

## Analisa Preventive Maintenance Dengan Metode Modularity Design Pada Batching Plant PT. Semarang Multi Cons

Naufazhar<sup>1</sup>, Allamsyah<sup>1</sup>, Rieska Ernawati<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Fakultas Teknologi Industri  
<sup>1,2</sup>Universitas Islam Sultan Agung Semarang  
e-mail: <sup>1</sup>syahazhar7@gmail.com

Diterima 04-04-2026	Direvisi 21-04-2026	Disetujui 20-05-2026
------------------------	------------------------	-------------------------

**Abstrak** - PT. Semarang Multi Cons merupakan sebuah perusahaan yang bergerak pada bidang konstruksi, dengan hasil produksi berupa aspal dan beton *readymix*. Dalam sebuah industri, *maintenance* mesin sangat diperlukan untuk menghindari kehilangan biaya akibat *downtime*. Perusahaan mengalami permasalahan banyaknya *downtime* mesin akibat dari *breakdown* yang menghambat produksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah *preventive maintenance* dapat meminimalkan biaya *maintenance*. Penelitian ini menggunakan metode *modularity design* untuk melakukan perhitungan biaya. Hasil dari penelitian adalah metode *modularity design* dapat menurunkan biaya *maintenance*. Dari hasil perhitungan, didapatkan hasil bahwa total biaya pemeliharaan *corrective maintenance* adalah Rp. 3.826.896.103 dan biaya pemeliharaan *preventive modularity design* basis waktu adalah Rp. 3.345.047.929 menunjukkan penurunan biaya dari sebelumnya. Dengan demikian, *modularity design* dapat meminimalkan biaya yang perlu dikeluarkan perusahaan.

Kata Kunci : *Maintenance, Modularity design, Preventive Maintenance*

**Abstract** - PT. Semarang Multi Cons is a company engaged in the construction sector, producing asphalt and ready-mix concrete. In an industry, machine maintenance is essential to avoid cost losses due to downtime. The company has been facing issues with frequent machine downtimes caused by breakdowns that hinder production. The objective of this study is to determine whether preventive maintenance can minimize maintenance costs. This research applies the modularity design method to calculate costs. The results show that the modularity design method can reduce maintenance expenses. Based on the calculations, the total cost of corrective maintenance amounted to IDR 3.826.896.103, while the preventive maintenance cost using the time-based modularity design approach amounted to IDR 3.345.047.929, indicating a reduction in costs. Thus, modularity design can minimize the expenses that the company needs to allocate for maintenance.

Keywords: *Maintenance, Modularity design, Preventive Maintenance*

### PENDAHULUAN

Waktu berjalan dengan sangat cepat beriringan dengan perkembangan zaman manusia yang semakin maju. Berbagai lini kehidupan manusia berlomba-lomba untuk berevolusi mencapai bentuk paling ideal yang diinginkan. Mulai dari teknologi, infrastruktur, ekonomi, budaya dan lain sebagainya. Segala faktor kemajuan yang terjadi sangat jelas memunculkan berbagai macam keterkaitan atau hubungan dan saling ketergantungan antar manusia di seluruh dunia. Saling ketergantungan ini yang mendorong semakin jauh pengaruh globalisasi dunia untuk semakin meluas dan meningkat yang nantinya berdampak di berbagai sektor tidak terkecuali di sektor bisnis (Burlakova, 2017).

Akibat dari globalisasi pasar yang semakin

meningkat, semua bisnis dipaksa untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas operasi mereka. Oleh karena itu, *maintenance* mesin harus dilakukan terutama secara teratur agar proses operasional dapat berjalan dengan lancar. Dengan meningkatkan keandalan mesin serta memastikan bahwa mesin berfungsi dengan baik dan maksimal untuk mencapai target produksi (Ernawati *et al.*, 2018).

*Maintenance* juga dapat disebut sebagai perawatan, yaitu sebuah kegiatan yang dilakukan untuk memelihara dan memperbaiki kerusakan fasilitas yang terjadi agar fasilitas tersebut berfungsi kembali sesuai dengan kebutuhannya. Maka perawatan didefinisikan sebagai tindakan untuk mengembalikan atau memperbaiki suatu komponen atau sistem yang rusak dalam kondisi tertentu pada waktu tertentu (Yulius dan Susanto, 2020).



Mesin yang dalam kondisi prima atau baik dapat mempercepat proses produksi, maka dari itu *maintenance* rutin perlu dilakukan, karena penggunaan dari setiap mesin sangat berbeda satu sama lain. Biaya yang perlu dikeluarkan sangat dipengaruhi oleh proses *maintenance*. Mesin yang sering digunakan jika tidak dirawat dengan baik seringkali akan rusak dan dapat mengganggu proses produksi. Untuk menghindari biaya perawatan yang sangat tinggi, *maintenance* mesin harus dilakukan dengan metode yang baik (Syakhroni, Adi Darmawan dan Marlyana, 2021). Penentuan metode dan sistem *maintenance* yang tepat akan mampu memberikan hasil paling optimal bagi sebuah perusahaan.

Sistem *maintenance* sendiri dapat dibagi menjadi dua, yakni *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan sebelum komponen mesin rusak, sedangkan *corrective maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan atau tidak berfungsi. Sistem *corrective maintenance* ini yang paling sering digunakan banyak perusahaan karena kesederhanaannya (Handayani dan Harada, 2021).

PT. Semarang Multi Cons merupakan salah satu dari banyaknya perusahaan di bidang industri yang menerapkan sistem *corrective maintenance* dalam melakukan perawatan mesin. PT. Semarang Multi Cons sendiri merupakan sebuah perusahaan industri yang bergerak di bidang konstruksi. Perusahaan ini menghasilkan produk berupa aspal dan beton *ready mix*. Untuk beton *ready mix* ini dibuat dengan cara menggabungkan beberapa bahan seperti halnya kerikil, pasir, semen, dan sebagainya yang diproses dalam sebuah alat atau mesin bernama *batching plant*. *Batching plant* digunakan untuk mencampurkan semua bahan-bahan yang diperlukan menjadi satu yang kemudian menjadi beton cair dan dipindahkan ke *truck mixer* untuk kemudian dibawa dan dituangkan langsung di tempat konstruksi. Dari penjelasan singkat diatas dapat diasumsikan bahwa mesin *batching plant* merupakan salah satu mesin yang sangat vital pada proses produksi di perusahaan industri pada bidang konstruksi yang menyediakan sedikit produk untuk ditawarkan.

