

Analisis Kegagalan dan Keandalan Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Metode FMECA (Studi Kasus: Perusahaan Industri Real Estate)

Keikko Farida Kusuma¹, Rina Sandora², dan Aulia Nadia Rachmat^{1*}

¹Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

²Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: nadia.rachmat@ppns.ac.id

Abstrak

Instalasi Pengolahan Air Limbah adalah infrastruktur yang dibangun khusus untuk menangani, menyalurkan, dan mengolah limbah atau air hujan agar dapat dikembalikan dan diterima oleh lingkungan sehingga tidak membahayakan. Instalasi Pengolahan Air Limbah terdiri dari beberapa tahapan. Berdasarkan data kegagalan komponen pada perusahaan diketahui bahwa terjadi permasalahan yang dialami beberapa komponen pada Instalasi Pengolahan Air Limbah, terutama pada tahapan rumah pompa dan *oxidation ditch*. Permasalahan itu menyebabkan terhambatnya proses pengolahan air limbah. Beberapa kasus kejadian yang telah terjadi adalah dimana komponen motor elektrik terbakar. Hal tersebut mengganggu proses pengolahan air limbah dan dapat berdampak pada keselamatan pekerja di area kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kegagalan yang akan dihasilkan komponen kritis pada Instalasi Pengolahan Air Limbah berdasarkan data kegagalan dan wawancara dengan *expert judgement*, menggunakan metode FMECA (*Failure Mode Effect and Critical Analysis*). Hasil analisis kegagalan yang telah dilakukan menggunakan metode FMECA dengan dipetakan nilai *criticality ranking*, kemudian dilakukan analisis dengan diagram pareto dan didapatkan 3 prioritas mode kegagalan dengan memiliki nilai *criticality number* yaitu Motor Elektrik 0,3504, Gulungan 0,3066, dan MCB 0,219.

Kata Kunci: *Criticality Ranking*, FMECA, Instalasi Pengolahan Air Limbah.

Abstract

A Waste Water Treatment Plant is an infrastructure specifically built to handle, distribute and treat sewage or rainwater so that it can be returned and accepted by the environment so that it is not harmful. The Wastewater Treatment Plant consists of several stages. Based on component failure data at the company, it is known that several components experienced problems in the Wastewater Treatment Installation, especially at the pump house and oxidation ditch stages. This problem causes delays in the wastewater treatment process. Some cases of incidents that have occurred are where electric motor components catch fire. This disrupts the wastewater treatment process and can have an impact on the safety of workers in the work area. This study aims to identify failures that will result in critical components in the Wastewater Treatment Plant based on failure data and expert judgment interviews, using the FMECA (Failure Mode Effect and Critical Analysis) method. The results of the failure analysis that has been carried out using the FMECA method with a criticality ranking value are determined, then an analysis was carried out with a pareto diagram and 3 priority failure modes were obtained with a criticality number value, namely Electric Motors 0.3504, Coils 0.3066, and MCB 0.219..

Keywords: *Criticality Ranking*, FMECA, Waste Water Treatment Plant

1. PENDAHULUAN

Pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu air yang telah ditetapkan. Kegiatan manusia dapat berupa kegiatan rumah tangga, sawah, pasar, industri, rumah sakit, dsb. Air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan disebut juga sebagai air limbah, air tersebut terbawa melalui saluran pembuangan air setiap harinya, yang kemudian dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan fisik maupun kimiawi air (PP Nomor 22 Tahun

2021). Pengolahan air limbah bertujuan untuk memperbaiki kualitas air, mengurangi kadar bahan kimia berbahaya yang terkandung dalam air seperti BOD, COD, dan partikel tercampur yang menghilangkan bahan nutrisi dan komponen beracun, menghilangkan zat tersuspensi, mendekomposisi zat organik, menghilangkan mikroorganisme patogen. Metode yang digunakan untuk mengolah air limbah sering disebut sebagai unit operasi atau unit proses. Secara umum, unit operasi melibatkan penghilangan kontaminan dengan menggunakan gaya fisika, sementara unit proses melibatkan reaksi kimia atau biologis. Unuk itulah dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah yang berfungsi untuk mengolah air limbah baik pada unit operasi maupun unit proses. Instalasi Pengolahan Air Limbah beroperasi secara terus menerus selama 24 jam sehari. Hal itu dilakukan karena setiap hari industri dan lingkungan sekitar melakukan kegiatan baik manufaktur dan domestik yang menghasilkan limbah industri dan domestik yang harus segera diolah sebelum keluar ke lingkungan. Jika proses pengolahan limbah terhenti sedangkan kegiatan manufaktur dan domestik terus berjalan tentunya akan berbahaya bagi lingkungan sekitar apabila limbah dibuang langsung ke saluran lingkungan. Namun, pengoperasian peralatan pengolahan air limbah yang dilakukan 24 jam sehari juga akan memberatkan bagi peralatan yang tidak memiliki waktu istirahat. Hal itu menyebabkan beberapa peralatan pada akhirnya mengalami kerusakan karena pemakaian yang secara erus menerus. Sehingga Penting untuk mengidentifikasi dan memperbaiki segala cacat peralatan pada waktunya.

