

PENERAPAN RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) UNTUK PERAWATAN MESIN TWIN SCREW EXTRUDER

Sofian Bastuti^{1*}, Rini Alfatiyah², Riki Effendi³

ABSTRACT

The industrial sector is currently increasingly competitive and intensively developed through increasingly sophisticated technology. One of the factors supporting the effectiveness and efficiency of production is the engine, so that engine performance needs to be maximized. PT. Nirwana Internar Jaya is a company engaged in the manufacture of pipes using a twin screw extruder machine. The machine does production continuously, so it does not rule out the possibility of downtime. This study aims to determine the optimal maintenance action and determine the maintenance time interval on the twin screw extruder machine using the Reliability Centered Maintenance (RCM) method. The results obtained are that it can reduce the downtime of the twin screw extruder machine from 72.5 hours to 27.5 hours by performing maintenance on heating control system components with maintenance time intervals of 155.15 hours or 7 days, motor cooling fan 739.02 hours or 31 days and blower/fan components with maintenance intervals of 828.08 hours or 35 days. Condition monitoring measures also need to be taken to reduce disturbances that can hinder production activities.

Keywords: Maintenance, RCM, Twin Screw Extruder

PENDAHULUAN

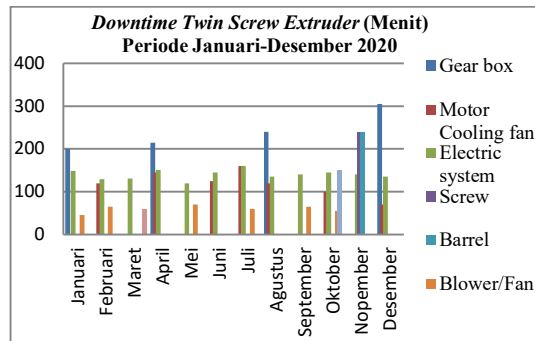
PT. Nirwana Internar Jaya merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan pipa di wilayah Bogor Jawa Barat. PT. Nirwana Internar Jaya untuk saat ini hanya mampu mendistribusikan produknya meliputi pulau Jawa. Perusahaan tersebut termasuk dalam perusahaan yang produktivitasnya tinggi. Dari beberapa jenis mesin yang digunakan, mesin *twin screw extruder* dengan seri SJZ-65/132 merupakan mesin yang kerap kali mengalami kendala. Akibatnya mesin tersebut mengalami jam berhenti (*downtime*) dan *delay* pada proses produksi pipa sehingga kinerja mesin menjadi kurang efektif dan efisien.

^{1, 2} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang

³ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

*Corresponding author:
dosen00347@unpam.ac.id

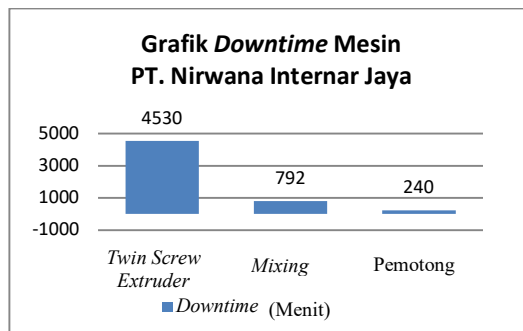
Twin Screw Extruder merupakan mesin yang berfungsi untuk menekan (mendorong) material pipa yang telah di panaskan kemudian ditekan oleh screw dan barrel menuju ke dies. Ada beberapa faktor penyebab kerusakan mesin, diantaranya keausan (*wear out*), korosi (*corrosion*), kelelahan (*fatigue*), dan patah (*fault*). Berikut adalah grafik histori *downtime* mesin *Twin Screw Extruder* seri SJZ-65/132 pada PT. Nirwana Internar Jaya dari bulan Januari 2020 sampai Desember 2020 ditunjukkan pada **Gambar 1**.



(Sumber: PT. Nirwana Internar Jaya)

Gambar 1. Grafik *Downtime* Mesin *Twin Screw Extruder*

Berdasarkan grafik *downtime* tersebut, *downtime* mesin *twin screw extruder* di PT. Nirwana Internar Jaya dapat dikatakan tinggi dibandingkan dengan mesin *mixer* dan mesin pemotong yang terdapat di perusahaan tersebut. Adapun grafik *downtime* mesin *twin screw extruder*, mesin *mixer* dan mesin pemotong di PT. Nirwana Internar Jaya periode Januari sampai Desember 2020 adalah sebagai berikut.



(Sumber: PT. Nirwana Internar Jaya)

Gambar 2. Grafik *Downtime* Mesin PT. Nirwana Internar Jaya

Berdasarkan diagram *downtime* tersebut mesin *twin screw extruder* memiliki nilai *downtime* 4530 menit, mesin *mixing* 792 menit dan mesin pemotong 240 menit. Pemeliharaan mesin di PT. Nirwana Internar Jaya perlu ditingkatkan lagi. *Maintenance* adalah suatu kegiatan untuk memelihara dan menjaga fasilitas yang ada serta memperbaiki, melakukan penyesuaian atau penggantian yang diperlukan untuk mendapatkan suatu kondisi operasi produksi agar sesuai dengan perencanaan yang ada.

Untuk mengatasi masalah yang terdapat di PT. Nirwana Internar Jaya maka penulis akan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Perhitungan ini dapat digunakan untuk mengetahui interval waktu perawatan mesin di yang efektif di PT. Nirwana Internar Jaya.

METODE PENELITIAN

***Reliability Centered Maintenance* (RCM)**

Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar aset fisik dapat berlanjut dalam memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya saat ini (Suwikarsa et al., 2020).

RCM mengklasifikasikan konsekuensi kegagalan menjadi empat kelompok, yaitu (Denur et al., 2017):

1. Konsekuensi kegagalan tersembunyi

Kegagalan yang termasuk dalam konsekuensi ini mempunyai dampak kegagalan yang berlipat dan lebih serius seperti pada komponen yang tidak aman karena tersembunyi atau tidak diketahui oleh operator.

