

PERENCANAAN JADWAL PERAWATAN PREVENTIF BERBASIS KEANDALAN
UNTUK MENINGKATKAN *AVAILABILITY* MESIN KERTAS
(Studi Kasus: PT. Kertas Leces (Persero))

*PLANNING OF PREVENTIVE MAINTENANCE SCHEDULE BASED ON
RELIABILITY TO IMPROVE PAPER MACHINE AVAILABILITY
(Case Study: PT. Kertas Leces (Persero))*

Vivit Eka Budiyan¹⁾, Nasir Widha Setyanto²⁾, Arif Rahman³⁾

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang, 65145, Indonesia

E-mail: vivitekabudiyan@gmail.com¹⁾, nazzyr_lin@ub.ac.id²⁾, posku@ub.ac.id³⁾

Abstrak

PT. Kertas Leces (Persero) adalah perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang memproduksi berbagai jenis kertas. Proses produksi di perusahaan tidak selalu berjalan lancar karena adanya losses time yang menyebabkan availability mesin berkurang. Salah satu penyebab losses time adalah kerusakan mesin. Perusahaan memiliki 5 mesin kertas, dan mesin kertas 3 adalah mesin kertas dengan nilai keandalan terendah karena paling banyak mengalami kerusakan akibat perubahan fungsi produksi yang diterapkan. Antisipasi losses time yang dilakukan oleh perusahaan masih melebihi batas yang tercantum dalam Rencana Kinerja Anggaran Perusahaan (RKAP) sehingga ada indikasi perusahaan mengalami kerugian. Adanya losses time dapat mengganggu keberlanjutan suatu proses produksi dan untuk mengatasinya diperlukan keandalan mesin. Keandalan mesin dapat dicapai dengan melakukan perawatan mesin, terlebih dengan perawatan yang terjadwal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui basic event penyebab losses time, mengetahui komponen kritis dan mendapatkan interval waktu perawatan komponen sehingga dapat disusun jadwal perawatan (preventif) rekomendasi yang memberikan peningkatan availability mesin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Fault Tree Analysis (FTA). Hasil penelitian menunjukkan ada 32 basic event yang menyebabkan losses time di mesin kertas 3. Komponen mesin kertas yang paling kritis secara keseluruhan adalah HSM Roll (nilai keandalan 93,86%). Namun bila dilihat tiap part, maka Stock Preparation Part merupakan part terkritis (nilai keandalan 88,64%) dengan komponen kritisnya adalah Vertical Screen (nilai keandalan 95,4%). Untuk interval waktu perawatan komponen, bervariasi mulai dari 20 hari (1 komponen), 20-30 hari (1 komponen), 40 hari (1 komponen), 50 hari (3 komponen), 100 hari (3 komponen), 140 hari (6 komponen), 280 hari (1 komponen), 300 hari (12 komponen), 320 hari (15 komponen) dan 330 hari (8 komponen). Kemudian jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan menunjukkan peningkatan availability mesin sebesar 35 hari per tahun.

Kata kunci: *availability, fault tree analysis, losses time, mesin kertas, penjadwalan perawatan preventif*

1. Pendahuluan

PT. Kertas Leces (Persero) adalah perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang industri manufaktur kertas. Beberapa tahun terakhir, proses produksi di perusahaan tidak selalu berjalan lancar, yang salah satunya disebabkan karena adanya *six big losses*. Nakajima (1988) menjelaskan bahwa *six big losses* adalah 6 faktor yang menyebabkan efisiensi mesin / peralatan rendah, yaitu *equipment failure* dan *setup and adjustment* yang mengakibatkan *downtime, idling and minor stoppage* dan *reduce speed* yang mengakibatkan *speed losses*, serta *defect in process* dan *reduce yield* yang mengakibatkan *quality losses*.

Salah satu *losses* yang sering terjadi di perusahaan adalah *downtime* atau di perusahaan dikenal sebagai *losses time*. *Losses time* adalah kondisi dimana mesin tidak beroperasi karena kerusakan mesin, gangguan proses, bahan baku habis dan atau sebab lain yang mengakibatkan *availability* mesin berkurang. Perbandingan frekuensi penyebab dan lama *losses time* dari kelima mesin kertas yang dimiliki perusahaan ditunjukkan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 diketahui bahwa keandalan mesin kertas 3 paling rendah karena memiliki frekuensi penyebab *losses time* yang paling banyak dengan lama *losses time* yang relatif tinggi. Stephens (2004) mendefinisikan keandalan secara teknis sebagai probabilitas

dimana sistem akan menunjukkan kemampuan tertentu di bawah kondisi tertentu selama umur harapan tertentu. Dengan kata lain, semakin sering suatu sistem mengalami kerusakan maka keandalannya semakin rendah.