Berdasarkan permasalahan di atas perlu dilakukan analisis kegagalan komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah, sehingga diketahui komponen yang sering mengalami kegagalan dan memiliki *criticality number* yang tinggi. Metode *Failure Mode Effect and Criticality Analysis* (FMECA) diaplikasikan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang dapat menyebabkan kegagalan, dan mengidentifikasi tindakan preventive untuk menghindari kegagalan. (Putra HNE, 2017). Pengoptimalan fungsi dari pemeliharaan dapat ditentukan menggunakan nilai *criticality analysis* dengan melakukan perhitungan analisis kuantitatif dimana memanfaatkan data kegagalan yang telah ada (Rahman & Fahma, 2021). Penentuan prioritas kegagalan dilakukan setelah menghitung nilai *criticality ranking*. dengan mengurutkan titik kegagalan terbesar ke yang terkecil menggunakan diagram pareto. Tujuan penggunaan diagram pareto adalah untuk menghasilkan perbaikan yang optimal dengan menggunakan sumber daya yang ada, dengan memilah beberapa bagian kecil titik kegagalan yang memiliki kontribusi yang besar.

2. METODE

Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram merupakan diagram yang menggambarkan hubungan dan aliran kerja antar fungsi komponen yang membentuk suatu sistem serta untuk memperjelas ruang lingkup analisis fungsi dan kegagalan fungsi sehingga dapat dilakukan dengan mudah. FBD digunakan untuk mendeskripsikan sistem kerja dari suatu mesin (Marimin & Zulna, 2022).

Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Metode FMECA merupakan teknik indentifikasi yang terdiri dari dua analisis terpisah, yaitu FMEA dan *Criticality Analysis* (CA). Penyelesaian metode ini FMEA harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum melakukan perhitungan *Criticality Analysis* (CA). FMECA pada dasarnya sama dengan FMEA, hanya saja yang membedakan adalah penambahan evaluasi kekritisitas pada setiap mode kegagalan (Ericson, 2005). Menurut Ebeling (1997) FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, menilai kemungkinan terjadinya dan pengaruh terhadap sistem, serta mengisolasi penyebab, dan menentukan perbaikan dengan tindakan korektif atau tindakan pencegahan. Berikut ini adalah penjelasan mengenai parameter yang digunakan pada *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) :

a. *Item Number*

Item Number merupakan sistem penomoran yang terdiri dari kombinasi angka untuk menunjukkan posisi atau level hierarki komponen yang akan dianalisis.

b. *Equipment*

Equipment merupakan data peralatan atau komponen yang akan dilakukan identifikasi

c. *Failure Mode*

Failure mode merupakan mode kegagalan dimana suatu sistem atau komponen tidak berfungsi sesuai dengan tugas yang seharusnya.

d. *Failure Mechanism*

Failure mechanism merupakan penjelasan proses terjadinya suatu mode kegagalan yang menyebabkan kerusakan pada komponen.

e. *Failure Effects*

Failure effect merupakan dampak yang terjadi akibat terjadinya mode kegagalan pada sistem atau komponen.

f. *Severity*

Severity merupakan ukuran keseriusan efek dari mode kegagalan. Sumber : (*Department of the US Army*,

2006)

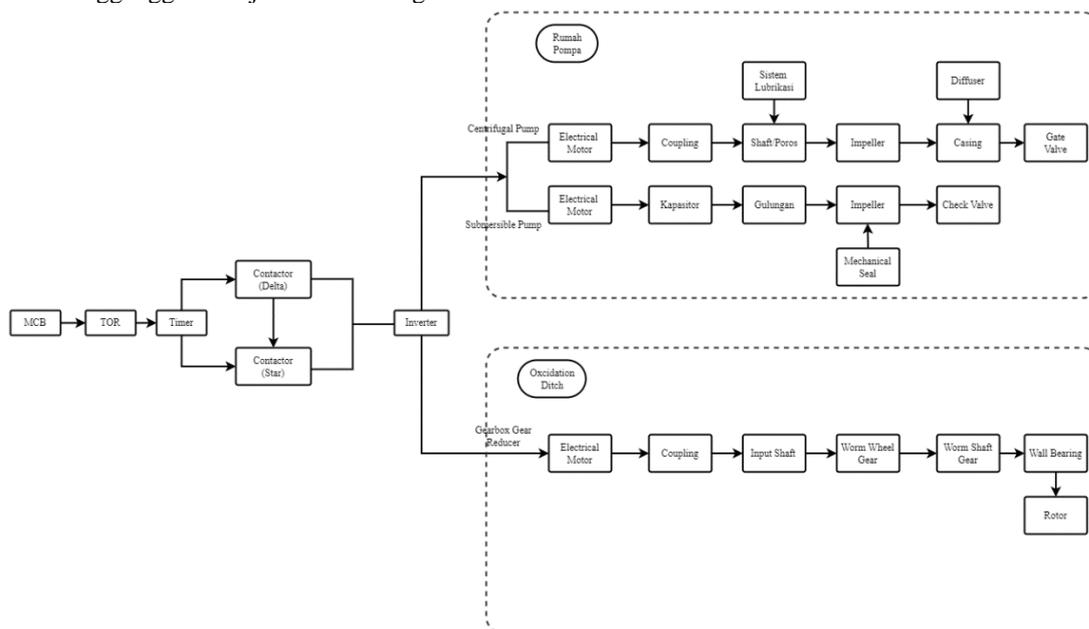
Criticality Analysis merupakan suatu cara pengukuran terhadap efek dari suatu mode kegagalan yang sangat berarti bisa terjadi pada peralatan atau sistem, pada sisi keselamatan dan keberhasilan operasi. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan ranking kekritisan dari setiap potensi kegagalan untuk setiap komponen yang ada di sistem yang didasarkan pada *Criticality Number* dan *Severity Ranking* (Fitriyani, et al., 2018). Dalam perhitungan *criticality analysis* dapat dilakukan secara kuantitatif yang perhitungannya akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Beta/Failure effect probability* (β)
Beta menggambarkan probabilitas efek kegagalan yang digunakan untuk mengukur efek kegagalan pada setiap failure mode.
- b. *Alpha/Failure Mode Ratio* (α)
Alpha adalah nilai probabilitas pada komponen yang gagal dan dinyatakan dalam decimal.
- c. *Failure rate* (λ)
Failure rate adalah rasio antara jumlah kegagalan per unit waktu dan tipe kerusakannya yang dinyatakan dalam per satu juta jam (*failures/106 hours*).
- d. *Operation time* (t)
Operation time Merupakan lama waktu suatu komponen beroperasi.
- e. *Failure mode criticality number* (Cm)
Failure mode criticality number adalah ukuran relatif dari frekuensi mode kegagalan.
- f. *Criticality Number* (Cr)
Criticality number adalah pengukuran relatif konsekuensi dan frekuensi dari kegagalan item.
- g. *Criticality Ranking*
Criticality ranking adalah daftar untuk penentuan peringkat mode kegagalan yang paling diperhatikan terlebih dahulu, sampai paling sedikit. Sumber : (*Department of the US Army, 2006*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram digunakan untuk menggambarkan proses kerja Instalasi Pengolahan Air Limbah terutama pada Rumah pompa dan *Oxidation Ditch*, dengan symbol persegi menunjukkan komponen, sedangkan symbol anak panah menjelaskan aliran proses system. Pada Gambar 1 merupakan aliran proses kerja komponen pada Rumah pompa dan *Oxidation Ditch*, dimana jika terjadi kegagalan pada salah satu komponen akan mengganggu kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah.



