TUGAS AKHIR – TI 184833

PERAMALAN KEBUTUHAN *SPARE PART* UNTUK BARANG DENGAN KARAKTERISTIK *HIGH-USAGE VALUE*, *VITAL*, DAN POLA *LUMPY* DI SEBUAH PERUSAHAAN SEMEN DI INDONESIA

RATNA VIMALA DEVI
NRP. 02411640000078

DOSEN PEMBIMBING:
Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198407062009122007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TUGAS AKHIR – TI 184833

PERAMALAN KEBUTUHAN *SPARE PART* UNTUK BARANG DENGAN KARAKTERISTIK *HIGH-USAGE VALUE*, *VITAL*, DAN POLA *LUMPY* DI SEBUAH PERUSAHAAN SEMEN DI INDONESIA

RATNA VIMALA DEVI
NRP. 02411640000078

Dosen Pembimbing
Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198407062009122007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

FINAL PROJECT – TI 184833

SPARE PART DEMAND FORECASTING FOR PRODUCTS WITH HIGH-USAGE VALUE, VITAL AND LUMPY CHARACTERISTICS IN A CEMENT COMPANY IN INDONESIA

RATNA VIMALA DEVI
NRP. 02411640000078

Supervisor
Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198407062009122007

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL AND SYSTEMS ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

PERAMALAN KEBUTUHAN SPARE PART UNTUK BARANG DENGAN KARAKTERISTIK *HIGH-USAGE VALUE*, VITAL, DAN POLA *LUMPY* DI SEBUAH PERUSAHAAN SEMEN DI INDONESIA

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Progam Studi S1 Departemen Teknik Sistem dan Industri.
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

RATNA VIMALA DEVI
NRP 02411640000078

Disetujui oleh
Dosen Pembimbing

Niniet Indah Arvitrida S.T., M.T.,Ph.D.
NIP. 198407062009122007

SURABAYA, AGUSTUS 2020

PERAMALAN KEBUTUHAN *SPARE PART* UNTUK BARANG DENGAN KARAKTERISTIK *HIGH-USAGE VALUE*, *VITAL*, DAN POLA *LUMPY* DI SEBUAH PERUSAHAAN SEMEN DI INDONESIA

Nama : Ratna Vimala Devi

NRP : 02411640000078

Pembimbing : Niniet Indah Arvitrida S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Spare part merupakan komponen pendukung yang dibutuhkan dalam pemeliharaan mesin dan peralatan yang digunakan. Kelancaran proses produksi bergantung pada ketersediaan *spare part* di gudang. Persediaan *spare part* yang berlebihan dapat menimbulkan biaya persediaan menjadi tinggi, namun kekurangan persediaan *spare part* di gudang dapat menghambat kelancaran proses produksi dan berdampak pada kehilangan profit. Oleh karena itu perlu dilakukan *forecast* (peramalan) kebutuhan *spare part* untuk menghindari terjadinya kelebihan ataupun kekurangan persediaan. Untuk menentukan metode peramalan yang tepat, perlu dilakukan identifikasi karakteristik *spare part* dengan menggunakan konsep yang terdapat pada klasifikasi persediaan. Tugas Akhir ini mengadopsi beberapa teknik analisis berbasis klasifikasi, yaitu analisis ABC-VED, dan analisis ADI-CV. Proses analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi *spare part* yang membutuhkan prioritas manajemen lebih besar serta memiliki pola permintaan *intermittent* atau *lumpy*. Tidak mudah untuk melakukan peramalan pada *spare part* yang memiliki pola permintaan *intermittent* atau *lumpy* dikarenakan pola tersebut memiliki permintaan yang tidak menentu serta adanya *interval* waktu dengan nol permintaan. Peramalan kebutuhan *spare part* dapat dilakukan dengan menggunakan tiga metode, antara lain metode Croston, *Syntetos Boylan Approximation* (SBA), dan *reliability-based design*. Pemilihan metode peramalan berdasarkan tingkat *error* terkecil, semakin kecil tingkat *error* maka hasil peramalan semakin akurat. Berdasarkan hasil perhitungan *error* yang dilakukan, metode yang tepat untuk peramalan kebutuhan *spare part Cylinder Vacuum Pump* adalah menggunakan metode SBA. Sedangkan untuk *spare part Bearing, 6209-2Z, Support, DWG-No. PT-411-M-032, Plate, Slide Plate Valve Assy,* dan *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040* menggunakan model *age replacement*.

