

## BAB II

### KAJIAN LITERATURE

#### 2.1 Kajian Empiris

Kajian empiris merupakan kajian yang dilakukan guna mengetahui penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan metode yang tepat untuk permasalahan yang diteliti. Berikut adalah penelitian terdahulu mengenai metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah yang akan diteliti saat ini.

Menurut penelitian yang dilakukan Amir et al (2012) *life cycle cost* (LCC) merupakan metode yang digunakan untuk mencari alternatif-alternatif dari berbagai kemungkinan dalam pengambilan keputusan terbaik dilihat dari biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan konstruksi jalan selama umur hidup konstruksi. Studi tersebut bertujuan untuk membandingkan antara biaya aktual dengan biaya alternatif yang dihitung dengan *life cycle costing* pada konstruksi jalan daulasi kota ternate. Biaya total yang dikeluarkan menggunakan alternatif-alternatif LCC berhasil meminimalisir biaya total yang dikeluarkan untuk umur jalan rencana 20 tahun dengan cara mereduksi biaya pemeliharaan secara berkala dengan memilih alternatif pembuatan perkerasan dan biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan secara rutin.

Selain itu penelitian Marliansyah (2014) membahas tentang analisis rencan LCC gedung hostel pada kawasan rumah sakit jimbun medika kediri. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi *servis life* pada bahan bangunan dan membuat rencana jangka panjang LCC gedung. Motede yang digunakan untuk mengetahui *service life* dari komponen bahan bangunan yang dipakai dalam pembangunan hostel adalah dengan cara menyebar kuesioner kepada responden yang terlibat dan bergerak dalam bidang konstruksi kemudian dilanjutkan pada perhitungan LCC meliputi biaya pembangunan, biaya operasioanal, dan biaya perawatan dan pergantian.

Penelitian yang dilakukan Firsani & Utomo (2012) penelitian ini membahas mengenai Analisa *Life Cycle Costing* pada *Green Building Diamond Building* Malaysia. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan total biaya siklus hidup pada sebuah bangunan dengan konsep ramah lingkungan selama periode yang ditetapkan. Metode alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Present Worth* dengan mengukur variabel-variabel yang termasuk dalam perhitungan LCC meliputi *initial cost* (biaya awal), *operational-maintenance operational* (biaya operasional dan perawatan), *replacement cost* (biaya pengganti), *energy cost* (biaya energi), dan umur siklus. Analisa menggunakan *Present Worth* selama 10 tahun membuahkan hasil dengan memasukkan nilai sisa pada perhitungan LCC maka akan mereduksi biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan dengan konsep *green building*.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Reina et al (2016) penerapan LCC untuk mendukung keputusan dalam pemeliharaan pada sistem *manufactur* berdasarkan biaya terendah. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan model matematik yang memperhitungkan fraksi terkait *Reability & Maintainability* dari LCC untuk membandingkan skenario di mana strategi dan kebijakan pemeliharaan yang berbeda diterapkan pada komponen sistem manufaktur. Pada penelitian ini menyajikan beberapa metode strategi meliputi strategi *corrective maintenance*, *preventive maintenance*, *maintenance based on periodic inspection*, *maintenance based on real time condition monitoring*. Penelitian ini membuahkan hasil model matematik perhitungan biaya yang di keluarkan untuk strategi dengan mencakup tiga kemungkinan kebijakan: awak internal, layanan eksternal (sesuai permintaan) dan layanan eksternal (kontrak tahunan). Baik pemeliharaan terjadwal (pemeliharaan preventif, pemeliharaan berbasis pemeriksaan) dan strategi terjadwal (pemeliharaan korektif, pemantauan kondisi) dipertimbangkan. Atas dasar formula yang diusulkan, optimalisasi dilakukan dengan maksud untuk mencari solusi terbaik dalam aspek ekonomi untuk membantu dalam pengambilan keputusan.

Penelitian Bengtssonab & Kurdvebc (2016) mengenai aspek penyusun model *life cycle cost* (LCC) dengan biaya pemeliharaan dinamis. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui LLC atau biaya total kepemilikan yang telah digunakan pada peralatan manufaktur di perusahaan swedia. Metode yang digunakan dalam penelitian meliputi *life cycle cost* dan *life cycle profit* (LCP). Dari hasil penelitian mengungkapkan aspek yang digunakan dalam mendesain atau merancang peralatan menggunakan LCC adalah operasi