Tabel 1 Perbandingan Frekuensi Penyebab dan Lama *Losses Time*

Paper Machine	Frekuensi	Lost time (jam)
Mesin kertas 1	252	5506,35
Mesin kertas 2	255	6263,12
Mesin kertas 3	324	6967,71
Mesin kertas 4	271	7825,64
Mesin kertas 5	217	8172,00

Antisipasi *losses time* telah dilakukan perusahaan dengan mencantumkan batas *losses time* yang diperbolehkan ke dalam Rencana Kerja Anggaran Perusahaan (RKAP). Namun pada kenyataannya, *losses time* yang terjadi masih melebihi dari yang tercantum pada RKAP. *Losses time* menunjukkan bahwa mesin dalam keadaan tidak beroperasi sehingga tidak ada *output* yang dihasilkan yang berarti perusahaan tidak mendapat perolehan apapun. Jika lama *losses time* melebihi waktu maksimal yang diberikan, dikhawatirkan perusahaan akan mengalami kerugian. Perbandingan *losses time* aktual dengan RKAP untuk mesin kertas 3 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan *Losses Time* RKAP dengan Aktual di Mesin Kertas 3

Bulan	RKAP (jam)	Aktual (jam)
Januari	240	459,92
Februari	204	672
Maret	264	744
April	240	720
Mei	264	744
Juni	216	568
Juli	192	635,1
Agustus	228	684,53
September	240	202,68
Oktober	240	182,5
November	240	610,98
Desember	240	744
total	2808	6967,71

Dari Tabel 2 diketahui bahwa *losses time* di mesin kertas 3 sering melebihi dari RKAP yang ditetapkan, sehingga ada indikasi kerugian yang dialami oleh perusahaan karena *availability* mesin yang banyak berkurang.

Losses time dapat mengganggu keberlanjutan proses produksi dan cara untuk mengatasinya adalah dengan menjaga keandalan mesin. Keandalan mesin dapat dipertahankan dengan melakukan perawatan mesin, karena salah satu tujuan perawatan menurut Sudrajat (2011) adalah untuk

menjamin ketersediaan, keandalan fasilitas (mesin dan peralatan) secara ekonomis dan teknis sehingga dalam penggunaannya dapat dilaksanakan seoptimal mungkin.

Perusahaan saat ini cenderung menerapkan strategi perawatan korektif, namun strategi tersebut belum mampu mencegah atau mengurangi kerusakan yang menjadi faktor penentu keandalan. Salah satu cara untuk mencegah kerusakan adalah dengan menerapkan strategi perawatan preventif, khususnya perawatan yang dilakukan secara terjadwal. Siahaan dan Ginting (2013) menyebutkan bahwa perawatan yang terjadwal dapat mempertahankan keandalan mesin sehingga diharapkan *downtime* mesin dan kerugian akibat kerusakan mesin dapat diperkecil.

Penelitian ini menggunakan metode *fault tree analysis* (FTA) untuk memperoleh data-data awal yang diperlukan untuk menyusun jadwal perawatan preventif. FTA adalah metode yang tepat untuk mengetahui *basic event* penyebab *losses time* terjadi. *Fault tree diagram* yang digambarkan dalam FTA adalah model kualitatif yang menghasilkan informasi penyebab suatu peristiwa yang tidak diinginkan, yang kemudian dikuantitatifkan untuk menghasilkan probabilitas *top event* serta nilai kepentingan dari semua penyebab atau model peristiwa yang terdapat dalam *fault tree* (Stamatelatos, Vesely, Dugan, Fragola, Minarick & Railsback, 2002). Dari probabilitas kerusakan yang diketahui kemudian ditentukan frekuensi dan interval waktu perawatan komponen untuk kemudian disusun menjadi jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jadwal perawatan komponen mesin kertas sebagai upaya yang diperlukan untuk mengurangi kerusakan maupun kegagalan fungsi mesin yang menyebabkan *losses time*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 5 tahap, yaitu identifikasi awal, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan serta kesimpulan dan saran.

2.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi awal dibagi menjadi beberapa langkah berikut.

1. Survei pendahuluan
2. Studi pustaka

3. Identifikasi masalah
4. Perumusan masalah
5. Penentuan tujuan penelitian

2.2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode dokumentasi, wawancara dan observasi. Data yang dikumpulkan meliputi aliran proses dan komponen peralatan produksi di mesin kertas 3, laporan *losses time* mesin kertas 3 tahun 2013 beserta RKAP 2013 untuk mesin kertas 3.

2.3 Tahap Pengolahan Data

Data yang diperoleh kemudian diolah berdasarkan langkah-langkah berikut.

1. Membuat *fault tree diagram*
2. Menentukan *minimal cut set*
3. Mengidentifikasi komponen rusak dalam *basic event*
4. Menghitung probabilitas kerusakan komponen, *part* dan mesin
5. Menghitung nilai keandalan komponen, *part* dan mesin
6. Menghitung interval waktu perawatan komponen

2.4 Tahap Analisis Dan Pembahasan

Dari interval waktu perawatan komponen kemudian dianalisis untuk mendapatkan frekuensi perawatan dalam satu periode (tahun).

