
ANALISIS AVAILABILITY DAN RELIABILITY KOMPONEN KRITIS MESIN DENTAL CX-9000 PADA DENTAL CLINIC X

Endang Suhendar

Endang_unindra@yahoo.com

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Matematika & IPA
Universitas Indraprasta PGRI

Murdianti Soleha

Mahasiswa Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Matematika & IPA
Universitas Indraprasta PGRI

Abstrak. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui dan menganalisis Availability (ketersediaan) dan Reliability (keandalan) komponen kritis mesin dental unit CX-9000 sebagai upaya untuk menentukan biaya optimum perawatan dan melakukan perbaikan untuk meningkatkan fungsi dan kinerja mesin dalam keadaan optimum. Metode penelitian yang digunakan untuk menganalisis ketersediaan dan kandalan komponen kritis dental unit CX-9000 yang dalam hal ini merupakan bagian dari proses pembuatan keputusan. Berdasarkan hasil perhitungan waktu reparasi dan waktu operasional kedua komponen kritis, diperoleh nilai MTTR selama 1,630 jam yaitu menunjukkan rata-rata waktu perbaikan yang dibutuhkan untuk komponen high speed bor dan MTTF 192,073 jam yaitu rata-rata waktu terjadinya kerusakan pada komponen high speed bor, sehingga tingkat ketersediaan komponen yaitu sekitar 99,16% dan tingkat kandalan 49,59%. Sedangkan nilai MTTR untuk komponen selang air selama 3,179 jam rata-rata waktu reparasi yang dibutuhkan komponen selang air serta nilai MTTF selama 170,449 jam rata-rata waktu terjadinya kerusakan pada komponen selang air, sehingga tingkat ketersediaan komponen yaitu sekitar 98,17% dan tingkat keandalan 44,84%. Sehingga penentuan interval waktu pemeliharaan optimum komponen high speed bor pada interval waktu (jam) tp10-294 dan total biaya optimum pada interval waktu yang ke 73 jam sebesar Rp. 8.182,86,13,- / jam dan tp 1-448 dan pada interval waktu yang ke 75 jam dengan total biaya Rp. 8.184,86,- / jam. Sedangkan untuk komponen selang air pada interval waktu (jam) tp 1-268 total biaya optimum pada interval waktu yang ke 10 jam sebesar Rp. 8.856,545,- / jam dan tp 1-320 total biaya adalah pada interval waktu ke 12 jam sebesar Rp. 8.868.151,- / jam.

Kata Kunci: Komponen kritis, Availability, Reliability, MTTR, MTTF,

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dental Clinic X merupakan klinik pelayanan kesehatan gigi yang sedang mengalami perkembangan yang cukup baik, akan tetapi akhir-akhir ini klinik tersebut kadang kala tidak dapat melayani penanganan masalah gigi yang harus menggunakan kursi perawatan gigi dalam penanganannya akibat adanya kendala dengan beberapa alat yang ada pada kursi tersebut sehingga menimbulkan adanya *down time*. Kursi

perawatan gigi yang digunakan adalah type *Dental unit CX-9000*.

Down time yang terjadi mengakibatkan akan terhentinya proses operasional mesin. Hal tersebut tentu saja sangat berpengaruh terhadap kegiatan atau pekerjaan yang dilakukan di klinik, karena sekitar 90% kegiatan atau operasional perusahaan sangat bergantung pada kinerja mesin *dental unit*.

Jika dilihat dan diteliti lebih dalam lagi bahwa *down time* yang

terjadi sebenarnya disebabkan belum maksimalnya upaya untuk melakukan perawatan mesin secara preventif/pencegahan akan tetapi hanya melakukan corective/perbaikan saat

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diutarakan, terdapat beberapa masalah yang akan diselesaikan, antara lain:

- a. Tingkat kerusakan mesin (*down time*) yang terjadi cukup tinggi selama lima tahun terakhir (2005-2010) yang mengakibatkan fungsi dan waktu operasional mesin yang kurang optimum, sehingga perlu melakukan analisis tingkat ketersediaan komponen kritis.
- b. Fungsi dan kinerja komponen mesin yang sering mengalami kerusakan dianggap kurang optimum sehingga perlu dilakukan sebuah analisis keandalan komponen mesin tersebut agar dapat dibuat sebuah kesimpulan dan keputusan sebagai upaya dalam penerapan perawatan secara preventif dari segi waktu dan biaya.

TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Perawatan

Perawatan adalah suatu kegiatan yang dilaksanakan untuk mempertahankan kondisi peralatan agar tetap dalam kondisi baik, dengan demikian diharapkan menghasilkan suatu *output* sesuai dengan standar yang ditetapkan. Perawatan atau pemeliharaan merupakan fungsi yang penting dalam suatu perusahaan. Sebagai suatu usaha menggunakan fasilitas/peralatan produksi agar kontinuitas produksi dapat terjamin dan menciptakan suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan rencana. Selain itu fasilitas/peralatan produksi tersebut tidak mengalami kerusakan selama digunakan sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai (Apri Heri Iswanto, 2008). Menurut

rusak. Sehingga klinik akan menanggung dua penyebab kerugian yaitu, menurunnya pendapatan operasional dan tingginya biaya reparasi untuk mesin yang mengalami kerusakan.

Makhzu (2000), perawatan adalah suatu aktivitas yang dilaksanakan untuk memelihara semua fasilitas/peralatan bengkel agar selalu dalam kondisi baik dan siap pakai serta terhindar dari kerusakan yang mungkin terjadi baik yang terduga maupun yang tak terduga.

Berdasarkan uraian definisi tentang perawatan, dapat ditarik kesimpulan bahwa perawatan mempunyai kaitan yang erat dengan tindakan pencegahan dan pembaharuan. Dalam perawatan, tindakan-tindakan yang dapat dilakukan antara lain:

- a. Pemeriksaan, yaitu tindakan yang ditujukan terhadap sistem untuk mengetahui apakah sistem masih berada dalam keadaan yang memenuhi persyaratan yang diinginkan
- b. Penggantian Komponen, yaitu tindakan penggantian komponen sistem yang sudah tidak berfungsi dimana tindakan penggantian komponen sistem dilakukan dapat bersifat terencana dan tidak terencana
- c. *Repair* dan *overhaul*, yaitu melakukan pemeriksaan secara cermat serta melakukan perbaikan dimana dilakukan *set-up* ulang
- d. Penggantian sistem, yaitu tindakan yang diambil apabila tindakan-tindakan yang lain sudah tidak memungkinkan lagi.

Fungsi dan Tujuan Perawatan

Fungsi perawatan adalah memperbaiki mesin atau peralatan (*Equipment*) yang rusak dan menjaga agar selalu dalam kondisi siap dioperasikan.

Menurut Patner (1995), perawatan adalah meliputi seluruh

kegiatan yang diambil untuk menjaga kondisi mesin yang bisa diterima.