2. Konsekuensi keselamatan

Kegagalan yang terjadi berdampak pada keselamatan operator (Syahabuddin, 2019).

3. Konsekuensi operasi

Kegagalan yang terjadi mengakibatkan konsekuensi operasi yaitu produk, keluaran, biaya operasi dan biaya perbaikan serta dapat mematikan sistem atau berhentinya proses produksi (Sembiring & Arianti, 2020).

4. Konsekuensi non operasi

Kegagalan yang terjadi tidak berdampak pada keamanan ataupun produksi, namun berdampak pada biaya langsung dan dampaknya tergolong kecil (Ilham Pramudya Raharja, Ida Bagus Suardika, 2021).

Tujuan RCM

Tujuan dari RCM adalah sebagai berikut (Maulidina et al., 2020):

1. Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) baik;
2. Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan improvement pada desain awal yang kurang baik;
3. Untuk mengembangkan sistem maintenance yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula *equipment* dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan;
4. Untuk mewujudkan semua tujuan di atas dengan biaya minimum.

Implementasi RCM

Secara umum ada beberapa langkah implementasi RCM, antara lain (Ninny Siregar & Munthe, 2019):

1. Pembuatan Hirarki Fungsi dari Sistem Peralatan dengan mengidentifikasi sistem dan sub sistem secara fungsional.
2. Analisis Kegagalan Fungsi yaitu kegiatan deskripsi tiap sistem sub sistem, komponen serta identifikasi semua fungsi dan interface dengan sistem atau sub sistem yang lain dan identifikasi semua kegagalan fungsional (Didik Kurniawan, Trismawati, 2019).
3. Penentuan *Significant Item* dengan indeks kekritisian.
4. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk analisis kegagalan dengan fokus pada analisis kualitatif dan identifikasi dampak moda kegagalan dan cara deteksi moda kegagalan tersebut. Rumus dalam perhitungan FMEA yaitu:

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Dimana:

- S = *Severity*
- O = *Occurance*
- D = *Detection*

Nilai RPN menunjukkan keseriusan potensial *failure*, semakin tinggi RPN menunjukkan semakin bermasalah (Dinda Tria Kusuma, Endang Budiasih, 2020).

5. *Intermediate Decision Tree* (IDT)

IDT adalah analisis untuk mengetahui kegagalan yang tampak atau tersembunyi, kedalam 4 kategori tersebut antara lain (Industry Xplore et al., 2020):

- a. Kategori A (berpengaruh terhadap keselamatan).
- b. Kategori B (berpengaruh terhadap produksi).
- c. Kategori C (berpengaruh terhadap nonproduksi)
- d. Kategori D (mode kegagalan yang tersembunyi).

6. *Logic Tree Analysis* (LTA)

Tujuan LTA adalah mengklasifikasikan *failure mode* kedalam beberapa kategori agar dapat dipilih antara tugas perawatan yang *applicable* dan *effective*. Pemilihan tugas perawatan antara lain (Sajaradj et al., 2019):

- a. Pengujian / Inspeksi berkala.
- b. Evaluasi hubungan *equipment* dengan resiko.
- c. *Scheduled rework*.
- d. Penggantian terjadwal.
- e. *Condition monitoring*.
- f. Pengawasan oleh operator atau pengontrolan sistem.
- g. Operasikan sampai mengalami kegagalan.

Metode dan Teknik Pengukuran

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif analisis dengan kegiatan pengumpulan, pengolahan serta penyajian data dan fakta sebagaimana adanya untuk melakukan analisis berdasarkan metode ilmiah yang hasilnya berguna untuk pengambilan keputusan dalam rangka pemecahan masalah pada kerusakan mesin *Twin Screw Extruder* di PT. Nirwana Internar Jaya.

Setelah mendapatkan seluruh data yang dibutuhkan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan analisis data, yaitu:

1. Melakukan langkah-langkah implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada mesin *twin screw extruder*.
2. Menghitung tingkat keandalan dengan perhitungan MTTF, MTTR, dan interval waktu perawatan mesin.
3. Menentukan strategi perencanaan perawatan pada mesin produksi.
4. Membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.
5. Memberikan usulan atau saran pada perusahaan sebagai bahan pertimbangan untuk

melakukan perbaikan pada departemen produksi khususnya divisi *maintenance*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi RCM

Hirarki Fungsi Sistem

Penentuan hirarki fungsi sistem pada mesin *twin screw extruder* dilakukan dengan mengelompokan setiap fungsi sistem dan sub-sistem sampai dengan level komponen sehingga akan membentuk suatu sistem hirarki. Adapun Hirarki fungsi sistem mesin *twin screw extruder* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hirarki Fungsi Sistem Mesin *Twin Screw Extruder*

ID Sistem	Sistem	ID Sub-sistem	Sub-sistem	ID Komponen	Komponen
1.	Mesin <i>Twin Screw Extruder</i>	1.1	Mesin penggerak	1.1.1	Motor
				1.1.2	V-belt + Pulley
				1.1.3	<i>Thrust bearing</i>
				1.1.4	<i>Gearbox</i>
				1.1.5	<i>Coupling</i>
				1.1.6	<i>Shaft coupling</i>
				1.1.7	<i>Shaft bearing</i>
		1.2	<i>Electrical control system</i>	1.2.1	<i>Speed control system</i>
				1.2.2	<i>Heating control system</i>
		1.3	<i>Extrusion system</i>	1.3.1	<i>Hopper</i>
				1.3.2	<i>Barrel</i>
				1.3.3	<i>Screw</i>
		1.4	<i>Cooling System</i>	1.4.1	Motor <i>Cooling fan</i>
				1.4.2	Blower/ <i>fan</i>
		1.5	Kepala <i>Extruder</i>	1.5.1	<i>Head plate</i>
1.5.2	<i>Braker plate</i>				
1.5.3	<i>Dies Head</i>				

Analisis Kegagalan Fungsi Sistem

Analisis fungsi dan kegagalan sistem dilakukan dengan cara mendeskripsikan fungsi setiap komponen dan mengidentifikasi semua kegagalan fungsional mesin.