Kata kunci: *Spare Part, Forecast, Analisis ABC-VED, Analisis ADI-CV*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SPARE PART DEMAND FORECASTING FOR PRODUCTS WITH HIGH-USAGE VALUE, VITAL, AND LUMPY CHARACTERISTICS IN A CEMENT COMPANY IN INDONESIA

Name : Ratna Vimala Devi

Student ID : 02411640000078

Supervisor : Niniet Indah Arvitrida S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Spare part is one of the supporting components that required in the machines and equipment maintenance. The production process depends on availability spare parts in warehouse. Excessive stock of spare part in warehouse can cause inventory cost become higher, but if occur shortage can hamper the production process which can cause loss of profit. Therefore it is necessary to do forecast the need for spare part to avoid excess or lack inventory. To determine the best forecasting method, it is necessary to identify the characteristics of spare parts by using inventory classification concept. This final project adopts several classification-based analysis techniques, such as ABC-VED analysis, dan ADI-CV analysis. The classification process is used to identify spare parts that require greater management priority and have intermittent or lumpy demand pattern. It is not easy to forecast spare parts that have intermittent or lumpy pattern because that pattern has an uncertain demand and a time interval with zero demand. Forecasting for spare part can be done by using Croston method, *Syntetos Boylan Approximation* (SBA), and *reliability-based design.* Forecast method that chosen is based on smallest error rate, the smaller error rate the more accurate forecasting calculation. Based on the results of calculation error, the best method for *Cylinder Vacuum Pump* is using SBA method. While for *Bearing, 6209-2Z, Support, DWG-No. PT-411-M-032, Plate, Slide Plate Valve Assy,* and *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040* are using age replacement model.

Keywords: *Spare Part, Forecast, ABC-VED Analysis, ADI-CV Analysis*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dengan judul "Peramalan Kebutuhan *Spare Part* untuk Barang dengan Karakteristik *High-Usage Value*, Vital, dan Pola *Lumpy* di Sebuah Perusahaan Semen di Indonesia" dengan lancar. Shalawat serta salam tidak lupa senantiasa penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penelitian Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata-1 (S-1) di Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dalam penyelesaian penelitian Tugas Akhir ini, penulis menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak sebagai berikut:

1. Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, masukan, serta motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.
2. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri dan seluruh Bapak/ Ibu Dosen serta Karyawan Departemen Teknik Sistem dan Industri
3. Bapak Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D., Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D., Ibu Niken Anggraini Savitri, S.T., M.T., dan Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T. selaku dosen penguji baik pada seminar proposal maupun sidang akhir.
4. Seluruh karyawan di perusahaan pengamatan, khusunya Bapak Bayu Pratama Putra, S.Kom. selaku narasumber selama pengambilan data.
5. Orang tua serta keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa, dukungan, serta motivasi kepada penulis sehingga dapat sampai pada tahap ini.
6. Seluruh pihak yang terlibat yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, masukan, serta dukungan kepada penulis selama melakukan penelitian Tugas Akhir.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak sekali kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan tersebut. Dengan sangat terbuka, penulis menerima kritik dan saran yang dapat membangun dan memperbaiki dalam penulisan selanjutnya.

Surabaya, 30 Juli 2020

Ratna Vimala Devi

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 7
1.3 Tujuan Penelitian 7
1.4 Manfaat Penelitian 8
1.5 Ruang Lingkup Peneltian 8
1.5.1 Batasan 8
1.5.2 Asumsi 8
1.6 Sistematika Penulisan 8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 11
2.1 Konsep Manajemen Persediaan *Spare Part* 11
2.2 Metode-Metode Klasifikasi *Spare Parts* 13
2.2.1 Analisis ABC 13
2.2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) 14
2.2.3 Analisis VED 15
2.2.4 Analisis ABC-VED 15
2.2.5 Analisis ADI-CV 16
2.3 Metode Peramalan *Spare Parts* 17