Perawatan mempunyai tujuan utama sebagai berikut:

- a. Untuk memperpanjang usia kegunaan aset mesin produksi yang ada di pabrik (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya)
- b. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi
- c. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produksi itu sendiri dan kegiatan produksi tidak terganggu
- d. Untuk membantu pengurangan pemakaian dan penyimpanan diluar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditetapkan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut
- e. Untuk mencapai tingkat biaya perawatan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan perawatan secara efektif dan efisien
- f. Menghindari kegiatan perawatan yang dapat membahayakan keselamatan kerja
- g. Mengadakan kerjasama yang erat dari perusahaan dengan fungsi-fungsi utama yang lain dari perusahaan dan dalam rangka mencapai tujuan utama perusahaan tersebut, yaitu memperoleh keuntungan yang sebanyak mungkin dengan total biaya yang rendah.

Bagian perawatan berkaitan erat dengan proses produksi karena kegagalan kegiatan perawatan sangat mengganggu kelancaran proses produksi. Dengan adanya kegiatan perawatan yang baik dan efektif, akan mencegah timbulnya kerusakan (*breakdown*) pada waktu yang telah diperkirakan terlebih dahulu.

Jenis-Jenis Perawatan

Aktivitas pemeliharaan suatu fasilitas atau mesin produksi yang dilakukan dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Perawatan Tidak Terencana (*Unplanned Maintenance*)

Merupakan perawatan yang tidak direncanakan terlebih dahulu, disebabkan peralatan dan fasilitas produksi tidak memiliki rencana serta jadwal perawatan. Kegiatan perawatan ini disebut juga perawatan darurat (*breakdown maintenance* atau *emergency maintenance*) yang didefinisikan sebagai perawatan yang perlu dilaksanakan tindakan untuk mencegah akibat yang fatal seperti: kerusakan besar pada peralatan, hilangnya produksi dan keselamatan kerja.

- b. Perawatan Terencana (*Planned Maintenance*)

Merupakan kegiatan perawatan yang mengacu pada rencana yang telah disusun dan dilaksanakan serta didokumentasikan. Perawatan ini terbagi 2 yaitu: Perawatan Pencegahan (*Preventive*) dan Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Komponen Kritis

Program Perawatan untuk peralatan maupun mesin harus dilakukan secara terencana. Namun demikian, disadari pula bahwa tidak mungkin membuat suatu program yang merencanakan sistem perawatan untuk semua mesin dipabrik atau tidak mungkin semua kerusakan dapat diatasi. Tetapi dengan adanya program perawatan tersebut sekurang-kurangnya akan dapat mengatasi masalah-masalah yang ada. Usaha yang mendasar dalam merencanakan perawatan pencegahan dengan cara memberikan perhatian serius pada unit-unit atau komponen-

komponen kritis. Suatu komponen atau unit dapat dikualifikasikan kritis apabila:

- a. Kerusakan unit itu dapat membahayakan kesehatan atau mengancam keselamatan penggunaannya.
- b. Kerusakan unit dapat mempengaruhi kualitas dari produk.
- c. Kerusakan unit dapat menimbulkan kemacetan produksi.
- d. Biaya investasi untuk unit itu sangat mahal.

Keandalan (Reliability)

Definisi keandalan adalah kemungkinan (*probabilitas*) bahwa suatu item akan tetap memenuhi unjuk kerjanya (*performance*) atas persyaratan fungsional tanpa kegagalan pada suatu kondisi operasi tertentu dan pada suatu periode tertentu.

Menurut Hetzer (1993), Keandalan adalah ukuran dari tingkat keberhasilan prestasi suatu objek dalam suatu kondisi operasi yang dibutuhkan atau dapat dikatakan keandalan adalah kemungkinan suatu bagian mesin atau produk akan berfungsi secara baik dalam waktu yang ditentukan.

Dari definisi yang telah dijelaskan, dapat ditarik kesimpulan

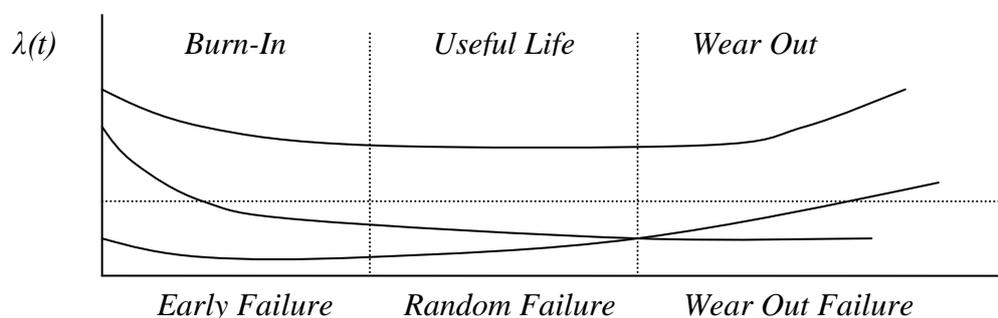
bahwa keandalan berhubungan dengan peluang bersyarat yang diberikan dengan tingkat keyakinan bahwa suatu peralatan atau komponen akan melakukan fungsinya sebagaimana mestinya tanpa mengalami masalah atau kerusakan pada waktu keadaan operasi yang tetap dilaksanakan pada periode waktu yang dipergunakan.

Berdasarkan definisi keandalan dapat diketahui masalah keandalan sangat berhubungan erat dengan empat parameter yaitu waktu, Standar Performansi, peluang dan kondisi lingkungan.

Beberapa jenis fungsi distribusi kemungkinan yang sering digunakan untuk menganalisa masalah perawatan adalah Distribusi Weibull

Kurva Bak Mandi (Bath Tub Curve)

Kurva bak mandi (*Bath Tub Curve*) atau kurva laju kerusakan merupakan suatu kurva yang menunjukkan pola laju kerusakan sesaat yang umum bagi suatu produk. Pada umumnya laju kerusakan suatu sistem selalu berubah sesuai dengan bertambahnya waktu. Bentuk umum dari kurva tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Bath Tub Curve (Kurva Bak Mandi)

Maintainability (Kemampuan Perawatan)

Maintainability adalah suatu peluang dari suatu alat beroperasi kembali dalam periode perawatan tertentu setelah kegiatan perawatan telah

dilakukan sebelumnya. Untuk mengukur *maintainability* ini, waktu kerusakan dari suatu alat harus diketahui. *MTTR* (waktu rata-rata reparasi) merupakan rata-rata waktu perbaikan.

Availability (Ketersediaan)

Availabilitas merupakan peluang dimana komponen atau sistem dapat melakukan fungsi yang diharapkan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan jika dioperasikan dan dirawat dengan kondisi yang ditentukan.

Secara matematis *availability* merupakan rasio waktu operasional dibagi waktu total, yang merupakan penjumlahan waktu operasional ditambah dengan waktu berhenti.