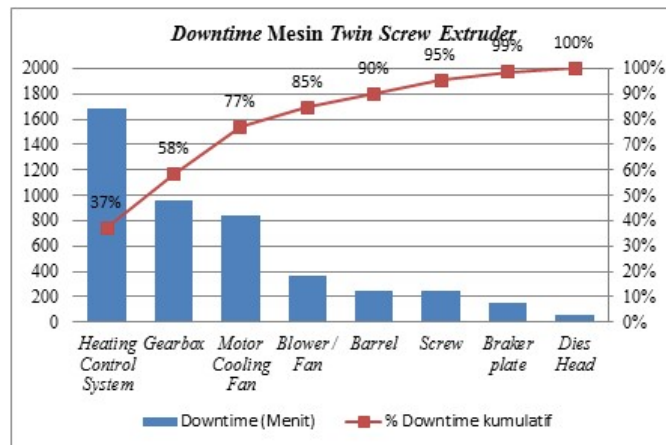
Tabel 2. Analisis Fungsi Sistem dan Kegagalan Sistem

ID	Komponen Sistem	Fungsi Sistem	Kegagalan Sistem
1.1.1	Motor	Penggerak utama mesin <i>twin screw extruder</i>	Bearing mengalami aus, <i>impeller</i> macet
1.1.2	<i>V-belt + pulley</i>	<i>V-belt</i> berfungsi untuk menyambung daya dari motor melalui <i>pulley</i> mengikuti laju pada putaran <i>gearbox</i>	<i>Belt</i> kendur, <i>belt</i> pecah, <i>belt</i> mengalami slip, <i>pulley</i> aus
1.1.3	<i>Thrust bearing</i>	Mengurangi gesekan mesin	Bearing aus dan berkarat.
1.1.4	<i>Gearbox</i>	Berfungsi sebagai penerus daya dan mereduksi putaran	<i>Bearing</i> aus, <i>gear</i> macet, <i>oil</i> habis
1.1.5	<i>Coupling</i>	Berfungsi sebagai penerus daya dari <i>gearbox</i> ke <i>screw</i>	Usia pemakaian, <i>misalignment</i>
1.1.6	<i>Shaft coupling</i>	Berfungsi sebagai poros <i>coupling</i>	<i>Shaft</i> goyang
1.1.7	<i>Shaft bearing</i>	Berfungsi sebagai poros <i>bearing</i>	<i>Shaft</i> goyang
1.2.1	<i>Speed control system</i>	Mengatur kecepatan putaran sistem	kabel putus, kabel terkelupas
1.2.2	<i>Heating control system</i>	Mengatur pemanasan pada <i>barrel</i> dan <i>screw</i>	Kabel putus, kabel terkelupas, <i>relay</i> rusak, kontaktor rusak, kumparan <i>stopper break</i> .
1.3.1	<i>Hopper</i>	Tempat Penampungan Material yang akan di proses peleburan ke dalam <i>Screw Barrel</i>	<i>Hopper</i> aus.
1.3.2	<i>Barrel</i>	Berfungsi sebagai rumah dari <i>screw</i> dan berfungsi sebagai tempat pemanasan material	<i>Barrel</i> aus, <i>barrel</i> berkarat

1.3.3	<i>Screw</i>	Berfungsi untuk mendorong material yang telah dipanaskan menuju alat cetak(dies)	<i>Screw</i> aus, <i>screw</i> berkarat
1.4.1	Motor <i>cooling fan</i>	Menggerakkan <i>cooling fan</i>	Bearing mengalami aus, <i>impeller</i> macet
1.4.2	Blower / <i>fan</i>	Penggerak untuk mengkontak udara panas menjadi dingin	Miring, macet, pecah
1.5.1	<i>Head plate</i>	Berfungsi Sebagai lehernya <i>dies</i> atau penyambung antara <i>Screw Barrel</i> dan <i>Moteher Dies</i>	Berkarat, aus
1.5.2	<i>Braker plate</i>	Berfungsi sebagai <i>filter</i> /penyaring material yang sudah lebur dan yang akan keluar dari <i>Dies</i>	Berkarat, aus
1.5.3	<i>Dies head</i>	Berfungsi untuk sebagai Rumah <i>Dies</i> yang akan dihubungkan dengan <i>Melting Die</i>	Berkarat, aus

Penentuan Significant Item

Penentuan *significant item* dilakukan untuk mengetahui komponen kritis berdasarkan waktu *downtime* pada mesin *twin screw extruder*.



Gambar 4. Diagram Pareto Downtime Mesin Twin Screw Extruder

Berdasarkan diagram pareto komponen kritis ditentukan standar presentase 80%, maka didapatkan hasil bahwa terdapat empat komponen kritis mesin *twin screw extruder*. Komponen pertama yaitu *heating control system* dengan presentase 37%, komponen kedua yaitu *gearbox* 21%, komponen ketiga yaitu motor *cooling fan* 19% dan komponen keempat yaitu Blower / *fan* 8%.

Identifikasi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Tahap *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dilakukan setelah mengetahui komponen kritis pada mesin *twin screw extruder* dengan tujuan untuk mengidentifikasi modus kegagalan yang paling berpotensi terjadi pada komponen tersebut.