*man-time*, penggunaan energi, biaya perawatan dan perbaikan, biaya *downtime*, cairan proses dan bahan kimia, beberapa di antaranya meningkat seiring usia peralatan, Seharusnya dipertimbangkan. Ini memberikan implikasi pada desain peralatan agar mudah dirawat, mudah dibersihkan dan mudah dioperasikan.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Elisa et al (2017) mengenai dampak ketidakpastian dalam *life cycle cost* (LCC) untuk mengukur efisiensi energi bangunan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengukur input utama yang tidak pasti dari penilaian LCC dan mengembangkan perangkat yang sesuai untuk mengotomatiskan proses evaluasi dampak energi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCC untuk mendukung dalam pembuatan keputusan berdasarkan *energy efficiency measurement* dan Monte Carlo untuk mensimulasikan kuantifikasi ketidakpastian dengan bangunan parametrik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan potensi besar dalam kemungkinan menggabungkan beberapa EEM dan melakukan perhitungan ketidakpastian dengan biaya komputasi rendah dan akurasi tinggi hasil.

Selanjutnya penelitian Morales et al (2016) mengenai *life cycle cost* (LCC) teknologi fotovoltaik di bangunan komersial di Baja California, Meksiko. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi orientasi geometrik yang memberikan LCC terbaik untuk modul fotovoltaik multi-kristal, untuk memasok energi listrik untuk bangunan komersial di tiga lokasi di Baja California, Meksiko. Metode yang digunakan LCC dengan perhitungan konsumsi energi listrik, penilaian sumber daya matahari, Penilaian produksi energi dari array fotovoltaik, dan anggaran modal. penelitian ini membuahkan hasil bahwa sel fotovoltaik silikon multi-kristal merupakan pilihan investasi yang layak ketika dipasang di bangunan komersial dengan faktor biaya-manfaat tertinggi (3,17) dan pengembalian investasi terpendek (13,02 tahun).

Dalam menentukan kebijakan untuk persediaan cadangan *part* menggunakan perhitungan LCC diperlukan adanya metode untuk membantu dalam mengetahui persediaan yang dibutuhkan oleh sebuah perusahaan. Adapun metode-metode yang digunakan untuk menentukan persediaan tergantung dengan kondisi perusahaan saat ini dan kebijakan yang diterapkan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Wahyuni (2015) mengenai Penggunaan Analisis ABC untuk Pengendalian Persediaan Barang Habis Pakai. Analisis ABC adalah metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan barang berdasarkan peringkat dari barang tertinggi hingga terendah serta dibagi dalam 3

kelompok yaitu A, B, dan C. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengendalian persediaan barang di Program Vokasi Universitas Indonesia dan mengetahui barang persediaan yang menjadi kelompok A, B, dan C berdasarkan analisis ABC permintaan, investasi, dan indeks kritis. Metode yang digunakan dalam analisis pada penelitian ini adalah Analisis ABC untuk mengetahui gambaran permintaan persediaan barang habis pakai serta nilai investasi yang dikeluarkan untuk persediaan barang habis pakai. Penelitian ini menghasilkan pengendalian yang lebih baik bagi Program Vokasi UI karena memungkinkan perlakuan kontrol selektif pada setiap kelompok persediaan. Analisis ABC membutuhkan data rata-rata pemakaian pertahunnya untuk persediaan yang akan datang tergantung pada permintaan, investasi dan indeks kritis. Selain itu analisis ABC juga dapat mengurangi biaya dengan memprioritaskan perlakuan pada kelompok tertentu dan serta dapat meningkatkan pelayanan. Dengan analisis ABC ini Program Vokasi UI dapat menyediakan jenis persediaan serta jumlah persediaan yang tepat.

Kemudian penelitian Mitchell et al (2014) pengoptimalan pengelompokan *inventory* ABC untuk membuat keputusan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan pendekatan optimisasi baru untuk meningkatkan pengelompokan *inventory* dan kontrol ABC yang ada untuk membantu dalam mengambil keputusan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisis ABC dan Analisis sensitivitas. Dengan metode yang dikembangkan pada penelitian ini berhasil memaksimalkan keuntungan yang didapat dari perusahaan daripada meminimalisir biaya *inventory*, mengoptimalkan tradeoff antara biaya persediaan dan laba, dan secara optimal mengalokasikan anggaran persediaan untuk *stock keeping units* (SKUs). Optimasi model dan solusi pada penelitian ini dapat di aplikasikan pada perusahaan dan organisasi pada berbagai industri seperti manufaktur, distribusi, retail, dan kesehatan.