METODE

Metode penelitian yang dilakukan dengan metode penelitian evaluasi. Penelitian evaluasi dapat dinyatakan juga sebagai evaluasi, tetapi dalam hal lain juga dapat dinyatakan sebagai penelitian. Sebagai evaluasi berarti hal ini merupakan bagian dari proses pembuatan keputusan, yaitu untuk membandingkan suatu kejadian, kegiatan, produk dengan standar dan program yang telah ditetapkan.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan teknik pengamatan (*observasi*), wawancara (*interview*), dan dokumentasi. Riduwan (2002:76) mengatakan bahwa, Observasi yaitu melakukan pengamatan secara langsung ke objek penelitian untuk melihat dari dekat kegiatan yang dilakukan. Wawancara adalah suatu cara mengumpulkan data yang digunakan untuk memperoleh informasi langsung dari sumbernya (Riduwan:74). Dokumentasi adalah ditujukan untuk memperoleh data langsung dari tempat penelitian, meliputi buku-buku yang relevan, peraturan-peraturan, laporan kegiatan, foto-foto film dokumenter, data yang relevan dengan penelitian.

Instrumen dalam penelitian ini berupa lembar pengamatan, daftar cocok (*checklist*), pedoman wawancara, tabel,

- d. Melakukan perhitungan fungsi-fungsi distribusi weibull:

dan perlengkapan dokumentasi seperti kamera.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan *Preventive Maintenance* (PM) dengan distribusi Weibull untuk memperoleh nilai yang optimum dan efektivitas biaya perawatan. Langkah-langkah yang dilakukan dalam teknik analisis data adalah:

1. Menentukan komponen-komponen kritis dari seluruh data kerusakan selama 5 tahun terakhir dengan menggunakan diagram pareto.
2. Menghitung waktu reparasi komponen kritis berdasarkan jam kerusakan dan waktu operasional berdasarkan hari kerja selama mesin beroperasi.
3. Melakukan perhitungan distribusi weibull untuk waktu reparasi dan operasional.
 - a. Pengujian kecocokan distribusi/pengujian Mann's Test
 - b. Melakukan perhitungan plot weibull waktu reparasi
 $X_i = \text{Ln}(t_i) / \text{waktu reparasi}$ dan
 $Y_i = \text{Ln}(\text{Ln}(1 / \{1 - F(t_i)\}))$
 - c. Menentukan parameter weibull
 Perhitungan parameter weibull dilakukan untuk menentukan nilai konstanta dari a dan b serta θ dan β . Dari hasil perhitungan θ (tetha) dan β (betha) dalam parameter weibull, akan mampu untuk mengetahui nilai dari *Main Time To Repaire* (MTTR) atau waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan reparasi terhadap komponen mesin yang mengalami *down time* dan untuk mengetahui nilai dari *Main Time To Failure* (MTTF) atau waktu rata-rata terjadinya kerusakan terhadap suatu komponen mesin.
 - 1) Fungsi distribusi kumulatif waktu reparasi dan waktu operasional

- 2) Fungsi distribusi kepadatan kemungkinan waktu reparasi dan waktu operasional
- 3) Fungsi keandalan waktu reparasi dan waktu operasional
- 4) Fungsi laju kerusakan waktu reparasi dan waktu operasional
- e. Melakukan perhitungan distribusi weibull waktu reparsi dan waktu operasional.
- f. Menghitung tingkat ketersediaan komponen kritis.
- g. Menghitung keandalan berdasarkan nilai MTTF untuk mengetahui umur desain dengan tingkat keandalan 70%, 80%, dan 90%.
- h. Menghitung rata-rata biaya penggantian komponen kritis

HASIL DAN PEMBAHASAN
Data Operasional Klinik

Tabel 1. Data Umum Operasional Klinik

Deskripsi	Keterangan
Jam buka klinik	Jam 08.00 pagi sampai 20.00 malam
Rata-rata jumlah pasien per hari kerja (Senin-Sabtu)	22 pasien
Rata-rata pasien yang memerlukan tindakan dan pemeriksaan	17 pasien
Rata-rata jumlah pendapatan operasional klinik per hari kerja	Rp.3.250.000,- sampai dengan Rp. 4.950.000,- (tergantung jenis tindakan dan pemeriksaan)
Jumlah pegawai: - Dokter - Perawat	2 orang (Senin-Rabu) & (Kamis-Sabtu) 2 orang (Senin-Jumat) & Sabtu
Mesin <i>dental unit</i>	1 unit Fushion CX-9000 <i>Full electric chair</i> 24 volt DC (<i>Gear Motor</i>)
Rata-rata waktu yang dibutuhkan dalam melakukan satu kali tindakan (satu pasien)	30-45 menit (tergantung jenis tindakan)
Rata-rata waktu pemeriksaan biasa	5-15 menit

Tabel 2. Tabel Komponen *Dental Unit* CX-9000

Komponen Mesin	Fungsi	Jumlah unit
Bola lampu	Untuk penyorotan dalam kegiatan pemeriksaan dan perawatan	1
Reflektor	Memfokuskan cahaya yang terpancar	1
Travo	Untuk mestabikan tegangan listrik naik dan turun.	1
Switch	Tombol <i>on / off</i> mesin	1
<i>Chair unit:</i>		
• <i>System hydrolic:</i>		
- pompa motor <i>hydrolic high pressure</i>	Seluruh komponen yang ada di <i>chair unit</i> saling berhubungan yang berfungsi untuk gerak naik/turun (<i>up / down</i>) dan gerak sandaran (<i>back rest</i>).	1
- selang motor <i>hydrolic low pressure</i>		1
• <i>Piston hydrolic</i>		1
• <i>Modul control</i>		1
• Jok duduk pasien	Sebagai sandaran punggung pasien	1

- sandaran punggung	Sebagai sandaran kepala pasien	1
- sandaran kepala	Sebagai sandaran tangan pasien	2
- sandaran tangan		
Table unit:		
• <i>Three way syringe</i>		1
• <i>Connector high speed</i>	Semprotan angin dan air	2
• <i>Connector low speed</i>	Penghubung komponen <i>high speed bor</i>	
• PAD control	Penghubung komponen <i>low speed bor</i>	1
• <i>Film viewer</i>	Mengatur gerakan dental unit untuk naik/turun dan gerak sandaran	1
	Untuk melihat hasil <i>rontgen</i>	1
<i>Hand piece:</i>		
• <i>High speed bor</i>	Bor kecepatan tinggi	2
• <i>Low speed bor</i>	Bor kecepatan rendah	1
<i>Cuspidor:</i>		
• <i>Cup filler / electric timer cup filler</i>	Sebagai wadah penyaringan air liur dan darah pasien (elektrik).	1
• <i>Bowl flash / electric bowl</i>	Pembersih cup filler secara otomatis	1
• <i>Filter bowl</i>	Wadah Bowl flash	1
• <i>System suction</i>	Serangkaian alat yang berfungsi sebagai sistem penyedotan air liur dan darah pasien.	1
• <i>Saliva ejection / disposable tip suction</i>	Alat penyedot air liur dan darah (sekali pakai)	1
• <i>Water heater</i>	Wadah air dalam sistem suction	1
Selang angin (tekanan 5 bar/detik)	Sebagai saluran angin	1 (30 meter)
Selang air (tekanan 3 bar/detik)	Sebagai saluran air (pembuangan)	1 (30 meter)
Water tank	Tempat / wadah air yang terhubung ke <i>cuspidor</i>	1
<i>Foot control</i>	Tombol <i>control</i> kaki untuk pergerakan <i>dental unit</i> naik / turun dan sandaran	1
<i>Dental compressor</i>	Menghubungkan <i>dental unit</i> dengan aliran listrik	1