Namun unit mesin *batching plant* yang dimiliki pada PT. Semarang Multi Cons sangatlah terbatas yakni hanya terdapat satu unit mesin. Harga yang cukup mahal untuk satu unit *batching plant* menjadi alasan terbatasnya unit mesin yang dimiliki. Terbatasnya unit mesin yang dimiliki dapat berdampak fatal dalam proses produksi, apabila mesin mengalami *breakdown* pada saat digunakan. Jika *breakdown* sering terjadi, maka akan berdampak pada pengeluaran biaya atau kehilangan biaya saat proses *maintenance*. Berdasarkan dari data *maintenance* tahun 2022/2023 perusahaan yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 terdapat cukup banyak *breakdown* mesin yang terjadi selama

periode tahun 2022 sampai dengan 2023.

**Tabel 1.** Data *Maintenance* Tahun 2022

Tanggal	Mesin	Mesin Berhenti	Mesin Selesai	Down-time (menit)	Keterangan
06/01/2022	Silo Semen	09:13	11:50	157	Penggantian Bearing
17/01/2022	Silo Semen	13:36	16:24	168	Penggantian Gear Box
22/02/2022	Conveyor	10:10	12:48	158	Penggantian Bearing
01/03/2022	Bin Agregat	08:00	10:44	164	Penggantian Vibro
07/05/2022	Batcher	08:22	13:00	278	Penggantian Pneumatik
12/05/2022	Bin Agregat	14:38	17:12	154	Penggantian Gear Box
19/05/2022	Mixer	11:42	14:55	193	Penggantian Bearing
09/06/2022	Conveyor	09:02	11:37	155	Penggantian Gear Box
30/06/2022	Mixer	08:12	13:21	309	Penggantian Blade
15/08/2022	Mixer	13:01	15:40	159	Penggantian Gear Box
14/11/2022	Conveyor	12:24	15:08	164	Penggantian Roll
14/11/2022	Silo Air	13:21	15:53	152	Penggantian Valve
25/11/2022	Bin Agregat	09:57	13:05	188	Penggantian Bearing
10/12/2022	Silo Semen	13:24	16:12	168	Penggantian Valve
<b>Jumlah</b>				2567	

**Tabel 2.** Data *Maintenance* Tahun 2023

Tanggal	Mesin	Mesin Berhenti	Mesin Selesai	Down-time (menit)	Keterangan
03/02/2023	Mixer	08:00	11:07	187	Penggantian Gear Box

17/02/2023	Conveyor	10:18	14:53	275	Penggantian Belt
21/02/2023	Conveyor	14:20	16:59	159	Penggantian Bearing
30/03/2023	Silo Semen	08:40	11:15	155	Penggantian Gear Box
01/04/2023	Bin Agregat	12:32	15:12	160	Penggantian Bearing
12/05/2023	Mixer	10:14	13:36	202	Penggantian Gear Box
29/05/2023	Mixer	09:00	12:10	190	Penggantian Bearing
03/06/2023	Silo Semen	15:17	17:52	155	Penggantian Bearing
03/06/2023	Bin Agregat	12:13	14:58	165	Penggantian Vibro
24/07/2023	Bin Agregat	14:50	17:27	157	Penggantian Gear Box
11/09/2023	Mixer	11:00	14:08	188	Penggantian Gear Box
11/09/2023	Bin Agregat	10:23	13:25	182	Penggantian Bearing
08/11/2023	Conveyor	09:14	11:49	155	Penggantian Bearing
<b>Jumlah</b>				2330	

Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan data-data yang menunjukkan waktu dan durasi terjadinya *breakdown* mesin pada *batching plant*. Selain dari itu, pada tabel tersebut juga mencatat kegiatan penggantian komponen yang dilakukan pada mesin yang mengalami *breakdown*.

Banyaknya *downtime* mesin saat produksi akibat dari *breakdown* mesin yang terjadi seharusnya dapat diantisipasi dan diminimalisir dengan *maintenance* teratur. *Maintenance* yang dilakukan secara teratur dapat menekan angka *breakdown* mesin yang tidak dapat diantisipasi. Akan tetapi, sistem *maintenance* yang diterapkan oleh PT. Semarang Multi Cons adalah *corrective maintenance* yang tentunya tidak sesuai dengan cara yang ingin dilakukan untuk meminimalisir *breakdown*. Sistem *maintenance* yang tepat untuk cara tersebut tentu saja *preventive maintenance*.

Sistem *maintenance* ini dilakukan secara berkala dan kontinu berdasarkan data historis kerusakan mesin di masa lalu. *Preventive*

*maintenance* tidak hanya meliputi jadwal kegiatan pemeriksaan tetapi juga jadwal penggantian komponen mesin sebagai tindakan pencegahan kerusakan dan *breakdown* yang dapat terjadi pada saat yang tak terduga (Tarigan, Ginting dan Siregar, 2013). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efisiensi dan juga efektivitas dari sistem *preventive maintenance* jika dapat diterapkan pada perusahaan dalam segi biaya.

## 1. Landasan Teori

### a. Batching Plant

Harfaz dan Wardhono (2017) mengatakan bahwa *batching plant* merupakan fasilitas manufaktur yang berperan dalam industri konstruksi, khususnya dalam proses produksi beton siap pakai (*ready mix concrete*) secara massal dan efisien tanpa mengalami kendala yang signifikan. Fasilitas ini dirancang secara khusus sebagai tempat untuk mencampur bahan-bahan dasar beton, seperti semen, pasir, air, dan batu pecah (*split*), dalam takaran besar sesuai dengan standar mutu yang telah ditentukan. Hasil campuran tersebut kemudian membentuk beton curah yang siap digunakan dan selanjutnya dimuat ke dalam truk *mixer* (molen) untuk didistribusikan langsung ke lokasi pengecoran (Wior, Mandagi dan Tjakra, 2015).