Penelitian yang dilakukan Lumempouw (2012) mengenai penerapan metode *economic order quantity* (EOQ) pada persediaan bbm. Metode EOQ digunakan untuk mengetahui jumlah pesan pada setiap periode dengan biaya total paling minimum. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan model dan untuk mendesain persediaan solar di PT. Sarana Samudera Pacific Bitung. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *economic order quantity*, di mana metode ini dapat digunakan jika barang yang disimpan hanya satu macam, permintaan, biaya penyimpanan, biaya pemesanan diketahui dan konstan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode

ini peneliti dapat meminimalisir biaya total yang dikeluarkan oleh perusahaan pada pengendalian persediaan.

Kemudian penelitian Ventura & Samuel (2016) Optimalisasi injeksi bahan bakar pada mesin GDI menggunakan *economic order quantity* (EOQ) dan fungsi Lambert W. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kesesuaian EOQ berdasarkan fungsi Lambert W, yang telah berhasil diterapkan untuk persediaan yang mudah rusak, untuk injeksi bahan bakar dan proses pembakaran dalam mesin injeksi arah bensin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model validasi, strategi control, EOQ dan fungsi Lambert W pada EOQ. Dari penelitian ini didapatkan hasil model penguapan, dinding basah dan transfer panas digunakan untuk melihat pengaruh pada bahan bakar. Model-model tersebut telah divalidasi dengan dua model validasi berdasarkan tekanan puncak dan area di bawah kurva tekanan. Dengan menerapkan fungsi Lambert W ke analogi EOQ dan injeksi bahan bakar. Jumlah bahan bakar dapat dioptimalkan dan konsekuensi durasi dapat dihemat.

Penelitian yang dilakukan Bieda (2014) penerapan pendekatan stokastik berdasarkan simulasi Monte Carlo (MC) untuk persediaan siklus hidup (LCI) ke rantai proses baja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyajikan hasil penerapan pendekatan stokastik berdasarkan Monte Carlo (MC) simulasi untuk *life cycle inventory* (LCI) data kompleks Mittal Steel Poland (MSP) di Kraków, Polandia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi MC dari model LCI untuk menggambarkan sifat acak dari semua produk utama yang digunakan dalam penelitian ini, distribusi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah distribusi normal. Penelitian ini membuahkan hasil menggunakan MC dapat digunakan sebagai langkah pertama dalam melakukan analisis LCA penuh dalam industri baja. Pendekatan stokastik adalah metode yang kuat untuk mengukur ketidakpastian parameter dalam studi LCA / LCI dan dapat diterapkan pada industri baja apa pun. Hasil tersebut dapat digunakan untuk membantu praktisi dan pengambil keputusan dalam manajemen produksi baja.

Simulasi Monte Carlo merupakan simulasi yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah dengan memberikan solusi berdasarkan proses randomisasi. Proses random pada simulasi ini melibatkan suatu distribusi probabilitas berdasarkan data masa lalu maupun distribusi probabilitas teoritis. Simulasi Monte Carlo ini dapat diterapkan untuk memprediksi tingkat kehadiran mahasiswa dalam perkuliahan (Hutahaean, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi tingkat kehadiran mahasiswa dalam sebuah perkuliahan. Langkah yang dilakukan dalam menjalankan simulasi ini adalah membuat distribusi probabilitas dari variabel, menghitung distribusi kemungkinan kumulatif untuk variabel, membuat interval dari masing-masing bilangan acak, membuat bilangan acak, dan membuat simulasi rangkaian percobaan. Dalam proses pengolahannya, simulasi ini menggunakan bilangan acak dilihat dari data *history* kehadiran mahasiswa. Dari hasil simulasi dapat diketahui tingkat kehadiran dan ketidakhadiran mahasiswa menggunakan bilangan acak dalam perkuliahan pada minggu ke Sembilan hingga minggu ke dua puluh.

Selanjutnya penelitian Mansera et al (2017) mengenai implementasi dan aplikasi model Monte Carlo untuk sistem termografi dengan perhitungan mikro *in vivo*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model Monte Carlo (MC) dari scanner *micro computed tomography* ( $\mu$ CT) untuk mencari karakteristik radiasi pencar di pesawat detektor. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerangka EGS ++ dengan kode MC EGSnrc digunakan untuk mensimulasikan transportasi partikel melalui komponen utama XtremeCT (SCANCO Medical AG, Swiss). Hasil penelitian ini Model MC diimplementasikan dan divalidasi berdasarkan beberapa perbandingan independen antara nilai transmisi terukur dan simulasi. Hasil validasi menunjukkan bahwa model MC dapat digunakan untuk menyelidiki perilaku radiasi pencar dari proses pembangkitan citra untuk menganalisis karakteristik radiasi pencar untuk  $\mu$ CT scanner.