Gambar 1. Aliran proses kerja komponen pada Rumah pompa dan *Oxidation Ditch*

FMECA (*Failure Mode Effect Critical and Analysis*)

Hasil identifikasi kegagalan pada komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah menggunakan metode FMEA, akan digunakan untuk analisis lebih lanjut menggunakan metode FMECA. Berikut Tabel 1 yang merupakan hasil analisis pada salah satu sub komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah menggunakan metode FMEA:

Tabel 1. Analisis pada salah satu sub komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah menggunakan metode FMEA

No	Equipment	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Mechanism	Failure Effect	S
Panel Listrik							
	MCB	Sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik	Tidak dapat memberikan proteksi dalam instalasi listrik	MCB terbakar	Terjadi beban berlebih akibat penggunaan peralatan yang terus menerus	Peralatan tidak dapat beroperasi dan pengolahan air limbah terhenti	2

Berdasarkan pada Tabel 1. merupakan hasil dari analisis salah satu sub komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah yaitu MCB pada komponen panel listrik menggunakan metode FMEA. Diketahui bahwa fungsi dari komponen MCB adalah sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik, *functional failure* pada MCB adalah tidak dapat memberikan proteksi dalam instalasi listrik, sedangkan *failure mode* pada MCB adalah MCB terbakar, yang menyebabkan *failure effect* pada MCB terbakar adalah panel listrik tidak dapat beroperasi dan pengolahan air limbah terhenti. Nilai *severity* dari MCB yang terbakar adalah 2 berdasarkan ketentuan penilaian risiko perusahaan yang artinya apabila terjadi kegagalan menyebabkan kegiatan operasional berhenti lebih dari 3 hari. Nilai *severity* ditentukan atas pertimbangan oleh *expert judgement* dan berdasarkan data kegagalan. Pada analisis menggunakan FMEA dapat diketahui bahwa terdapat 4 komponen dengan 28 sub komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah dan 32 *failure mode* dan 115 kegagalan atau kerusakan.

Setelah melakukan analisis menggunakan metode FMEA, maka langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan criticality analysis untuk mengetahui criticality number dan criticality ranking pada sub komponen MCB. Berikut tabel 2. ini merupakan penentuan nilai criticality number dan criticality ranking pada sub komponen MCB:

Tabel 2. Penentuan nilai criticality number dan criticality ranking pada sub komponen MCB

No	Komponen	Sub Komponen	Failure Mode	Severity (S)	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability (β)	Failure Ratio (α)	Operating Time	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (CRxS)
1	Panel Listrik	MCB Sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik	MCB terbakar	2	0,000005	1	1	43800	0,219	0,219	0,438

Berdasarkan Tabel 2. Merupakan hasil analisis perhiungan *criticality analysis* pada sub komponen MCB. *Criticality Analysis* adalah salah satu cara untuk melakukan pengukuran secara kuantitatif berdasarkan data kegagalan dari suatu komponen di setiap mode kegagalan. Motode ini dapat digunakan untuk menentukan tingkat kekritisn suatu komponen yang mengalami kegagalan didasarkan pada nilai *Criticality Number* dan *Severity Ranking*. Berikut adalah beberapa langkah perhitungan *Criticality Number* pada salah satu sub komponen MCB:

- Nilai *Severity* MCB berada pada level 2 dimana terdapat permasalahan yaitu MCB terbakar sehingga menyebabkan panel listrik tidak dapat dioperasikan, dan membutuhkan waktu penggantian MCB paling lama lebih dari 3 hari. Penentuan nilai *severity* ditentukan oleh *expert judgment*.
- Nilai *failure rate* (λ) nilai *failure rate* merupakan jumlah kegagalan per satu juta jam. Pada sub komponen MCB dengan kegagalan fungsi terbakar didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\text{(Jumlah kegagalan tiap komponen)}}{10^6} = \frac{5}{10^6} = 0,000005$$

c. Nilai *failure effect probability* (β) adalah 1 *actual loss*, karena efek kegagalan yang ditimbulkan mempengaruhi 100% fungsi alat.