Data Operasional Mesin

Berdasarkan tabel komponen mesin *dental unit* CX-9000 dan jika dikaitkan dengan permasalahan dalam penelitian ini yaitu tingginya jumlah

down time mesin, maka data-data kerusakan komponen pada *dental unit* CX-9000 selama lima tahun terakhir adalah sebanyak 94 kasus kerusakan dari beberapa komponen.

Tabel 3. Tabel Frekuensi dan Persentase Kumulatif Kerusakan

Komponen	Frekuensi	F.Kum	% Total	% Kumulatif
High speed bor	36	36	38.30	38.30
Selang air	18	54	19.15	57.45
Low speed bor	15	69	15.96	73.40
Filter bowl	12	81	12.77	86.17
Selang angin	7	88	7.45	93.62
Reflektor lampu	4	92	4.26	97.87
Pad control	2	94	2.13	100.00
Total	94		100.00	

Komponen Kritis

Komponen *high speed bor*.

Kerusakan yang terjadi pada komponen *high speed bor* adalah meliputi:

- 2) Tidak bisa berputar saat digunakan juga bisa disebabkan rusaknya *bearing*.
- 3) Kerusakan lainnya adalah pada bagian pengunci mata bornya.

Perhitungan distribusi weibull untuk waktu reparasi dan waktu operasional komponen kritis *high speed bor*.

- 1) Uji kecocokan waktu reparasi
Pengujian kecocokan distribusi/pengujian Mann's Test:
 Berdasarkan hasil perhitungan Tabel Mann's Test:
 $r = 36$ (jumlah kerusakan komponen kritis)
 $K1 = 18,0$ (nilai tengah dari jumlah kerusakan / jumlah kerusakan dibagi dua)
 $K2 = 17,5$ (jumlah kerusakan dikurang satu yang dibagi dua)
 $M = 0,761$ (nilai Mann's Test berdasarkan perhitungan untuk waktu reparasi)
 $M = 0,563$ (nilai Mann's Test berdasarkan perhitungan untuk waktu operasional)

- 1) Tidak bisa berputar saat digunakan yang disebabkan kurang pelumasan pada bagian *bearing*.

Maka:

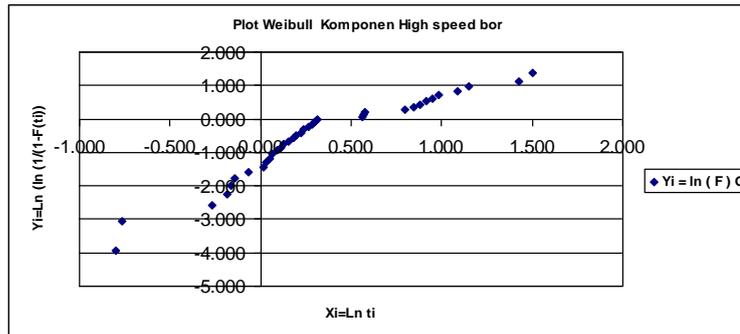
Numerator = $2K2 = 2 \times 17,5 = 35$, dan

Denominator = $2K1 = 2 \times 16 = 36$.

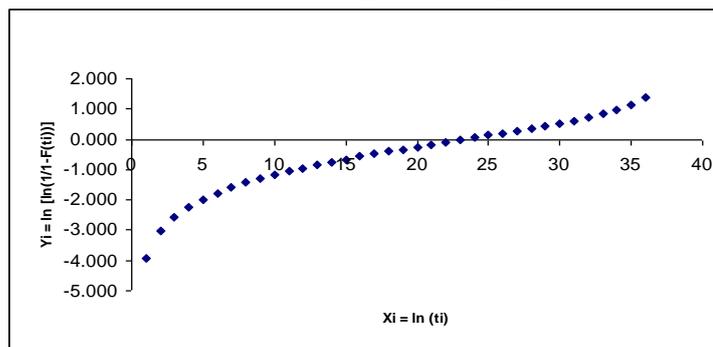
Jika $M < F$, maka Terima H_0 dan Tolak H_1 , tapi jika $M > F$, maka Tolak H_0 dan Terima H_1 .

Dengan nilai *numerator* = 35 dan *denominator* = 36, maka hasil F pada tabel adalah 1,748. kesimpulannya adalah, hasil perhitungan pada tabel Mann's Test adalah **berdistribusi weibull**, karena nilai $M < F$, maka H_0 diterima.

- 2) Perhitungan plot weibull.
 Perhitungan plot weibull didapat berdasarkan data waktu reparasi komponen., yaitu $X_i = \text{Ln}(t_i) / \text{waktu reparasi}$ dan $Y_i = \text{Ln}(\text{Ln}(1 / \{1 - F(t_i)\}))$. Sehingga berdasarkan hasil perhitungan plot weibull tersebut didapat sebuah diagram tebar plot weibull untuk waktu reparasi dan waktu operasional komponen *high speed bor*.



Gambar 2. Plot Weibull Waktu Reparasi Komponen *High Speed Bor*



Gambar 3. Plot Weibull Waktu Operasional Komponen High Speed Bor

- 3) Parameter Weibull dari waktu reparasi dan waktu Oprasional Perhitungan parameter weibull dilakukan untuk menentukan nilai konstanta dari a dan b serta θ dan β , dimana: $\theta = 1,840$ dan $\beta = 2,121$

Dari hasil perhitungan θ (tetha) dan β (betha) dalam parameter weibull, akan mampu untuk mengetahui nilai dari *Main Time To Repaire* (MTTR) atau waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk melakukan reparasi terhadap komponen mesin yang mengalami *down time*.

$$MTTR = 1,840 \Gamma (1+ 1/ 2,121) = 1,630 \text{ Jam}$$

Jadi, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan reparasi terhadap komponen mesin *high speed bor* adalah selama 1, 630 jam.

Pehitungan parameter waktu operasional adalah: $\theta = 214.367$ dan $\beta = 3,231$

Dari hasil perhitungan θ (tetha) dan β (betha) dalam parameter weibull, akan mampu untuk mengetahui nilai dari *Main Time To Failure* (MTTF) atau waktu rata-rata terjadinya kerusakan terhadap komponen mesin.

$$MTTF = 144,001 \Gamma (1+ 1/ 3,231) = 129,025 \text{ Jam}$$

Jadi, waktu rata-rata terjadinya kerusakan pada komponen mesin *high speed bor* adalah setiap 129,025 jam.

