

Perawatan Mesin Alat Berat Wheel Loader PT. XYZ

Firman Sri Bagaskara¹, Muhammad Rama Aditya¹, Dimas Aldyansyah¹, Dimas Maulana Aji¹,
Felderico Andreas Sitanggang¹, M.Muhibbul Khairi¹, Fajar Paundra^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan 35365, Indonesia

*Penulis korespondensi; E-mail: fajar.paundra@ms.itera.ac.id

ABSTRAK

Wheel Loader adalah peralatan yang digunakan untuk memindahkan material dan memuatnya ke dalam *dump truck*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari perawatan mesin pada *Wheel Loader* di PT. XYZ. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data meliputi observasi, wawancara, dan studi pustaka. Berdasarkan hasil penelitian, perawatan mesin *Wheel Loader* dilakukan secara berkala melalui *daily autonomous maintenance* dan *preventive maintenance* untuk memastikan alat dapat bekerja dengan baik. Hal ini dibuktikan dengan adanya sampling oil dan filter cut tidak adanya partikel yang berbahaya.

Kata kunci: *Wheel loader, daily autonomous maintenance, preventive maintenance.*

ABSTRACT

Wheel Loader is equipment used to move material and load it into a *dump truck*. The purpose of this research is to study machine maintenance on *Wheel Loaders* at PT. XYZ. The methods used in data collection include observation, interviews, and literature study. Based on the research results, maintenance of the *Wheel Loader* machine is carried out regularly through *daily autonomous maintenance* and *preventive maintenance* to ensure that the tool can work properly. This is proven by the presence of oil sampling and filter cut, the absence of harmful particles.

Keywords: *Wheel loader, daily autonomous maintenance, preventive maintenance.*

PENDAHULUAN

Memilih peralatan berat yang tepat sangat krusial dalam proses produksi. Kinerja peralatan berat dianggap unggul apabila mampu menghasilkan produksi maksimum dengan biaya minimum. Oleh karena itu, pemilihan peralatan berat yang tepat menjadi faktor penting dalam mencapai keberhasilan pada proyek atau perusahaan. Beberapa contoh peralatan berat yang sering dipakai dalam industri perkebunan mencakup *excavator*, *bulldozer*, *shell loader* dan *scraper*[1][2][3].

Alat berat yang sering dimanfaatkan untuk membantu pekerjaan yang berat atau sulit adalah *Wheel Loader*. *Wheel Loader* merupakan jenis traktor yang dilengkapi dengan roda dan *bucket* untuk menggali, membawa, dan memuat material pada proyek tertentu [1]. *Wheel Loader* lebih efisien karena memiliki keranjang yang lebih besar dibandingkan dengan alat berat lainnya. Dalam industri, *Wheel Loader* dapat bekerja dengan kemampuan yang lebih besar dan sangat efisien digunakan pada sektor-sektor seperti pertambangan dan pembangunan infrastruktur kota[4].

Apabila *Wheel Loader* beroperasi dengan tingkat kemampuan yang tinggi, maka dibutuhkan torsi yang besar agar mesin dapat bekerja dengan tenaga

yang cukup besar. Torsi yang besar tersebut kemudian disalurkan ke final *drive* pada keempat roda dan sistem hidrolik pada *Wheel Loader* [5][6].

Jika terjadi kerusakan pada *Wheel Loader*, hal ini bisa menyebabkan penurunan kemampuan, performa yang tidak stabil, dan bahkan menghentikan unit untuk beroperasi sesuai kebutuhannya. Oleh karena itu, penulis mempertimbangkan untuk menganalisis perawatan mesin *Wheel Loader* agar dapat meningkatkan pengetahuan tentang perawatan mesin dan mengurangi risiko terjadinya kerusakan pada unit saat melakukan pekerjaan.