Interval waktu dan frekuensi perawatan kemudian digunakan sebagai acuan untuk menyusun jadwal perawatan inisial. Beberapa perubahan pada jadwal inisial dilakukan untuk mendapatkan jadwal perawatan yang lebih optimal. Pembahasan meliputi perubahan-perubahan yang dilakukan pada jadwal perawatan inisial serta perbandingan untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan jadwal perawatan yang direkomendasikan.

2.5 Tahap Kesimpulan Dan Saran

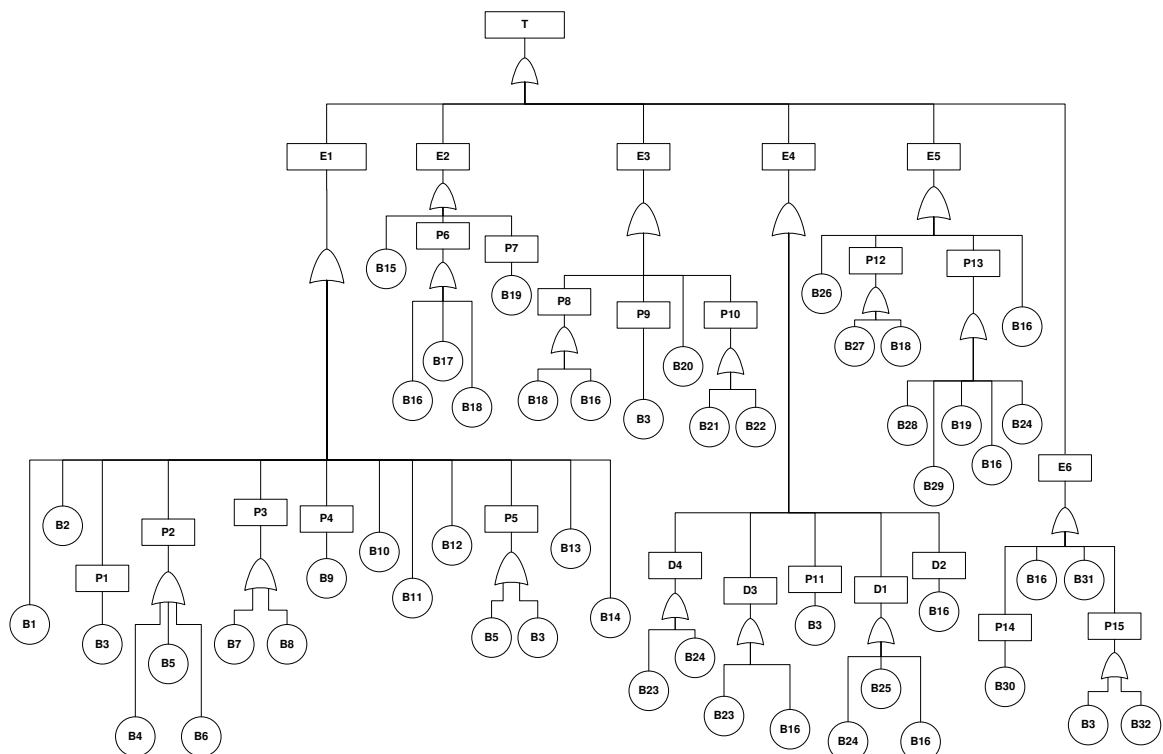
Hasil olah data dan pembahasan kemudian diambil kesimpulan sebagai hasil akhir penelitian. Kemudian diusulkan beberapa saran sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan untuk ke depannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Fault Tree Diagram

Berdasarkan laporan kerusakan mesin kertas 3 yang didapatkan dari pengumpulan data kemudian dibuat diagram *fault tree*nya. Langkah pembuatan *fault tree diagram* menurut Clemens dan Sverdrup (1993) adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi *top event* yang tidak diinginkan
2. Mengidentifikasi penyebab untuk level pertama



Gambar 1 Fault Tree Diagram Mesin Kertas 3

Tabel 3 Keterangan Simbol *Fault Tree Diagram*

Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan
T	Mesin kertas 3	B4	Double Disc Refiner overload
E1	Stock preparatiion part	B5	Pompa overload
E2	Wire part	B6	Pipa pengencer bocor
E3	Press part	B7	Screen kotor
E4	Dryer part	B8	Vertical screen overload
E5	Size press part	B9	Screen kotor/rusak
E6	Callander part	B10	Pompa formula out
P1	Pompa cloudy filtrate	11	Agitator couch pit rusak
P2	Machine chest	B12	Trimming refiner overload
P3	Vertical screen	B13	Pompa kitchen overload
P4	Headbox	B14	Centri cleaner buntu
P5	Pompa rosin	B15	Motor DEP overload
P6	Wire	B16	Kartu elektrik rusak
P7	Tail cutter cooling	B17	Tacho rusak
P8	Press out	B18	Sekring putus
P9	Pompa kuster roll	B19	Motor contact
P10	Couch roll	B20	Pompa vakum overload
P11	Motor blower DC	B21	Laminating coupling putus
P12	Paper roll	B22	Cross joint aus
P13	High speed matering roll	B23	Efektor macet
P14	Scanner	B24	Rope putus
P15	Loading ARM	B25	Modul rusak
D1	DG 1 bermasalah	B26	Matering roll rusak
D2	DG 2 bermasalah	B27	Croos joint patah
D3	DG 3 bermasalah	B28	Motor overload
D4	DG 4 bermasalah	B29	Jack screw overload
D5	DG 5 bermasalah	B10	Instrument scanner rusak
B1	Pompa tawas bocor	B31	Callander roll rusak
B2	Pompa mixing overload	B32	Piston hidrolik bocor
B3	Bearing rusak		

