Jurnal Praktik
Keinsinyuran
e-ISSN:3063-7449

Jurnal **Praktik Keinsinyuran** Vol.3 No.6 (November 2026)
journal homepage: http://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/jpk

Optimalisasi *Mounting Cabin Dump truck* CMT106 Menggunakan Metode QCC untuk Menurunkan *Breakdown Unschedule*

Guntur Mercy [1*], M.M Lanny W. Pandjaitan [2], Lukas [3]

1. Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930
2. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
3. Atma Jaya Artificial Intelligence Center (AJAIC), Universitas Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Article Info

Article history:

Received
9 July 2026

Accepted
14 July 2026

Keywords:
Quality Control Circle, *Breakdown Unschedule*, d*ump truck* CMT106, *Mounting Cabin*, *Reliability*.

Abstract

Mining operations heavily depend on the reliability of heavy equipment to maintain productivity. One of the main causes of production disruptions is Breakdown Unschedule (BUS), which refers to equipment failures occurring outside scheduled maintenance periods. Data from PT Karunia Armada Indonesia indicate that the CMT106 Dump Truck experienced the highest BUS frequency. Pareto analysis identified the cabin system as the primary contributor to BUS, with the cabin mounting being the dominant cause due to loose, broken, and missing mounting bolts. This study aims to improve the reliability of the cabin mounting using the Quality Control Circle (QCC) method. Improvements were implemented through the use of Grade 10.9 bolts, the addition of spring washers, the application of thread locker, and periodic tightening and inspections. The results showed that failures decreased from 97 to 4 incidents (95.9%), downtime was reduced from 96 hours to 2.55 hours, and operational cost savings reached IDR 220,482,000 per year.

Info Artikel

Histori Artikel:

Diserahkan:
9 Juli 2026

Diterima:
14 Juli 2026

Kata Kunci:
Quality Control Circle (QCC), Breakdown Tidak Terjadwal (BUS), *Dump truck* CMT106, Mounting Cabin, Peningkatan Keandalan.

Abstrak

Kegiatan operasional pertambangan sangat bergantung pada keandalan alat berat untuk menjaga produktivitas. Salah satu penyebab gangguan produksi adalah *Breakdown Unschedule* (BUS), yaitu kerusakan yang terjadi di luar jadwal pemeliharaan. Data PT Karunia Armada Indonesia menunjukkan *Dump Truck* CMT106 memiliki frekuensi BUS tertinggi. Analisis Pareto mengidentifikasi sistem *cabin* sebagai penyumbang utama BUS, dengan *mounting cabin* sebagai penyebab dominan akibat *bolt mounting* yang longgar, patah, dan hilang. Penelitian ini bertujuan meningkatkan keandalan *mounting cabin* menggunakan metode *Quality Control Circle* (QCC). Perbaikan dilakukan melalui penggunaan *bolt* Grade 10.9, penambahan *spring washer*, aplikasi *thread locker*, serta pengencangan dan inspeksi berkala. Hasil menunjukkan kerusakan turun dari 97 menjadi 4 kejadian (95,9%), *downtime* berkurang dari 96 jam menjadi 2,55 jam, dan penghematan biaya mencapai Rp220.482.000 per tahun.

*Corresponding author. Guntur Mercy
Email address: gunturmercy17@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Industri pertambangan merupakan salah satu sektor yang sangat bergantung pada keandalan alat berat dalam mendukung kelancaran proses produksi. Tingkat produktivitas perusahaan tidak hanya ditentukan oleh kapasitas produksi alat, tetapi juga oleh kemampuan perusahaan dalam menjaga *equipment availability* sehingga setiap unit selalu berada pada kondisi siap operasi. Menurut Nakajima (1988), peningkatan keandalan dan ketersediaan peralatan merupakan tujuan utama dalam penerapan *Total Productive Maintenance (TPM)* karena berpengaruh langsung terhadap efektivitas operasi. Sejalan dengan hal tersebut, Jardine dan Tsang (2013) menjelaskan bahwa pengelolaan keandalan peralatan yang efektif dapat mengurangi frekuensi kegagalan, meningkatkan kinerja sistem pemeliharaan, serta mendukung kontinuitas proses produksi. Selain itu, *reliability*, *availability*, dan *maintainability* (RAM) merupakan indikator penting yang digunakan untuk mengevaluasi performa alat berat dan efektivitas strategi pemeliharaan pada industri pertambangan. Moniri-Morad dan Sattarvand (2023) menunjukkan bahwa evaluasi *reliability* pada *dump truck* pertambangan dapat membantu perusahaan mengidentifikasi pola kegagalan sistem sehingga tindakan pemeliharaan dapat dilakukan secara lebih tepat dan terencana. Oleh karena itu, pengelolaan keandalan alat berat menjadi faktor strategis dalam menjaga keberlangsungan operasi dan pencapaian target produksi perusahaan pertambangan.

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi dalam pengoperasian alat berat adalah *Breakdown Unschedule* (BUS), yaitu kerusakan yang terjadi di luar jadwal pemeliharaan sehingga menyebabkan unit berhenti beroperasi secara tiba-tiba. Kondisi tersebut mengakibatkan meningkatnya *downtime*, terganggunya pencapaian target produksi, serta bertambahnya biaya pemeliharaan dan perbaikan. Mobley (2002) menjelaskan bahwa kegagalan peralatan yang tidak direncanakan merupakan salah satu penyebab utama rendahnya efektivitas sistem pemeliharaan karena berdampak langsung terhadap produktivitas dan biaya operasional perusahaan. Menurut Jardine dan Tsang (2013), tingginya *downtime* juga dapat menurunkan tingkat *availability* peralatan sehingga efisiensi pemanfaatan sumber daya produksi menjadi berkurang. Selain itu, Zhu *et al*. (2019) menyatakan bahwa *unplanned downtime* merupakan salah satu tantangan utama dalam pengelolaan aset industri karena dapat menimbulkan kerugian finansial yang signifikan serta mengganggu kontinuitas proses operasi. Hasil penelitian Moniri-Morad dan Sattarvand (2023) menunjukkan bahwa pemahaman terhadap karakteristik kegagalan *dump truck* sangat penting untuk mendukung pengambilan keputusan dalam program pemeliharaan dan peningkatan keandalan peralatan. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan yang tidak hanya berorientasi pada perbaikan kerusakan yang telah terjadi, tetapi juga mampu mengendalikan penyebab utama kegagalan agar kerusakan serupa tidak terus berulang. Dalam praktik pemeliharaan modern, identifikasi akar penyebab kerusakan menjadi langkah penting untuk mencegah terjadinya kegagalan berulang dan meningkatkan keandalan sistem secara berkelanjutan (Mobley, 2002).