METODE

Alat Berat

Alat berat merupakan suatu mesin atau peralatan mekanis yang didesain untuk melakukan fungsi konstruksi meliputi *attachment* penggunaannya, baik yang bergerak dengan otomatis (*self propelled*) atau manual dengan tenaga tarik (*towed-type*) serta yang menetap (*stationer*), alat berat umumnya menggunakan daya yang lebih dari satu kilo watt, dengan pemanfaatan sebagai bantuan pekerjaan konstruksi pertambangan, industri skala kecil maupun besar, pertanian atau kehutanan serta dalam berbagai bidang konstruksi lain. Alat berat

pada dasarnya memiliki tujuan yaitu sebagai alat bantu dalam mengerjakan pekerjaan yang relatif berat dengan harapan pekerjaan tersebut dapat diselesaikan dengan mudah serta dalam kurun waktu yang relatif lebih singkat[5].

Wheel Loader

Alat berat dikelompokkan berdasarkan perbedaan penggerakannya (*Prime-mover*) serta fungsinya (*Function*) [1]. *Wheel loader* merupakan sebuah mesin konstruksi berupa traktor memiliki roda karet yang dilengkapi dengan bucket. Mobilitas yang tinggi pada mesin *wheel loader* memiliki keunggulan yaitu pada daerah kerja kering rata dan kokoh, gerakan mesin *wheel loader* yang articulated sehingga memberi ruang gerak yang *fleksibel* yang menjadikan sebuah keunggulan dari *crawler loader*. Cara kerja mesin *wheel loader* secara sederhana yaitu dengan gerakan dasar penurunan *bucket* diatas atau di depan permukaan benda yang akan diangkat, serta mendorong muatan kemudian mengangkat *bucket*, membawa dan meletakkan material bawaan tersebut di tempat yang diinginkan[7].



Gambar 1. Wheel Loader[5]

Pemeliharaan serta perawatan adalah suatu kegiatan dengan tujuan memelihara atau menjaga peralatan atau mesin yang digunakan dalam aktivitas produksi yang dilakukan secara *continuously* agar peralatan atau mesin tersebut tetap dalam keadaan optimal serta baik demi kelancaran penyelesaian suatu pekerjaan atau tugas serta memperpanjang usia pakai dari mesin yang digunakan.

a. Jenis-Jenis Perawatan

Corrective maintenance, perfective maintenance, preventive maintenance, adaptive maintenance, predictive maintenance, serta *maintenance prevention* merupakan enam jenis bentuk perawatan dan pemeliharaan sebuah peralatan atau mesin [8] [4]. Perlakuan proses perawatan mesin merupakan proses akhir dalam mekanisme *Reliability Centered Maintenance* (RCM), tahap ini akan menentukan bagaimana perlakuan perawatan mesin yang tepat

untuk menyelesaikan sebuah kerusakan tertentu. Perlakuan perawatan atau tindakan pemeliharaan terbagi menjadi tiga jenis yaitu *condition directed*, dimana perlakuan yang akan diambil dengan tujuan mendeteksi (*scanning*) kerusakan dengan cara inspeksi visual serta memeriksa alat dan *memonitoring* sejumlah data yang ada sehingga jika ditemukan gejala kerusakan maka langkah yang selanjutnya yaitu perbaikan atau penggantian komponen. *Time directed* adalah bentuk perlakuan perawatan dan pemeliharaan dengan tujuan untuk melakukan pencegahan langsung terhadap sumber masalah kerusakan dengan dasar pada waktu atau umur komponen. *Finding failure* merupakan suatu bentuk perlakuan perawatan yang digunakan dengan tujuan sebagai teknik menemukan kerusakan mesin atau peralatan yang tersembunyi dengan melakukan pemeriksaan bertahap dan terstruktur [9].

b. Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah strategi pemeliharaan tingkat korporat yang dapat digolongkan dalam mekanisme perawatan dan pemeliharaan terencana serta terjadwal (*planned maintenance*). Strategi *reliability centered maintenance* (RCM) dirancang mempertahankan fungsi dari salah satu mekanisme sebagai upaya perawatan dan pemeliharaan yang ditinjau sebagai bentuk menjaga mekanisme atau sistem tetap berfungsi dengan semestinya dan optimal [10][11].

Metode ini menekankan dasar keselamatan operasi suatu sistem atau mekanisme sehingga dapat dibandingkan dengan sistem pemeliharaan yang ada, *reliability centered maintenance* adalah mekanisme bentuk perawatan dan pemeliharaan dengan pendekatan secara sistematis dengan tujuan mempertahankan keandalan suatu sistem [10][12].