3. Menghubungkan penyebab level pertama ke *top event* dengan *logic gate*
4. Mengidentifikasi penyebab untuk level kedua
5. Menghubungkan penyebab level kedua ke *top event* dengan *logic gate* melalui penyebab sebelumnya.
6. Ulangi dan lanjutkan

Fault tree diagram mesin kertas 3 ditunjukkan pada Gambar 1 dan keterangan simbol ditunjukkan pada Tabel 3.

3.2 Minimal Cut Set

Minimal cut set merupakan gabungan minimal dari beberapa *basic event* yang menyebabkan *top event* terjadi. Karena setiap *basic event* terhubung ke *top event* melalui *Or Gate* maka dapat diartikan *minimal cut set* sejumlah *basic event* yaitu 32 dan dapat dilihat pada Tabel 3.

3.3 Identifikasi Komponen Dalam *Basic Event*

Basic event dalam penelitian ini adalah peristiwa kerusakan, kemacetan atau kegagalan fungsi komponen maupun *part*. Perbedaan peristiwa dalam *basic event* kemudian disikapi dengan melakukan identifikasi komponen untuk memisahkan komponen yang rusak dengan yang macet. Hal ini dilakukan karena tindakan perawatan yang diperlukan berbeda, untuk komponen yang rusak memerlukan penggantian sedangkan komponen yang macet memerlukan perbaikan. Hasil identifikasi tindakan perawatan komponen berdasarkan kondisi komponen ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Identifikasi Tindakan Perawatan Berdasarkan Kondisi Komponen

Simbol	Komponen	Tindakan perawatan
B1	Pompa tawas	Perbaikan
B2	Pompa mixing	Perbaikan
B3	Bearing	Penggantian
B4	Double disc refiner	Perbaikan
B5	Pompa	Perbaikan
B6	Pipa pengencer	Perbaikan
B7	Screen	Perbaikan
B8	Vertical screen	Perbaikan
B9	Screen	Penggantian
B10	Pompa formula	Perbaikan
B11	Agitator	Penggantian
B12	Trimming refiner	Perbaikan
B13	Pompa kitchen	Perbaikan
B14	Centri cleaner	Perbaikan
B15	Motor DEP	Perbaikan
B16	Kartu elektrik	Penggantian
B17	Tacho	Penggantian
B18	Sekring	Penggantian
B19	Motor	Penggantian
B20	Pompa vakum	Perbaikan
B21	Laminating coupling	Penggantian
B22	Cross joint	Penggantian
B23	Efektor	Perbaikan
B24	Rope	Penggantian
B25	Modul	Penggantian
B26	Matering roll	Penggantian
B27	Cross joint	Penggantian
B28	Motor	Perbaikan
B29	Jack screw	Perbaikan
B30	Instrument scanner	Penggantian
B31	Callander roll	Penggantian
B32	Piston hidrolik	Penggantian

3.4 Perhitungan Probabilitas Kerusakan

Perhitungan probabilitas meliputi probabilitas *basic event*, *intermediate event* level pertama, *intermediate event* level kedua dan *top event*. Rumus probabilitas *basic event* dapat dilihat pada persamaan 1.