d. Nilai *failure mode ratio* (α) pada sub komponen MCB dengan kegagalan fungsi MCB terbakar didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{\text{Jumlah kegagalan tiap mode}}{\text{Total jumlah kegagalan tiap komponen}} = \frac{5}{5} = 1$$

e. Nilai *operating time* (t) pada komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah selama lima tahun adalah sebesar 43800,00 jam.

f. Nilai *failure mode criticality* (Cm) pada sub komponen MCB dengan fungsi kegagalan MCB terbakar sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_m &= \beta \times \alpha \times \lambda \times t \\ C_m &= 1 \times 1 \times 0,000005 \times 43800,00 \\ C_m &= 0,219 \end{aligned}$$

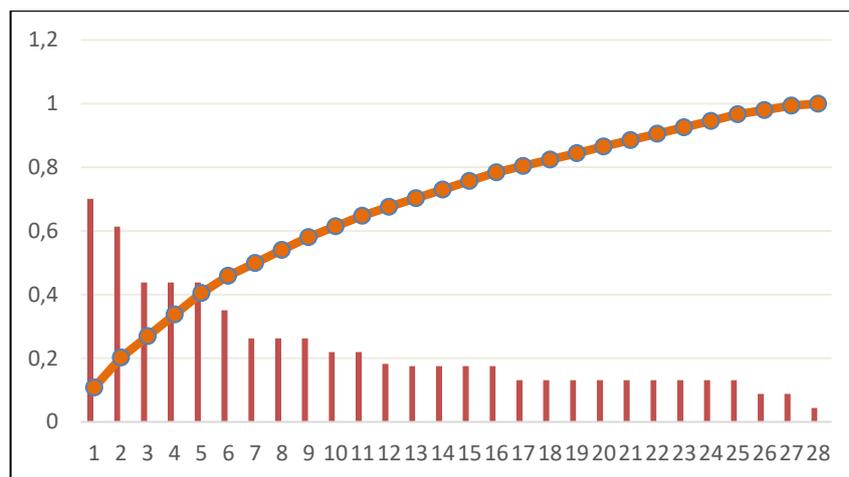
g. Nilai *criticality number* (Cr) didapatkan dari penjumlahan nilai *failure mode criticality number* (Cm) pada setiap failure mode. Perhitungan didapatkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_r &= \sum(C_m) \\ C_r &= 0,219 \\ C_r &= 0,219 \end{aligned}$$

h. Nilai *criticality ranking* didapatkan melalui perkalian antara nilai *criticality number* dengan *severty*. Perhitungan *criticality ranking* pada sub komponen MCB sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Criticality Ranking} &= C_r \times S \\ &= 0,219 \times 2 \\ &= 0,438 \end{aligned}$$

Bedasarkan tabel hasil perhitungan *criticality analysis* menghasilkan *criticality ranking* tertinggi ke-3 pada sub komponen MCB sebesar 0,438 dan *criticality ranking* terendah pada sub komponen *Worm Wheel Gearbox* sebesar 0,0438. Setelah didapatkan nilai *criticality ranking* kemudian dijumlahkan untuk mengetahui presentase *criticality ranking* dari masing-masing sub komponen yang didapatkan dari pembagian nilai *criticality ranking* dibagi dengan total keseluruhan *criticality ranking* dikalikan 100%. Nilai presentase *criticality ranking* tersebut ditambahkan dari yang tertinggi hingga yang terendah sampai 100%. Sehingga didapatkan komponen dari Instalasi Pengolahan Air Limbah yang termasuk komponen kritis. Tujuan dari penggunaan diagram pareto adalah untuk membantu mengurutkan nilai *criticality ranking* yang termasuk dalam risiko tinggi. Hal tersebut dikarenakan banyaknya nilai *criticality ranking* yang sama satu dengan yang lain. Gambar 2. menunjukkan grafik diagram pareto.



Gambar 2. Visualisasi perbedaan antara peringkat kegagalan dan efek

Gambar 2. menunjukkan visualisasi perbedaan antara peringkat kegagalan dan efek. Sumbu X menunjukkan sub komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah sumbu Y kiri menunjukkan nilai *criticality ranking*. Berdasarkan gambar 2. dapat diketahui titik kritis pada penentuan sub komponen kritis Instalasi Pengolahan Air Limbah. Berdasarkan gambar diatas menunjukkan satu sub komponen yang memiliki nilai presentase kumulatif berada di bawah 20% yaitu terdapat 1 mode kegagalan sub komponen dengan 8 kejadian kegagalan. Sub komponen yang termasuk dalam sub komponen kritis antara lain elektrik motor milik komponen *centrifugal pump*, gulungan milik

komponen *submersible pump*, dan MCB milik komponen panel lisrik. Komponen tersebut menandakan sering terjadi kegagalan, sehingga komponen tersebut akan dijadikan sebagai komponen prioritas utama dalam melakukan perbaikan nantinya.

4. KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari analisis kegagalan dengan menggunakan metode FMECA yang telah dilakukan, terdapat 4 komponen utama dengan 28 sub komponen Instalasi Pengolahan Air Limbah dari proses rumah pompa dan *oxidation ditch* sebagai berikut:

- a. Berdasarkan data kegagalan selama rentang waktu 2018 – 2022 dari proses rumah pompa dan *oxidation ditch* Instalasi Pengolahan Air Limbah didapatkan 4 komponen dengan 28 sub komponen, mempunyai 32 *failure mode* dan 115 kegagalan. Kegagalan dapat mengganggu keseluruhan kinerja pengolahan air limbah.
- b. Perhitungan *criticality analysis* pada metode FMECA didapatkan nilai *criticality ranking* tertinggi pada sub komponen motor elektrik dengan nilai sebesar 0,7008, dan nilai *criticality ranking* terendah pada komponen *Worm Wheel Gearbox* dengan nilai sebesar 0,0438.
- c. Penentuan komponen kritis dilakukan menggunakan diagram pareto diketahui bahwa 1 mode kegagalan yaitu sub komponen elektrik motor milik komponen *centrifugal pump* merupakan komponen kritis. 1 mode kegagalan tersebut dapat mempengaruhi seluruh proses kinerja sistem, sehingga sub komponen tersebut menjadi prioritas utama untuk dilakukan tindakan perbaikan dan perawatan.