PT Karunia Armada Indonesia merupakan perusahaan pertambangan batubara yang mengoperasikan berbagai jenis alat berat sebagai pendukung kegiatan produksi. Berdasarkan data historis *Plant Department*, *Dump truck* CMT106 merupakan unit dengan populasi terbesar, yaitu sebanyak 45 unit dari total 77 unit kategori A2B. Tingginya populasi tersebut menyebabkan tingkat utilisasi unit CMT106 lebih tinggi dibandingkan jenis unit lainnya sehingga keandalannya menjadi faktor penting dalam menjaga kelangsungan operasi. Berdasarkan analisis data *Breakdown Unschedule* periode Januari–April 2024, unit CMT106 tercatat memiliki frekuensi gangguan tertinggi dibandingkan unit lain di area operasional perusahaan.

Hasil analisis Pareto menunjukkan bahwa sistem cabin merupakan penyumbang terbesar *Breakdown Unschedule*, dengan komponen *mounting cabin* sebagai penyebab dominan akibat kondisi *bolt loose*, *broken*, dan *missing*. Permasalahan tersebut tidak hanya meningkatkan *downtime*, tetapi juga berpotensi menurunkan keselamatan dan kenyamanan operator akibat meningkatnya getaran pada cabin selama unit beroperasi. Apabila kondisi tersebut terus berulang, maka efektivitas operasi dan ketersediaan unit dapat terganggu sehingga diperlukan suatu pendekatan perbaikan yang mampu menghilangkan akar penyebab masalah secara sistematis.

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam kegiatan *continuous improvement* adalah *Quality Control Circle (QCC)*. Menurut Ishikawa (1985), QCC merupakan aktivitas kelompok kecil yang dilakukan secara sistematis untuk mengidentifikasi permasalahan, menganalisis akar penyebab, menyusun tindakan perbaikan, melaksanakan implementasi, mengevaluasi hasil, serta melakukan standarisasi. Konsep tersebut sejalan dengan filosofi *Kaizen* yang dikemukakan oleh Imai (1986), yang menekankan pentingnya perbaikan berkelanjutan melalui keterlibatan seluruh personel dalam organisasi. *Kaizen* tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga pada penyempurnaan proses secara terus-menerus untuk mencapai peningkatan kinerja yang berkelanjutan (Imai, 1986).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan QCC mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan produktivitas dan kualitas proses kerja. Malik *et al*. (2024) dalam studi literaturnya menyimpulkan bahwa QCC telah berhasil diterapkan pada berbagai sektor industri untuk meningkatkan kualitas, produktivitas, komunikasi, serta efektivitas pemecahan masalah. Rokhmah (2023) melaporkan bahwa implementasi QCC pada proses produksi mampu menghilangkan *downtime* sebesar 121 menit per bulan serta meningkatkan kapasitas produksi melalui identifikasi akar penyebab masalah dan implementasi tindakan perbaikan yang tepat. Kholilullah dan Kurniawan (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan QCC yang dipadukan dengan alat analisis kualitas seperti Diagram Pareto dan Diagram Sebab Akibat mampu mengidentifikasi faktor dominan penyebab *downtime* sehingga tindakan perbaikan dapat difokuskan pada akar masalah yang memberikan dampak terbesar terhadap kinerja peralatan. Selain itu, Rinaldi *et al*. (2025) melaporkan bahwa penerapan QCC mampu mengurangi *downtime* mesin conveyor melalui identifikasi akar penyebab dan implementasi tindakan perbaikan yang tepat. Penelitian lain oleh Aliyudin dan Setijadi (2025) menunjukkan bahwa metode QCC dapat mempersingkat waktu perbaikan sistem lubrikasi mesin sehingga membantu meningkatkan efektivitas kegiatan pemeliharaan. Pada sektor pertambangan, Gunawan *et al*. (2025) menemukan bahwa implementasi QCC mampu meningkatkan produktivitas excavator secara signifikan melalui pendekatan perbaikan yang sistematis dan berbasis data.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas peningkatan keandalan alat berat maupun implementasi QCC pada berbagai sektor industri, penelitian yang secara khusus berfokus pada optimalisasi komponen *mounting cabin* sebagai penyebab utama *Breakdown Unschedule* pada *Dump truck* CMT106 masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada peningkatan produktivitas mesin produksi, conveyor, sistem lubrikasi, maupun alat gali-muat, sedangkan kajian mengenai perbaikan komponen *mounting cabin* pada armada *dump truck* pertambangan belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan pada penerapan metode QCC untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan *mounting cabin* serta mengimplementasikan tindakan perbaikan teknis guna meningkatkan keandalan unit.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan *mounting cabin* pada *Dump truck* CMT106 menggunakan metode *Quality Control Circle (QCC)* melalui identifikasi akar penyebab kerusakan, penyusunan tindakan perbaikan, implementasi solusi, serta evaluasi hasil perbaikan. Program *improvement* dilakukan melalui penggunaan *bolt* Grade 10.9, pemasangan *spring washer*, aplikasi *thread locker*, pengencangan baut menggunakan *torque wrench* sesuai standar, serta penerapan inspeksi dan *re-torque* secara berkala. Diharapkan implementasi tersebut mampu menurunkan frekuensi *Breakdown Unschedule*, meningkatkan *equipment availability*, mengurangi *downtime*, serta mendukung penerapan budaya *continuous improvement* di lingkungan *Plant Department* PT Karunia Armada Indonesia.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) yang bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan operasional yang terjadi pada komponen *mounting cabin Dump truck* CMT106 di PT Karunia Armada Indonesia. Menurut Creswell dan Creswell (2018), penelitian terapan dilakukan untuk memberikan solusi terhadap permasalahan praktis yang dihadapi organisasi melalui penerapan metode ilmiah sehingga menghasilkan perbaikan yang dapat diterapkan secara langsung.

Pendekatan yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif karena penelitian dilakukan dengan mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data operasional untuk menggambarkan kondisi aktual permasalahan serta mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan yang diterapkan. Data yang dianalisis meliputi frekuensi *Breakdown Unschedule* (BUS), *downtime*, dan *availability unit* sebelum dan sesudah implementasi perbaikan.

2.2 Lokasi dan Objek

Kegiatan penelitian dilaksanakan di *Plant Department* PT Karunia Armada Indonesia yang berlokasi di Muara Tae, Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur. *Plant Department* merupakan departemen yang bertanggung jawab terhadap pengelolaan, pemeliharaan, serta peningkatan keandalan seluruh alat berat yang digunakan dalam aktivitas operasional pertambangan. Sebagai perusahaan yang bergerak pada industri pertambangan batubara, PT Karunia Armada Indonesia mengoperasikan berbagai jenis alat berat, antara lain *dump truck*, bulldozer, excavator, grader, wheel loader, serta berbagai unit pendukung lainnya.