Berdasarkan kajian yang telah di peroleh, kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian sebelumnya ialah dengan menggunakan metode LCC dengan alat bantu pendekatan metode lain akan mengeluarkan biaya yang lebih sedikit dari biaya aktual mulai dari biaya perencanaan hingga biaya disposal, perhitungan yang digunakan dalam LCC pada penelitian terdahulu memasukan biaya operasional, penggunaan energi, biaya pergantian, dan nilai sisa pada perhitungannya untuk objek bangunan. Sedangkan pada penelitian ini difokuskan pada perhitungan LCC dengan alat bantu metode Monte Carlo untuk mendesain strategi dalam membantu perusahaan mengambil keputusan untuk membuat kebijakan dalam *purchasing* dan *inventory part* mesin kritis berdasarkan biaya terendah. Di mana perbedaan perhitungan LCC meliputi *stoppage loss* dan *purchasing and inventory cost* pada objek mesin gilingan.

## 2.2 Life Cycle Costing

Menurut Hastings (2015) *life cycle costing* (LCC) adalah sebuah metode yang mempelajari tentang estimasi biaya perolehan, pengoperasian, pemeliharaan, dan *disposing* dari sebuah item. LCC digunakan untuk memastikan semua biaya yang relevan teridentifikasi, serta pertimbangan pada perencanaan, akuisisi, dan penganggaran. LCC juga dibutuhkan dalam hal pembuatan keputusan seperti mengakuisisi keputusan dengan mempertimbangkan LCC dari opsi yang berbeda, digunakan untuk merencanakan penentuan operasi dan pemeliharaan serta penganggaran dari sebuah aset, dan untuk penggantian keputusan. Dalam sebuah produksi tidak lupa akan biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi sebuah bahan mentah menjadi bahan jadi. Dalam perhitungan LCC terdapat beberapa unsur biaya yang berhubungan dalam produksi yaitu biaya operasional meliputi biaya tenaga kerja, biaya bahan baku, biaya kegagalan, biaya perbaikan, biaya untuk suku cadang, biaya *downtime*, dan biaya *loss of production*. Kemudian ada biaya perawatan, biaya perawatan ini meliputi biaya pemeliharaan korektif, biaya pemeliharaan preventif, biaya pemeliharaan prediktif, dan ada biaya pemeliharaan *breakdown*. Selanjutnya yang terakhir ada biaya pembuangan. Menurut Cahyo (2016) Rumus LCC yaitu:

$$TC_t = CA_{,t} + Fo_{,t} + Co_{,t} + CM_{,t} + CSL_{,t} + CHR_{,t} + CPI_{,t} - CS_{,t} \quad (1)$$

Di mana:

$CA_{,t}$  = Biaya perolehan pada waktu t.

$Fo_{,t}$  = Biaya operasi tetap pada waktu t.

$Co_{,t}$  = Biaya operasi tahunan pada waktu t.

$CM_{,t}$  = Biaya pemeliharaan pada waktu t.

$CSL_{,t}$  = Kurugian saat pemberhentian pada waktu t.

$CHR_{,t}$  = Biaya penyediaan sumber daya manusia pada waktu t.

$CPI_{,t}$  = Biaya pembelian dan persediaan pada waktu t.

$CS_{,t}$  = Nilai sisa pada waktu t.

Biaya-biaya ini adalah sebagian dari biaya yang akan dihitung menggunakan LCC untuk membantu perusahaan dalam mengambil keputusan yang baik.

### 2.3 Total Cost

Menurut Bustami & Nurlaela (2006) Biaya adalah sumber ekonomis yang digunakan untuk mencapai tujuan yang dikorbankan dalam satuan uang. Dalam mencapai tujuan tertentu misal tujuan produksi. Biaya yang akan dihitung merupakan keseluruhan biaya (total cost) yang terdapat dalam produksi tersebut. Biaya total (total cost) adalah keseluruhan biaya yang terdiri dari biaya tetap total dan biaya variabel total yang dikeluarkan perusahaan, di mana biaya tersebut digunakan untuk menghasilkan suatu produk. Biaya tetap total disini adalah biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi suatu produk di mana jumlah biayanya tidak akan berubah meskipun jumlah produksinya bertambah. Biaya variabel total adalah biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi suatu produk di mana jumlah biayanya berubah sesuai dengan output yang dikeluarkan. Berikut adalah Rumus *total cost*:

$$TC = TFC + TVC \quad (2)$$

Di mana:

$TC$  = Total cost

$TFC$  = Total fix cost

$TVC$  = Total variable cost

Dengan menggunakan *total cost* maka akan didapatkan perhitungan biaya apa saja yang dapat muncul dalam operasi yang di jalankan pada PT Madubaru PG Madukismo.