Tabel 3. Identifikasi FMEA Mesin *Twin Screw Extruder*

<i>Part</i>	<i>Function</i>	<i>Potencial Failure Mode</i>	<i>Potencial Effect of Failure</i>	<i>S</i>	<i>Potencial Cause of Failure</i>	<i>O</i>	<i>Current Control</i>	<i>D</i>	<i>RP N</i>
<i>Heating Control System</i>	Mengatur pemanasan pada barrel dan screw	Kabel Putus	Mesin tidak dapat dihidupkan	8	Arus listrik, usia pemakaian kabel	9	Kontrol kelistrikan berkala	3	216
		Kabel terkelupas	Arus pendek	6	Usia kabel	6	Kontrol kelistrikan berkala	3	108
		Kontaktor rusak	Mesin tidak dapat dihidupkan	8	Beban arus listrik	6	Kontrol kelistrikan berkala	3	144
<i>Relay</i>	rusak	<i>Relay</i>	Mesin tidak dapat dihidupkan	8	Plat sudah lemah/putus	7	Kontrol kelistrikan berkala	3	168

		Kumparan stopper break	Tombol break tidak berfungsi	8	Kabel putus	6	Kontrol kelistrikan berkala	3	144
								TOTAL	780
Gearbox	Berfungsi sebagai penerus daya dan mereduksi putaran	Bearing aus	Putaran mesin tidak stabil	7	Usia pemakaian komponen	6	Mengontrol 1 komponen bearing	3	126
		Roda gigi rontok	Mesin tidak dapat berputar	7	Usia pemakaian komponen	3	Mengontrol 1 komponen gearbox	3	63
		Oil habis	Putaran berat	6	Oil bocor	4	Mengontrol 1 dan melakukan pelumasan	3	72
								TOTAL	261
Motor Cooling Fan	Menggerakkan cooling fan	Bearing aus	Putaran mesin tidak stabil	6	Usia pemakaian komponen	7	Mengontrol 1 komponen bearing	3	126
		Impeller aus	Putaran berat	7	Kurang pelumasan	4	Mengontrol 1 dan melakukan pelumasan	3	84
								TOTAL	210
Blower Fan	Penggerak untuk mengkontak udara panas menjadi dingin	Miring	Putaran tidak stabil	5	Baut kendur	4	Mengontrol 1 komponen	4	80

Macet	Kipas tidak berputar	7	Kurang pelumas	6	Mengontrol dan melakukan pelumasan	3	126
Pecah	Putaran tidak stabil	7	Usia pemakaian komponen	2	Mengontrol 1 komponen	3	42
TOTAL							248

Intermediate Decision Tree (IDT)

Intermediate Decision Tree (IDT) adalah analisis untuk mengetahui kegagalan yang tampak atau tersembunyi.

Tabel 4. *Intermediate Decision Tree (IDT)*

No	Komponen	Kegagalan	Dampak Kegagalan (Nampak/Tersembunyi)
1.	<i>Heating control system</i>	Kabel Putus	Dampak tidak langsung, tersembunyi dan berpengaruh terhadap produksi
		Kabel terkelupas	Dampak tidak langsung, tersembunyi dan berpengaruh terhadap produksi
		Kontaktor rusak	Dampak tidak langsung, tersembunyi dan berpengaruh terhadap produksi
		Relay rusak	Dampak tidak langsung, tersembunyi dan berpengaruh terhadap produksi
		Kumparan <i>stopper break</i>	Dampak tidak langsung, tersembunyi dan berpengaruh terhadap produksi
2.	<i>Gearbox</i>	<i>Bearing</i> aus	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi
		<i>Roda gigi rontok</i>	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi
		<i>Oil</i> habis	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi
3.	<i>Motor cooling fan</i>	<i>Bearing</i> aus	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi
		<i>Impeller</i> aus	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi

4.	Blower / fan	Miring	Dampak tidak langsung dan berpengaruh terhadap non produksi
		Macet	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi
		Pecah	Dampak terasa langsung dan berpengaruh terhadap produksi

Logic Tree Analysis (LTA)

Pada tahap ini dilakukan Analisis penentuan tugas perawatan pada mesin *twin screw extruder* dengan menggunakan kriteria pemilihan tugas.

Tabel 5. *Logic Tree Analysis*

No	Komponen	Kegagalan	Pemilihan <i>Maintenance Task</i>	
			Kategori	Keterangan
1.	<i>Heating control system</i>	Kabel Putus	B	<i>No Task (CM Only)</i>
		Kabel terkelupas	E	<i>Condition Monitoring</i>
		Kontaktor rusak	B	<i>No Task (CM Only)</i>
		<i>Relay</i> rusak	B	<i>No Task (CM Only)</i>
		Kumparan <i>stopper break</i>	D	Penggantian terjadwal
2.	<i>Gearbox</i>	<i>Bearing</i> aus	D	Penggantian terjadwal
		<i>Roda gigi rontok</i>	D	Penggantian terjadwal
		<i>Oil</i> habis	F	Pengawasan oleh operator
3.	Motor <i>cooling fan</i>	<i>Bearing</i> aus	D	Penggantian terjadwal
		<i>Impeller</i> aus	F	Pengawasan oleh operator
4.	Blower / fan	Miring	F	Pengawasan oleh operator
		Macet	D	Penggantian terjadwal
		Pecah	D	Penggantian terjadwal

Perhitungan Waktu Antar Kerusakan (*Time To Failure*) dan Waktu Perbaikan Kerusakan (*Time To Repair*)

Time To Failure (TTF) adalah selisih waktu antar kerusakan yang dihitung dari selisih antara waktu kerusakan komponen yang telah selesai diperbaiki dengan waktu kerusakan komponen berikutnya selama hari kerja berlangsung, tidak termasuk hari libur. *Time To Repair*

(TTR) adalah waktu yang diperlukan untuk memperbaiki suatu kerusakan komponen selama jam kerja berlangsung, tidak termasuk jam istirahat kerja.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kegagalan dan Perbaikan Komponen *Heating Control System*