Berdasarkan data populasi unit di area operasional, diketahui bahwa *Dump truck* CMT106 merupakan unit dengan populasi terbesar, yaitu sebanyak 45 unit dari total 77 unit kategori A2B. Tingginya populasi tersebut menyebabkan frekuensi penggunaan unit lebih besar dibandingkan unit lainnya sehingga keandalan unit menjadi faktor penting dalam menjaga kelancaran operasi dan pencapaian target produksi perusahaan. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada unit *Dump truck* CMT106 sebagai objek utama kegiatan perbaikan (*improvement*).



Gambar 1.
Lokasi Pelaksanaan di *Plant Department* PT Karunia Armada Indonesia, Muara Tae
Sumber: Dokumentasi Penelitian, PT Karunia Armada Indonesia (2024).

2.3 Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Quality Control Circle (QCC)* sebagai metode penyelesaian masalah. Menurut Ishikawa (1985), QCC merupakan aktivitas kelompok kecil yang dilakukan secara berkesinambungan untuk mengidentifikasi masalah, menganalisis penyebab, menyusun tindakan perbaikan, melaksanakan implementasi, mengevaluasi hasil, serta melakukan standarisasi. Metode ini dikembangkan sebagai bagian dari pengendalian mutu terpadu yang melibatkan partisipasi aktif karyawan dalam upaya peningkatan kualitas dan produktivitas.

Pendekatan QCC dipilih karena mampu mengintegrasikan analisis teknis dengan keterlibatan personel lapangan sehingga solusi yang dihasilkan lebih mudah diterapkan dan dipertahankan dalam kegiatan operasional sehari-hari. Selain itu, metode ini sejalan dengan filosofi *Kaizen* yang menekankan perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*) melalui partisipasi seluruh anggota organisasi dalam meningkatkan kinerja proses kerja (Imai, 1986).



Gambar 2.
Sturuktur Organisasi tim QCC GBPC MAINTENANCE
(Sumber: Data Peneliti)

Pada penelitian ini, seluruh tahapan QCC dilaksanakan oleh tim GBPC MAINTENANCE yang terdiri atas fasilitator, *circle leader*, notulen, dan anggota tim lapangan dari *Plant Department*. Setiap anggota memiliki peran sesuai kompetensi masing-masing mulai dari pengumpulan data, observasi lapangan, analisis penyebab masalah, implementasi tindakan perbaikan, hingga evaluasi hasil kegiatan *improvement*.

2.4 Tahapan *Quality Control Circle (QCC)*

Tahapan penelitian mengacu pada delapan langkah *Quality Control Circle (QCC)* yang dikemukakan oleh Ishikawa (1985), yaitu menentukan tema, menetapkan target, menganalisis penyebab masalah, menentukan tindakan perbaikan, melaksanakan implementasi, mengevaluasi hasil, melakukan standarisasi, dan menetapkan rencana perbaikan selanjutnya.

Langkah 1. Menentukan Tema dan Analisis Situasi

Tahap pertama diawali dengan pengumpulan data *Breakdown Unschedule* (BUS) seluruh unit selama periode April–Juli 2024. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan Diagram Pareto untuk mengidentifikasi unit dan sistem yang memberikan kontribusi terbesar terhadap terjadinya gangguan. Diagram Pareto digunakan berdasarkan prinsip 80/20 yang menyatakan bahwa sebagian besar masalah umumnya disebabkan oleh sejumlah kecil faktor penyebab dominan (Juran & Godfrey, 1999). Hasil analisis menunjukkan bahwa *Dump truck* CMT106 merupakan unit dengan frekuensi BUS tertinggi. Analisis lanjutan pada tingkat sistem menunjukkan bahwa mounting cabin menjadi penyumbang gangguan terbesar akibat kondisi bolt loose, broken, dan missing. Berdasarkan hasil tersebut, tema perbaikan yang ditetapkan adalah "Optimalisasi Part Mounting Cabin CMT106".

Langkah 2. Menetapkan Target

Target perbaikan ditetapkan menggunakan pendekatan QCDSM (Quality, Cost, Delivery, Safety, dan Moral) yang bertujuan memastikan bahwa kegiatan perbaikan memberikan manfaat secara menyeluruh terhadap kualitas kerja, biaya operasional, ketepatan pencapaian target produksi, keselamatan kerja, dan keterlibatan sumber daya manusia (Imai, 1986). Sasaran yang ingin dicapai meliputi penurunan frekuensi BUS mounting cabin sebesar 50%, pengurangan *downtime* unit, peningkatan kesiapan unit dalam mendukung produksi, peningkatan keselamatan kerja akibat berkurangnya risiko kerusakan mounting cabin, serta peningkatan keandalan unit secara keseluruhan.

Langkah 3. Analisis Faktor Penyebab

Analisis akar penyebab dilakukan menggunakan Diagram Sebab Akibat (Fishbone Diagram) dengan pendekatan 5M+1E yang terdiri atas Man, Machine, Method, Material, Measurement, dan Environment. Menurut Ishikawa (1985), diagram sebab akibat merupakan alat pengendalian kualitas yang digunakan untuk mengidentifikasi serta mengelompokkan berbagai faktor yang berpotensi menyebabkan suatu permasalahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab utama kerusakan mounting cabin meliputi kurangnya ketelitian mekanik saat melakukan pengencangan baut, penggunaan alat kerja yang belum sesuai standar, spesifikasi bolt yang kurang mampu menahan beban dinamis, belum adanya prosedur inspeksi dan *re-torque* berkala, serta keterbatasan ruang kerja yang memengaruhi kualitas pemasangan komponen.

Langkah 4. Menentukan Ide Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis penyebab, tim QCC melakukan diskusi untuk menentukan alternatif solusi yang paling efektif dengan mempertimbangkan aspek teknis, biaya, kemudahan implementasi, dan keberlanjutan hasil perbaikan. Beberapa tindakan yang dipilih meliputi penggunaan bolt Grade 10.9, pemasangan spring washer, penggunaan thread locker, pengencangan menggunakan torque wrench sesuai standar, serta penyusunan prosedur inspeksi dan *re-torque* berkala.

Langkah 5. Implementasi Perbaikan

Seluruh tindakan perbaikan yang telah disepakati kemudian diterapkan pada unit *Dump truck* CMT106 sesuai dengan prosedur kerja yang telah ditetapkan. Selama proses implementasi dilakukan pengawasan secara langsung untuk memastikan bahwa seluruh pekerjaan dilaksanakan sesuai standar teknis sehingga efektivitas perbaikan dapat tercapai secara optimal.

Langkah 6. Evaluasi Hasil

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi perbaikan. Parameter yang digunakan meliputi frekuensi BUS, total *downtime*, tingkat *availability unit*, efektivitas tindakan perbaikan, serta dampaknya terhadap produktivitas operasional. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai tingkat keberhasilan kegiatan *improvement* yang telah dilakukan.