Adapun tahapan metode *reliability centered maintenance* (RCM) adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pendekatan dengan menitikberatkan pemeriksaan serta identifikasi terhadap *part* atau komponen yang memerlukan perawatan.
2. Mengkaji data yang terkait pada keandalan suatu *part* atau sistem serta meninjau kegagalan (*failure*) dari sebuah mekanisme.
3. Mendeskripsikan dan menetapkan *part* yang signifikan.
4. Meninjau kembali *failure mode and effect analysis*.
5. Meningkatkan data *logic tree analysis* sebagai pemilihan jenis *failure* yang akan menjadi titik berat dalam pembuatan program perawatan dan pemeliharaan mesin atau peralatan.
6. Merancang *alternative solution* yang akan diterapkan sebagai mencegah *failure*.
7. Mengelompokkan keperluan perawatan dan pemeliharaan yang akan diterapkan.

c. Pengambilan data

Pada saat melakukan pengambilan data di PT. XYZ, penulis menggunakan metode-metode sebagai berikut:

1. Pengenalan dan observasi merupakan suatu cara untuk mengetahui proses yang terjadi dalam suatu perusahaan. Pengenalan yang dilakukan yaitu mengenai mesin yang digunakan, perawatan mesin, pengambilan *sparepart* serta cara kerja dari mesin *wheel loader*. Pengambilan *sparepart* seperti tutup magnet pada oli dan *filter paper* dilakukan untuk mengetahui kondisi mesin.
2. Wawancara dan diskusi tahap ini dilakukan terhadap pembimbing kerja praktek, serta staf-staf terkait *maintenance* yang mana mereka banyak memberikan pemahaman tentang proses operasional dan parameter terkait pengaruh proses produksi yang dilakukan oleh mesin *wheel loader*.
3. Studi literatur dan pengambilan data, pengumpulan data serta pengambilan data pada literatur yang ada di perusahaan PT. XYZ mengenai objek yang akan diamati. Objek yang diamati yaitu mesin *wheel loader* pada proses produksi pengambilan gambar mesin *wheel loader* serta data lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perawatan pada mesin Alat Berat *Wheel Loader* dilakukan setiap hari senin sampai sabtu dan di hari sabtu hanya setengah hari kerja. Pada kegiatan perawatan di mulai di setiap pagi hari dan PT. XYZ memiliki slogan dalam melakukan perawatan mesin ataupun dalam membersihkan *workshop* yaitu 5R yaitu: (Rigkas, Rapi, Resik, Rawat, dan Rajin).

Proses perawatan mesin *wheel loader* meliputi pelaksanaan *preventive maintenance wheel loader* seperti *daily autonomous maintenance*, *preventive maintenance* 100 jam, 250 jam, 500 jam, 750 jam, 1000 jam, 1250 jam, 1500 jam, 1750 jam, dan *preventive maintenance* 2000 jam. Pada pelaksanaan pengecekan sangat direkomendasikan menggunakan *check sheet preventive maintenance* penggunaan lembaran *check sheet* yang dilaminating agar menghemat pengeluaran serta agar lebih efisien[13].

Pada kegiatan proses perawatan yang dilakukan PT. XYZ ada beberapa komponen yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut:

1. *Daily Autonomous Maintenance (Operator Wheel Loader)* Pemeriksaan seluruh level oli sebelum mesin dihidupkan. Pengecekan ini dilakukan dengan cara membuka tutup oli mesin dan mencelupkan *deep stick*. Hal ini bertujuan untuk mengecek level oli dan kualitas dari oli. Dari hasil pencelupan *dipstick* kita dapat mengetahui apakah oli tersebut dalam kondisi *low* atau *full*. Gambar 2 menunjukkan

proses pengecekan level oli dengan menggunakan *dipstick*. Dari hasil pengecekan menunjukkan level oli dalam keadaan normal, dimana tidak dalam keadaan *low*.



Gambar 2. Pengecekan level oli.

2. Pemeriksaan air *battery* beserta kabel kabelnya. Pengecekan *battery* bertujuan untuk mengetahui level air dan kondisi *battery*. Selain itu juga dilakukan pengecekan kabel kabel dari *battery* untuk memastikan dalam kondisi normal. Gambar 3 menunjukkan proses pengecekan *battery* pada *wheel loader*.