2.3.1 Metode Croston 18
2.3.2 Metode Syntetos-Boylan Approximation 19
2.3.3 Reliability-Based Design 19
2.4 Analisis Tingkat *Error* Peramalan 21
2.5 Penelitian Terdahulu 22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 29
3.1 Tahap Pengumpulan Data 31
3.2 Tahap Pengolahan Data 32
3.2.1 Klasifikasi Spare Part 32
3.2.2 Perhitungan Kebutuhan Spare Part 33
3.2.3 Perhitungan Tingkat Error 34
3.3 Tahap Analisis dan Interpretasi Data 34
3.3.1 Analisis Klasifikasi Spare Part 35
3.3.2 Analisis Metode Peramalan Kebutuhan Spare Part 35
3.3.3 Analisis Perhitungan Tingkat Error 35
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 37
4.1 Data *Spare Part* 37
4.2 Klasifikasi *Spare Part* dengan Analisis ABC 38
4.3 Klasifikasi *Spare Part* dengan Analisis VED 39
4.4 Klasifikasi *Spare Part* dengan Analisis ADI - CV 43
4.5 Penentuan *Spare Part* Terpilih 46
4.6 Perhitungan Peramalan Menggunakan Metode Croston dan SBA 46
4.7 Perhitungan Peramalan Menggunakan Model *Age Replacement* 49
4.7.1 Perhitungan Waktu Antar Penggantian 50
4.7.2 Penentuan Jenis Distribusi 51
4.7.3 Perhitungan MTTF 52

4.7.4 Perhitungan Biaya 53
4.7.5 Perhitungan Interval Penggantian Optimal 57
4.7.6 Perhitungan Kebutuhan Spare Part 58
4.8 Perhitungan Tingkat *Error* 59
BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA 61
5.1 Analisis Klasifikasi *Spare Part* 61
5.1.1 Analisis Klasifikasi ABC 61
5.1.2 Analisis Klasifikasi VED 62
5.1.3 Analisis Klasifikasi ADI-CV 64
5.2 Analisis Metode Peramalan Kebutuhan *Spare Part* 65
5.3 Analisis Perhitungan Tingkat *Error* 67
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN 73
6.1 Kesimpulan 73
6.2 Saran 74
DAFTAR PUSTAKA 75
LAMPIRAN 81
BIOGRAFI PENULIS 101

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Alur Koordinasi PT. X 2
Gambar 1. 2 *Goods Receipt* dan *Goods Issue Spare Part* pada PT. X 3
Gambar 1. 3 Permintaan *Shaft Holder* pada Periode Tahun 2015-2018..... 4
Gambar 2. 1 Matriks ABC-VED 15
Gambar 2. 2 Klasifikasi ADI-CV 17
Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian 29
Gambar 3. 2 Metodologi Penelitian (Lanjutan) 30
Gambar 4. 1 Matriks Penentuan Tingkat Kekritisan..... 39
Gambar 5. 1 Persentase *Spare Part* berdasarkan Kontribusi Nilai 62
Gambar 5. 2 Persentase *Spare Part* berdasarkan Tingkat Kekritisan 63
Gambar 5. 3 Persentase *Spare Part* berdasarkan Pola Permintaan..... 64
Gambar 5. 4 Tingkat *Error Cylinder Vacuum Pump*..... 67
Gambar 5. 5 Tingkat *Error Bearing, 6209-2Z*..... 68
Gambar 5. 6 Tingkat *Error Support, DWG-No. PT-411-M-032* 68
Gambar 5. 7 Tingkat *Error Plate, Slide; Plate Valve Assy*..... 69
Gambar 5. 8 Tingkat *Error Pin, F/Breaker Plate; DWG PT-303-M-040* 70