Langkah 7. Standarisasi

Perbaikan yang terbukti efektif selanjutnya dijadikan standar kerja baru melalui penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP), penetapan standar torsi pengencangan baut, penyusunan jadwal inspeksi dan *re-torque* berkala, serta sosialisasi kepada seluruh mekanik di *Plant Department*. Tahap standarisasi merupakan bagian penting dalam konsep *Kaizen* untuk memastikan hasil perbaikan dapat dipertahankan dan diterapkan secara konsisten dalam kegiatan operasional (Imai, 1986).

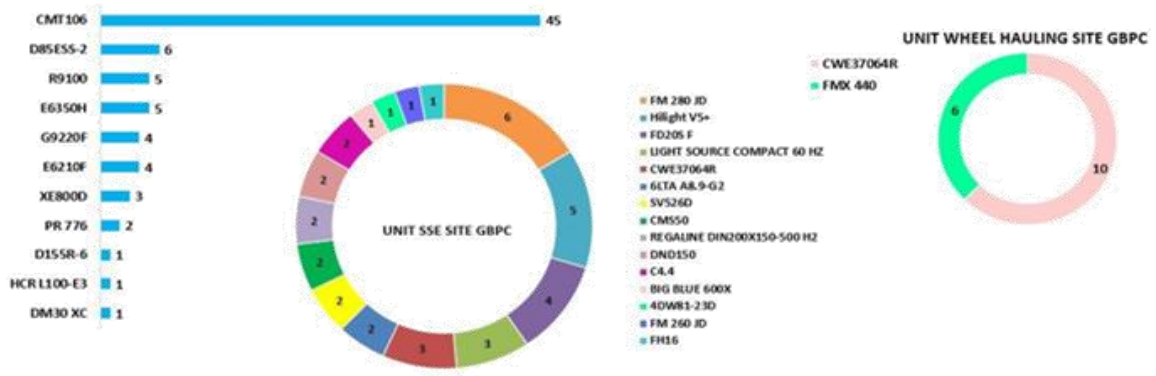
Langkah 8. Penetapan Perbaikan Selanjutnya

Tahap terakhir bertujuan menetapkan peluang perbaikan berikutnya sebagai bagian dari proses *continuous improvement*. Berdasarkan hasil evaluasi kegiatan QCC, sistem tyre dipilih sebagai fokus perbaikan selanjutnya karena masih memiliki frekuensi *Breakdown Unschedule* yang relatif tinggi. Melalui kegiatan perbaikan yang berkelanjutan, diharapkan tingkat keandalan alat berat di PT Karunia Armada Indonesia dapat terus meningkat sehingga mampu mendukung pencapaian target produksi perusahaan secara optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis dan Kondisi Awal Unit

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menganalisis kondisi populasi alat berat yang beroperasi di PT Karunia Armada Indonesia. Berdasarkan data populasi unit, diketahui bahwa kelompok alat berat kategori A2B didominasi oleh *Dump truck* CMT106 dengan jumlah 45 unit dari total 77 unit. Tingginya jumlah populasi tersebut menunjukkan bahwa *Dump truck* CMT106 merupakan tulang punggung kegiatan *hauling* sehingga memiliki tingkat utilisasi yang paling tinggi dibandingkan jenis unit lainnya. Semakin tinggi intensitas operasi suatu unit, maka semakin besar pula peluang terjadinya keausan komponen maupun gangguan mekanis apabila program pemeliharaan tidak dilakukan secara optimal. Oleh karena itu, peningkatan keandalan pada unit CMT106 menjadi prioritas dalam mendukung pencapaian target produksi perusahaan.

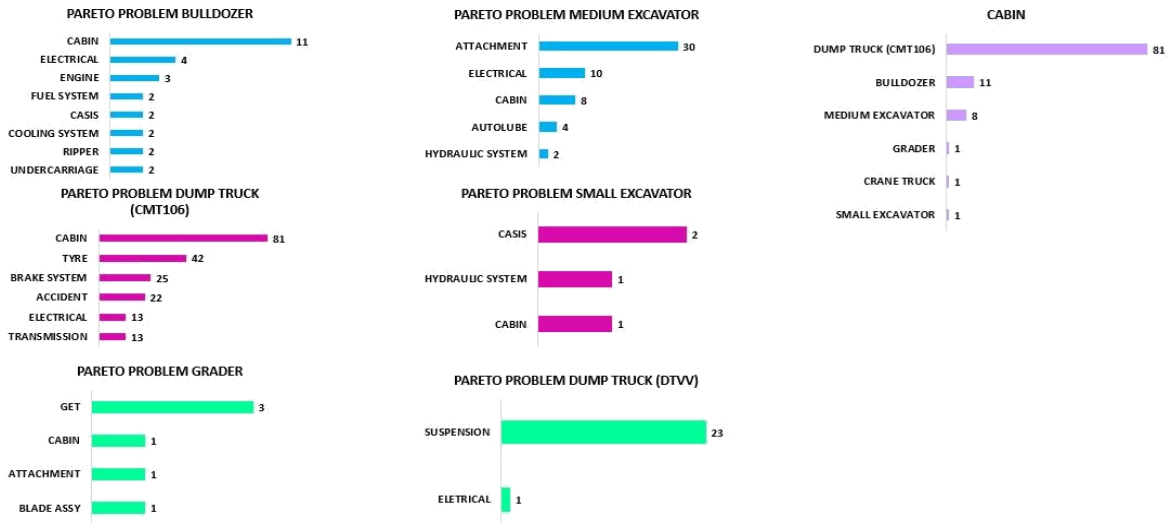


Gambar 3.
Grafik Populasi Unit di Site GBPC
Sumber: Data Plant Department PT Karunia Armada Indonesia (2024), diolah penulis.

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah *Dump truck* CMT106 jauh lebih dominan dibandingkan jenis alat berat lainnya. Kondisi ini menjadi dasar pemilihan objek penelitian karena setiap peningkatan keandalan pada unit tersebut akan memberikan dampak yang lebih besar terhadap produktivitas operasional perusahaan dibandingkan apabila *improvement* dilakukan pada unit dengan populasi yang lebih sedikit.

3.2 Analisis *Breakdown Unschedule* menggunakan Diagram Pareto

Setelah menentukan objek penelitian, dilakukan analisis terhadap data *Breakdown Unschedule* (BUS) periode Januari menggunakan Diagram Pareto. Analisis ini bertujuan mengidentifikasi jenis unit dan sistem yang paling dominan menyebabkan *downtime*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *Dump truck* CMT106 memiliki jumlah BUS tertinggi, yaitu 196 kejadian, sedangkan sistem Cabin menjadi penyumbang terbesar dengan 81 kejadian. Berdasarkan prinsip Pareto, perbaikan yang difokuskan pada sistem cabin diharapkan mampu memberikan pengaruh paling signifikan terhadap penurunan total breakdown yang terjadi pada unit CMT106.