Gambar 3. Proses Pengecekan *battery*

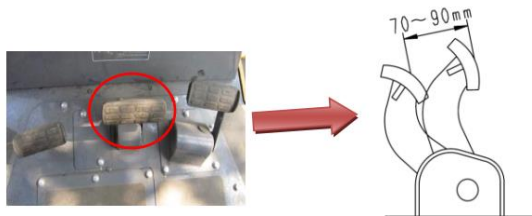
3. Pemeriksaan air radiator. Air radiator sangat penting dalam proses pendinginan mesin, sehingga perlu di cek setiap saat. Pengecekan air radiator yang berada di posisi depan mesin. Pengecekan ini berupa melihat level air radiator pada tangki radiator, jika berkurang maka dilakukan penambahan hingga batas atas. Gambar 4 menunjukkan tangki radiator *wheel loader*.



Gambar 4. Tangki *coolant* radiator

4. Pemeriksaan rem.

Pengecekan rem bertujuan untuk mengetahui apakah rem bekerja dengan baik atau tidak. Pengecekan ini dilakukan dengan cara menginjak pedal rem 70-90 mm, jika pijakan lebih dari 91 mm maka dipastikan kondisi rem sudah tidak bagus. Gambar 5 merupakan ilustrasi dari pijakan rem.



Gambar 5. Ilustrasi pijakan rem

- 5. Pemeriksaan sistem listrik dan lampu.
- 6. Pemeriksaan ketegangan tali kipas.
- 7. Pemeriksaan tekanan angin ban.
- 8. Pemeriksaan seluruh baut terutama baut roda.
- 9. Pemeriksaan kebocoran-kebocoran oli.

Pengecekan kebocoran oli dilakukan pada *dump cylinder* dan *steering cylinder* karena rawan terjadi kebocoran. Pengecekan ini berupa pengecekan visual. Berdasarkan kerusakan kebocoran *cylinder* dapat dibedakan menjadi 4 kategori yaitu rating A, B, C dan X. rating A merupakan keadaan dimana *cylinder* tidak terdapat kebocoran, rating B merupakan *cylinder* dalam keadaan bocor akan tetapi masih dapat diterima, sedangkan rating C merupakan *cylinder* dalam keadaan bocor yang sudah mulai parah dan memerlukan *schedule* perbaikan dan rating X merupakan *cylinder* dalam keadaan rusak parah dan sudah tidak layak untuk digunakan. Pada hasil pengecekan diketahui *cylinder* dalam keadaan rating A. Gambar 6 menunjukkan hasil pengamatan *cylinder*.



Gambar 6. Hasil Pengamatan *cylinder*

- 10. Pengisian BBM solar industri sebaiknya dilakukan setelah unit beroperasi pada sore hari supaya menghindari ruang kosong dalam tangki bahan bakar. Pengisian dilakukan sampai batas full tangki bahan bakar. Hal ini bertujuan agar pada saat akan dipakai, unit dalam keadaan siap pakai.

Preventive Maintenance 100 Jam

Perawatan Bagian Pelumas:

- 1. *Engine oil*, mengganti oli mesin yang baru menggunakan Meditran dengan spesifikasi 15W 40 sebanyak 20 L, penggantian oli ini dilakukan pada 100 jam pertama, dan untuk selanjutnya dilakukan penggantian setiap 250 jam. Sebelum dilakukan penggantian oli, dilakukan pengamatan dari magnetic oil plug. Hal ini bertujuan untuk mengamati kondisi mesin, apakah dalam kondisi abrasive parah atau tidak. Untuk pengamatan lebih detail dapat dilakukan melalui pihak ketiga, dimana sample akan dikirim dan dianalisa kandungannya. Gambar 7 menunjukkan kondisi *oil plug*.



Gambar 7. Kondisi oil plug

- 2. *Oil filter* element, mengganti *filter* oli dengan yang baru menggunakan Sakura C-5501, penggantian *filter* oli ini dilakukan pada 100 jam pertama, dan untuk selanjutnya dilakukan penggantian setiap 250 jam. *Filter* oli yang lama dibuka dan dilakukan pengamatan.