### b. Modularity Design

*Modularity design* merupakan konsep yang sering digunakan dalam desain produk yang kemudian diintegrasikan melalui metode *maintenance*. Modularisasi ini merupakan pengelompokan komponen menjadi bagian berbeda berdasarkan kedekatannya agar membuatnya lebih mudah dipindahkan atau diganti. Sistem modular memungkinkan sistem menghasilkan rekayasa dan solusi yang menguntungkan dalam ekonomi perusahaan. Pengembangan modular pertama kali diawali untuk dirancang pada benda atau ukuran mandiri, dan diantisipasi bahwa pengembangan memberikan banyak hasil dengan variasi berbeda. Modularitas meminimasi biaya perawatan dengan mengelompokkan komponen menurut kesamaan dan ketergantungan, sehingga perbaikan dan pemeliharaan lebih mudah dilakukan. Setiap fitur suatu produk diharapkan independen dari fitur lainnya (Yanti, 2015).

### c. Klasifikasi ABC

Metode klasifikasi ABC merupakan teknik pengelompokan berdasarkan peringkat nilai elemen, dimulai dari yang bernilai paling tinggi hingga yang paling rendah. Pendekatan ini membagi elemen ke dalam tiga kategori utama: kelompok A, B, dan C. Kelompok A umumnya mencakup sekitar 10–20% dari total item, namun mewakili sekitar 60–70% dari total nilai keseluruhan. Sementara itu, kelompok B biasanya terdiri atas 20% item dengan kontribusi sekitar 20% terhadap total nilai. Adapun kelompok C mencakup proporsi terbesar, yakni sekitar 60–70%

dari jumlah item, namun hanya menyumbang sekitar 10–20% terhadap nilai total (Yanti, 2015).

d. *Mean Time To Failure* (MTTF)

*Mean Time To Failure* (MTTF) merupakan ukuran statistik yang menunjukkan rata-rata waktu operasional suatu mesin atau peralatan sebelum mengalami kegagalan atau kerusakan pertama. Nilai MTTF dihitung dengan membagi total waktu pengoperasian mesin dengan jumlah kejadian kerusakan yang terjadi akibat *breakdown*. Rumus perhitungannya dapat dinyatakan sebagai berikut (Al Farisi, 2021) :

$$MTTF = \frac{Operation\ Time}{Frekuensi\ Breakdown} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

MTTF = *Mean Time To Failure*

*Operation time* = waktu mesin bekerja - waktu kerusakan yang terjadi

*Frekuensi Breakdown* = Jumlah kerusakan yang terjadi

e. *Mean Time To Repair* (MTTR)

*Mean Time To Failure* (MTTR) merupakan ukuran statistik yang menunjukkan rata-rata waktu operasional suatu mesin atau peralatan sebelum mengalami kegagalan atau kerusakan pertama. Nilai MTTR dihitung dengan membagi total waktu pengoperasian mesin dengan jumlah kejadian kerusakan yang terjadi akibat *breakdown*. Rumus perhitungannya dapat dinyatakan sebagai berikut (Al Farisi, 2021) :

$$MTTR = \frac{Operation\ Time}{Frekuensi\ Breakdown} \dots\dots\dots(2)$$

MTTR = *Mean Time To Repair*

*Operation time* = waktu mesin bekerja - waktu kerusakan yang terjadi

*Frekuensi Breakdown* = Jumlah kerusakan yang terjadi

f. Distribusi Probabilitas

Setiap mesin memiliki karakteristik kerusakan yang unik. Mesin yang identik dapat menunjukkan pola kerusakan yang berbeda ketika dioperasikan dalam kondisi yang berbeda. Bahkan, dalam kondisi operasi yang sama, mesin yang sama pun masih dapat menunjukkan karakteristik kerusakan yang bervariasi. Oleh karena itu, pemahaman terhadap *distribusi kerusakan* menjadi sangat penting, karena distribusi ini merepresentasikan informasi dasar mengenai usia pakai suatu peralatan dalam suatu populasi. Untuk mencari nilai keandalan distribusi weibull adalah sebagai berikut (Al Farisi, 2021) :

$$Reliability\ Function \rightarrow R(t) = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \dots\dots(3)$$

$$CDF \rightarrow F(t) = 1 - \left( \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$PDF \rightarrow f(t) = \left( \frac{\beta}{\alpha} \right) \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$Failure\ Rate \rightarrow h(t) = \lambda(t) = \left( \frac{\beta}{\alpha} \right) \left( \frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} \dots\dots\dots(6)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \Gamma \left( \frac{1}{\beta} + 1 \right) \text{ dimana } \lambda = \frac{1}{\alpha \beta} \dots\dots\dots(7)$$

g. Uji Kecocokan (*goodness of fit*)

Pelaksanaan uji kecocokan sangat penting untuk memastikan bahwa distribusi yang dipilih benar-benar mewakili pola kerusakan yang terjadi. Dengan demikian, parameter yang dihasilkan dari distribusi tersebut akan lebih akurat dan valid untuk digunakan dalam perhitungan metrik keandalan seperti MTTF (*Mean Time To Failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*) (Al Farisi, 2021).

h. *Age Replacement*

Metode penentuan interval waktu penggantian komponen secara preventif dengan tujuan meminimalkan *downtime* dapat dilakukan menggunakan pendekatan *age replacement*. Dalam model ini, terdapat dua skenario utama dalam siklus penggantian komponen. Untuk menerapkan model *age replacement* ini, diperlukan beberapa variabel penting sebagai berikut (Yanti, 2015) :

- 1) Interval Waktu Penggantian Pencegahan (tp)
- 2) Downtime akibat Penggantian karena Kerusakan (Tf)
- 3) Downtime akibat Penggantian Pencegahan (Tp)
- 4) Fungsi Kepadatan Probabilitas Kerusakan (f(t))
- 5) Probabilitas Siklus Pencegahan Berakhir dengan Penggantian Pencegahan (R(tp))
- 6) Nilai Maintainability (M(tp))

$$M(tp) = \frac{MTTF}{F(tp)} \dots\dots\dots(8)$$

7) Total Downtime per Satuan Waktu (D(tp))

$$D(tp) = \frac{Total\ ekspektasi\ downtime\ per\ siklus}{Ekspektasi\ panjang\ siklus} \dots\dots(9)$$

Rincian komponen rumus:

Total ekspektasi *downtime* per siklus diperoleh dari:  $(Tp \times R(tp)) + (Tf \times [1 - R(tp)]) \dots\dots\dots(10)$