Komponen Selang Air.

Kerusakan yang terjadi pada komponen selang air biasanya meliputi:

- 1) Lubang saluran air buntu atau mampet

- 2) Selang air bocor
 - 3) Klem pengikat selang kendur sehingga
- mengakibatkan kebocoran pada bagian tersebut.

c. Perhitungan distribusi weibull untuk waktu reparasi dan waktu operasional komponen kritisi selang air.

- 1) Uji kecocokan waktu reparasi
- Pengujian kecocokan distribusi/pengujian Mann's Test:**
- Berdasarkan hasil perhitungan Tabel Mann's Test:
- $r = 18$ (jumlah kerusakan komponen kritis)
- $K1 = 9$ (nilai tengah dari jumlah kerusakan/jumlah kerusakan dibagi dua)
- $K2 = 8,5$ (jumlah kerusakan dikurang satu yang dibagi dua)
- $M = 0,577$ (nilai Mann's Test berdasarkan perhitungan untuk waktu reparasi)
- $M = 0,563$ (nilai Mann's Test berdasarkan perhitungan t operasional)

Maka:

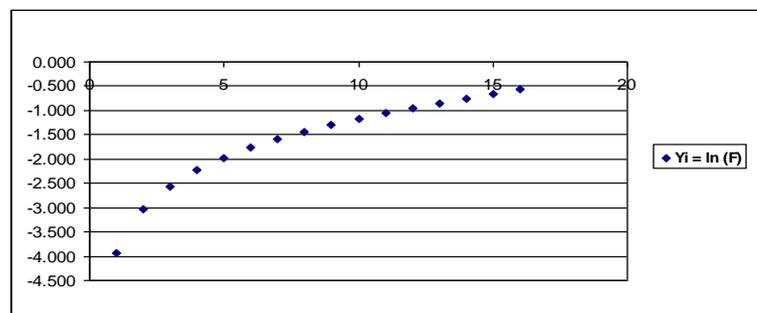
Numerator = $2K2 = 2 \times 17,5 = 17$, dan

Denominator = $2K1 = 2 \times 16 = 18$.

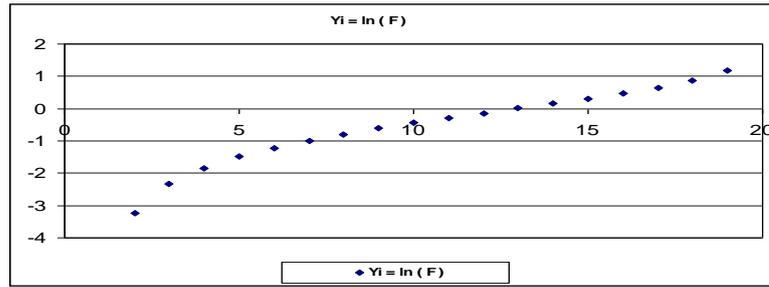
Jika $M < F$, maka Terima H_0 dan Tolak H_1 , tapi jika $M > F$, maka Tolak H_0 dan Terima H_1 .

Dengan nilai *numerator* = 17 dan *denominator* = 18, maka hasil F pada tabel adalah 2,233. kesimpulannya adalah, hasil perhitungan pada tabel Mann's Test adalah **berdistribusi weibull**, karena nilai $M < F$, maka H_0 diterima.

- 2) Perhitungan plot weibull.
- Perhitungan plot weibull didapat berdasarkan data waktu reparasi komponen., yaitu $X_i = \ln(t_i) / \text{waktu reparasi}$ dan $Y_i = \ln(\ln(1 / \{ 1 - F(t_i) \}))$. Sehingga berdasarkan hasil perhitungan plot weibull tersebut didapat sebuah diagram tebar.



Gambar 4. Plot Weibull Waktu Reparasi Komponen Selang air



Gambar 5. Plot Weibull Waktu Operasional Komponen Selang air

3) Parameter Weibull dari waktu reparasi dan waktu Operasional
 Perhitungan parameter weibull dilakukan untuk menentukan nilai konstanta dari a dan b serta θ dan β , dimana: $\theta = 3,512$ dan $\beta = 1,472$

Dari hasil perhitungan θ (tetha) dan β (betha) dalam parameter weibull, akan mampu untuk mengetahui nilai dari *Main Time To Repaire* (MTTR) atau waktu rata-rata yang dibutuhkan
 Dari hasil perhitungan θ (tetha) dan β (betha) dalam parameter weibull, akan mampu untuk mengetahui nilai dari *Main Time To Failure* (MTTF) atau waktu rata-rata terjadinya kerusakan terhadap komponen mesin.

untuk melakukan reparasi terhadap komponen mesin yang mengalami *down time*.

$$MTTR = 3,512 \Gamma (1+ 1/ 1,472) = 3,179 \text{ Jam}$$

Jadi, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan reparasi terhadap komponen mesin selang air adalah selama 3,179 jam.

Penghitungan parameter waktu operasional adalah: $\theta = 191,908$ dan $\beta = 1,860$

$$MTTF = 191,908 \Gamma (1+ 1/ 1,860) = 170,449 \text{ Jam}$$

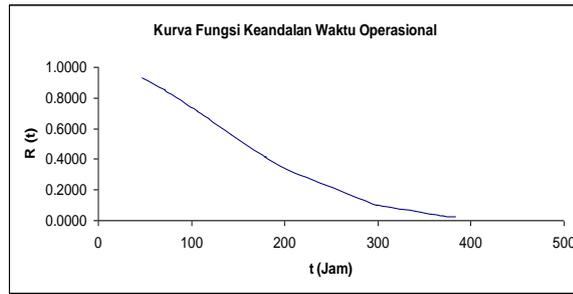
Jadi, waktu rata-rata terjadinya kerusakan pada komponen mesin selang air adalah setiap 170,449 jam.

4. Ketersediaan (Avaibility) dan Keandalan (Reliability)

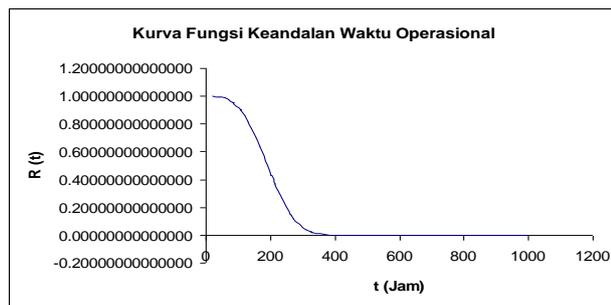
Pada studi kasus yang dilakukan di *Dental Clinic X* ini, yaitu untuk menghitung dan menganalisis tingkat ketersediaan dan keandalan komponen kritis pada mesin *dental unit* seri CX-9000. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap dua komponen kritis yang dianggap paling sering mengalami *down time* yaitu kompoen *high speed bor* dan komponen selang air tingkat ketersediaan komponenen atau peluang komponen tersebut dapat melakukan fungsi yang diharapkan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan kedua komponen tersebut adalah **99,16%** untuk komponen *high*

speed bor dan **98,17%** untuk komponen selang air.