Gambar 4.
Pareto Problem Unit
Sumber: Data Historis Breakdown Unschedule (BUS) Plant Department PT Karunia Armada Indonesia (2024), diolah penulis.

Diagram Pareto memperlihatkan bahwa gangguan pada sistem cabin memiliki kontribusi paling besar dibandingkan sistem lainnya seperti tyre, brake system, transmission maupun electrical. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa efektivitas program maintenance sebelumnya masih belum mampu mengatasi penyebab utama gangguan pada sistem cabin sehingga diperlukan pendekatan *improvement* yang lebih komprehensif.

3.3 Analisis Breakdown pada Mounting Cabin

Analisis lanjutan dilakukan terhadap sistem cabin untuk mengetahui jenis kerusakan yang paling dominan. Berdasarkan data frekuensi BUS, diketahui bahwa kerusakan bolt mounting cabin loose merupakan penyebab utama gangguan dengan frekuensi 72 kejadian, diikuti oleh bolt broken sebanyak 28 kejadian, serta bolt missing sebanyak 8 kejadian. Walaupun frekuensi bolt broken lebih rendah dibandingkan bolt loose, namun total *downtime* akibat bolt broken mencapai lebih dari 64 jam, sedangkan bolt loose menyebabkan *downtime* sekitar 38,9 jam. Hal ini menunjukkan bahwa kerusakan bolt patah membutuhkan waktu perbaikan yang lebih lama sehingga memberikan dampak lebih besar terhadap kehilangan waktu operasi unit.

Tabel 1.
Frekuensi Kerusakan dan Total Downtime Mounting Cabin

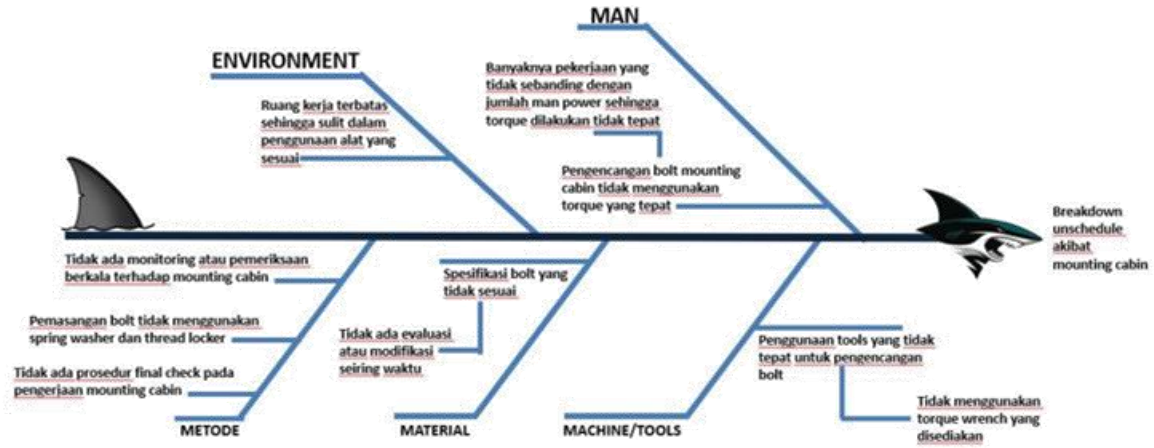
Jenis Kerusakan	Frekuensi (Kejadian)	Total Downtime (Jam)
Bolt Mounting Cabin Loose	72	38,9
Bolt Mounting Cabin Broken	28	64,1
Bolt Mounting Cabin Missing	8	7,2
Total	**108**	**110,2**

Sumber: Data Plant Department PT Karunia Armada Indonesia (2024).

Berdasarkan Tabel 1, kerusakan *bolt mounting cabin loose* memiliki frekuensi tertinggi yaitu 72 kejadian atau sekitar 66,7% dari total kerusakan. Namun demikian, *bolt mounting cabin broken* memberikan dampak downtime terbesar yaitu 64,1 jam atau sekitar 58,2% dari total downtime. Hasil ini menunjukkan bahwa frekuensi kerusakan tidak selalu berbanding lurus dengan besarnya downtime yang ditimbulkan. Oleh karena itu, tindakan perbaikan difokuskan tidak hanya pada penurunan frekuensi kerusakan, tetapi juga pada pencegahan kerusakan yang menyebabkan waktu perbaikan paling lama.

3.4 Analisis Akar Penyebab Menggunakan Fishbone Diagram

Untuk mengetahui penyebab utama terjadinya *Breakdown Unschedule* pada mounting cabin dilakukan analisis menggunakan Fishbone Diagram berdasarkan pendekatan 5M+1E, yaitu Man, Machine, Method, Material, dan Environment.Hasil analisis menunjukkan bahwa akar penyebab berasal dari beberapa faktor yang saling berkaitan. Dari aspek Man, mekanik belum secara konsisten menggunakan torque wrench sehingga pengencangan baut tidak sesuai spesifikasi. Dari aspek Machine, penggunaan alat kerja yang kurang tepat menyebabkan nilai torsi tidak tercapai secara akurat. Dari aspek Material, spesifikasi bolt yang digunakan belum memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban dinamis selama unit beroperasi. Dari aspek Method, belum tersedia prosedur inspeksi berkala maupun *final check* setelah pekerjaan selesai. Sementara itu, faktor Environment berupa ruang kerja yang sempit menyebabkan mekanik mengalami kesulitan dalam melakukan proses pengencangan baut secara optimal.



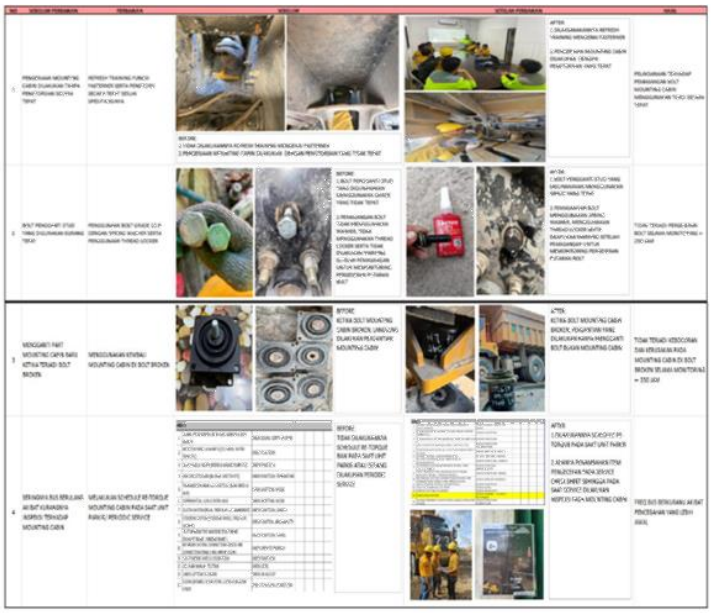
Gambar 5.
Fishbone Diagram
Sumber: data penelitian (2024).