$$P(B) = \frac{f(B)}{300} \quad (\text{pers. 1})$$

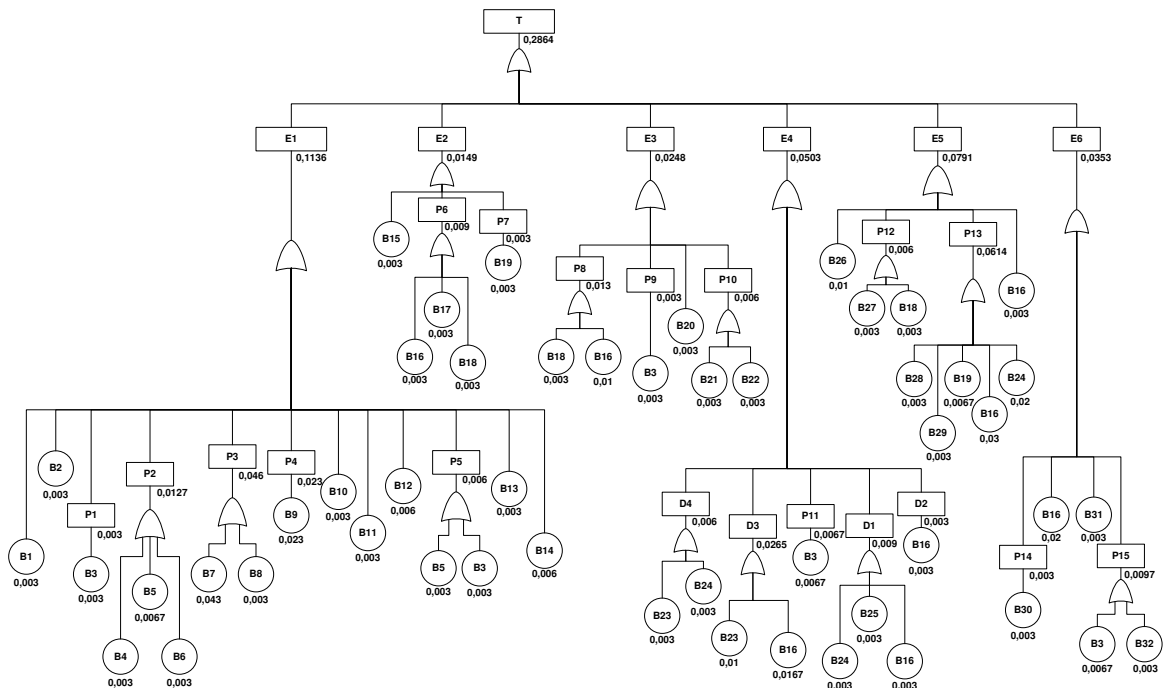
Keterangan:

P (B) = probabilitas *basic event*

f (B) = frekuensi kerusakan *basic event*

Tabel 5 Hasil Perhitungan Probabilitas Basic Event, Intermediate Event dan Top Event

Basic event	Probabilitas (%)	Basic event	Probabilitas (%)	Intermediate event Level pertama	Probabilitas (%)
B1	0,3	B17P6	0,3	P5	0,6
B2	0,3	B18P6	0,3	P6	0,9
B3P1	0,3	B18P8	0,3	P7	0,3
B3P5	0,3	B18P12	0,3	P8	1,3
B3P9	0,3	B19P7	0,3	P9	0,3
B3P11	0,67	B19P13	0,67	P10	0,6
B3P15	0,67	B20	0,3	P11	0,67
B4P2	0,3	B21P10	0,3	P12	0,6
B5P2	0,67	B22P10	0,3	P13	6,14
B6P2	0,3	B23D3	1	P14	0,3
B7P3	4,3	B24D1	0,3	P15	0,97
B8P3	0,3	B24D4	0,3	D1	0,9
B9P4	2,3	B24P13	0,3	D2	0,3
B10	0,3	B25D1	0,3	D3	2,65
B11	0,3	B26	0,01	D4	0,6
B12	0,67	B27P12	0,3	Intermediate event Level kedua	
B13	0,3	B28P13	0,3	Probabilitas (%)	
B14	0,67	B29P13	0,3	E1	11,36
B15	0,3	B30P14	0,3	E2	1,49
B16D1	0,3	B31	0,3	E3	2,48
B16D2	0,3	B32P15	0,3	E4	5,03
B16D3	1,67	Intermediate event Level pertama		E5	7,91
B16P6	0,3	Probabilitas (%)		E6	3,53
B16P8	1	P1	0,3	Top event	
B16P13	3	P2	1,27	Probabilitas (%)	
B16E5	3	P3	4,6	T	28,64
B16E6	2	P4	2,3		



Gambar 2 Fault Tree Diagram Mesin Kertas 3 dengan Nilai Probabilitas Kerusakan

Setelah *basic event* kemudian menghitung probabilitas *intermediate event* level pertama, *intermediate event* level kedua dan *top event*. Contoh perhitungan probabilitas *intermediate event* level pertama sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P(P2) &= P(B4 \cup B5 \cup B6) \\
 &= P(B4) + P(B5) + P(B6) - P(B4 \cap B5) - P(B4 \cap B6) - P(B5 \cap B6) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &P(B4 \cap B5 \cap B6) \\
 &= 0,003 + 0,0067 + 0,003 - \\
 &(0,003 \times 0,0067) - (0,003 \times 0,003) - \\
 &(0,0067 \times 0,003) + \\
 &(0,003 \times 0,0067 \times 0,003) \\
 &= 0,0127
 \end{aligned}$$

Perhitungan *intermediate event* level kedua dan *top event* menggunakan prinsip yang sama. Hasil perhitungan probabilitas *basic*

event, *intermediate event* dan *top event* ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Keandalan Komponen