Keandalan adalah kemungkinan (*probabilitas*) bahwa suatu *item* akan tetap memenuhi unjuk kerjanya (*performance*) atas persyaratan fungsional tanpa kegagalan pada suatu kondisi operasi tertentu dan pada suatu periode tertentu. Dalam hal ini keandalan dihitung dengan perhitungan sebuah distribusi yang kemudian dibuat sebuah kurva distribusi keandalan untuk waktu operasional mesin secara umum dan komponen kritis secara lebih pasti. Untuk mengetahui fungsi distribusi keandalan **waktu operasional** komponen kritis adalah dengan menggunakan rumus distribusi keandalan / eksponensial.



Gambar 6. Kurva Fungsi Keandalan Komponen *Speed bor*



Gambar 7. Kurva Fungsi Keandalan Komponen Selang air

Hasil perhitungan distribusi keandalan dari kedua komponen kritis mesin *dental unit CX-9000* menunjukkan bahwa tingkat keandalan komponen mesin semakin menurun pada pada batas waktu yang telah ditentukan. Laju tingkat keandalan kedua komponen dilihat dari bentuk kurva distribusi keandalan yang terus menurun hingga

Hasil perhitungan tingkat keandalan yang diperoleh untuk komponen *high speed bor* hanya sebesar 49,59% pada rata-rata waktu terjadinya kerusakan 192,073 jam dan komponen selang air 44,84% pada rata-rata waktu terjadinya kerusakan 170,449 jam. Kemudian, hasil dari itu semua akan mampu dibuat sebuah kesimpulan terhadap tindakan perbaikan yang perlu dilakukan yaitu upaya dalam penerapan jadwal pemeliharaan secara preventif yang dianggap tepat untuk mencapai produktivitas kerja yang optimum.

Setelah diketahui tingkat keandalan kedua komponen kritis mesin

waktu operasional (t) 400 jam untuk komponen *high speed bor* dan waktu operasional (t) < 400 jam pada komponen selang air, yang berarti bahwa fungsi dan kinerja komponen masih sangat optimum pada waktu operasional (t) = 0 jam dan semakin menurun sampai waktu operasional mendekati (t) = 400 jam.

dental unit CX-9000, maka akan dilakukan sebuah percobaan perhitungan umur desain mesin dengan menggunakan tingkat keandalan antara 90%-70%. Hasil perhitungan terhadap umur desain tersebut adalah:

Komponen High speed bor:

- $R (90\%) = 106,825$ jam, menunjukkan bahwa pada waktu operasioanal komponen yang ke 106,825 jam tingkat keandalan komponen masih berada pada nilai 90%.
- $R (80\%) = 134,754$ Jam, menunjukkan bahwa pada waktu operasioanal komponen

yang ke 134,754 jam tingkat keandalan komponen masih berada pada nilai 80%

- R (70%) = 155,806 jam, menunjukkan bahwa pada waktu operasional komponen yang ke 155,806 jam tingkat keandalan komponen masih berada pada nilai 70%.

Komponen Selang air:

- R (90%) = 57,220 jam, menunjukkan bahwa pada waktu operasioanal komponen yang ke 57,220 jam tingkat keandalan komponen masih berada pada nilai 90%.
- R (80%) = 85,665 jam, menunjukkan bahwa pada waktu operasioanal komponen yang ke 85,665 jam tingkat keandalan komponen masih berada pada nilai 80%.
- R (70%) = 110,238 jam, menunjukkan bahwa pada waktu operasioanal komponen

a. Komponen *high speed bor*:
Biaya penggantian kegagalan:Rp 7.844.491,42-

b. Komponen selang air
Biaya penggantian kegagalan:Rp.13.789.968,30-

Setelah diketahui perhitungan biaya penggantian komponen, maka dilakukan percobaan perhitungan biaya penggantian komponen dengan menggunakan metode *trial and error* dengan rumus-rumus yang ada.

a. Komponen *high speed bor*
Dari perhitungan biaya penggantian komponen dengan menggunakan metode *trial and error* pada interval waktu (jam), tp10 sampai dengan tp 294 dan tp 1 sampai dengan tp 448. Sehingga didapatlah total biaya optimum pada interval waktu yang ke 75 jam dengan total biaya

yang ke 110,238 jam tingkat keandalan komponen masih berada pada nilai 70%.

Berdasarkan percobaan perhitungan umur desain dengan tingkat keandalan dari 90% - 70% maka dapat dilihat bahwa semakin lama mesin beroperasi serta semakin lama dilakukan tindakan perawatan maka tingkat keandalan komponen berada pada tingkat yang semakin kecil.

5. Perhitungan Biaya Penggantian Komponen

Perhitungan biaya penggantian komponen ini dilakukan untuk mengetahui waktu penggantian yang optimal dimana untuk melakukan penggantian kedua komponen kritis memerlukan jasa satu orang teknisi spesialis mesin *dental unit*.

perawatan preventif **Rp.8.184,86,-/ jam** dan 73 jam dengan total biaya perawatan **Rp.8.182,86,- / jam**.

b. Komponen selang air
Dengan rumus yang sama, dibuat juga perhitungan biaya penggantian komponen dengan metode *trial and error* untuk komponen selang air pada interval waktu tp 1 (jam) sampai tp 268 (jam) dan tp 1 (jam) sampai tp 320 (jam). Sehingga waktu dan biaya optimum untuk melakukan perawatan secara preventif pada komponen selang air dengan menggunakan metode *trial and error* adalah pada interval waktu ke 10 jam dengan total biaya **Rp. 8.856,545,- / jam** dan 12 jam dengan total biaya **Rp. 8.868,151,- / jam**.

Tabel 2. Analisis 5W+1H

Tabel Analisis 5W + 1H Perbaikan dan Peningkatan waktu operasional komponen *High speed bor* dan Selang air

1. Analisis Masalah dari Faktor Manusia

Akar Masalah	What	Why	Where	When	Who	How
1. Kurangnya pelatihan tentang tata cara mengecek / memeriksa kondisi mesin	Merencanakan sistem perawatan mandiri yang ditunjukkan oleh operator (dokter gigi dan perawat) untuk selalu menjaga dan merawat kondisi mesin agar tetap dapat berfungsi dengan maksimum.	<ul style="list-style-type: none"> Menjadikan operator yang paham akan kondisi mesin Menjadikan operator yang peduli akan kondisi mesin Menjadikan operator yang sayang akan mesinnya. 	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Rencana sistem perawatan mandiri yang dilakukan oleh operator harus dilakukan pada setiap interval waktu antara 73 sampai 75 jam sekali untuk komponen speed bor dan 10 sampai 12 jam untuk komponen selang air.	Seluruh orang yang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik sah <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Memberikan dan meningkatkan keterampilan kepada operator dalam hal perawatan mesin dental unit yang akan dijelaskan oleh teknisi ahli <i>dental unit</i> .