### 2.4 Maintenance

Menurut Heizer & Barry Render (2001) dalam buku berjudul “*Operations Management*” Pemeliharaan (*Maintenance*) adalah semua aktivitas yang dilakukan dengan tujuan menjaga sistem agar dapat bekerja dengan maksimal baik. Menurut Daryus (2008) tujuan utama dalam pemeliharaan didefinisikan sebagai berikut:

1. Untuk menjaga aset agar mempunyai fungsi yang baik dan memiliki kegunaan dalam jangka panjang.
2. Untuk memastikan bahwa mesin yang digunakan aman dan tidak membahayakan pengguna.



3. Untuk menjamin jika peralatan yang akan digunakan dalam keadaan darurat dapat digunakan sebagaimana mestinya.
4. Untuk menghasilkan profit yang maksimal dari kelancaraan dalam memproduksi suatu barang.

Dalam memelihara suatu mesin, perusahaan memiliki beberapa teknik dalam pemeliharanya. Menurut Daryus (2008) adapun beberapa teknik yang digunakan dalam pemeliharaan mesin:

1. *Preventive Maintenance*

Pemeliharaan yang dilakukan secara berkala atau di rencanakan yang digunakan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin.

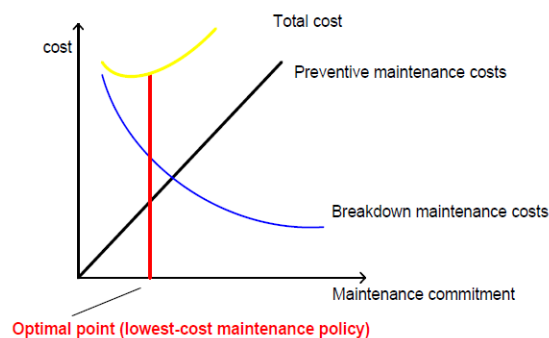
2. *Breakdown Maintenance*

Pemeliharaan yang dikerjakan hanya ketika mesin mengalami kerusakan, dimana dalam perbaikanya harus menyiapkan suku cadang, alat, dan tenaga kerja.

3. *Corrective Maintenance*

Pemeliharaan korektif dilakukan untuk meningkatkan kondisi yang ada pada mesin sehingga mencapai standar yang baik, di mana perbaikan yang dilakukan bisa dengan cara memodifikasi mesin yang sudah ada.

Pemeliharaan memiliki hubungan tersendiri dengan biaya, jika ingin mesin yang digunakan salalu dalam kondisi yang baik saat melakukan produksi, maka perusahaan harus mengeluarkan biaya untuk merawat mesin-mesin tersebut. Menurut Heizer & Barry Render (2001) menjelaskan mengenai hubungan biaya pencegahan dan *breakdown* dengan *total cost*. Berikut adalah Gambar 2.1 hubungan biaya pencegahan dan *breakdown* dengan *total cost*:



Gambar 2.1 **Hubungan PM cost dan BM cost dengan Total Cost**  
(Jay Heizer and Barry Render, (2001))

Dari Gambar 2.1 Hubungan antara *preventive maintenance cost* dan *breakdown maintenance cost* dengan *total cost*. Dari hubungan diatas perusahaan harus membuat kebijakan yang mempertimbangkan antara kedua biaya yang dikeluarkan. Keuntungan yang didapat dari penerapan teknik *preventive maintenance cost* mengurangi kemacetan yang terjadi akan kerusakan mesin karena sering dilakukan pengecekan, di pihak lain penerapan teknik *breakdown maintenance cost* biaya yang akan di keluarkan akan lebih murah karena tidak melakukan pemeliharaan secara berkala akan tetapi jika terjadi kerusakan akan timbul biaya dari kegagalan dan *loss of production*. Dari penjelasan diatas maka akan diperhitungkan biaya yang akan digunakan dalam pemeliharaan dengan pendekatan metode LCC sehingga di dapatkan biaya yang paling murah dengan pertimbangan yang ada.

Menurut Ebeling (2010) biaya pemeliharaan mencerminkan pada biaya saat terjadinya kegagalan pada sistem operasi. Biaya kegagalan dihitung dari banyaknya kegagalan yang terjadi dikalikan dengan jumlah unit yang beroperasi dan biaya per kegagalan. Dari ide itu maka didapat biaya pemeliharaan baru pada LCC yang termasuk biaya pemeliharaan terjadwal dan tidak terjadwal serta biaya akomodasi juga yaitu biaya tetap dan biaya variabel. Berikut adalah rumus biaya pemeliharaan pada LCC baru (Cahyo, 2015):

$$CM = \sum_{r=1} (FSM,r + CSM,r) + \sum_{s=1} (FUM,s + CUM,s) \quad (3)$$

Di mana:

$FSM$  = Biaya tetap pada pemeliharaan terjadwal.