Ekspektasi panjang siklus diperoleh dari :  $((tp + Tp) \times R(tp)) + ((M(tp) + Tf) \times [1 - R(tp)]) \dots\dots(11)$

i. Biaya Pemeliharaan

Berikut ini rumus untuk menghitung biaya *maintenance* (Yanti, 2015) :

$$Cs = [(A + B) \times C] + D + E \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

- Cs = Biaya satu siklus perawatan
- A = Biaya operator menganggur per jam
- B = Biaya kehilangan produksi per jam
- C = Waktu perbaikan komponen (dalam jam)
- D = Harga komponen (Rp/unit)
- E = Biaya pelaksanaan *maintenance*

Selanjutnya, total biaya *maintenance* per jam dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Tc = \frac{Cs \times R(T)}{T} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

- Tc/jam = Total biaya *maintenance* per jam
- Cs = Biaya *replacement* per siklus
- R(T) = Nilai fungsi keandalan mesin
- T = Waktu penggantian

**METODE PENELITIAN**

Metode penelitian adalah serangkaian cara atau prosedur untuk mengumpulkan dan

menganalisis data yang diperlukan untuk permasalahan yang ada pada penelitian. Berikut merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini :

1) Objek Penelitian

Objek untuk penelitian ini adalah PT Semarang Multi Cons yang berfokus pada mesin *batching plant*. PT Semarang Multi Cons berlokasi di Jl. Lkr Kaliwungu, Area Sawah, Kec. Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah 51372.

2) Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini untuk melakukan pengolahan data didapatkan melalui beberapa cara sebagai berikut Observasi, Studi Literatur, Wawancara, dan Dokumentasi

3) Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan untuk menghasilkan jawaban atas permasalahan pada penelitian ini sebagai berikut :

a) Pengelompokan komponen

Pengelompokan komponen dilakukan dengan cara membagi beberapa komponen ke dalam beberapa keadaan seperti kritis, mayor, dan minor. Pengelompokan ini dilakukan dengan menggunakan metode klasifikasi ABC. Komponen dibagi tingkatnya berdasarkan dari tingkat kontribusinya terhadap biaya yang perlu dikeluarkan perusahaan.

b) Perhitungan distribusi kerusakan

Perhitungan distribusi kerusakan dilakukan untuk memahami seberapa lama suatu komponen dapat bertahan dan berapa lama waktu perbaikannya. Distribusi kerusakan dihitung pada tiap komponen mesin yang telah dikelompokkan dan kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai MTTF dan MTTR.

c) Perhitungan biaya penggantian komponen

Dalam pemeliharaan modular, ada dua jenis biaya yang perlu dipertimbangkan, yaitu biaya penggantian pencegahan (Cp) dan biaya penggantian akibat kerusakan (Cf). Biaya penggantian pencegahan adalah biaya yang dikeluarkan untuk mengganti komponen sebelum mengalami kegagalan. Sedangkan biaya penggantian akibat kerusakan mencakup biaya yang timbul ketika modul mengalami kegagalan.

d) Perhitungan total biaya *maintenance*

Total biaya *maintenance* dalam sistem modular dihitung dengan cara menjumlahkan biaya penggantian pencegahan dan biaya penggantian akibat kegagalan dalam jangka waktu tertentu.

e) Perbandingan total biaya *maintenance*

Setelah menghitung total biaya pemeliharaan, langkah berikutnya adalah membandingkan efektivitas antara metode modular dan metode yang digunakan perusahaan.

4) Analisis

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap hasil dari pengolahan data yang telah dilakukan pada

tahap sebelumnya. Analisis dilakukan dari mulai proses pengolahan data sampai dengan diperoleh hasilnya.

5) Kesimpulan dan Saran

Tahapan akhir pada penelitian ini adalah menyampaikan hasil akhir dari penelitian, yang diperoleh melalui langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan ini bertujuan memberikan jawaban dari permasalahan yang ada pada penelitian. Selanjutnya, diberikan saran sebagai masukan yang positif terkait dengan hasil penelitian.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berikut merupakan hasil dan pembahasan pada penelitian ini :

**1. Penentuan Komponen Kritis Mesin *Batching Plant***

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap komponen-komponen mesin yang tergolong dalam kategori kritis, mayor, dan minor. Pengelompokan ini didasarkan pada tingkat kontribusi masing-masing komponen. Persentase yang dihasilkan mencerminkan klasifikasi tingkat kepentingan dari setiap komponen. Perhitungan kontribusi komponen dapat dilihat pada Tabel 3 dan untuk hasil klasifikasi komponen pada mesin *batching plant* disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 3.** Perhitungan Kontribusi Komponen

No	Nama Komponen	Jumlah	Harga	Biaya Total	Kontribusi (%)
1	Gearbox (Mixer)	4	Rp10,000,000.00	Rp40.000.000,00	36,45%
2	Bearing (Conveyor)	3	Rp250,000.00	Rp750.000.00	0,68%
3	Bearing (Bin Agregat)	3	Rp650,000.00	Rp1.950.000,00	1,78%
4	Vibro Motor (Bin Agregat)	2	Rp4,500,000.00	Rp9.000.000,00	8,20%
5	Gearbox (Silo Semen)	2	Rp5,000,000.00	Rp10.000.000,00	9,11%
6	Gearbox (Bin Agregat)	2	Rp5,000,000.00	Rp10.000.000,00	9,11%
7	Bearing (Silo Semen)	2	Rp650,000.00	Rp1.300.000,00	1,18%
8	Bearing (Mixer)	2	Rp1,500,000.00	Rp3.000.000,00	2,73%
9	Valve (Silo Semen)	1	Rp3,000,000.00	Rp3.000.000,00	2,73%
10	Valve (Silo air)	1	Rp2,000,000.00	Rp2.000.000,00	1,82%
11	Roller (Conveyor)	1	Rp250,000.00	Rp250.000.00	0,23%
12	Pneumatic Cylinder (Batcher)	1	Rp2,500,000.00	Rp2.500.000,00	2,28%
13	Gearbox (Conveyor)	1	Rp6,000,000.00	Rp6.000.000,00	5,47%
14	Blade (Mixer)	1	Rp12,500,000.00	Rp12.500.000,00	11,39%