Fishbone Diagram menunjukkan bahwa permasalahan bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan kombinasi beberapa faktor teknis maupun prosedural. Oleh karena itu, solusi yang dipilih harus mampu mengatasi seluruh penyebab utama secara bersamaan agar hasil *improvement* dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

3.5 Implementasi Program *Improvement*

Berdasarkan hasil analisis akar penyebab, tim QCC menetapkan empat tindakan perbaikan utama, yaitu:

1. Penggantian bolt mounting cabin menggunakan Grade 10.9.
2. Penambahan spring washer dan thread locker pada setiap sambungan baut.
3. Pengencangan baut menggunakan torque wrench sesuai standar 27 kgm.
4. Penyusunan jadwal inspeksi dan *re-torque* secara berkala sebagai bagian dari *preventive maintenance*.



Gambar 6**.**
Pelaksanaan *improvement*

Penggunaan bolt Grade 10.9 meningkatkan kemampuan sambungan dalam menahan beban dinamis akibat getaran selama unit beroperasi. Penambahan spring washer berfungsi mempertahankan gaya jepit sambungan, sedangkan thread locker mencegah baut mengalami *self-loosening* akibat vibrasi. Selain itu, penggunaan torque wrench memastikan setiap baut dikencangkan sesuai spesifikasi sehingga distribusi gaya jepit menjadi lebih merata.

3.6. Evaluasi Hasil *Improvement*

3.6.1 Evaluasi Kinerja Teknis

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan frekuensi *Breakdown Unschedule* sebelum dan Evaluasi hasil dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum (*before improvement*) dan sesudah (*after improvement*) implementasi program *Quality Control Circle (QCC)* pada sistem mounting cabin *Dump truck* CMT106. Parameter yang dievaluasi meliputi frekuensi kerusakan (*Breakdown Unschedule*), total *downtime*, serta rata-rata waktu pengerjaan (*repair time*) untuk setiap jenis kerusakan.

Tabel 2.
Perbandingan Properties Bahan Aspal Karet dengan Aspal Penetrasi 60-70 dan Aspal Modifikasi PG 70

Jenis Kerusakan	Frekuensi Sebelum	Downtime Sebelum (Jam)	Rata-rata Pengerjaan Sebelum (Menit)	Frekuensi Sesudah	Downtime Sesudah (Jam)	Rata-rata Pengerjaan Sesudah (Menit)	Peningkatan Efisiensi (%)
Bolt Mounting Cabin Loose	64	32,5	30,47	1	0,15	15	50,76
Bolt Mounting Cabin Broken	25	56,3	135,12	2	2,20	70	48,19
Bolt Mounting Cabin Missing	8	7,2	54,25	1	0,20	20	63,15
Total	**97**	**96,0**	-	**4**	**2,55**	-	-
Frekuensi BUS Bulanan	**31 kejadian/bulan**	-	-	**8 kejadian/bulan** *(simulasi)*	-	-	**74,20**

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian (2025).

Berdasarkan Tabel 2, implementasi program *improvement* pada sistem *mounting cabin* berhasil meningkatkan keandalan unit secara signifikan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode QCC efektif dalam mengidentifikasi akar penyebab permasalahan dan menghasilkan tindakan perbaikan yang mampu menurunkan frekuensi gangguan secara signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Istiyono *et al*. (2024) yang berhasil menurunkan downtime mesin dari 16% menjadi 5% setelah penerapan tahapan QCC secara sistematis mulai dari identifikasi masalah hingga standarisasi hasil perbaikan. Frekuensi kerusakan turun dari 97 kejadian menjadi 4 kejadian, sedangkan total *downtime* berkurang dari 96 jam menjadi 2,55 jam. Selain itu, rata-rata waktu perbaikan untuk setiap jenis kerusakan juga mengalami penurunan, dengan peningkatan efisiensi berkisar antara 48,19% hingga 63,15%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa frekuensi *Breakdown Unschedule* (BUS) bulanan berpotensi turun dari 31 kejadian menjadi 8 kejadian per bulan atau menurun sebesar 74,20%. Temuan ini menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang diterapkan efektif dalam mengurangi kerusakan berulang, menekan *downtime*, dan meningkatkan kinerja operasional Dump Truck CMT106.

Penurunan waktu perbaikan menunjukkan bahwa tindakan korektif yang diterapkan mampu meningkatkan efektivitas aktivitas maintenance. Hasil ini konsisten dengan penelitian Aliyudin dan Setijadi (2025) yang melaporkan bahwa penerapan QCC pada sistem lubrikasi mesin berhasil mempercepat proses perbaikan, mengurangi *downtime*, dan meningkatkan pencapaian kinerja divisi maintenance.

Berdasarkan simulasi frekuensi kerusakan bulanan, jumlah kejadian *Breakdown Unschedule* juga diproyeksikan turun dari rata-rata 31 kejadian per bulan menjadi sekitar 8 kejadian per bulan, atau mengalami penurunan sebesar 74,20%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa tindakan perbaikan tidak hanya efektif dalam mengurangi frekuensi kerusakan, tetapi juga mampu meningkatkan keandalan sambungan mounting cabin sehingga potensi terjadinya kerusakan berulang dapat diminimalkan. Keberhasilan tersebut dipengaruhi oleh kombinasi beberapa tindakan perbaikan, yaitu penggunaan bolt Grade 10.9 yang memiliki kekuatan tarik lebih tinggi, pemasangan spring washer untuk mempertahankan gaya jepit sambungan, aplikasi thread locker sebagai pencegah terjadinya *self-loosening* akibat getaran, serta pengencangan baut menggunakan torque wrench sesuai standar torsi. Selain itu, penerapan inspeksi dan *re-torque* secara berkala mampu menjaga kondisi sambungan tetap optimal selama unit beroperasi.Secara keseluruhan, hasil evaluasi membuktikan bahwa implementasi metode *Quality Control Circle (QCC)* berhasil meningkatkan keandalan sistem mounting cabin pada *Dump truck* CMT106. Dampak yang dihasilkan tidak hanya berupa penurunan frekuensi kerusakan dan *downtime*, tetapi juga peningkatan efisiensi proses perbaikan, meningkatnya *equipment availability*, serta berkurangnya potensi kerugian operasional akibat berhentinya unit selama proses produksi.