$CSM$  = Total biaya variabel saat pemeliharaan terjadwal berlangsung.

$FUM$  = Biaya tetap pada pemeliharaan tak terjadwal.

$CUM$  = Total biaya variabel saat pemeliharaan tak terjadwal berlangsung.

Rumusan diatas merupakan perhitungan LCC baru untuk menghitung biaya pemeliharaan, di mana ketika terjadi biaya pemeliharaan yang terjadwal maka akan muncul biaya pemeliharaan yang tak terjadwal dikarenakan terjadinya mesin yang rusak secara tiba-tiba, kemudian jika terjadi biaya pemeliharaan yang tak terjadwal maka belum tentu ada biaya pemeliharaan terjadwal karena pemeliharaan secara tidak terjadwal dilakukan hanya saat terjadinya mesin yang rusak saja. Kemudian biaya variabel disini meliputi biaya tenaga kerja yang digunakan saat dilakukan pemeliharaan, kemudian ada biaya pendukung seperti oli dan pelumas saat dilakukan pemeliharaan, serta *transport*

yang digunakan untuk mendatangkan pekerja. Biaya pengadaan *spare part* disini tidak termasuk biaya pemeliharaan karena biaya *spare part* termasuk pada biaya *purchasing and inventory*.

## 2.5 *Stoppage Loss*

*Stoppage Loss* merupakan biaya yang terjadi ketika mesin yang sedang beroperasi berhenti, ketika mesin berhenti karena kegagalan sistem pasti perusahaan akan kehilangan keuntungan dari pemberhentian mesin seperti jika mesin beroperasi selama 24 jam maka produksi perusahaan akan mencapai target yang ditentukan tetapi jika perusahaan mengalami kerusakan mesin maka target yang ditentukan tidak akan tercapai atau produksi perusahaan akan turun, kemudian omzet juga akan turun karena penjualan tidak maksimal. Berikut adalah rumus *Stoppage Loss* (Cahyo, 2015):

$$CSL = nd.FSL + Td.CS \quad (4)$$

Di mana:

$nd$  = Jumlah kejadian berhenti.

$FSL$  = Biaya tetap saat mesin berhenti.

$Td$  = Jumlah waktu gagal unit dalam menit.

$Cs$  = Peluang kerugian saat pemberhentian.

## 2.6 *Purchasing and Inventory Cost*

Menurut Smeltzer & Carr (1997) *strategic purchasing* adalah proses perencanaan, penerapan, evaluasi, dan pengendalian keputusan pembelian strategis dan operasional untuk mengarahkan semua kegiatan fungsi pembelian menuju peluang yang konsisten dengan kemampuan perusahaan untuk mencapai tujuan. Pembelian adalah proses yang dilakukan perusahaan dalam pengadaan suatu barang yang dibutuhkan (Mulyadi, 2001). Pembelian disini digunakan untuk pembelian barang saat itu juga dan menghitung biaya yang dikeluarkan. Sedangkan *Inventory* menurut Ristono (2009) adalah barang dagangan yang disimpan oleh perusahaan untuk keperluan di masa yang akan datang. Persediaan yang ada membuat perusahaan membutuhkan tempat untuk menyimpannya, tempat penyimpanan tersebut disebut sebagai gudang (Lambert, 2001). Menurut Lambert

(2001) Gudang adalah tempat yang digunakan untuk menyimpan barang seperti bahan baku, bahan jadi, dan *part* serta memberikan informasi mengenai kondisi dan status dari item yang disimpan. Dalam menyimpan suatu barang diperlukan biaya untuk merawat barang yang telah di simpan. Biaya yang termasuk dalam *purchasing and inventory* meliputi biaya operasi tetap untuk kegiatan *purchasing and inventory*, biaya *purchasing* dan biaya variabel dalam *inventory*. Berikut adalah rumus biaya *purchasing and inventory* (Cahyo, 2015):

$$CPI = Fi + (np.Cp) + (nc.Ci) + ((ni + nc/365).Cinv) \quad (5)$$

Di mana:

$Fi$  = Biaya tetap *purchasing and inventory*.

$Np$  = Banyaknya pembelian.

$Cp$  = Biaya pembelian.

$Ni$  = Jumlah *inventory* awal.

$Nc$  = Jumlah komponen akan dibeli.

$Ci$  = Biaya komponen akan dibeli.

$Cinv$  = Biaya *inventory*.

Biaya yang termasuk dalam gudang digunakan untuk menghitung LCC dari penyediaan cadangan *part* mesin kritis yang ada pada PT Madubaru PG Madukismo.