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi ABC 14
Tabel 2. 2 Gap Penelitian Terdahulu 25
Tabel 2. 3 Gap Penelitian Terdahulu (Lanjutan) 26
Tabel 2. 4 Gap Penelitian Terdahulu (Lanjutan) 27
Tabel 2. 5 Gap Penelitian Terdahulu (Lanjutan) 28
Tabel 3. 1 Kebutuhan Data 31
Tabel 3. 2 Kebutuhan Data (Lanjutan) 32
Tabel 4. 1 Data *Spare Part* 37
Tabel 4. 2 Klasifikasi ABC 38
Tabel 4. 3 Kriteria Penentuan Tingkat Kekritisan *Spare Part* 39
Tabel 4. 4 Kriteria pada Masing-Masing Golongan *Spare Part* 40
Tabel 4. 5 Klasifikasi VED 41
Tabel 4. 6 *Spare Part* Kategori 1 dalam Matriks ABC-VED 41
Tabel 4. 7 *Spare Part* Kategori 1 dalam Matriks ABC-VED (Lanjutan) 42
Tabel 4. 8 *Spare Part* Kategori 1 dalam Matriks ABC-VED (Lanjutan) 43
Tabel 4. 9 Data Penggunaan *Spare Part* 43
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan ADI-CV 44
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Perhitungan ADI-CV (Lanjutan) 45
Tabel 4. 12 *Spare Part* dengan Pola Permintaan *Lumpy* 45
Tabel 4. 13 *Spare Part* dengan Pola Permintaan *Lumpy* (Lanjutan) 46
Tabel 4. 14 *Spare Part* Terpilih 46
Tabel 4. 15 Perhitungan Kebutuhan *Spare Part* dengan Metode Croston pada Material 318-200022 47
Tabel 4. 16 Perhitungan Kebutuhan *Spare Part* dengan Metode Croston pada Material 318-200022 (Lanjutan) 48
Tabel 4. 17 Total Kebutuhan *Spare Part* Menggunakan Metode Croston 48
Tabel 4. 18 Perhitungan Kebutuhan *Spare Part* dengan Metode SBA pada Material 318-200022 49
Tabel 4. 19 Total Kebutuhan *Spare Part* Menggunakan Metode SBA 49
Tabel 4. 20 Waktu Antar Penggantian Masing-Masing *Spare Part* 50

Tabel 4. 21 Waktu Antar Penggantian Masing-Masing *Spare Part* (Lanjutan)....51
Tabel 4. 22 Rekapitulasi Hasil *Running Software* Weibull++6 Material *Cylinder Vacuum Pump*....51
Tabel 4. 23 Rekapitulasi Hasil *Running Software* Weibull++6 Material *Cylinder Vacuum Pump* (Lanjutan)....52
Tabel 4. 24 Penentuan Jenis Distribusi dan Nilai Parameter....52
Tabel 4. 25 Rekapitulasi Perhitungan MTTF....53
Tabel 4. 26 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Tenaga Kerja....54
Tabel 4. 27 Rekapitulasi Harga Masing-Masing *Spare Part*....55
Tabel 4. 28 Rekapitulasi Perhitungan *Preventive Replacement*....56
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Perhitungan *Corrective Replacement*....56
Tabel 4. 30 Nilai Ctp Masing-Masing tp pada *Cylinder Vacuum Pump*....58
Tabel 4. 31 Rekapitulasi Hasil Interval Penggantian Optimal....58
Tabel 4. 32 Kebutuhan *Spare Part*....59
Tabel 4. 33 Perhitungan *Error* pada Masing-Masing Metode....59
Tabel 5. 1 Metode Terpilih Masing-Masing *Spare Part*....70

BAB 1
PENDAHULUAN

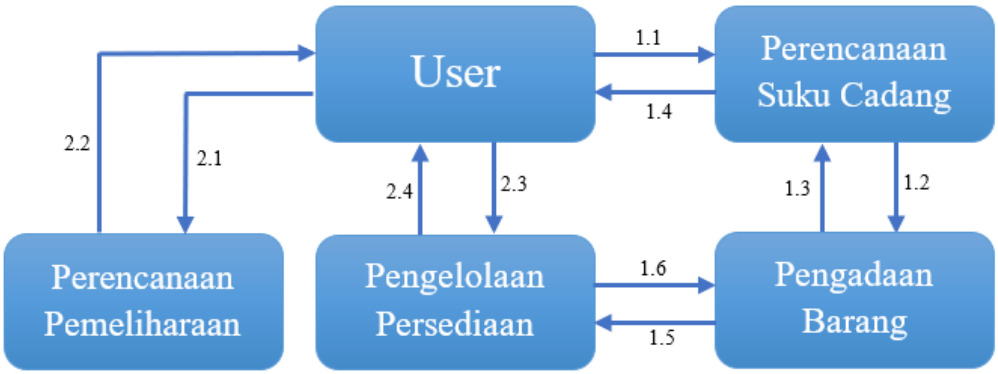
Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian yang dilakukan, rumusan masalah, tujuan penelitian yang dilakukan, manfaat dari penelitian yang dilakukan, ruang lingkup penelitian yang meliputi batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan, serta akan dijelaskan mengenai sistematika penulisan penelitian yang dilakukan.