Basic event	Keandalan	Basic event	Keandalan
B1	99,7%	B24P13	98%
B2	99,7%	B25D1	99,7%
B3P1	99,7%	B26	99%
B3P5	99,7%	B27P12	99,7%
B3P9	99,7%	B28P13	99,7%
B3P11	99,33%	B29P13	99,7%
B3P15	99,33%	B30P14	99,7%
B4P2	99,7%	B31	99,7%
B5P2	99,33%	B32P15	99,7%
B5P5	99,7%		
B6P2	99,7%	Intermediate Event	Keandalan
B7P3	95,7%	Level Pertama	
B8P3	99,7%	P1	99,7%
B9P4	97,7%	P2	98,73%
B10	99,7%	P3	95,4%
B11	99,7%	P4	99,7%
B12	99,33%	P5	99,4%
B13	99,7%	P6	99,1%
B14	99,33%	P7	99,7%
B15	99,7%	P8	98,7%
B16D1	99,7%	P9	99,7%
B16D2	99,7%	P10	99,4%
B16D3	99,33%	P11	99,33%
B16P6	99,7%	P12	99,4%
B16P8	99%	P13	93,86%
B16P13	97%	P14	99,7%
B16E5	99,7%	P15	99,03%
B16E6	98%	D1	99,1%
B17P6	99,7%	D2	99,7%
B18P6	99,7%	D3	97,35%
B18P8	99,7%	D4	99,4%
B18P12	99,7%		
B19P7	99,7%	Intermediate Event	Keandalan
B19P13	99,33%	Level Kedua	
B20	99,7%	E1	88,64%
B21P10	99,7%	E2	98,51%
B22P10	99,7%	E3	97,52%
B23D3	99%	E4	94,97%
B24D1	99,7%	E5	92,09%
B24D4	99,7%	E6	96,47%
		Top Event	Keandalan
		T	71,36%

Dari Tabel 5 diketahui probabilitas kerusakan *top event* dalam hal ini probabilitas kerusakan mesin kertas 3 sebesar 28,64%. Nilai ini terbilang tinggi karena dalam 100% hari kerja, lebih dari seperempatnya mesin kertas 3 dalam kondisi rusak atau macet. Dengan sistem produksi yang kontinyus, adanya kerusakan di salah satu bagian dapat menghambat proses produksi secara keseluruhan. Tampilan *Fault Tree Diagram* mesin kertas 3 dengan menyertakan nilai probabilitas tiap *event* dapat dilihat di Gambar 2.

3.5 Perhitungan Keandalan

Perhitungan keandalan yang dilakukan meliputi keandalan komponen-komponen yang ada dalam semua *event*. Perhitungan nilai keandalan berfungsi untuk mengetahui

komponen atau *part* mana yang kritis. Rumus keandalan dapat dilihat pada persamaan 2.

$$R = 1 - P(B) \quad (\text{pers. 2})$$

Keterangan:

R = keandalan

P(B) = probabilitas kerusakan/*basic event*

Hasil perhitungan keandalan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Interval Waktu Perawatan Komponen

Komponen	Interval waktu penggantian	Komponen	Interval waktu penggantian
B3P1	333	B25D1	333
B3P5	333	B26	100
B3P9	333	B27P12	333
B3P11	149	B30P14	333
B3P15	149	B31	333
B9P4	43	B32P15	333
B11	333		
B16D1	333	Komponen	Interval waktu perbaikan
B16D2	333	B1	333
B16D3	59	B2	333
B16P6	333	B4P2	333
B16P8	100	B5P2	149
B16P13	33	B5P5	333
B16E5	333	B6P2	333
B16E6	50	B7P3	23
B17P6	333	B8P3	333
B18P6	333	B10	333
B18P8	333	B12	149
B18P12	333	B13	333
B19P7	333	B14	149
B19P13	149	B15	333
B21P10	333	B20	333
B22P10	333	B23D3	100
B24D1	333	B23D4	333
B24D4	333	B28P13	333
B24P13	50	B29P13	333

Dari Tabel 6 dapat diketahui bahwa keandalan mesin kertas 3 secara keseluruhan terbilang rendah, hanya 71,36%. *Part* yang paling kritis di mesin kertas 3 adalah *Stock Preparation Part* (E1) dengan nilai keandalan sebesar 88,64% dengan komponen kritisnya adalah Vertical Screen (P3) dengan nilai keandalan 95,4%. Namun secara keseluruhan, komponen yang paling kritis di mesin kertas 3 adalah HSM Roll dengan nilai keandalan 93,86%.

3.6 Perhitungan Interval Waktu Perawatan Komponen

Dari identifikasi komponen diketahui 2 jenis tindakan perawatan yang diperlukan, yaitu penggantian dan perbaikan komponen. Langkah berikutnya adalah menghitung interval waktu perawatan (penggantian dan perbaikan) komponen untuk memudahkan penyusunan jadwal perawatan. Rumus perhitungan interval waktu perawatan dapat dilihat di persamaan 3.