Perawatan Bagian Sistem Transmisi:

- 1. *Hydraulic transmission oil*, mengganti oli transmisi *hydraulic* dengan yang baru menggunakan Meditran dengan spesifikasi 15W 40 sebanyak 45 L, penggantian oli ini dilakukan pada 100 jam pertama, dan untuk selanjutnya dilakukan penggantian setiap 1000 jam.
- 2. *Drive axle gear oil*, mengganti oli gear dengan yang baru menggunakan Rored HD-A SAE 90 sebanyak 25 L.

Preventive Maintenance 250 Jam

Perawatan Bagian Pelumasan:

- 1. *Engine oil*, mengganti oli mesin yang baru menggunakan Meditran dengan spesifikasi 15W 40 sebanyak 20 L, penggantian oli ini dilakukan pada 100 jam pertama, dan untuk selanjutnya dilakukan penggantian setiap 250 jam.
- 2. *Oil filter element*, mengganti *filter* oli dengan yang baru menggunakan Sakura C-5501, penggantian *filter* oli ini dilakukan pada 100 jam pertama, dan untuk selanjutnya dilakukan penggantian setiap 250 jam.

Perawatan Bagian Sistem Bahan Bakar:

- 1. *Primary fuel filter*, mengganti *filter* solar dengan yang baru menggunakan Sakura FC-5501 dengan jumlah 2 buah.

Preventive Maintenance 500 Jam

Perawatan Bagian Sistem Bahan Bakar:

1. *Oil water separator*, mengganti pemisah air dengan minyak dengan yang baru.

Perawatan Bagian *Filter* Udara:

1. *Air cleaner element*, mengganti *filter* udara dengan yang baru.
2. Perawatan Bagian Sistem Transmisi
3. *Hydraulic transmission oil*, mengganti oli transmisi hidrolik dengan yang baru menggunakan Turalik 52 ISC VG 68.
4. *Transmission oil filter element*, mengganti *filter* oli transmisi menggunakan yang baru.

Perawatan Bagian Rem:

1. *Braking fluid*, mengganti minyak rem dengan yang baru menggunakan DOT 3 sebanyak 2 L.

Preventive Maintenance 1000 jam

Perawatan Sistem Transmisi:

1. *Drive axle gear oil*, mengganti oli *gear* dengan yang baru menggunakan *Rored* HD-A SAE 90 sebanyak 25 L.
2. Perawatan Sistem Hidrolik:
3. *Hydraulic oil*, mengganti oli hidrolik dengan yang baru menggunakan *Turalik* 52 dengan spesifikasi ISO VG 68 sebanyak 240 L.
4. Pilot *filter* element, mengganti *filter* pilot dengan yang baru.
5. Perawatan Sistem AC:
6. *Fresh air filter screen*, mengganti *filter* AC dengan yang baru.

Pada perkembangan yang akan datang sangat memungkinkan akan terjadi kesalahan pengoperasian oleh operator, kesalahan perawatan baik kesalahan cara perawatan maupun waktu perawatan yang sering terlewat atau pemakaian *sparepart* bukan rekomendasi dan ditambah umur alat berat yang semakin tua sehingga menimbulkan beberapa ketidaknormalan seperti:

1. Tenaga *wheel loader* berkurang (jika memungkinkan untuk memberikan parameter indikator jika tenaga berkurang mungkin dalam satuan HP dllnya)
2. Boros oli (Kebocoran oli dapat ditampilkan saat pengisian oli berkurang berapa persen)
3. Suara mesin kasar (Parameter ini perlu dilengkapi dengan berapa desibel suara yang menyatakan mesin tersebut kasar dllnya.)

Maka sudah waktunya dilakukan *overhaul wheel loader* meliputi *top overhaul*, *general overhaul*, *engine overhaul* dan *undercarriage*. Selanjutnya memilih jenis *overhaul* mana yang sesuai dengan kerusakan pada *wheel loader* tersebut.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari PT. XYZ adalah sebagai berikut: (Kesimpulan harus mengacu data hasil inspeksi di lapangan)

1. Untuk meminimalisir kerusakan mesin yang terjadi secara mendadak maka dilakukan pemeliharaan dengan *system preventive maintenance* dengan tujuan mencegah kerusakan pada alat.
2. Perawatan mesin alat berat penting dilakukan untuk mencegah kerusakan tidak terduga pada saat melakukan pekerjaan.