+

Akar Masalah	What	Why	Where	When	Who	How
2. <i>Overload</i> produksi banyak pasien	Sebaiknya dokter dan perawat memberikan selang waktu untuk melakukan tindakan perawatan terhadap pasien setelah pasien sebelumnya keluar ruang praktek dan adanya pengarahannya kepada pasien untuk ikut menjaga kebersihan di sekitar ruang praktek.	Menjadikan operator yang peduli akan kondisi mesin dan selalu berhati-hati dalam melakukan tindakan perawatan agar kinerja mesin tetap berfungsi dengan baik	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Setiap jam praktek atau setiap selang waktu antara pasien yang telah selesai melakukan pemeriksaan dengan waktu pemeriksaan pasien berikutnya yaitu sekitar 5 menit sebelum tindakan terhadap pasien yang akan melakukan perawatan gigi.	Dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Hal yang mungkin dilakukan adalah dengan cara <i>anamnesis</i> (wawancara berkaitan dengan keluhan pasien) beberapa menit serta pemberian pengarahannya kepada pasien agar ikut serta menjaga kebersihan di sekitar ruang praktek khususnya mesin <i>dental unit</i> .

2. Analisis Masalah dari Faktor Mesin

Akar Masalah	What	Why	Where	When	Who	How
Umur mesin cukup lama	Menerapkan sistem perawatan yang lebih optimum baik kualitas maupun kuantitasnya.	Menjadikan fungsi dan kinerja mesin tetap pada kondisi yang optimum.	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Rencana sistem perawatan optimum yang dilakukan oleh operator dilakukan pada setiap interval waktu antara 73 sampai 75 jam sekali untuk komponen speed bor dan 10 sampai 12 jam untuk komponen selang air.	Seluruh orang yang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik sah <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Memberikan pengarahannya dan pelatihan secara lebih intensif dan terarah tentang tata cara perawatan mesin dental unit yang baik.

3. Analisis Masalah dari Faktor Metode

Akar Masalah	What	Why	Where	When	Who	How
1. Pengawasan terhadap kegiatan perawatan yang kurang baik.	Adanya pengawasan yang cukup baik terhadap kegiatan perawatan mesin <i>dental unit</i> .	Menjadikan fungsi dan kinerja mesin tetap dalam kondisi optimum dengan intensitas perawatan yang baik.	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Pengawasan juga dilakukan berdasarkan waktu kegiatan dilakukannya perawatan mesin yaitu setiap interval waktu antara 73 sampai 75 jam sekali untuk komponen speed bor dan 10 sampai 12 jam untuk komponen selang air.	Seluruh orang yang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik sah <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Menjadikan kegiatan perawatan sebagai sikap, kebiasaan, dan budaya yang tercipta di seluruh ruang praktek <i>Dental Clinic X</i> yang dilakukan oleh semua orang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> .
2. Komponen mesin sulit dijangkau secara wajar.	Melakukan aktivitas perawatan dan pemeliharaan dengan sikap badan sedikit merendah sesuai dengan detail mesin dan komponen yang akan dibersihkan <i>dental unit</i> .	Menjadikan fungsi dan kinerja mesin tetap dalam kondisi optimum dengan perawatan yang baik dan benar.	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Aktivitas perawatan dan pemeliharaan yang optimum yang dilakukan oleh operator dilakukan pada interval waktu antara 73 sampai 75 jam sekali untuk komponen speed bor dan 10 sampai 12 jam untuk komponen selang	Seluruh orang yang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik sah <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Mengarahkan operator untuk membiasakan diri dengan tata cara perawatan yang baik dan benar (sikap badan) agar aktivitas perawatan dalam upaya mengoptimalkan fungsi dan kinerja mesin dapat terwujud dengan baik.

4. Analisis Masalah dari Faktor Material

Akar Masalah	What	Why	Where	When	Who	How
1. Aktivitas manajemen persediaan yang kurang optimum.	Melakukan dan meningkatkan sistem perencanaan terhadap persediaan <i>stock disposable unit</i> untuk komponen <i>high speed bor</i> atau persediaan lain dengan lebih baik dan sistematis.	Menciptakan perencanaan persediaan di <i>Dental Clinic X</i> dengan lebih baik.	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Aktivitas sistem manajemen persediaan yang dilakukan sebaiknya dibuat atau dirancang setiap 1 minggu sekali atau setiap akhir minggu pada hari praktek.	Seluruh orang yang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik sah <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Membuat laporan berkala secara sistematis tentang persediaan material yang masuk dan keluar (digunakan) dan selalu memberikan informasi tentang kebutuhan dan hal-hal yang berkaitan operasional klinik khususnya mesin <i>dental unit</i> antara pemilik dan operator di <i>Dental Clinic X</i> .
2. Material Kw 1 harganya cukup mahal.	Melakukan perhitungan perbandingan dan analisis tentang perbedaan harga antara material Kw. 1 dan material Kw. 2 serta mempertimbangkan dampak yang ditimbulkan terhadap penggunaan jenis material tersebut.	Menjaga dan merawat kondisi mesin agar tetap memiliki fungsi dan kinerja yang optimum dengan pemasangan material yang berkualitas baik.	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin <i>dental unit CX-9000</i> secara lebih khusus.	Aktivitas sistem manajemen persediaan yang dilakukan sebaiknya dibuat atau dirancang setiap 1 minggu sekali atau setiap akhir minggu pada hari praktek	Seluruh orang yang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik sah <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Membuat perhitungan dan analisis tentang penggunaan dan harga material Kw. 1 dan material Kw. 2 serta menganalisis dampak yang ditimbulkan terhadap penggunaan jenis material tersebut kemudian memilih material mana yang akan digunakan paling sesuai dengan kapasitas mesin dan klinik serta dampak yang ditimbulkan.

5. Analisis Masalah dari Faktor Lingkungan

Akar Masalah	What	Why	Where	When	Who	How
Jarak mesin dan kompresor dengan arus listrik tidak berdekatan bersebrangan.	Melakukan penataan ulang tata letak mesin dan kompresor agar tersusun lebih rapi dan ringkas.	Membuat tata letak ruang praktek khususnya mesin dental unit dan kompresor lebih baik dan tersusun dengan rapi untuk menghindari gangguan-gangguan saat melakukan proses kerja mesin serta membuat pergerakan operator lebih aman tanpa menyentuh kabel-kabel sekitar mesin.	Di seluruh area <i>Dental Clinic X</i> secara luas dan mesin dental unit CX-9000 secara lebih khusus.	Penataan ulang terhadap tata letak mesin dan kompresor dilakukan pada hari libur minggu saat mesin tidak bekerja dan sebaiknya dilakukan paling lambat dalam waktu 1 bulan setelah dilakukannya pengamatan terhadap masalah ini.	Seluruh orang yang berkepentingan terhadap <i>Dental Clinic X</i> baik itu dokter gigi sebagai pemilik <i>Dental Clinic X</i> serta dua orang dokter gigi yang bekerja dan dua orang perawat yang membantu proses kerja di <i>Dental Clinic X</i> .	Mendesain ulang tata letak ruang praktek khususnya mesin untuk <i>dental unit</i> dan kompresor dengan meluangkan waktu saat mesin sedang tidak beroperasi atau di hari libur untuk menjadikan letak mesin dan kompresor lebih ergonomis dan rapi agar tidak mengganggu proses kerja mesin dan pergerakan operator lebih aman tanpa menyentuh kabel-kabel di sekitar mesin pada <i>Dental Clinic X</i> .