Tabel 8 Hasil Analisis Frekuensi Perawatan Komponen

Komponen	Frekuensi penggantian (dalam 1 tahun)	Komponen	Frekuensi penggantian (dalam 1 tahun)
B3P1 / bearing (pompa cloudy filtrate)	1	B25D1 / modul (dryer group 1)	1
B3P5 / bearing (pompa rosin)	1	B26 / matering roll	3
B3P9 / bearing (pompa kuster roll)	1	B27P12 / cross joint (paper roll)	1
B3P11 / bearing (motor DC blower)	2	B30P14 / komponen elektrik (scanner)	1
B3P15 / bearing (loading ARM)	2	B31 / callander roll	1
B9P4 / screen (vertical screen)	8	B32P15 / piston hidrolik (laoding ARM)	1
B11 / agitator couch pit	1		
B16D1 / kartu elektrik (dryer group 1)	1	Komponen	Frekuensi perbaikan (dalam 1 tahun)
B16D2 / kartu elektrik (dryer group 2)	1	B1 / pompa tawas	1
B16D3 / kartu elektrik (dryer group 3)	6	B2 / pompa mixing	1
B16P6 / kartu elektrik (wire)	1	B4P2 / double disc refiner (machine chest)	1
B16P8 / kartu elektrik (press)	3	B5P2 / pompa (machine chest)	2
B16P13 / kartu elektrik (high speed matering)	10	B5P5 / pompa (pompa rosin)	1
B16E5 / kartu elektrik (size press)	1	B6P2 / pipa pengencer (machine chest)	1
B16E6 / kartu elektrik (callander)	7	B7P3 / screen (vertical screen)	15
B17P6 / tacho (wire)	1	B8P3 / vertical screen	1
B18P6 / sekring (wire)	1	B10 / pompa formula	1
B18P8 / sekring (press)	1	B12 / trimming refiner	2
B18P12 / sekring (paper roll)	1	B13 / pompa kitchen	1
B19P7 / motor (tail cutter cooling)	1	B14 / centri cleaner	2
B19P13 / motor (high speed matering)	2	B15 / motor DEP	1
B21P10 / laminating coupling (couch roll)	1	B20 / pompa vakum	1
B22P10 / cross joint (couch roll)	1	B23D3 / efektor (dryer group 3)	3
B24D1 / rope (dryer group 1)	1	B23D4 / efektor (dryer group 4)	1
B24D4 / rope (dryer group 2)	1	B28P13 / motor (high speed matering)	1
B24P13 / rope (high speed matering)	7	B29P13 / jack screw (high speed matering)	1

$$T = \frac{300}{f(B)} = \frac{1}{P(B)} \quad (\text{pers. 3})$$

Keterangan:

T = interval waktu perawatan

f(B) = frekuensi kerusakan *basic event*

P(B) = probabilitas kerusakan Hasil perhitungan interval waktu perawatan komponen di mesin kertas 3 dapat dilihat di Tabel 7.

3.7 Analisis Frekuensi Perawatan Komponen

Setelah interval waktu perawatan komponen diketahui, kemudian dihitung frekuensi perawatan meliputi frekuensi penggantian dan frekuensi perbaikan. Rumus frekuensi perawatan dapat dilihat pada persamaan 4.

$$\text{frekuensi} = \frac{360}{T} \quad (\text{pers. 4})$$

Hasil frekuensi perawatan komponen dapat dilihat pada Tabel 8.

3.8 Jadwal Inisial Perawatan Komponen Mesin Kertas 3

Setelah frekuensi perawatan komponen diketahui kemudian disusun jadwal inisial perawatan komponen mesin kertas 3. Langkah-langkah penyusunan waktu perawatan komponen pada jadwal inisial perawatan dilakukan sebagai berikut.

1. Mengurutkan komponen berdasarkan *basic event*, yaitu dari B1-B32.
2. Menyusun awal waktu perawatan komponen sesuai dengan interval waktu perawatan yang didapat dari Tabel 7. Sebagai contoh adalah komponen B7P3. Berdasarkan Tabel 7, interval waktu perawatan komponen B7P3 adalah 23 hari. Maka awal waktu perawatan untuk komponen B7P3 dilakukan di hari ke-23.
3. Menyusun waktu perawatan komponen berikutnya dengan menambahkan interval waktu perawatan terhadap awal waktu

HARI KE - / KOMPONEN	20	40	50	60	80	100	120	140	150	160	180	200	220	240	250	260	280	300	320	330	340	360	
B1																				○			
B2																				○			
B3P1																				●			
B3P5																				●			
B3P9																			●				
B3P11								●											●				
B3P15								●											●				
B4P2																				○			
B5P2								○											○				
B5P5								○											○				
B6P2																				○			
B7P3	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○		○	○
B8P3																				○			
B9P3		●		●		●				●		●		●				●		●			●
B10																				○			
B11																				●			
B12								○											○				
B13																				○			
B14								○											○				
B15																				○			
B16D1																				●			
B16D2																				●			
B16D3			●		●			●			●		●		●				●		●		●
B16P6																				●			
B16E5																					●		
B16E6			●		●			●			●		●		●				●		●		●
B16P8						●						●							●		●		●
B16P13	●	●	●	●	●			●			●	●	●		●			●	●		●		●
B17P6																					●		
B18P6																					●		
B18P8																				●			
B18P12																					●		
B19P7																					●		
B19P13								●										●					
B20																				○			
B21P10																				●			
B22P10																				●			
B23D3						○						○								○			
B23D4																				○			
B24D1																				●			
B24D4																				●			
B24P13			●		●			●			●		●		●				●		●		●
B25D1																				●			
B26					●						●									●			
B27P12																					●		
B28P13																					○		
B29P13																					○		
B30																					●		
B31P14																					●		
B32P15																					●		

KETERANGAN

- = PENGANTIAN
- = PERBAIKAN

2.9 Perbandingan Rekomendasi Jadwal Perawatan Preventif dengan Laporan Waktu Kerusakan

Jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan perlu dibuktikan apakah memberikan nilai *availability* mesin yang lebih

tinggi atau tidak. Caranya adalah dengan membandingkan jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan dengan laporan kerusakan aktual yang terjadi. Perbandingan keduanya dapat dilihat di Tabel 11.