## 2.7 Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo atau dikenal sebagai *sampling simulation* adalah metode simulasi probabilistik untuk mencari solusi dari suatu masalah dengan sampling dari proses random. Dalam pengolahannya, simulasi ini menggunakan data *historical*. Menurut Hutahaean (2018) simulasi Monte Carlo merupakan simulasi yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah dengan memberikan solusi berdasarkan proses randomisasi. Proses random pada simulasi ini melibatkan suatu distribusi probabilitas berdasarkan data masa lalu maupun distribusi probabilitas teoritis yang telah dikumpulkan. Simulasi Monte Carlo ini bersifat probabilistik. Dalam penyediaan cadangan *part* simulasi Monte Carlo melihat dari distribusi probabilistik untuk menentukan memprediksi berapa banyak mesin akan mengalami kerusakan sehingga didapatkan jika mesin mengalami kerusakan sebanyak X kali maka persediaan *part* juga

akan disediakan sebanyak  $X$  juga. Adapun metode-metode yang digunakan dalam pengendalian persediaan dalam perusahaan, metode tersebut digunakan pada sistem pengendalian persediaan pada kondisi perusahaan dan kebijakan perusahaan. Metode pengendalian persediaan meliputi *Economic Order Quantity* (EOQ), Analisis ABC, dan yang lainnya. Berikut perbandingan penggunaan metode dalam pengendalian persediaan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Metode untuk Menentukan Persediaan

<b>Keterangan</b>	simulasi Monte Carlo	<i>Economic Order Quantity</i> (EOQ)	Analisis ABC
<b>Kelebihan</b>	<p>Data jenis distribusi probabilitas teoritis untuk memprediksi.</p> <p>Dapat memprediksi untuk beberapa tahun yang akan datang.</p> <p>Menggambarkan sistem nyata.</p>	<p>Data dari tahun sebelumnya untuk memprediksi.</p> <p>dapat mengatasi ketidakpastian dengan <i>safety stock</i>.</p> <p>Mudah diaplikasikan pada proses yang memiliki outpunya standar.</p>	<p>Data dari tahun sebelumnya untuk memprediksi. menyediakan jenis dan jumlah secara akurat. Data kelompok persediaan mulai dari harga yang paling tinggi.</p>
<b>Kekurangan</b>	<p>tidak dapat menentukan ketelitian karena menggunakan bilangan random. model simulasi yang baik membutuhkan waktu yang lama dan mahal.</p>	<p>Pengendalian hanya untuk satu periode.</p> <p>data-data yang digunakan harus konstan.</p> <p>selalu berganti pemasok dengan paradigma untung rugi.</p>	<p>Pengendalian hanya untuk satu periode.</p>

Dilihat pada Tabel 2.1 Perbandingan Metode untuk Menentukan Persediaan. Simulasi Monte Carlo sangat cocok digunakan pada saat ini karena menggunakan distribusi probabilitas digunakan untuk mengetahui umur suatu mesin dan sangat memungkinkan diterapkan pada keadaan perusahaan saat ini. Dengan demikian simulasi ini dapat diproses dengan langkah-langkah yang sesuai. Menurut Laboratory Delsim (2017) langkah-langkah yang digunakan untuk menjalankan simulasi Monte Carlo yaitu:

1. Memformulasikan masalahnya.
2. Pembuatan simulasi Monte Carlo.
3. Pembuatan distribusi untuk variabel
4. Ubah distribusi bersifat probabilistik menjadi probabilistik kumulatif
5. Simulasikan model yang telah di buat.
6. Evaluasi strategi model.
7. Periksa apakah diperlukan adanya pebaikan.
8. Keputusan.
9. Selelai.

Menurut Yamit (1999) Langkah utama dalam penggunaan simulasi Monte Carlo adalah sebagai berikut:

1. Definiskan distribusi probabilitas serta pastikan variabel kunci. Memungkin digunakan distribusi seperti normal, lognormal, eksponensial, dan *Weibull*.
2. Mengubah distribusi frekuensi menjadi distribusi probabilitas kumulatif.
3. Tentukan nilai variabel yang akan digunakan dalam simulasi dari random sampel distribusi probabilitas kumulatif. Caranya adalah dengan menggunakan angka yang terdapat dalam tabel random.