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan terhadap penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan seperti berikut ini:

1. Tingkat kerusakan pada mesin *dental unit* CX-9000 selama lima tahun terakhir sebanyak 94 kasus kerusakan dan komponen kritis mesin adalah:
 - a. Komponen *high speed bor* dengan persentase kerusakan 38,30% dimana rata-rata waktu perbaikan (MTTR) adalah selama 1,630 jam dan waktu rata-rata terjadinya kerusakan

Salah satu hasil analisis yang didapat dalam upaya melakukan perbaikan adalah: merencanakan sistem perawatan mandiri yang ditujukan oleh operator (dokter gigi dan perawat) untuk selalu menjaga dan merawat kondisi mesin

2. Tingkat keandalan komponen *high speed bor* dengan waktu rata-rata terjadinya kerusakan (MTTF) selama 192,073 jam adalah sebesar 49,59% dan komponen selang air dengan waktu rata-rata terjadinya kerusakan (MTTF) selama 170,449 jam adalah sebesar 44,84%. Kemudian dilakukan perhitungan berkaitan dengan biaya-biaya, sehingga diperoleh biaya optimum untuk

(MTTF) setiap 192,073 jam sehingga tingkat ketersediaan komponen kritis yaitu sekitar 99,16%.

- b. Komponen selang air dengan persentase kerusakan 19,15% dimana rata-rata waktu perbaikan (MTTR) adalah selama 3,179 jam dan waktu rata-rata terjadinya kerusakan (MTTF) adalah setiap 170,449 jam sehingga tingkat ketersediaan komponen kritis yaitu sekitar 98,17%.

agar tetap dapat berfungsi dengan maksimum. Upaya perbaikan tersebut dilakukan dengan cara memberikan dan meningkatkan keterampilan kepada operator dalam hal perawatan mesin dental unit yang akan dijelaskan oleh teknisi ahli *dental unit*.

melakukan perawatan dengan pendekatan secara preventif yaitu:

- a. Untuk komponen *high speed bor*, pada interval waktu (jam) tp10 sampai dengan tp 294 diperoleh total biaya pencegahan dan biaya penggantian optimum per unit waktu pada interval waktu yang ke 73 jam yaitu sebesar **Rp. 8.182,86,13,-/ jam** dan pada interval waktu (jam) tp 1 sampai dengan tp 448 diperoleh

total biaya pencegahan dan biaya penggantian optimum per unit waktu pada interval waktu yang ke 75 jam dengan total biaya perawatan **Rp. 8.184,86,- / jam.**

- b. Untuk komponen selang air, pada interval waktu (jam) tp 1 sampai tp 268 diperoleh total biaya pencegahan dan biaya penggantian optimum per unit waktu pada interval waktu pada interval waktu yang ke 10 jam yaitu sebesar **Rp. 8.856,545,- / jam** dan pada interval waktu (jam) tp 1 jam sampai tp 320 diperoleh total biaya pencegahan dan biaya penggantian optimum per unit waktu pada interval waktu yang ke 12 jam yaitu sebesar **Rp. 8.868.151,- / jam.**

DAFTAR PUSTAKA

- Aven, Terje. 1996. *Reliability and Risk analysis*. London: Elsevier.
- Corder, A. 1992. *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Jakarta: Erlangga.
- Davis, R., K. 1995. *Productivity Improvement Through TPM*. London: Prntice Hall.
- Ebeling, C., E. 1997. *Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill International Editions.
- Gaspersz, Vincent. 1998. *Statistical Process Control* Penerapan Teknik-Teknik Statistikal dalam Manajemen Bisnis Total. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Gertsbagh, I., B. 1989. *Statistical Reliability Theory*. New York: Marcell Dekker Inc.
- Jardine, A., K., S. 1987 *Maintenance, Replecement and Reliability*. New York: Pitman Publishing.
- Kresno Broto, Sutjipto. *Modul Maintenance Management Training for Different Types of Maintenance*. Jakarta: Perpustakaan Nasional Indonesia
- Riduwan. 2002. *Belajar Mudah Penelitian untuk Guru-Karyawan dan Peneliti Pemula*. Jakarta: Alfabeta.
- Setiawan, A 1998. *Manajemen Perawatan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suhartono. 1991. *Manajemen Perawatan Mesin*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Sutalaksana, Z. I. A. Ruhana. J. H. Tjakraatmadja. 1979. *Teknik Tata Cara Kerja*. Bandung: Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Bandung.
- Walpole, R., E., Myers Raymond H. 1986. *Ilmu Peluang dan dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuan*. Bandung: ITB-Press.
- Widodo, S. 2004. *Sistem Pengoperasian dan Perawatan Dental Unit*. Yogyakarta: Teknik Mesin, UGM.
- Djunaidi, Much., Mila Faila Sufa. "Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis pada Mesin Pencetak Botol (*Mould Gear*) berdasarkan Kriteria Minimasi Downtime". Laboratorium Sistem Produksi, Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Heri, Apri Iswanto. 2008. "Manajemen Pemeliharaan Mesin-Mesin". Departemen Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Sodikin, Imam. 2008. *Penentuan Interval Perawatan Preventif komponen Elektrik dan Komponen Mekanik yang Optimal pada Mesin Excavator Seri PC 200-6 dengan Pendekatan Model Jardine*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri, IST AKPRIND.

Sunarlim, Monika. 2000. "Perancangan Program Pemeliharaan Mesin Produksi dalam Upaya Penerapan *Preventive Maintenance* (PM) di PT. Schering Indonesia". Depok: Fakultas Teknik, Jurusan Teknik, Universitas Indonesia.
<http://www.docs.google.com/viewer?av&q=cache:7hRNtIkoCa4J:elist>

[a.akprind.ac.id/fti/jurnal_teknologi/volume_1_edisi_2/150_160](http://www.puslit2.petra.ac.id/tugasakhir/index.php/ind/article/viewPDFInteterstital/15996/15988)
<http://www.puslit2.petra.ac.id/tugasakhir/index.php/ind/article/viewPDFInteterstital/15996/15988>
<http://www.puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ind/article/shop/16332/16324>
<http://www.puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ind/article/viewArticle/16331>