5. DAFTAR PUSAKA

- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Hidup Untuk Media Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi. (2017). Jakarta.
- Nusantara, P. (1999). Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko. Jakarta: Pampersada Husada.
- Department Of the Us Army, (2006). *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) For Command, Control, Computer, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (C4ISR) Facilities*. Facilities, 75.
- Ebeling, C. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: Mcgraw-Hill.
- Ericson, C. A. (2005). *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. Fredericksburg: Wiley-Interscience.
- Fitriyani, A. N., Subekti, A., & Amrullah, H. N. (2018). Identifikasi Kegagalan Komponen Pada Unit Boiler Dengan Menggunakan Metode Fmeca (Studi Kasus: Perusahaan Pupuk). *Proceeding 2nd Conference on Safety Engineering* (Pp. Pp 669-674). Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Marimin, & Zulna, N. F. (2022). Analisis Interval Pemeliharaan Komponen Kritis Unit Fuel Conveyor Dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance (Rcm). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 32 (1), Pp 12-20.
- Putra Hne, S. A. (2017). Analisis Risiko Menggunakan Metode Fmcea Dan Metode Topsis Untuk Penentuan Prioritas Perbaikan Pada Steam Turbine di Perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. *Proceeding 1st Conference on Safety Engineering and Its Application*. Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Rahman, A., & Fahma, F. (2021). Penggunaan Metode Fmeca (Failure Modes Effects Criticality Analysis) Dalam Identifikasi Titik Kritis Di Industri Kemasan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, Vol 31 No (1): pp 110-119
- Rahman, A., & Fahma, F. (2021). Penggunaan Metode Fmeca (Failure Modes Effects Criticality Analysis) Dalam Identifikasi Titik Kritis Di Industri Kemasan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, Vol 31 No (1): pp 110-119

LAMPIRAN

Tabel 3 FMEA Intalasi Pengolahan Air limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Mechanism	Failure Effect
1	Panel Listrik	MCB	Sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik	Tidak dapat memberikan proteksi dalam instalasi listrik	MCB terbakar	Terjadi beban berlebih akibat penggunaan peralatan yang terus menerus	Peralatan tidak dapat beroperasi dan pengolahan air limbah terhenti
2		TOR	Pengaman rangkaian dari arus lebih yang diakibatkan beban yang terlalu besar dengan memutus rangkaian ketika arus telah melebihi setting	Tidak dapat memutus rangkaian	Terjadi beban berlebih	Penggunaan peralatan yang berlebihan	Peralatan panas, gesekan tinggi, dan dapat terjadi keausan
3		Timer	Mengatur pergantian penggunaan rangkaian contactor	Tidak dapat melakukan pergantian penggunaan contactor	Timer rusak	Kegagalan komponen	Beban berlebih pada salah satu contactor
4		Contactor	Memutuskan dan menyambungkan arus listrik secara elektrik	Tidak dapat memutuskan dan menyambungkan arus listrik secara elektrik	Contactor rusak	Kegagalan komponen	Beban berlebih pada salah satu contactor
5		Inverter	Pengendali kecepatan dan starting motor listrik	Motor listrik tidak dapat berputar	Overload	Penggunaan peralatan yang berlebihan	Peralatan tidak dapat beroperasi dan pengolahan air limbah terhenti
6	Gearbox Gear Reducer	Motor elektrik	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	Tidak dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.	Motor elektrik terbakar	Penggunaan secara terus-menerus/ berlebihan	Tidak dapat menggerakkan <i>gearbox gear reducer</i>

Tabel 3 FMEA Intalasi Pengolahan Air limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Mechanism	Failure Effect
7		Input Shaft Cover Gearbox	Penerus putaran dari motor penggerak.	Tidak dapat meneruskan putaran dari motor penggerak	Input shaft gearbox rusak	Kegagalan komponen	Gearbox tidak dapat bekerja
8		Oil Seal Gearbox	Penahan oli supaya tidak bocor dari poros.	Terjadi kebocoran pelumas/oli	Oil seal gearbox bocor	Kerusakan pada sisi oil seal gearbox	Pelumas/oli yang keluar dari seal bercampur dengan air limbah.
9		Worm Shaft Gearbox	Penerus putaran dari worm wheel ke output shaft	Tidak dapat meneruskan putaran dari worm wheel ke output shaft	Worm shaft gearbox rusak	Kegagalan komponen	Gearbox tidak dapat bekerja
10		Worm Wheel Gearbox	Penerus putaran dari input shaft ke worm shaft gearbox	Tidak dapat meneruskan putaran dari input shaft ke	Worm wheel gearbox rusak	Kegagalan komponen	Gearbox tidak dapat bekerja
11		Wall Bearing	Mendukung perputaran gearbox	Tidak dapat mendukung perputaran gearbox	Keausan ekstrim, keausan abrasive, korosi	Komisioning yang tidak memadai dari bearing set, penggunaan seal oli yang tidak tepat dan tidak kompatibel	Panas berlebih, vibrasi, kebisingan
12		Kopling	<u>Menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis</u>	Tidak dapat menghubungkan kedua ujung poros	Kopling patah	Profil kopling rusak akibat deformasi	Vibrasi dan kebisingan
13		Rotor	Untuk menggerakkan aliran air limbah dan mentransfer oksigen dan mikroorganisme selama berjalannya proses pengolahan limbah secara biologis	Tidak dapat berputar menggerakkan aliran air limbah	Rotor patah dan tidak tersambung pada <i>wall bearing</i>	Rotor mengalami keausan dan korosi	Vibrasi dan kebisingan