			000.00	000.00	
15	Belt (Conveyor)	1	Rp7,500,000.00	Rp7.500.000,00	6,83%

**Tabel 4.** Penentuan Komponen Kritis

No	Nama Komponen	Kontribusi (%)	Kumulatif (%)	Klasifikasi Komponen
1	Gearbox (Mixer)	36,45%	36,45%	Komponen kritis (A)
2	Blade (Mixer)	11,39%	47,84%	Komponen kritis (A)
3	Gearbox (Silo Semen)	9,11%	56,95%	Komponen kritis (A)
4	Gearbox (Bin Agregat)	9,11%	66,06%	Komponen kritis (A)
5	Vibro Motor (Bin Agregat)	8,20%	74,26%	Komponen kritis (A)
6	Belt (Conveyor)	6,83%	81,09%	Komponen mayor (B)
7	Gearbox (Conveyor)	5,47%	86,56%	Komponen mayor (B)
8	Bearing (Mixer)	2,73%	89,29%	Komponen mayor (B)
9	Valve (Silo Semen)	2,73%	92,03%	Komponen mayor (B)
10	Pneumatic Cylinder (Batcher)	2,28%	94,31%	Komponen mayor (B)
11	Valve (Silo air)	1,82%	96,13%	Komponen minor (C)
12	Bearing (Bin Agregat)	1,78%	97,90%	Komponen minor (C)
13	Bearing (Silo Semen)	1,18%	99,09%	Komponen minor (C)
14	Bearing (Conveyor)	0,68%	99,77%	Komponen minor (C)
15	Roller (Conveyor)	0,23%	100,00%	Komponen minor (C)

Dari Tabel 3 dapat diketahui tingkat kontribusi masing-masing komponen yang didasarkan pada biaya total penggantian per komponen terhadap biaya keseluruhan penggantian. Melalui Tabel 3 dapat disajikan Tabel 4 yang merupakan hasil pengklasifikasian komponen menggunakan teori klasifikasi ABC. Berdasarkan pada Tabel 4 yang termasuk kedalam komponen kritis dan mayor terdapat 10 komponen, namun dalam penelitian ini yang akan diteliti hanya 8 komponen dengan mengecualikan Valve (Silo Semen) dan Pneumatic Cylinder (Batcher) dikarenakan keterbatasan pada data maintenance untuk melakukan perhitungan.

## 2. Uji Kecocokan (Index of Fit)

Pengujian *index of fit* dilakukan untuk mengetahui jenis distribusi yang sesuai digunakan pada data yang dimiliki. Berikut ini merupakan hasil

dari uji *index of fit* menggunakan *software minitab* dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

**Tabel 5.** Uji *Index of Fit* Data Kerusakan

No	Komponen	Weibull	Log normal	Exponential	Normal	Terpilih
1	Gearbox (Mixer)	0,052	0,047	0,011	0,041	Weibull
2	Bearing (Conveyor)	0,068	0,055	0,023	0,049	Weibull
3	Bearing (Bin Agregat)	0,062	0,054	0,050	0,056	Weibull
4	Vibro Motor (Bin Agregat)	0,065	0,060	0,069	0,060	Weibull
5	Gearbox (Silo Semen)	0,072	0,061	0,055	0,067	Weibull
6	Gearbox (Bin Agregat)	0,072	0,061	0,066	0,067	Weibull
7	Bearing (Silo Semen)	0,072	0,061	0,077	0,067	Weibull
8	Bearing (Mixer)	0,072	0,061	0,072	0,067	Weibull

**Tabel 6.** Uji *Index of Fit* Data Perbaikan

No	Komponen	Weibull	Log normal	Exponential	Normal	Terpilih
1	Gearbox (Mixer)	0,055	0,050	0,015	0,048	Weibull
2	Bearing (Conveyor)	0,065	0,060	0,020	0,060	Weibull
3	Bearing (Bin Agregat)	0,068	0,063	0,022	0,062	Weibull
4	Vibro Motor (Bin Agregat)	0,075	0,074	0,065	0,074	Weibull
5	Gearbox (Silo Semen)	0,075	0,074	0,066	0,074	Weibull
6	Gearbox (Bin Agregat)	0,075	0,074	0,065	0,074	Weibull
7	Bearing (Silo Semen)	0,075	0,074	0,065	0,074	Weibull
8	Bearing (Mixer)	0,075	0,074	0,065	0,074	Weibull

Pada Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat hasil uji kecocokan menggunakan *software minitab* yang berupa nilai *p-value* dari beberapa jenis distribusi. Jenis distribusi yang dipilih untuk setiap komponen ditentukan pada distribusi dengan nilai *p-value* terbesar. Distribusi yang terpilih kemudian akan digunakan untuk uji distribusi pada data kerusakan dan perbaikan mesin.

**3. Perhitungan Nilai MTTF ( Mean Time To Failure ) dan MTTR ( Mean Time To Repair )**

Sebelum melakukan perhitungan nilai MTF dan MTTR dilakukan pengujian distribusi *Weibull* pada data kerusakan dan data waktu perbaikan menggunakan *software minitab*. Berikut merupakan perhitungan distribusi weibull dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

**Tabel 7.** Distribusi Data Kerusakan Komponen Mesin *Batching Plant*

No	Komponen	Distribusi	$\beta$	$\eta$	$\Gamma$
1	Gearbox (Mixer)	Weibull	3,38431	173,700	0,8982
2	Bearing (Conveyor)	Weibull	4,88411	305,245	0,9169
3	Bearing (Bin Agregat)	Weibull	2,23754	250,295	0,8857
4	Vibro Motor (Bin Agregat)	Weibull	3,89746	392,878	0,9051
5	Gearbox (Silo Semen)	Weibull	12,7430	416,696	0,9604
6	Gearbox (Bin Agregat)	Weibull	3,82735	373,836	0,9041
7	Bearing (Silo Semen)	Weibull	2,68634	409,360	0,8891
8	Bearing (Mixer)	Weibull	3,03283	307,055	0,8934

**Tabel 8.** Distribusi Data Perbaikan Komponen Mesin *Batching Plant*

No	Komponen	Distribusi	$\beta$	$\eta$	$\Gamma$
1	Gearbox (Mixer)	Weibull	15,3887	190,789	0,9664
2	Bearing (Conveyor)	Weibull	125,295	158,118	0,9955
3	Bearing (Bin Agregat)	Weibull	20,1178	181,986	0,9736
4	Vibro Motor (Bin Agregat)	Weibull	394,693	164,747	0,9985
5	Gearbox (Silo Semen)	Weibull	29,7913	164,616	0,9817
6	Gearbox (Bin Agregat)	Weibull	124,363	156,237	0,9954
7	Bearing	Weibull	187,147	156,492	0,9969

