supaya oli tidak banyak yang tumpah, untuk pencegahan adaptor yang berkarat, pembantu operator rajin membersihkan sambungan adaptor ini dengan air bersih.

KESIMPULAN

Undercarriage pada *excavator amphibious* memiliki peran krusial dalam mendukung mobilitas di medan sulit, seperti rawa, lumpur, dan air dangkal. Komponen seperti *ponton*, *track shoe*, *roller link set*, *hydraulic motor track*, *bearing*, *sprocket*, dan *hydraulic hose* rentan terhadap kerusakan akibat kondisi medan berat dan lingkungan ekstrem, seperti korosi dari air asin, lumpur, dan kotoran lainnya. Pemeliharaan preventif, rutin, dan korektif sangat diperlukan untuk mendeteksi kerusakan sejak dini, mencegah kerusakan yang lebih parah, dan meminimalkan biaya perbaikan besar. Tindakan seperti penggantian komponen aus, pembersihan rutin, pengecatan untuk mencegah korosi, serta pengecekan kebocoran pada sistem hidrolik menjadi langkah penting untuk menjaga kinerja alat. Penggantian komponen seperti ponton yang bocor, sprocket yang aus, dan perbaikan roller link set yang macet juga diperlukan secara berkala untuk menjaga efisiensi alat. Dengan perawatan yang tepat, excavator amphibious dapat beroperasi secara optimal, mengurangi downtime, dan mendukung keberlanjutan operasi di medan yang menantang. Pemeliharaan rutin harus lebih sering dilakukan dengan fokus pada pembersihan lumpur dan kotoran yang dapat mempercepat keausan. Pemeriksaan visual oleh operator perlu ditingkatkan untuk mendeteksi potensi kerusakan sejak dini, khususnya pada *track shoe*, *roller link set*, dan sistem hidrolik seperti hydraulic motor track serta hydraulic hose. Pelatihan operator dan pembantu operator sangat penting agar mereka dapat mengenali potensi masalah, seperti kebocoran pada sistem hidrolik dan kerusakan pada ponton. Komponen yang aus atau rusak, seperti sprocket, bearing, dan ponton bocor, harus segera diganti untuk mencegah kerusakan lebih lanjut yang dapat memengaruhi stabilitas alat. Pengelolaan korosi menjadi prioritas dengan pembersihan dan pengecatan teratur pada komponen penting. Langkah-langkah ini tidak hanya meningkatkan efisiensi alat tetapi juga mengurangi biaya perbaikan dan downtime yang merugikan.

REFERENSI

- Ahmad, F., & Nurrohkayati, A. S. (2024). Analisis Kerusakan pada Bagian Undercarriage Dozer di Perusahaan Tambang Batu Bara Dozer D85e: Studi Kasus dan Rekomendasi Pemeliharaan. *National Multidisciplinary Sciences*, 3(1), 190-199.
- Al-Najjar, B., & Alsyouf, I. (2003). Selecting the most efficient maintenance approach using fuzzy multiple criteria decision making. *International journal of production economics*, 84(1), 85-100.
- Caterpillar, (2017), *313D Hydraulic Excavator Manual Book*. USA: Caterpillar

- Corder, A. (1996) 'Teknik manajemen pemeliharaan', Erlangga.
- Dewi, N. C., & Rinawati, D. I. (2015). Analisis Penerapan Total Productive Maintenance (Tpm) dengan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (Oee) dan Six Big Losses Mesin Cavitec PT. Essentra Surabaya (Studi Kasus PT. Essentra). *Industrial engineering online Journal*, 4(4).
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (1999). *Planning and control of maintenance systems*. John Willey and Son, New York.
- EIK (2017). *Parts Book for Excavator Amphibious SERIES : AM140-3 E Series (IV) With Steel Track Shoes*. EIK Engineering Sdn Bhd, Malaysia
- Hidayat, T., Lestari, N., Sidarta, B. W., & Khairy, Z. H. (2024). ANALISIS KERUSAKAN UNIT EXCAVATOR KOBELCO SK210LC DENGAN PENDEKATAN FAULT TREE ANALYSIS PADA CV. CAHAYA INDRA LAKSANA. PROSIDING SNAST, C184-192. <https://doi.org/10.34151/prosidingsnast.v1i1.4952>.
- Martan, V., Yandi, D., Sidabutar, Y. F., & Fauzan, F. (2024). Implementation of Clean Water and Sanitation Network Construction to Improve the Quality of Life Sea Tribe Communities. *Indonesian Interdisciplinary Journal of Sharia Economics (IJSE)*, 7(1), 739-751. <https://doi.org/10.31538/ijse.v7i1.4265>
- OEE, M. O. E. E., Essentra, P. M. C. D. P., & SNATIF, S. P. Ansori, N., dan Mustajib, MI 2013. *Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ardian, Aan, M. Pd. 2013. *Handout Perawatan dan Perbaikan Mesin*. Yogyakarta: Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Asgara, BY, dan Hartono, G. 2014. *Analisis efektifitas mesin overhead crane*.
- Rusli, A., & Marbun, N. (2021). Identifikasi Kerusakan Dan Program Perawatan Engine Diesel pada Forklift Toyota Tipe 8FD30. *Zona Mesin: Program Studi Teknik Mesin Universitas Batam*, 10(3). <https://doi.org/10.37776/zm.v10i3.1435>.
- Siddiq, R., & Putra, R. R. (2021). Analisa Low Power Pada Unit Caterpillar Hydraulic Excavator 320D Seri BZP. *Zona Mesin: Program Studi Teknik Mesin Universitas Batam*, 10(3). <https://doi.org/10.37776/zm.v10i3.1436>.
- Sitinjak, F. R., & Silalahi, F. T. R. (2023). Analisis Strategi Pemeliharaan Preventive Maintenance Excavator Menggunakan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Analisis Sensitivitas. *Journal of Integrated System*, 6(2), 226-242. <https://doi.org/10.28932/jis.v6i2.7633>
- Stephens, M. P. (2010). *Productivity and reliability-based maintenance management*. Purdue University Press.
- Yandi, D., Rakhman, K., Martan, V., & Sidabutar, Y. F. (2023). Utilizing the Potential of Local Wisdom and Infrastructure Development of Old village of Tiangwangkang, Tembesi Sub-District, Batam City. *JMKSP (Jurnal Manajemen, Kepemimpinan, dan Supervisi Pendidikan)*, 8(2), 839-855. <https://doi.org/10.31851/jmksp.v8i2.11341>