Komponen <i>Heating Control System</i>				
No	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTF (Jam)	TTR (Jam)
1	07/01/2020 7:15	07/01/2020 7:50	-	0,58
2	13/01/2020 9:40	13/01/2020 10:20	101,83	0,67
3	22/01/2020 16:45	22/01/2020 17:20	178,42	0,58
4	30/01/2020 14:00	30/01/2020 14:39	140,67	0,65
5	06/02/2020 21:00	06/02/2020 21:29	130,35	0,48
6	11/02/2020 2:10	11/02/2020 2:40	56,68	0,50
7	20/02/2020 19:10	20/02/2020 19:40	188,50	0,50
8	25/02/2020 5:40	25/02/2020 6:20	62,00	0,67
9	04/03/2020 7:15	04/03/2020 7:45	148,92	0,50
10	12/03/2020 15:20	12/03/2020 15:50	155,58	0,50
11	18/03/2020 13:17	18/03/2020 13:43	97,45	0,43
12	24/03/2020 19:11	24/03/2020 19:31	105,47	0,33
13	31/03/2020 8:17	31/03/2020 8:42	88,77	0,42
14	07/04/2020 10:15	07/04/2020 10:55	125,55	0,67
15	15/04/2020 5:20	15/04/2020 6:00	118,42	0,67
16	21/04/2020 3:01	21/04/2020 3:42	97,02	0,68
17	27/04/2020 22:15	27/04/2020 22:45	118,55	0,50
18	04/05/2020 11:00	04/05/2020 11:30	88,25	0,50
19	12/05/2020 21:10	12/05/2020 21:50	133,67	0,67
20	20/05/2020 21:10	20/05/2020 21:40	147,33	0,50
21	28/05/2020 22:10	28/05/2020 22:30	28,50	0,33
22	03/06/2020 23:00	03/06/2020 23:30	100,50	0,50
23	11/06/2020 18:20	11/06/2020 18:50	142,83	0,50
24	16/06/2020 5:00	16/06/2020 5:40	62,17	0,67
25	22/06/2020 19:30	22/06/2020 20:15	114,83	0,75
26	06/07/2020 10:13	06/07/2020 10:48	281,97	0,58
27	15/07/2020 15:40	15/07/2020 16:30	176,87	0,83

28	23/07/2020 15:17	23/07/2020 15:52	146,78	0,58
29	29/07/2020 9:00	29/07/2020 9:40	93,13	0,67
30	05/08/2020 11:20	05/08/2020 11:55	101,67	0,58
31	11/08/2020 15:15	11/08/2020 15:50	103,33	0,58
32	19/08/2020 22:20	19/08/2020 22:50	130,50	0,50
33	26/08/2020 16:10	26/08/2020 16:45	93,33	0,58
34	03/09/2020 21:15	03/09/2020 21:55	152,50	0,67
35	11/09/2020 9:55	11/09/2020 10:30	136,00	0,58
36	16/09/2020 8:20	16/09/2020 9:00	73,83	0,67
37	23/09/2020 15:10	23/09/2020 15:35	130,17	0,42
38	05/10/2020 19:11	05/10/2020 19:41	247,60	0,50
39	13/10/2020 9:50	13/10/2020 10:25	138,15	0,58
40	21/10/2020 16:00	21/10/2020 16:35	153,58	0,58
41	27/10/2020 14:15	27/10/2020 15:00	97,67	0,75
42	04/11/2020 8:30	04/11/2020 9:00	117,50	0,50
43	12/11/2020 11:00	12/11/2020 11:35	150,00	0,58
44	17/11/2020 14:20	17/11/2020 15:00	78,75	0,67
45	27/11/2020 16:00	27/11/2020 16:35	197,00	0,58
46	04/12/2020 9:10	04/12/2020 9:40	116,58	0,50
47	10/12/2020 15:00	10/12/2020 15:30	105,33	0,50
48	16/12/2020 13:40	16/12/2020 14:10	98,17	0,50
49	22/12/2020 10:40	22/12/2020 11:25	96,50	0,75

Tabel 7. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kegagalan dan Perbaikan Komponen *Gearbox*

Komponen <i>Gearbox</i>				
No	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTF (Jam)	TTR (Jam)
1	10/01/2020 13:30	10/01/2020 16:50	-	3,33
2	04/04/2020 8:15	04/04/2020 11:50	1499,42	3,58
3	26/08/2020 17:55	26/08/2020 23:00	2318,08	5,08
4	13/12/2020 7:13	13/12/2020 11:13	1872,22	4,00

Tabel 8. Hasil Perhitungan Selang Waktu Kegagalan dan Perbaikan Komponen Motor Blower/*Fan*

Komponen Motor <i>Cooling Fan</i>				
No	Waktu Awal Kerusakan	Waktu Akhir Kerusakan	TTF (Jam)	TTR (Jam)
1	20/02/2020 8:00	20/02/2020 10:00	-	2,00
2	16/04/2020 15:20	16/04/2020 17:45	949,33	2,42
3	17/06/2020 21:15	17/06/2020 23:20	927,50	2,08
4	30/07/2020 8:50	30/07/2020 11:30	753,50	2,67
5	10/08/2020 10:00	10/08/2020 12:00	150,50	2,00
6	19/10/2020 21:00	19/10/2020 22:40	1201,00	1,67
7	02/12/2020 15:00	02/12/2020 16:10	760,33	1,17

Identifikasi Distribusi Kerusakan

Identifikasi distribusi kerusakan dilakukan melalui distribusi *Ekspponential*, distribusi Lognormal, distribusi *Weibull* dan distribusi normal.

1. Least Square Curve Fitting Untuk TTF dan TTR

Berikut ini adalah perhitungan *index of fit* menggunakan distribusi *Weibull* pada komponen *heating control system*.