Jika terjadi kerusakan pada komponen alat berat maka harus dilakukan perbaikan, namun jika komponen sudah tidak layak, maka harus dilakukan penggantian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. T. Soroako and A. T. Soroako, *Abstrak*, vol. 9, no. 2, pp. 88–95.
- [2] S. Ali and A. Rusman, Kuat Tekan Material Dari Bahan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), *J. Mekanova*, vol. 3, no. 5, pp. 128–136, 2017.
- [3] F. Silalahi and A. Hamsi, Study Kasus Audit Maintenance Meisin Pindah Bahan Pada Belt Conveyor Dan Wheel Loader Di Pabrik Kertas (Pulp) Pada Pt Toba Pulp Lestari, Tbk. *E- Din.*, vol. 7, no. 3, pp. 154–164, 2013.
- [4] V. A. Nugroho, D. P. Adi, A. T. Wibowo, M. T. Sulistyono, and A. B. Gumelar, Klasifikasi Jenis Pemeliharaan dan Perawatan Container Crane menggunakan Algoritma Machine Learning, *Matics*, vol. 13, no. 1, pp. 21–27, 2021, doi: 10.18860/mat.v13i1.11525.
- [5] R. Norfaeda, R. M. Akbar, D. L. Saptarini, and Nurfitriah, Studi Perbandingan Produktivitas Wheel Loader John Deere 744K dan Dump Truck Hino500 FM260TI pada Pemuatan Batubara ke Tongkang di PT. Sembilan Saudara Energi, Kalimantan Selatan, *J. Poros Tek.*, vol. 12, no. 2, pp. 85–90, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnal.poliban.ac.id/index.php/porosteknik/article/view/914>.
- [6] D. N. Setiawati and A. Maddeppungeng, Analisis Produktivitas Alat Berat pada Proyek Pembangunan Pabrik Krakatau Posco Zone IV di Cilegon, *J. Konstr.*, vol. 4, pp. 91–103, 2013.
- [7] D. Dani, W. Krismantoro, and S. Ghalib, Penentuan Umur Ekonomi Wheel Loader Volvo L220G Menggunakan Minimum Cost Method, *J. Bisnis dan Pembang.*, vol. 9, no. 2, pp. 65–79, 2020, [Online]. Available: <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/bisnispembangunan/article/view/8868%0Ahttps://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/bisnispembangunan/article/download/8868/6337>.

- [8] Jaja Wijaya Guntoro, Handry Khoswanto, and Thiang Thiang, Odometer Digital untuk Kendaraan dengan Mikrokontroler MCS51, *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 75–82, 2003, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/15975>.
- [9] F. Paundra, Y. Bahtiar, and P. Elmiawan, Metode Perawatan Dan Perbaikan Mesin Creeper Di Pabrik Pengolah Karet PT. Perkebunan Nusantara VII Unit Rejosari, vol. 3, no. 1, pp. 11–14, 2023.
- [10] Siregar Ninny Hj. and Munthe Sirmas, Analisa Perawatan Mesin Digester dengan Metode Reliability Centered Maintenance pada PTPN II Pagar Merbau, *Jime (Journal Ind. Manuf. Eng.*, vol. 3, no. 2, p. 89, 2019, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jime>.
- [11] Y. Praharsi, I. Kumala Sriwana, and D. M. Sari, Perancangan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada Pt. Artha Prima Sukses Makmur, *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 13, no. 1, pp. 59–65, 2015.
- [12] M. Anhar and N. Kurnila, Analisa Kerusakan Dan Perawatan Front Final, vol. 8, no. 1, pp. 15–23, 2018.
- [13] Didik Wahjudi and Amelia Amelia, “Analisa Penjadwalan Dan Biaya Perawatan Mesin Press Untuk Pembentukan Kampas Rem,” *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 50–61, 2000, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/view/15919>.