	(Silo Semen)				
8	Bearing (Mixer)	Weibull	153,156	192,238	0,9963

Data pada Tabel 7 dan Tabel 8 merupakan hasil pengolahan data menggunakan *minitab* yang kemudian data dari tabel tersebut akan digunakan untuk melakukan perhitungan pada MTTF dan MTTR. Distribusi data kerusakan akan digunakan untuk mencari nilai MTTF sedangkan distribusi data perbaikan akan digunakan untuk mencari nilai MTTR. Berikut ini merupakan hasil perhitungan untuk MTTF dan MTTR dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Nilai MTTF dan MTTR Komponen Mesin *Batching Plant*

No	Komponen	$\eta$	$\Gamma$	MTTF (hari)	$\eta$	$\Gamma$	MTTR (menit)
1	Gearbox (Mixer)	173,700	0,8982	156,0117	190,789	0,9664	184,3851
2	Bearing (Conveyor)	305,245	0,9169	279,8862	158,118	0,9955	157,3995
3	Bearing (Bin Agregat)	250,295	0,8857	221,6854	181,986	0,9736	177,1900
4	Vibro Motor (Bin Agregat)	392,878	0,9051	355,5824	164,747	0,9985	164,5071
5	Gearbox (Silo Semen)	416,696	0,9604	400,1907	164,616	0,9817	161,6045
6	Gearbox (Bin Agregat)	373,836	0,9041	338,0035	156,237	0,9954	155,5218
7	Bearing (Silo Semen)	409,360	0,8891	363,9744	156,492	0,9969	156,0137
8	Bearing (Mixer)	307,055	0,8934	274,3264	192,238	0,9963	191,5215

Pada Tabel 9 dapat dilihat hasil dari perhitungan nilai MTTF dan MTTR. Nilai MTTF menunjukkan waktu sampai terjadinya kegagalan atau kerusakan dan nilai MTTR menunjukkan waktu untuk melakukan perbaikan saat terjadi kerusakan.

**4. Perhitungan Penjadwalan Preventive Maintenance**

Setelah nilai MTTF dan MTTR diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung waktu pemeliharaan. Waktu pemeliharaan difokuskan pada waktu penggantian komponen secara optimal dengan menggunakan metode *Age Replacement*. Metode ini bertujuan untuk meminimalkan *downtime* yang terjadi. Hal pertama yang dilakukan adalah mencari nilai *downtime* yang terkecil pada

saat tp. Sebagai contoh, diketahui pada tabel 9 nilai MTTF dan MTTR pada komponen *Gearbox (Mixer)* sebesar 155,0117 dan 184,3851. Berdasarkan tabel 7. Komponen *Gearbox (Mixer)* berdistribusi *Weibull* dengan parameter  $\beta = 3,38431$  dan  $\eta = 173,700$ . Untuk menentukan batas bawah, batas atas, dan interval pada interval waktu perbaikan dilakukan dengan menghitung nilai dari 60%, 120%, dan 10% dari hasil MTTF komponen. Berikut adalah contoh perhitungan *Age Replacement* pada komponen *Gearbox (Mixer)* pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Contoh Perhitungan *Age Replacement* Komponen *Gearbox (Mixer)*

No	Interval waktu perbaikan Tp (jam)	Fungsi keandalan R (Tp)	Fungsi probabilitas F (Tp)	Rata-rata waktu kerusakan M (Tp) (jam)	Waktu downtime D (Tp) (jam)
1	93	0,8863	0,1137	1362,7960	0,437113090
2	109	0,8159	0,1841	842,0449	0,430877019
3	124	0,7264	0,2736	566,5176	0,429327269
4	140	0,6211	0,3789	409,1164	0,432780464
5	155	0,5065	0,4935	314,0870	0,441212514
6	171	0,3909	0,6091	254,5018	0,454090261
7	186	0,2834	0,7166	216,3180	0,470232573

- $R(93) = \exp[-(t/a)\beta] = \exp[-(t/173,700)3,38431] = 0,8863$
- $F(93) = 1 - R(Tp) = 1 - 0,7264 = 0,1137$
- $M(93) = \left(\frac{MTTF}{F(Tp)}\right) = \left(\frac{155,0117}{0,2736}\right) = 1362,7960$
- $D(Tp) = \left(\frac{(Tp \times R(tp)) + (Tf \times [1 - R(tp)])}{(tp + Tp) \times R(tp) + ((M(tp) + Tf) \times [1 - R(tp)])}\right)$
- $D(93) = \left(\frac{(184,3851 \times 0,8863) + (184,3851 \times 0,1137)}{((93 + 184,3851) \times 0,8863) + ((1362,7960 + 184,3851) \times 0,1137)}\right) = 0,437113090$

Setelah setiap komponen dihitung menggunakan metode *age replacement*, maka akan dipilih waktu perbaikan (T) terbaik dengan melihat hasil *downtime* (D(Tp)) yang paling rendah. *Downtime* paling rendah dari hasil perhitungan dipilih karena menunjukkan waktu yang perlu dihabiskan saat terjadi kerusakan semakin singkat. Berikut ini hasil dari waktu perbaikan terpilih dari setiap komponen dapat dilihat pada Tabel 11 :

**Tabel 11.** Waktu Penggantian Pencegahan Komponen

No	Komponen	T (jam)
1	<i>Gearbox (Mixer)</i>	124
2	<i>Bearing (Conveyor)</i>	224
3	<i>Bearing (Bin Agregat)</i>	266
4	<i>Vibro Motor (Bin Agregat)</i>	356
5	<i>Gearbox (Silo Semen)</i>	320
6	<i>Gearbox (Bin Agregat)</i>	270
7	<i>Bearing (Silo Semen)</i>	291
8	<i>Bearing (Mixer)</i>	219

Dari Tabel 11 dapat dilihat hasil perhitungan dari *age replacement* untuk delapan komponen mesin. Nilai T pada tabel tersebut menunjukkan waktu yang diperlukan setiap komponen untuk diganti.