Tabel 9. Perhitungan *Index Of Fit* Distribusi *Weibull* TTF
Komponen *Heating Control System*

<i>Index Of Fit Distribusi Ekspensial Komponen Heating Control System</i>							
i	ti	xi=ti	F(ti)	yi	xi.yi	xi ²	yi ²
1	28,50	28,50	0,01	0,01	0,42	812,25	0,00
2	56,68	56,68	0,04	0,04	2,03	3213,00	0,00
3	62,00	62,00	0,06	0,06	3,56	3844,00	0,00
4	62,17	62,17	0,08	0,08	4,94	3864,69	0,01
5	73,83	73,83	0,10	0,10	7,54	5451,36	0,01
6	78,75	78,75	0,12	0,13	9,87	6201,56	0,02
7	88,25	88,25	0,14	0,15	13,15	7788,06	0,02
8	88,77	88,77	0,16	0,17	15,38	7879,52	0,03
9	93,13	93,13	0,18	0,20	18,45	8673,82	0,04
10	93,33	93,33	0,20	0,22	20,87	8711,11	0,05

11	96,50	96,50	0,22	0,25	24,11	9312,25	0,06
12	97,02	97,02	0,24	0,28	26,85	9412,23	0,08
13	97,45	97,45	0,26	0,30	29,66	9496,50	0,09
14	97,67	97,67	0,28	0,33	32,50	9538,78	0,11
15	98,17	98,17	0,30	0,36	35,54	9636,69	0,13
16	100,50	100,50	0,32	0,39	39,41	10100,25	0,15
17	101,67	101,67	0,35	0,42	43,02	10336,11	0,18
18	101,83	101,83	0,37	0,46	46,36	10370,03	0,21
19	103,33	103,33	0,39	0,49	50,46	10677,78	0,24
20	105,33	105,33	0,41	0,52	55,05	11095,11	0,27
21	105,47	105,47	0,43	0,56	58,86	11123,22	0,31
22	114,83	114,83	0,45	0,59	68,31	13186,69	0,35
23	116,58	116,58	0,47	0,63	73,80	13591,67	0,40
24	117,50	117,50	0,49	0,67	79,04	13806,25	0,45
25	118,42	118,42	0,51	0,71	84,55	14022,51	0,51
26	118,55	118,55	0,53	0,76	89,76	14054,10	0,57
27	125,55	125,55	0,55	0,80	100,71	15762,80	0,64
28	130,17	130,17	0,57	0,85	110,56	16943,36	0,72
29	130,35	130,35	0,59	0,90	117,17	16991,12	0,81
30	130,50	130,50	0,61	0,95	124,10	17030,25	0,90
31	133,67	133,67	0,63	1,01	134,46	17866,78	1,01
32	136,00	136,00	0,65	1,06	144,72	18496,00	1,13
33	138,15	138,15	0,68	1,13	155,53	19085,42	1,27
34	140,67	140,67	0,70	1,19	167,63	19787,11	1,42
35	142,83	142,83	0,72	1,26	180,27	20401,36	1,59
36	146,78	146,78	0,74	1,34	196,38	21545,35	1,79
37	147,33	147,33	0,76	1,42	209,20	21707,11	2,02
38	148,92	148,92	0,78	1,51	224,75	22176,17	2,28
39	150,00	150,00	0,80	1,61	241,11	22500,00	2,58
40	152,50	152,50	0,82	1,72	261,72	23256,25	2,95
41	153,58	153,58	0,84	1,84	282,33	23587,84	3,38
42	155,58	155,58	0,86	1,98	307,65	24206,17	3,91
43	176,87	176,87	0,88	2,14	378,32	31281,82	4,58
44	178,42	178,42	0,90	2,33	416,06	31832,51	5,44

45	188,50	188,50	0,92	2,57	484,66	35532,25	6,61	
46	197,00	197,00	0,94	2,89	568,59	38809,00	8,33	
47	247,60	247,60	0,96	3,35	829,18	61305,76	11,21	
48	281,97	281,97	0,99	4,24	1194,46	79505,20	17,95	
Σ	5949,17	5949,17	24,00	46,97	7763,05	835809,20	86,82	
Index Of Fit							0,97	

Berikut cara perhitungan *index of fit* distribusi weibull komponen *heating control system*.

Contoh perhitungan yaitu data ke $i=1$ dengan $t_i=28,50$.

$$X_i = \ln(t_i) = \ln(28,50) = 3,35$$

$$F(t_i) = \frac{i-0,3}{n+0,4} = F(28,50) = \frac{1-0,3}{48+0,4} = 0,01$$

$$y_i = \ln(\ln(\frac{1}{1-F(t_i)})) = \ln(\frac{1}{1-0,01}) = -4,23$$

$$x_i \cdot y_i = 3,35 \times (-4,23) = -14,17$$

$$x_i^2 = (3,35)^2 = 11,22$$

$$y_i^2 = (-4,23)^2 = 17,88$$

$$Index\ Of\ Fit = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}}$$

$$= \frac{48(-106,24) - (228,09)(-2,90)}{\sqrt{[48(1090,93) - (228,09)^2][48(84,98) - (-26,90)^2]}}$$

$$= \frac{1036,75}{1064,03}$$

$$= 0,97$$

Tabel 10. Hasil Perhitungan *Index Of Fit* Untuk TTF

No	Komponen	Eksponensial	Lognormal	Weibull	Normal
1	Heating Control System	0,97	0,96	0,97	0,96
2	Motor Cooling Fan	0,83	0,13	0,88	0,93
3	Blower/Fan	0,98	0,98	0,97	0,95

Tabel 11. Hasil Perhitungan *Index Of Fit* Untuk TTR

No	Komponen	Eksponensial	Lognormal	Weibull	Normal
1	Heating Control System	0,137	0,121	0,093	0,120
2	Motor Cooling Fan	-0,689	-0,689	-0,588	-0,642
3	Blower/Fan	0,025	0,309	0,423	0,262

2. Uji Goodness Of Fit Untuk TTF dan TTR

Pengujian-pengujian yang digunakan untuk data *Time To Failure* (TTF) Komponen *Heating Control System* adalah distribusi *Weibull* dengan uji *mann's test* karena data tidak berdistribusi eksponensial berdasarkan uji *barlett test*.