Tabel 3 FMEA Intalasi Pengolahan Air limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Mechanism	Failure Effect
			pada <i>oxidation ditch</i>				
14	Centrifugal Pump	Elektrik Motor	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	Tidak dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.	Motor elektrik terbakar	Penggunaan secara terus-menerus/ berlebihan	Tidak dapat menggerakkan <i>centrifugal pump</i>
15		Diffuser	Menurunkan kecepatan aliran dari fluida yang akan masuk ke dalam pompa.	Tidak dapat menurunkan kecepatan aliran dari fluida yang akan masuk ke dalam pompa	Pompa akan mengalami overload	Kegagalan fungsi komponen	Kecepatan aliran fluida tidak terkendali
16		Casing	Mengkonversikan sebuah energi kinetik menjadi sebuah tekanan.	Tidak dapat mengkonversikan sebuah energi kinetik menjadi sebuah tekanan.	Keretakan pada casing	Pulsasi tekanan	Tekanan dalam pompa menurun, sehingga kinerja <i>centrifugal pump</i> menurun
17		Impeller	Proses transfer pada energi putaran motor ke fluida yang dipompa.	Tidak dapat melakukan proses transfer pada energi putaran motor ke fluida yang dipompa	Impeller aus	Penurunan kapasitas pompa, penurunan tekanan	Efisiensi pompa rendah, getaran, mengurangi daya hisap.
					Keretakan pada impeller	Penggunaan yang terus menerus sehingga menimbulkan kelelahan	Vibrasi dan kebisingan
18		Shaft/Poros	Transmisi putaran dari sumber gerak.	Tidak dapat melakukan transmisi putaran dari sumber	Poros terkikis dan korosi	Korosi, salah penggunaan	Menimbulkan getaran, kerusakan pada bearing, kegagalan kopling

Tabel 3 FMEA Intalasi Pengolahan Air limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Mechanism	Failure Effect
				gerak	Defleksi/ pembengkokan	Penggunaan yang berlebihan/ terus menerus	Getaran yang berlebihan
					Keausan yang berlebihan	Penggunaan yang berlebihan/ terus menerus	Kerusakan pada poros
19		Bearing	Penahan (constraint) pada posisi rotor relatif pada stator	Tidak dapat menahan posisi rotor agar relative pada stator	Bearing mengalami keausan	Penggunaan berlebihan, penggunaan tidak memadai	Getaran pompa berlebihan, peningkatan gerakan poros radial, pompa mati
					Panas berlebihan	Penggunaan berlebihan, penggunaan tidak memadai	Pompa dapat meledak
20		Kopling	Menghubungkan dua start	Tidak dapat menghubungkan dua start	Kopling patah	Korosi	Tidak dapat menghidupkan <i>Centrifugal pump</i>
21		Sistem Lubrikasi	Pengurangan koefisien gesek pada dua permukaan.	Tidak dapat mengurangi koefisien gesek pada dua permukaan	Sistem lubrikasi tidak bekerja	Pelumas yang kurang memadai	Gesekan mesin semakin tinggi
22		Gate Valve	Membuka aliran dengan cara mengangkat gerbang penutup nya yang berbentuk bulat atau persegi panjang.	Tidak dapat membuka aliran fluida	Kegagalan fungsi <i>gate valve</i>	Korosi	Aliran air limbah terhambat/tersumbat.
23	Submersible Pump	Elektrik Motor	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	Tidak dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.	Motor elektrik terbakar	Penggunaan secara terus-menerus/ berlebihan	Tidak dapat menggerakkan <i>centrifugal pump</i>
24		Kapasitor	Mengangkat putaran dini dari dinamo	Tidak dapat mengangkat putaran	Kapasitor tidak berfungsi	Kerusakan pada penyambung ujungnya	Kejut mekanik/ thermal

Tabel 3 FMEA Intalasi Pengolahan Air limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Functional Failure	Failure Mode	Failure Mechanism	Failure Effect
			penggerak	dini dari dinamo penggerak		Penurunan resistansi dari isolasi atau kanaikan arus bocor pada jenis elektrolis secara berangsur angsur	Kerusakan Ketika penggunaan
25		Gulungan	Menghasilkan energi mekanik untuk impeller	Tidak dapat menghasilkan energi mekanik untuk impeller	Gulungan terbakar	Penggunaan <i>centrifugal pump</i> secara berlebihan	<i>Centrifugal pump</i> tidak dapat beroperasi.
26		Impeller	Menghasilkan tenaga hisap dan tenaga dorong.	Tidak dapat menghasilkan tenaga hisap dan tenaga dorong	Kegagalan fungsi impeller	Impeller aus, penurunan kapasitas pompa, penurunan tekanan	Efisiensi pompa rendah, getaran, mengurangi daya hisap.
					Keretakan pada impeller	Penggunaan yang terus menerus sehingga menimbulkan kelelahan	Vibrasi dan kebisingan
					Deformasi/ perubahan bentuk	Kavitasi dan Korosi	Vibrasi dan kebisingan
27		Mekanikal Seal	Membagikan penutup jalur poros impeller dengan bagian tabung pompa airnya.	Tidak dapat membagikan penutup jalur poros impeller	Mechanical seal mengalami keausan	Penggunaan yang berlebihan/ terus menerus	Panas, vibrasi dan kebisingan
28		Check Valve	Menutup saluran hisap dari mesin pompa celupnya.	Tidak dapat membuka dan menutup saluran hisap	Kegagalan fungsi check valve	Korosi	Aliran air limbah terhambat/tersumbat.