### 5. Perhitungan Corrective Maintenance

Setelah ditentukan waktu penggantian pencegahan untuk masing-masing komponen, langkah selanjutnya adalah menghitung biaya pemeliharaan yang timbul akibat penjadwalan penggantian tersebut. Perincian biaya pemeliharaan dijelaskan sebagai berikut: Biaya kehilangan produksi dihitung dengan mengalikan volume produksi per jam dengan harga jual per satuan produk. Mesin *batching plant* mampu memproduksi 30 m<sup>3</sup> beton ready mix dalam satu jam, dengan harga jual sebesar Rp 700.000 per m<sup>3</sup>. Oleh karena itu, biaya kehilangan produksi per jam mencapai Rp 21.000.000 (30 m<sup>3</sup> × Rp 700.000/m<sup>3</sup>).

Sementara itu, biaya operator menganggur diperoleh dari hasil perkalian antara biaya tenaga kerja per jam dengan durasi waktu perbaikan. Dalam hal ini, upah tenaga kerja per bulan adalah sebesar Rp 3.500.000. Dengan total jam kerja bulanan sebesar 224 jam (hasil dari 8 jam kerja per hari × 7 hari kerja per minggu × 4 minggu), maka diperoleh biaya tenaga kerja per jam sebesar Rp 15.625 (Rp 3.500.000 ÷ 224 jam). Selain dari biaya tersebut terdapat juga biaya lain *maintenance* komponen yang dapat dilihat pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Biaya Lain *Maintenance* Komponen

No	Komponen	Biaya
1	<i>Gearbox (Mixer)</i>	Rp. 43.500
2	<i>Bearing (Conveyor)</i>	Rp. 25.000
3	<i>Bearing (Bin Agregat)</i>	Rp. 26.000
4	<i>Vibro Motor (Bin Agregat)</i>	Rp. 35.500
5	<i>Gearbox (Silo Semen)</i>	Rp. 44.500
6	<i>Gearbox (Bin Agregat)</i>	Rp. 41.000
7	<i>Bearing (Silo Semen)</i>	Rp. 28.000
8	<i>Bearing (Mixer)</i>	Rp. 30.500

Tabel di atas merupakan sejumlah biaya tambahan yang diperlukan untuk melakukan perawatan pada setiap komponen diluar biaya yang telah disebutkan. Biaya lain tersebut dapat berupa misalnya *grease*, oli, baut tambahan, dan lain-lain

Contoh untuk komponen *Gearbox* memiliki harga komponen seperti yang tertera yakni Rp. 10.000.000 dan biaya lain *maintenance* untuk komponen *Bearing* sebesar Rp. 250,000 seperti pada tabel. Sedangkan waktu perbaikan dari komponen *Bearing* adalah 0.22 jam. Waktu kerusakan yang di gunakan adalah hasil MTTR. Maka nilai Cf dan Tc didapatkan dari:

$$Cf = ((\text{Biaya Kehilangan Produksi} + \text{Biaya Operator menganggur}) \times \text{Waktu Perbaikan}) + \text{Biaya Penggantian Komponen} + \text{Biaya Lain Maintenance Komponen}$$

$$= ((Rp. 21.000.000 + Rp. 15.625) \times 184,3851) + Rp. 10.000.00 + Rp. 43.500$$

$$= Rp. 3.885.011.617$$

$$Tc \text{ per siklus} = ((Cp \times R(T)) / T)$$

$$= (Rp. 3.885.011.617 \times 0,73) / 124$$

$$= Rp. 22.871.439$$

$$Tc \text{ per tahun} = (8760 \text{ jam} / T) \times Tc \text{ per siklus}$$

$$= (8760 \text{ jam} / 124) \times Rp. 22.871.439$$

$$= Rp. 1.615.756.522$$

Nilai R(T) pada perhitungan didapatkan dari hasil perhitungan Tabel 10 untuk nilai T terpilih. Sedangkan T adalah waktu dimana komponen mengalami pergantian. Untuk hasil lainnya dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Rekap Nilai Biaya *Corrective Maintenance*

Komponen	Cf	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun
<i>Gearbox (Mixer)</i>	Rp. 3.885.011.617	0,73	124	Rp22.871.439	Rp1.615.756.522
<i>Bearing (Conveyor)</i>	Rp. 3.308.123.867	0,80	224	Rp11.814.728	Rp462.040.259
<i>Bearing (Bin Agregat)</i>	Rp. 3.724.434.594	0,66	266	Rp9.241.078	Rp304.330.248
<i>Vibro Motor (Bin Agregat)</i>	Rp. 3.461.755.023	0,51	356	Rp4.959.256	Rp122.031.126
<i>Gearbox (Silo Semen)</i>	Rp. 3.401.264.070	0,97	320	Rp10.310.082	Rp282.238.487
<i>Gearbox (Bin Agregat)</i>	Rp. 3.273.428.828	0,75	270	Rp9.092.858	Rp295.012.722
<i>Bearing (Silo Semen)</i>	Rp. 3.279.403.414	0,68	291	Rp7.663.211	Rp230.686.344
<i>Bearing (Mixer)</i>	Rp. 4.026.474.523	0,70	219	Rp12.870.010	Rp514.800.396
Jumlah					Rp3.826.896.103

Dapat dilihat pada Tabel 13 hasil perhitungan biaya *maintenance* setiap komponen untuk metode *corrective maintenance*. Pada tabel tersebut dapat diketahui biaya untuk *maintenance* saat terjadi kegagalan, biaya total untuk untuk satu periode, dan biaya total untuk satu tahun.

## 6. Perhitungan *Preventive Maintenance Modular Design*

Sebelum dilakukan perhitungan, komponen-komponen mesin akan dikelompokkan dalam beberapa modul. Berikut ini merupakan pembagian modulnya dapat dilihat pada Tabel 14.

**Tabel 14.** Pembagian Modul Setiap Komponen

Modul	Komponen
Modul 1	<i>Gearbox (Mixer) + Bearing (Mixer)</i>
Modul 2	<i>Bearing (Conveyor) + Bearing (Bin Agregate)</i>
Modul 3	<i>Gearbox (Bin Agregat) + Bearing (Silo Semen)</i>
Modul 4	<i>Gearbox (Silo Semen) + Vibro Motor (Bin Agregat)</i>

Pada Tabel 14 merupakan hasil dari pengelompokkan komponen mesin menjadi 4 modul yang berbeda. Pengelompokkan modul tersebut dimaksudkan untuk mengurani biaya *maintenance*. Setelah dilakukan pengelompokkan maka dilakukan perhitungan biaya berdasarkan modul yang dibuat.