Tabel 12. Uji *Mann's* Pada TTF *Heating Control System* Berdistribusi *Weibull*

<i>Heating Control System</i>							
i	ti	ln(ti)	Zi	Mi	ln(ti+1)-ln(t)	ln(ti+1)-ln(t) / Mi	M
1	28,50	3,35	-4,56	1,11	0,69	0,62	1,623
2	56,68	4,04	-3,46	0,52	0,09	0,17	
3	62,00	4,13	-2,93	0,35	0,00	0,01	
4	62,17	4,13	-2,59	0,26	0,17	0,66	
5	73,83	4,30	-2,32	0,21	0,06	0,30	
6	78,75	4,37	-2,11	0,18	0,11	0,64	
7	88,25	4,48	-1,93	0,15	0,01	0,04	
8	88,77	4,49	-1,78	0,14	0,05	0,35	
9	93,13	4,53	-1,64	0,12	0,00	0,02	
10	93,33	4,54	-1,52	0,11	0,03	0,30	
11	96,50	4,57	-1,40	0,10	0,01	0,05	
12	97,02	4,57	-1,30	0,10	0,00	0,05	
13	97,45	4,58	-1,20	0,09	0,00	0,02	
14	97,67	4,58	-1,11	0,09	0,01	0,06	
15	98,17	4,59	-1,03	0,08	0,02	0,29	
16	100,50	4,61	-0,95	0,08	0,01	0,15	
17	101,67	4,62	-0,87	0,07	0,00	0,02	
18	101,83	4,62	-0,80	0,07	0,01	0,21	
19	103,33	4,64	-0,73	0,07	0,02	0,28	

20	105,33	4,66	-0,66	0,07	0,00	0,02
21	105,47	4,66	-0,59	0,06	0,09	1,32
22	114,83	4,74	-0,53	0,06	0,02	0,24
23	116,58	4,76	-0,47	0,06	0,01	0,13
24	117,50	4,77	-0,40	0,06	0,01	0,13
25	118,42	4,77	-0,34	0,06	0,00	0,02
26	118,55	4,78	-0,29	0,06	0,06	0,99
27	125,55	4,83	-0,23	0,06	0,04	0,63
28	130,17	4,87	-0,17	0,06	0,00	0,02
29	130,35	4,87	-0,11	0,06	0,00	0,02
30	130,50	4,87	-0,06	0,06	0,02	0,43
31	133,67	4,90	0,00	0,06	0,02	0,31
32	136,00	4,91	0,06	0,06	0,02	0,28
33	138,15	4,93	0,11	0,06	0,02	0,32
34	140,67	4,95	0,17	0,06	0,02	0,27
35	142,83	4,96	0,23	0,06	0,03	0,47
36	146,78	4,99	0,29	0,06	0,00	0,06
37	147,33	4,99	0,35	0,06	0,01	0,18
38	148,92	5,00	0,41	0,06	0,01	0,12
39	150,00	5,01	0,47	0,07	0,02	0,25
40	152,50	5,03	0,53	0,07	0,01	0,10
41	153,58	5,03	0,60	0,07	0,01	0,18
42	155,58	5,05	0,68	0,08	0,13	1,64
43	176,87	5,18	0,75	0,09	0,01	0,10
44	178,42	5,18	0,84	0,10	0,05	0,57
45	188,50	5,24	0,94	0,11	0,04	0,38
46	197,00	5,28	1,05	0,15	0,23	1,56
47	247,60	5,51	1,20	0,23	0,13	0,57
48	281,97	5,64	1,43			
K1	24,00					15,52
k2	23,5					

Hasil perhitungan *index of fit* TTF komponen motor *cooling system* adalah data berdistribusi normal dan blower / *fan* berdistribusi lognormal berdasarkan uji *Kolmogorov-Smirnov Test*.

Sedangkan hasil perhitungan hasil perhitungan *index of fit* TTR komponen *heating control system* adalah data berdistribusi lognormal berdasarkan uji *Kolmogorov-Smirnov Test*, dan komponen motor *cooling system* serta blower / *fan* berdistribusi *weibull* berdasarkan uji *mann's test*.

Perhitungan MTTF dan MTTR

1. Komponen *Heating Control System*

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) = 139,51 \Gamma \left(1 + \frac{1}{3,07} \right)] = 139,51 (0,893) \\
 &= 124,58 \text{ jam} \\
 \text{MTTR} &= t_{med} \times e^{s^2/2} = 0,56 \times e^{(2,66/2)} \\
 &= 2,12 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

2. Komponen Motor *Cooling System*

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= \mu = 790,36 \text{ jam} \\
 \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) \\
 &= 1,57 \Gamma \left(1 + \frac{1}{-2,347} \right) = 1,57 \times 1,4397 \\
 &= 2,26 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

3. Komponen Blower/*Fan*

$$\begin{aligned}
 \text{MTTF} &= t_{med} \times e^{s^2/2} \\
 &= 907,27 \times e^{(0,3025/2)} \\
 &= 1055,42 \text{ jam} \\
 \text{MTTR} &= \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) = 1,18 \Gamma \left(1 + \frac{1}{2,82} \right) \\
 &= 1,18 \times 0.89115 \\
 &= 1,05 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Penentuan Interval Perawatan Komponen

1. Komponen *Heating Control System*

a. Rata-rata jam kerja per bulan

$$\begin{aligned}
 \text{Hari kerja per bulan} &= 25 \text{ hari} \\
 \text{Jam kerja tiap hari} &= 24 \text{ jam} \\
 \text{Rata-rata jam kerja per bulan} &= 25 \times 24 \\
 &= 600 \text{ jam/bulan}
 \end{aligned}$$

b. Jumlah kerusakan

Jumlah kerusakan selama 1 tahun = 49 kali

c. Waktu rata-rata perbaikan

$$\begin{aligned}\frac{1}{\mu} &= \frac{MTTR}{\text{rata-rata jam kerja per bulan}} \\ &= \frac{2,12}{600} = 0.004 \\ \mu &= \frac{1}{\frac{1}{\mu}} = \frac{1}{0.004} = 283,02\end{aligned}$$

d. Waktu rata-rata pemeriksaan Rata-rata 1 kali pemeriksaan = 28 jam/49 = 0,57 jam