Tabel 4 FMECA Instalasi Pengolahan Air Limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Failure Mode	Severity (S)	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability (β)	Failure Ratio (α)	Operating Time	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (CRxS)
1	Panel Listrik	MCB	Sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik	MCB terbakar	2	0,000005	1	1	43800	0,219	0,219	0,438
2		TOR	Pengaman rangkaian dari arus lebih yang diakibatkan beban yang terlalu besar dengan memutuskan rangkaian ketika arus telah melebihi setting	Terjadi beban berlebih	1	0,000002	1	1	43800	0,0876	0,0876	0,0876
3		Timer	Mengatur pergantian penggunaan rangkaian contactor	Timer rusak	1	0,000001	1	1	43800	0,0438	0,0438	0,0438
4		Contactor	Memutuskan dan menyambungkan arus listrik secara elektrik	Contactor rusak	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
5		Inverter	Pembatas lonjakan arus	Inverter terbakar	1	0,000004	1	1	43800	0,1752	0,1752	0,1752

Tabel 4 FMECA Instalasi Pengolahan Air Limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Failure Mode	Severity (S)	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability (β)	Failure Ratio (α)	Operating Time	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (CRxS)
6	Gearbox Gear Reducer	Motor elektrik	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	Motor elektrik terbakar	1	0,000004	1	1	43800	0,1752	0,1752	0,1752
7		Input Shaft Cover Gearbox	Penerus putaran dari motor penggerak.	Input shaft gearbox rusak	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
8		Oil Seal Gearbox	Penahan oli supaya tidak bocor dari poros.	Oil seal gearbox bocor	1	0,000002	1	1	43800	0,0876	0,0876	0,0876
9		Worm Shaft Gearbox	Penerus putaran dari worm wheel ke output shaft	Worm shaft gearbox rusak	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
10		Worm Wheel Gearbox	Penerus putaran dari input shaft ke worm shaft gearbox	Worm wheel gearbox rusak	1	0,000001	1	1	43800	0,0438	0,0438	0,0438
11		Wall Bearing	Mendukung perputaran gearbox	Keausan ekstrim, keausan abrasive, Korosi	1	0,000005	1	1	43800	0,219	0,219	0,219
12		Kopling	Menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis	Kopling patah	1	0,000004	1	1	43800	0,1752	0,1752	0,1752

Tabel 4 FMECA Instalasi Pengolahan Air Limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Failure Mode	Severity (S)	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability (β)	Failure Ratio (α)	Operating Time	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (CRxS)
13		Rotor	Untuk menggerakkan aliran air limbah dan mentransfer oksigen dan mikroorganisme selama berjalannya proses pengolahan limbah secara biologis pada <i>oxidation ditch</i>	Rotor patah dan tidak tersambung pada <i>wall bearing</i>	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
14	Centrifugal Pump	Elektrik Motor	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	Motor elektrik terbakar	1	0,000008	1	1	43800	0,3504	0,3504	0,3504
15		Diffuser	Menurunkan kecepatan aliran dari fluida yang akan masuk ke dalam pompa.	Pompa akan mengalami overload	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
16		Casing	Mengkonversikan sebuah energi kinetik menjadi sebuah tekanan.	Keretakan pada casing	1	0,000001	1	1	43800	0,0438	0,0438	0,0438
17		Impeller	Proses transfer pada energi putaran motor ke fluida yang dipompa.	Impeller aus	4	0,000003	1	0,5	43800	0,0657	0,1314	0,5256
	Keretakan pada impeller			0,000003		1	0,5	43800	0,0657			

Tabel 4 FMECA Instalasi Pengolahan Air Limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Failure Mode	Severity (S)	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability (β)	Failure Ratio (α)	Operating Time	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (CRxS)
18		Shaft/Poros	Transmisi putaran dari sumber gerak.	Poros terkikis dan korosi	1	0,000005	1	0,416666667	43800	0,09125	0,1825	0,1825
				Defleksi/pembengkokan		0,000003	1	0,25	43800	0,03285		
				Keausan yang berlebihan		0,000004	1	0,333333333	43800	0,0584		
19	Bearing	Penahan (constraint) pada posisi rotor relatif pada stator	Bearing mengalami keausan	1	0,000003	1	0,75	43800	0,09855	0,1095	0,1095	
			Panas berlebihan		0,000001	1	0,25	43800	0,01095			
20		Kopling	Menghubungkan dua start	Kopling patah	1	0,000004	1	1	43800	0,1752	0,1752	0,1752
21		Sistem Lubrikasi	Pengurangan koefisien gesek pada dua permukaan.	Sistem lubrikasi tidak bekerja	1	0,000004	1	1	43800	0,1752	0,1752	0,1752
22		Gate Valve	Membuka aliran dengan cara mengangkat gerbang penutupnya yang berbentuk bulat atau persegi panjang.	Kegagalan fungsi <i>gate valve</i>	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
23	Submersible Pump	Elektrik Motor	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	Motor elektrik terbakar	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314

Tabel 4 FMECA Instalasi Pengolahan Air Limbah (Lanjutan)