Tabel 11 Perbandingan Rekomendasi Jadwal Perawatan Preventif dengan Laporan Waktu Kerusakan Mesin

Kertas 3

	Rekomendasi Jadwal Perawatan Preventif	Laporan Waktu Kerusakan
Frekuensi perawatan atau kerusakan komponen	121 perawatan	102 kerusakan
Jumlah hari kerusakan atau jmlah hari yang diperlukan untuk melakukan perawatan	22 hari	57 hari

Berdasarkan Tabel 11 diketahui bahwa terdapat penambahan frekuensi perawatan yang dilakukan pada jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan. Penambahan frekuensi perawatan pada jadwal inisial dikarenakan perbedaan jumlah hari yang digunakan dalam perhitungan (300 hari, disesuaikan dengan RKAP mesin kertas 3) dengan yang ada dalam analisis (360 hari, asumsi dalam 1 tahun). Kemudian juga karena adanya perubahan waktu perawatan, yaitu pergeseran waktu perawatan pertama komponen menjadi lebih awal serta pengurangan interval waktu perawatan.

Meskipun jumlah frekuensi perawatan komponen pada jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan menjadi lebih banyak, namun jumlah hari perawatan yang diperlukan mesin secara keseluruhan menjadi lebih sedikit. Jumlah hari perawatan mesin kertas 3 menjadi lebih sedikit dari 57 hari menjadi 22 hari.

Pengurangan (penurunan) jumlah hari perawatan menjadi hal yang diperlukan untuk menjawab identifikasi permasalahan yang telah disampaikan di awal, yaitu nilai *losses time* untuk mesin kertas 3 yang melebihi waktu maksimal yang ditetapkan di dalam RKAP. Pengurangan jumlah hari perawatan diharapkan mempengaruhi penurunan *losses time* hingga batas maksimal yang direncanakan.

4. Kesimpulan

Dari hasil olah data dan analisi terdapat kemudian diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. *Losses time* yang terjadi di mesin kertas 3 disebabkan karena adanya kerusakan atau kegagalan fungsi komponen yang disebut *basic event*. *Basic event* yang menyebabkan *losses time* di mesin kertas 3 sejumlah 32.
2. Secara keseluruhan komponen mesin kertas 3 yang paling kritis adalah *High Speed Matering (HSM) Roll* dengan nilai keandalan 93,86%. Namun, jika dilihat per *part* maka *part* yang paling kritis adalah *Stock Preparation Part* dengan nilai keandalan hanya 88,64% dan komponen dalam *Stock Preparation Part* yang paling

kritis adalah *Vertical Screen* dengan nilai keandalan 95,4%

3. Interval waktu perawatan komponen mesin kertas 3 bervariasi, yaitu:
 - a. interval 20 hari (1 komponen)
 - b. interval 20-30 hari (1 komponen)
 - c. interval 40 hari (1 komponen)
 - d. interval 50 hari (3 komponen)
 - e. interval 100 hari (3 komponen)
 - f. interval 140 hari (6 komponen)
 - g. interval 280 hari (1 komponen)
 - h. interval 300 hari (12 komponen)
 - i. interval 320 hari (15 komponen)
 - j. interval 330 hari (8 komponen)
4. Jadwal perawatan preventif komponen mesin kertas 3 yang direkomendasikan memberikan peningkatan *availability* mesin sebesar 35 hari.

Daftar Pustaka

Clemens, Pat L. and Sverdrup, Jacobs (1993), *Fault Tree Analysis*, <http://www.fault-tree.net>, diakses pada hari Senin, 12 Mei 2014 Pk. 13.42 WIB

Nakajima, Seiichi (1988), *TPM: Introduction to TPM (Total Productive Maintenance)*. Tokyo: Productivity Press.

Siahaan, Fitri Matilda & Ginting, Abadi (2013), Evaluasi Penjadwalan Perawatan dengan Pendekatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk Melakukan Perbaikan Perawatan dengan Metode Risk Based Maintenance pada PT. XYZ. *e-Jurnal Teknik Industri FT USU* (3):30-35.

Stamatelatos, Michael, Vesely, William, Dugan, Joanne, Fragola, Joseph, Minarick, Joseph & Railsback, Jan (2002) *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington DC: NASA Office of Safety and Mission Assurance.

Stephens, Matthew P. (2004), *Productivity and Reliability - Based Maintenance Management*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Sudradjat, Ating (2011), *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung: Refika Aditama.