$$\begin{aligned}\frac{1}{i} &= \frac{\text{rata-rata 1 kali pemeriksaan}}{\text{rata-rata jam kerja per bulan}} = \frac{0,57}{600} = 0.001 \\ i &= \frac{1}{\frac{1}{i}} = \frac{1}{0.001} = 1050\end{aligned}$$

e. Rata-rata kerusakan

$$k = \frac{\text{Jumlah kerusakan per 1 tahun}}{12}$$

f. Frekuensi pemeriksaan optimal

$$\begin{aligned}n &= \sqrt{\frac{k \times i}{\mu}} \\ &= \sqrt{\frac{4,08 \times 1050}{283,02}} \\ &= 3.89 \\ &= \frac{49}{12} \\ &= 4,08\end{aligned}$$

g. Interval Waktu Kerusakan

$$\begin{aligned}t_i &= \frac{\text{rata-rata jam kerja per bulan}}{n} \\ &= \frac{600}{3,89} \\ &= 155.15 \text{ jam} \\ &= 6,42 = 7 \text{ hari}\end{aligned}$$

h. Perhitungan Nilai *Downtime*

$$\begin{aligned}
 D_n &= \frac{k}{\mu.n} + \frac{1}{i} \\
 &= \frac{4,08}{283,02 \times 3,89} + 0.001 \\
 &= 0,005 \\
 &= 0,5 \%
 \end{aligned}$$

i. Perhitungan *Availability*

$$\begin{aligned}
 A_{(tp)} &= (1-D_{(tp)}) \times 100\% \\
 &= (1-0,005) \times 100\% \\
 &= 99,5 \%
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di PT. Nirwana Internar Jaya, dapat disimpulkan berdasarkan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terdapat beberapa komponen kritis yang paling sering mengalami kerusakan berupa komponen *heating control system*, *gear box*, motor *cooling fan*, dan *blower/fan* yang disebabkan karena mesin bekerja secara terus menerus serta belum adanya spesifikasi teknis yang jelas untuk melakukan perawatan mesin dikarenakan belum terdapat jadwal pengecekan dan perawatan mesin.

Interval waktu perawatan berdasarkan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk komponen kritis antara lain: Komponen *heating control system* mengalami *downtime* sebanyak 49 kali dengan total waktu 28 jam dalam setahun dan pemecahan masalahnya perlu dilakukan interval perawatan komponen adalah 55.15 jam atau 7 hari. Komponen motor *cooling fan* mengalami *downtime* sebanyak 7 kali dengan total waktu 14 jam dalam setahun dan pemecahan masalahnya perlu dilakukan interval perawatan komponen adalah 739,02 jam atau 31 hari. Komponen *blower/fan* mengalami *downtime* sebanyak 6 kali dengan total waktu 6 jam dalam setahun dan pemecahan masalahnya perlu dilakukan interval perawatan komponen adalah 828,08 jam atau 35 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Denur, Hakim, L., Hasan, I., & Rahmad, S. (2017). Jisi : jurnal integrasi sistem industri volume 4 no. 1 februari 2017. *Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 4(1), 27–34.
- Didik Kurniawan, Trismawati, T. P. (2019). Perbaikan Perawatan Mesin Rotary Lathe dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Menggunakan Pendekatan Overall

- Equipment Effectiveness (Oee). *Jurnal SENOPATI*, 41–49.
- Dinda Tria Kusuma, Endang Budiasih, A. P. (2020). USULAN KEBIJAKAN PERAWATAN PADA MESIN POMPA COSORB P-201 (RCM) DI PT ANS. *E-Proceeding of Engineering*, 7(3), 9625–9634.
- Ilham Pramudya Raharja, Ida Bagus Suardika, H. G. W. (2021). ANALISIS SISTEM PERAWATAN MESIN BUBUT MENGGUNAKAN METODE RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE) DI CV. JAYA PERKASA TEKNIK. *Industri Inovatif - Jurnal Teknik Industri ITN Malang*, 2019(September 2019), 39–48.
- Industry Xplore, Hakim, A., Pratiwi, A., & Prasetyo, A. (2020). Usulan Preventive Maintenance Dengan Metode Reliability Centered Maintenance Untuk Meminimalkan Biaya Perawatan Mesin (Studi Kasus Di PT. XYZ). *Industry Xplore*, 5(1), 27–34. <https://doi.org/10.36805/teknikindustri.v5i1.901>
- Maulidina, L. N., Atmaji, F. T. D., & Alhilman, J. (2020). Penerapan Metode Reliability and Risk Centered Maintenance (Rrcm) Untuk Usulan Kebijakan Maintenance Mesin Injeksi Plastik (Studi Kasus Pada Cv. Xyz). *Jurnal PASTI*, 13(3), 275. <https://doi.org/10.22441/pasti.2019.v13i3.005>
- Ninny Siregar, H., & Munthe, S. (2019). Analisa Perawatan Mesin Digester dengan Metode Reliability Centered Maintenance pada PTPN II Pagar Merbau. *Jime (Journal of Industrial and Manufacture Engineering)*, 3(2), 87–94. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jime>
- Sajaradj, Z., Huda, L. N., & Sinulingga, S. (2019). The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012058>
- Sembiring, F., & Arianti, N. D. (2020). Maintenance Sistem Informasi Dengan Metode Rcm Di Pt Pratama Abadi Industri (Jx). *JURSISTEKNI (Jurnal Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi)*, 2(3), 25–35.
- Suwikarsa, I. W., Lasalewo, T., Head, I., & Drive, M. (2020). PERAWATAN MESIN SEAMER MENGGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) DI PT . SINAR PURE FOODS INTERNATIONAL. *Seminar Nasional Teknologi, Sains Dan Humaniora 2020 (Semantech 2020)*, 2020(Semantech).
- Syahabuddin, A. (2019). Analisis Perawatan Mesin Bubut Cy-L1640G Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) Di Pt. Polymindo Permata. *JITMI (Jurnal Ilmiah*

Teknik Dan Manajemen Industri), 2(1), 27.
<https://doi.org/10.32493/jitmi.v2i1.y2019.p27-36>