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Failure Mode	Severity (S)	Failure Rate (λ)	Failure Effect Probability (β)	Failure Ratio (α)	Operating Time	Failure Mode Critically Number (Cm)	Item Critically Number (Cr)	Item Critically Ranking (CRxS)
24		Kapasitor	Mengangkat putaran dini dari dinamo penggerak	Kapasitor Terbakar	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314
25		Gulungan	Menghasilkan energi mekanik untuk impeller	Gulungan terbakar	2	0,000005	1	1	43800	0,219	0,219	0,438
26		Impeller	Menghasilkan tenaga hisap dan tenaga dorong.	Keretakan pada impeller	1	0,000005	1	1	43800	0,219	0,219	0,219
27		Mekanikal Seal	Membagikan penutup jalur poros impeller dengan bagian tabung pompa airnya.	Mechanical seal mengalami keausan	1	0,000005	1	1	43800	0,219	0,219	0,219
28		Check Valve	Menutup saluran hisap dari mesin pompa celupnya.	Kegagalan fungsi check valve	1	0,000003	1	1	43800	0,1314	0,1314	0,1314

Tabel 5 Criticality Ranking

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Item Critically Number	Item Critically Ranking	Presentase
1	Centrifugal Pump	Impeller	Proses transfer pada energi putaran motor ke fluida yang dipompa.	0,1314	0,5256	10,37%
2	Submersible Pump	Gulungan	Menghasilkan energi mekanik untuk impeller	0,219	0,438	19,02%
3	Panel Listrik	MCB	Sebagai sistem proteksi dalam instalasi listrik bila terjadi beban lebih dan hubung singkat arus listrik	0,219	0,438	27,67%
4	Centrifugal Pump	Elektrik Motor	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	0,3504	0,3504	34,58%
5	Gearbox Gear Reducer	Wall Bearing	Mendukung perputaran gearbox	0,219	0,219	38,90%
6	Submersible Pump	Impeller	Menghasilkan tenaga hisap dan tenaga dorong.	0,219	0,219	43,23%
7	Submersible Pump	Mekanikal Seal	Membagikan penutup jalur poros impeller dengan bagian tabung pompa airnya.	0,219	0,219	47,55%
8	Centrifugal Pump	Shaft/Poros	Transmisi putaran dari sumber gerak.	0,1825	0,1825	51,15%
9	Gearbox Gear Reducer	Motor elektrik	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	0,1752	0,1752	54,61%
10	Centrifugal Pump	Kopling	Menghubungkan dua start	0,1752	0,1752	58,07%
11	Centrifugal Pump	Sistem Lubrikasi	Pengurangan koefisien gesek pada dua permukaan.	0,1752	0,1752	61,53%
12	Panel Listrik	Inverter	Pembatas lonjakan arus	0,1752	0,1752	64,99%
13	Gearbox Gear Reducer	Kopling	Menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis	0,1752	0,1752	68,44%
14	Gearbox Gear Reducer	Rotor	Untuk menggerakkan aliran air limbah dan mentransfer oksigen dan mikroorganisme	0,1314	0,1314	71,04%

Tabel 5 Criticality Ranking

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Item Critically Number	Item Critically Ranking	Presentase
			selama berjalannya proses pengolahan limbah secara biologis pada <i>oxidation ditch</i>			
15	Submersible Pump	Elektrik Motor	Mengubah energi listrik menjadi energi mekanik	0,1314	0,1314	73,63%
16	Panel Listrik	Contactora	Memutuskan dan menyambungkan arus listrik secara elektrik	0,1314	0,1314	76,22%
17	Gearbox Gear Reducer	Input Shaft Cover Gearbox	Penerus putaran dari motor pengerak.	0,1314	0,1314	78,82%
18	Gearbox Gear Reducer	Worm Shaft Gearbox	Penerus putaran dari worm wheel ke output shaft	0,1314	0,1314	81,41%
19	Centrifugal Pump	Diffuser	Menurunkan kecepatan aliran dari fluida yang akan masuk ke dalam pompa.	0,1314	0,1314	84,01%
20	Centrifugal Pump	Gate Valve	Membuka aliran dengan cara mengangkat gerbang penutupnya yang berbentuk bulat atau persegi panjang.	0,1314	0,1314	86,60%
21	Submersible Pump	Kapasitor	Mengangkat putaran dini dari dinamo penggerak	0,1314	0,1314	89,19%
22	Submersible Pump	Check Valve	Menutup saluran hisap dari mesin pompa celupnya.	0,1314	0,1314	91,79%
23	Centrifugal Pump	Bearing	Penahan (constraint) pada posisi rotor relatif pada stator	0,1095	0,1095	93,95%
24	Panel Listrik	TOR	Pengaman rangkaian dari arus lebih yang diakibatkan beban yang terlalu besar dengan memutus rangkaian ketika arus telah melebihi setting	0,0876	0,0876	95,68%
25	Gearbox Gear Reducer	Oil Seal Gearbox	Penahan oli supaya tidak bocor dari poros.	0,0876	0,0876	97,41%
26	Panel Listrik	Timer	Mengatur pergantian	0,0438	0,0438	98,27%

Tabel 5 Criticality Ranking

No	Komponen	Sub Komponen	Function	Item Critically Number	Item Critically Ranking	Presentase
			penggunaan rangkaian contactor			
27	Centrifugal Pump	Casing	Mengkonversikan sebuah energi kinetik menjadi sebuah tekanan.	0,0438	0,0438	99,14%
28	Gearbox Gear Reducer	Worm Wheel Gearbox	Penerus putaran dari input shaft ke worm shaft gearbox	0,0438	0,0438	100,00%