Dalam proses pengolahan simulasi Monte Carlo ini diawali dengan membangun model yang ada pada sistem nyata. Model yang dibangun harus dapat menunjukkan bagaimana berbagai komponen dalam sistem saling berinteraksi sehingga benar-benar menggambarkan perilaku sistem. Pada simulasi ini perhitungan dilakukan menggunakan data distribusi probabilitas teoritis. Distribusi probabilitas teoritis yang digunakan bervariasi mulai dari Distribusi Eksponensial, Distribusi Weibull, Distribusi Normal dan lainnya tergantung dari kurva yang di tunjukkan. Fungsi dari distribusi yang ada berperan dalam perhitungan pada teori keandalan. Keandalan berhubungan erat dengan bagaimana cara pemeliharaan yang dilakukan. Jika pemeliharaan yang diterapkan adalah *preventive miantenance* maka penggunaan distribusi sangat erat kaitanya karena distribusi ini berkutat dengan masalah peluang. Maka dari itu Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, dan Distribusi Normal merupakan distribusi yang digunakan untuk menghitung keadalan.

### 2.7.1 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull adalah distribusi yang sering dipergunakan dalam teori keandalan. Distribusi ini banyak digunakan untuk menghitung umur komponen dilihat dari data kerusakan yang terjadi. Distribusi ini sangat cocok digunakan untuk laju kerusakan yang tidak bisa ditentukan baik itu laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Menurut Ebeling (1997) ada dua parameter yang digunakan dalam perhitungan, yaitu:

$\beta$  Beta = Parameter bentuk (*shape parameter*)

$\theta$  Teta = Parameter skala (*scale parameter*)

Distribusi ini menggunakan parameter  $\beta$  dan  $\theta$  dimana asumsinya  $\beta > 0$ ,  $\theta > 0$ ,  $t > 0$ . Sehingga didapatkan fungsi dsitribusi Weibull. Menurut Tian et al (2011) untuk menghitung sebuah masa hidup suatu mesin digunakan fungsi distribusi kumulatif Weibull sebagai berikut:

$$Pf(t) = 1 - e^{-(t/\lambda)^\beta} \quad (6)$$

Di mana:

$P_f(t)$  = Probabilitas waktu kerusakan pada saat ke t.

$\lambda$  = Masa hidup mesin (hari).

$\beta$  = Parameter bentuk (*shape parameter*).

$e$  =  $\ln \approx 2.7128$ .

$t$  = Jumlah umur hidup distribusi Weibull.

Sehingga untuk menghitung jumlah acak umur hidup suatu mesin. Menurut Cahyo (2015) rumusan yang digunakan untuk menghitung jumlah acak umur hidup distribusi Weibull suatu mesin adalah sebagai berikut:

$$t = \lambda(-\ln(1 - Pf(t)))^{1/\beta} \quad (7)$$

Di mana:

$t$  = Jumlah acak umur hidup distribusi Weibull

$\ln$  =  $e \approx 2.7182$ .

$P_f(t)$  = Probabilitas waktu kerusakan pada saat ke t.

$\lambda$  = Masa hidup mesin (hari).

$\beta$  = Parameter bentuk (*shape parameter*).

Jadi untuk mencari umur hidup sebuah mesin dilakukan perhitungan menggunakan distribusi Weibull seperti rumusan diatas.

### 2.7.2 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial merupakan salah satu distribusi yang menggunakan data kerusakan dalam perhitungan dalam teknik keandalan. Distribusi ini digunakan untuk mencari selisih waktu dalam sebuah peluang. Distribusi ini memiliki sifat acak di mana laju kerusakan konstan terhadap kerusakan dan waktu. Menurut Ebeling (1997) distribusi eksponensial merupakan distribusi yang mudah untuk dianalisis. Dalam perhitungan, distribusi ini menggunakan parameter  $\lambda$ . Parameter  $\lambda$  merupakan rata-rata kerusakan yang terjadi dengan asumsi  $\lambda(t) = \lambda, t \geq 0, \lambda > 0$ , maka didapatkan fungsi distribusi kumulatif eksponensial sebagai berikut:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Di mana:

$F(t)$  = Probabilitas kerusakan mesin

$\lambda$  = Tingkat kegagalan per jam atau siklus

$e$  =  $\ln \approx 2.7128$ .

$t$  = Jumlah acak umur hidup distribusi eksponensial.

Sehingga untuk menghitung jumlah acak umur hidup distribusi eksponensial suatu mesin. Maka nilai  $t$  dihitung sebagai berikut:

$$t = (-\ln(1 - F(t)))/\lambda \quad (9)$$

Di mana:

$t$  = Jumlah acak umur hidup distribusi eksponensial

$\ln$  =  $e \approx 2.7182$ .

$F(t)$  = Probabilitas kerusakan mesin.

$\lambda$  = Tingkat kegagalan per jam atau siklus.

Jadi untuk mencari jumlah umur hidup distribusi eksponensial sebuah mesin dilakukan perhitungan menggunakan distribusi Eksponensial dengan rumusan seperti diatas.