Tabel 3.
Perbandingan Potensi Kerugian Operasional Sebelum dan Sesudah Improvement

Parameter	Sebelum Improvement	Hasil Improvement	Nilai
Downtime	96 jam	Penurunan downtime per bulan	26,9 jam
Konversi ritase	96 jam × 3 ritase = 288 ritase	Penghematan biaya operasional per bulan	Rp61.104.000
Produksi (BCM)	288 ritase × 23 BCM = 6.624 BCM	Penghematan biaya operasional per tahun	Rp736.644.000
Nilai Produksi	6.624 BCM × Rp34.000 = Rp225.216.000	Persentase penurunan kerugian	82,20%
Simulasi Kerugian per Bulan	Rp75.072.000	Target penurunan	50%
		Status pencapaian	Target tercapai dan terlampaui

Sumber**:** Hasil pengolahan data penelitian (2025).

Berdasarkan Tabel 3, implementasi program *improvement* berhasil menurunkan *downtime* dari 96 jam menjadi 2,55 jam selama periode pengamatan. Penurunan tersebut berdampak pada berkurangnya potensi kehilangan produksi dari 6.624 BCM menjadi 210,25 BCM. Simulasi kerugian operasional per bulan juga turun dari Rp75.072.000 menjadi Rp13.685.000, sehingga menghasilkan penghematan sebesar Rp61.104.000 per bulan atau Rp736.644.000 per tahun. Secara keseluruhan, program perbaikan mampu menurunkan potensi kerugian operasional sebesar 82,2%, melampaui target awal yang ditetapkan sebesar 50%.

3.6.2 Evaluasi terhadap Operasional dan Biaya

Selain memberikan peningkatan terhadap aspek teknis, implementasi program *improvement* juga memberikan dampak yang signifikan terhadap aspek operasional dan ekonomi perusahaan. Penurunan frekuensi *Breakdown Unschedule* dan *downtime* menyebabkan meningkatnya waktu operasi unit sehingga potensi kehilangan produksi dapat ditekan secara signifikan.Perhitungan potensi kerugian operasional dilakukan berdasarkan

produktivitas unit *hauling*, dengan asumsi bahwa setiap 1 jam *downtime* setara dengan 3 ritase, setiap 1 ritase menghasilkan 23 BCM material, dan nilai produksi ditetapkan sebesar Rp34.000 per BCM. Berdasarkan asumsi tersebut, sebelum implementasi program *improvement* total *downtime* mencapai 96 jam, sehingga menyebabkan potensi kehilangan produksi sebesar 288 ritase atau setara dengan 6.624 BCM. Dengan nilai produksi tersebut, estimasi kerugian operasional mencapai Rp225.216.000 selama periode pengamatan atau sekitar Rp75.072.000 per bulan.Setelah implementasi tindakan perbaikan, total *downtime* berhasil diturunkan menjadi 2,55 jam selama periode evaluasi 15 hari. Kondisi tersebut menurunkan potensi kehilangan produksi menjadi sekitar 8,75 ritase atau setara dengan 210,25 BCM, dengan estimasi kerugian operasional sebesar Rp6.842.500. Jika disimulasikan dalam satu bulan, total *downtime* diperkirakan sebesar 5,50 jam dengan potensi kerugian operasional sekitar Rp13.685.000 per bulan.Hasil evaluasi menunjukkan bahwa implementasi metode *Quality Control Circle (QCC)* mampu menurunkan potensi kerugian operasional sebesar 82,2%, jauh melampaui target awal penurunan sebesar 50%. Penurunan tersebut menghasilkan penghematan biaya operasional sekitar Rp61.104.000 per bulan. Selain memberikan penghematan biaya, program *improvement* juga mampu mengurangi *downtime* sebesar 26,9 jam per bulan, sehingga meningkatkan *equipment availability*, memperlancar proses *hauling*, serta mendukung pencapaian target produksi perusahaan. Secara keseluruhan, hasil evaluasi membuktikan bahwa tindakan perbaikan yang diterapkan tidak hanya efektif dalam mengurangi frekuensi kerusakan dan mempercepat proses perbaikan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi yang nyata melalui peningkatan produktivitas dan efisiensi biaya operasional. Dengan demikian, implementasi metode *Quality Control Circle (QCC)* dapat menjadi pendekatan yang efektif dalam meningkatkan keandalan alat berat sekaligus menciptakan nilai tambah bagi perusahaan melalui pengurangan *downtime* dan optimalisasi kinerja operasional.

3.7 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan pada sistem mounting cabin disebabkan oleh kombinasi faktor manusia, metode kerja, material, peralatan, dan lingkungan kerja. Temuan ini mengindikasikan bahwa kegagalan komponen tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas komponen itu sendiri, tetapi juga oleh efektivitas sistem pemeliharaan yang diterapkan. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Hakim dan Islami (2024) yang menyatakan bahwa analisis Fishbone Diagram mampu mengidentifikasi faktor-faktor dominan penyebab kegagalan sehingga perusahaan dapat menyusun tindakan *preventive maintenance* yang lebih tepat sasaran.

Implementasi penggunaan bolt Grade 10.9, pemasangan spring washer, aplikasi thread locker, serta pengencangan menggunakan torque wrench sesuai standar berhasil menurunkan frekuensi *Breakdown Unschedule* dari 97 kejadian menjadi 4 kejadian. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa tindakan perbaikan telah mampu mengatasi penyebab utama terjadinya *self-loosening* pada sambungan baut akibat vibrasi selama operasi *hauling*. Keberhasilan ini menunjukkan pentingnya penerapan pemeliharaan berbasis keandalan (*reliability*-based maintenance) dalam menjaga performa komponen kritis. Temuan tersebut didukung oleh penelitian Siagian *et al*. (2024) yang menjelaskan bahwa strategi perawatan yang berfokus pada identifikasi komponen kritis mampu meningkatkan keandalan peralatan dan mengurangi frekuensi kegagalan operasional.

Penurunan *downtime* dari 96 jam menjadi 2,55 jam menunjukkan peningkatan *availability unit* yang sangat signifikan. Dalam industri pertambangan, *downtime* merupakan salah satu indikator utama yang memengaruhi produktivitas alat berat karena setiap jam unit tidak beroperasi akan berdampak pada hilangnya kesempatan produksi. Hasil penelitian ini

sejalan dengan penelitian Hia dan Pramudjito (2024) yang menunjukkan bahwa pengurangan Mean Time To Repair (MTTR) pada peralatan tambang berkontribusi langsung terhadap peningkatan *availability* dan efektivitas operasional unit.

Keberhasilan program *improvement* juga terlihat dari menurunnya waktu perbaikan rata-rata pada setiap jenis kerusakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa tindakan korektif yang diterapkan tidak hanya mampu mencegah kerusakan berulang, tetapi juga meningkatkan efisiensi proses maintenance. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Muhazir *et al*. (2024) yang menyatakan bahwa perencanaan perawatan berdasarkan analisis MTTF dan MTTR dapat mengoptimalkan aktivitas pemeliharaan sekaligus menekan *downtime* peralatan secara berkelanjutan.