Berikut contoh perhitungan untuk modul 1, komponen *Gearbox (Mixer)* memiliki harga komponen, yakni Rp. 10.000.000 dan *Bearing (Mixer)* memiliki harga komponen Rp. 1.500.000 dan untuk biaya *preventive maintenance* adalah Rp. 43.500 dan Rp. 30.500. Sedangkan waktu perbaikan dari komponen *Gearbox (Mixer)* dan *Bearing (Mixer)* adalah 184,3851 dan 191,5215. Waktu kerusakan yang di gunakan adalah hasil MTTR. Maka nilai Cp dan Tc didapatkan dari :

$$Cp = ((\text{Biaya Kehilangan Produksi} + \text{Biaya Operator Menganggur}) \times \text{Waktu Perbaikan}) + \text{Biaya Penggantian Komponen} + \text{Biaya Preventive Maintenance Komponen}$$

$$= ((Rp. 21.000.000 + Rp. 15.625) \times (184,3851 + 191,5215)) + ((Rp. 10.000.000 + Rp. 1.500000) + (Rp. 43.500 + Rp. 30.500))$$

$$= Rp. 7.911.486.141$$

$$Tc \text{ per siklus} = ((Cp \times R(T)) / T)$$

$$= (Rp. 7.911.486.141 \times (0,73 + 0,80)/2) / ((124 + 219) / 2)$$

$$= Rp. 32.983.747$$

$$Tc \text{ per tahun} = (8760 \text{ jam} / T) \times Tc \text{ per siklus}$$

$$= (8760 / 171,5) \times Rp. 46.131.115$$

$$= Rp. 1.684.767.479$$

Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi perhitungan untuk *modularity design* dapat dilihat pada Tabel 15.

**Tabel 15.** Rekap Nilai Biaya *Modularity Design*

Komponen	Cp	R(T)	T	Tc per siklus	Tc per tahun
<i>Gearbox (Mixer)</i>	Rp7.911.486.141	0,73	124	Rp32.983.747	Rp1.684.767.479
<i>Bearing (Mixer)</i>		0,70	219		
<i>Bearing (Conveyor)</i>	Rp7.032.558.461	0,80	224	Rp20.954.154	Rp749.217.907
<i>Bearing (Bin Agregat)</i>		0,66	266		
<i>Gearbox (Bin Agregat)</i>	Rp6.552.832.242	0,75	270	Rp16.703.298	Rp521.643.099
<i>Bearing (Silo Semen)</i>		0,68	291		
<i>Gearbox (Silo Semen)</i>	Rp6.863.019.094	0,97	320	Rp15.025.545	Rp389.419.444
<i>Vibro Motor (Bin Agregat)</i>		0,51	356		
Jumlah					Rp3.345.047.929

Pada Tabel 15 diberikan hasil perhitungan biaya *maintenance* menggunakan metode *modularity design* untuk setiap modul komponen. Pada tabel tersebut diketahui biaya untuk *maintenance* saat terjadi kegagalan, biaya total untuk untuk satu periode, dan biaya total untuk satu tahun sama seperti pada Tabel 13.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengolahan data penelitian, dapat diambil kesimpulan berupa, bahwa metode *preventive maintenance* dengan *modularity design* dapat memberikan sedikit efisiensi biaya yang lebih baik daripada metode *corrective maintenance*. Melihat hasil dari *corrective maintenance*, biaya yang perlu dikeluarkan yakni sebesar Rp. 3.826.896.103, bila dibandingkan dengan *modularity design* biaya *maintenance* dapat diminimalkan menjadi Rp. 3.345.047.929. Sehingga melalui kesimpulan tersebut juga dapat diberikan sebuah saran untuk perusahaan dalam hal mempertimbangkan alternatif metode *maintenance* untuk meningkatkan efisiensi dan meminimalkan biaya menggunakan metode *preventive maintenance* dengan *modularity design*.

### REFERENSI

- Al Farisi, M. N. (2021). *Analisis perawatan mesin batching plant menggunakan metode reliability centered maintenance (RCM)* (Skripsi sarjana). Universitas Jember.
- Burlakova, I. I. (2017). The impact of globalization on the Russian language. *Language and Text*, 4(4),144–148.  
<https://doi.org/10.17759/langt.2017040412>
- Ernawati, D., et al. (2018). Modularity design approach for preventive machine maintenance. In *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics Publishing.<https://doi.org/10.1088/17426596/953/1/012232>
- Handayani, W., & Harada, M. K. (2021). Preventive batching plant maintenance with modularity design method at PT. Raja Beton Indonesia. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 6(1), 237–244. Retrieved from <http://www.ijisrt.com>
- Harfaz, N., & Wardhono, A. (2017). Analisis pengendalian material pada batching plant PT. Siam Cement Group (SCG) Readymix Indonesia cabang Dupak, Surabaya menggunakan metode economic order quantity (EOQ). *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 129–140.
- Syakhroni, A., Darmawan, R. F. A., & Marlyana, N. (2021). Machine maintenance design using Markov chain method to reduce maintenance costs. *International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESTE)*, 4(1),39–58.  
<https://doi.org/10.36079/lamintang.ijeste-0401.224>
- Tarigan, P., Ginting, E., & Siregar, I. (2013). Perawatan mesin secara preventive maintenance dengan modularity design pada PT. RXZ. *Jurnal Teknik Industri FT USU*, 3(3), 35–39.
- Wior, M., Mandagi, R. J. M., & Tjakra, J. (2015). Analisa kelayakan investasi ready mix concrete di Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 3(7), 492–502.
- Yanti, V. T. (2015). *Penerapan preventive maintenance dengan metode modularity design pada mesin Goss di PT. ABC* (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/71956>
- Yulius, H., & Susanto, F. T. (2020). Usulan biaya preventive maintenance dengan menggunakan metode modularity design pada mesin ripple mill di PT. Incasi Raya Pom. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 20(2), 221–227.