Dari sisi operasional dan ekonomi, penurunan frekuensi kerusakan dan *downtime* menghasilkan penghematan biaya operasional sekitar Rp61.104.000 per bulan. Penghematan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan keandalan alat berat memiliki dampak langsung terhadap efisiensi operasional perusahaan. Temuan ini didukung oleh penelitian Irhami (2025) yang menyatakan bahwa penguatan *preventive maintenance*, inspeksi rutin, dan pengelolaan histori kerusakan secara sistematis mampu menekan *downtime* serta meningkatkan efisiensi operasional alat berat pada perusahaan pertambangan.

4. KESİMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan metode *Quality Control Circle (QCC)* pada sistem mounting cabin *Dump truck* CMT106 terbukti efektif dalam mengurangi *Breakdown Unschedule* (BUS) yang disebabkan oleh kondisi bolt mounting yang loose, broken, dan missing. Perbaikan yang dilakukan melalui penggunaan bolt Grade 10.9, penambahan spring washer dan thread locker, pengencangan sesuai standar menggunakan torque wrench, serta inspeksi dan *re-torque* berkala berhasil meningkatkan keandalan sistem mounting cabin, menurunkan frekuensi kerusakan dan *downtime*, serta meningkatkan kesiapan unit dalam mendukung kegiatan operasional. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode QCC dapat menjadi pendekatan perbaikan berkelanjutan yang efektif untuk meningkatkan performa pemeliharaan alat berat di lingkungan pertambangan. Oleh karena itu, standar perbaikan yang telah diterapkan perlu diintegrasikan ke dalam prosedur pemeliharaan dan didukung dengan program inspeksi berkala serta peningkatan kompetensi mekanik. Selain itu, penerapan QCC pada komponen lain yang memiliki tingkat BUS tinggi serta kajian mengenai aspek ekonomi, seperti *cost saving, Overall Equipment Effectiveness (OEE),* dan *Return on Investment (ROI),* dapat menjadi fokus penelitian selanjutnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Aliyudin, K., & Setijadi, S. (2026). Penerapan Metode QCC untuk Mempersingkat Waktu Perbaikan Sistem Lubrikasi Mesin Robodrill di PT XYZ. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 9(1), 925–931. https://doi.org/10.31004/jutin.v9i1.54828
2. Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
3. Gunawan, R., Agung Bimantoro, F., Victor, J., P Sitompul, H., & Purnomo, A. (2025). Peningkatan Produktivitas Excavator PC 500 Melalui Implementasi Metode *Quality Control Circle (QCC)*: Studi Kasus di Kontraktor Pertambangan Batubara. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 6(12), 5652–5661. https://doi.org/10.59141/japendi.v6i12.9127
4. Hia, S. W., & Pramudjito, P. A. D. (2024). Reduce mean time to repair of mining equipment with *Lean Six Sigma*. Operations Excellence: *Journal of Applied Industrial*

Engineering, 16(3), 331–340. https://doi.org/10.22441/oe.2024.v16.i3.125
5. Hakim, A. A. I., & Islami, L. A. (2024). Identifikasi Penyebab Kebocoran Steam pada Flange Menggunakan Metode Fishbone Diagram dan Implementasi Preventive Maintenance untuk Menjaga Kinerja Distribusi Steam, Studi Kasus di PT. ABC. *Integrated Mechanical Engineering Journal*, 2(1), 58–68. https://doi.org/10.56904/imejour.v2i1.44
6. Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.
7. Irhami. (2026). Analisis Strategi Manajemen Perawatan Alat Berat dalam Menekan *Downtime* dan Meningkatkan Efisiensi Operasional pada Departemen PER Plant PT Karunia Armada Indonesia. Menulis: *Jurnal Penelitian Nusantara*, 2(4), 382–399. https://doi.org/10.59435/menulis.v2i4.1111
8. Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Prentice-Hall.
9. Istiyono, Y. P., Sartono, Soesilo, R., Syamsudin, & Nirfison. (2024). Analisis menurunkan downtime mesin Endrober dengan menggunakan metode Quality Control Circle (QCC) di PT XYZ. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi*, 6(2), 24–39. (https://journalversa.com/s/index.php/jsit/article/view/2763) diakses tanggal 6 Juli 2026.
10. Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2013). *Maintenance, replacement, and reliability: Theory and applications* (2nd ed.). CRC Press.
11. Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
12. Kholilullah, K., & Kurniawan, K. (2022). Menurunkan Downtime Pada Mesin Slitter Dengan Menggunakan Metode Quality Control Circle (QCC) dan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di Perusahaan Manufaktur Makanan. *Proceeding Mercu Buana Conference on Industrial Engineering*, 4(1), 291–307. https://doi.org/10.22441/MBCIE.2022.031
13. Malik, I. P., Efendi, R., & Chin, J. (2024). Quality Control Circle dalam berbagai bidang: Studi literature review peningkatan kualitas dan produktivitas. *Proceeding Mercu Buana Conference on Industrial Engineering*, 6, 372–383. https://doi.org/10.22441/MBCIE.2024.037
14. Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
15. Moniri-Morad, A., & Sattarvand, J. (2023). A comparative study between the system reliability evaluation methods: Case study of mining dump trucks. *Journal of Engineering and Applied Science*, 70(103), 2-17. https://doi.org/10.1186/s44147-023-00272-y
16. Muhazir, A., Sinaga, Z., & Setyadi, R. D. (2024). Perencanaan Perawatan Mesin Building Dengan Metode *Reliability* Centered Maintenance (RCM). *Jurnal Optimalisasi*, 10(01), 120–131. https://doi.org/10.35308/jopt.v10i01.9263
17. Nakajima, S. (1988). *Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)*. Productivity Press.
18. Rinaldi, R., Indratama, A., Prasetya, R. Y., & Koerniawan, Y. (2025). Mengurangi *Downtime* Mesin Conveyor di Asembly Line Bodi Kendaraan dengan Metode Quality Control Circle. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN)*, 8(2), 1990–1997. https://doi.org/10.31004/jutin.v8i2.44354
19. Rokhmah, A. (2023). Implementasi *Quality Control Circle (QCC) untuk meningkatkan produktivitas recoiling line. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 11(2), 163–175. https://doi.org/10.24912/jitiuntar.v11i2.20999
20. Siagian, I. I., Ginting, P. J., & Sembiring, A. C. (2024). Analisis Perawatan Mesin Kritis Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Pada Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri Prima (JURITI PRIMA)*, 7(2), 43-52.

https://doi.org/10.34012/juritiprima.v7i2.5554
21. Zhu, J., Ge, Z., Song, Z., & Gao, F. (2019). Review and big data perspectives on predictive maintenance in industrial systems. Engineering, 5(4), 681–692. https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.004