1.1 Latar Belakang

Kinerja mesin produksi dipengaruhi oleh *spare part* yang menunjang mesin tersebut. Apabila *spare part* dalam mesin mengalami kerusakan, maka mesin tidak dapat bekerja dengan baik yang dapat menyebabkan proses produksi akan terhambat. Ketidaklancaran proses produksi dapat menyebabkan perusahaan mengalami kerugian. Oleh karena itu ketersediaan *spare part* di gudang merupakan faktor penting untuk menunjang kelancaran proses produksi. Berdasarkan hal tersebut, manajemen persediaan *spare part* menjadi salah satu kegiatan yang perlu dilakukan.

Manajemen persediaan *spare part* penting untuk dilakukan dikarenakan persediaan *spare part* di perusahaan setara dengan 5-10% dari total investasi yang dikeluarkan oleh perusahaan (Mehrotra, et al., 2001). Berdasarkan konsep *lean*, material atau bahan baku yang berlebihan dapat dianggap sebagai *waste*. Banyak industri menyadari kerugian memiliki persediaan *spare part* dalam jumlah besar, dimana investasi yang dikeluarkan dalam persediaan *spare part* tersebut, dapat diinvestasikan untuk kebutuhan yang lainnya. Selain itu dengan memiliki persediaan *spare part* yang besar perlu mengeluarkan biaya tambahan lainnya, seperti biaya untuk tempat penyimpanan, kontrol, *handling*, dan lain-lain. Sebaliknya, terdapat juga kerugian apabila perusahaan memiliki persediaan *spare part* yang terlalu sedikit. Apabila persediaan *spare part* lebih sedikit daripada kebutuhan *spare part* sebenarnya, hal tersebut dapat menimbulkan *downtime* pada mesin-mesin produksi, yang dapat menyebabkan kehilangan profit perusahaan (Bailey & Helms, 2007).

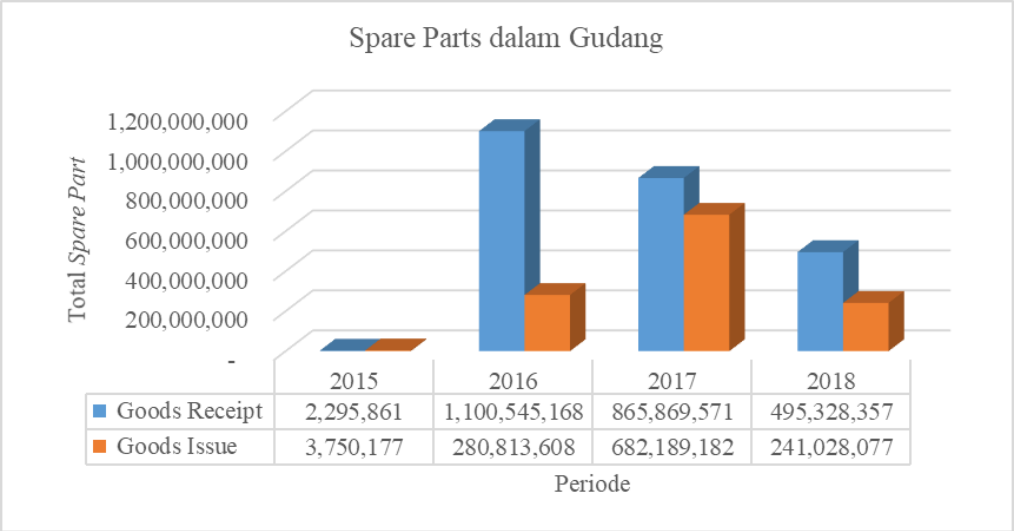
Salah satu perusahaan semen di Indonesia yang berada di Tuban, Jawa Timur, yaitu PT. X, menyadari pentingnya manajemen persediaan *spare part*. Untuk mendukung hal tersebut, perusahaan ini menetapkan alur koordinasi dalam pengelolaan persediaan *spare part* di perusahaan. Kebutuhan *spare part* di-*trigger* dari pihak *user*. Pihak *user* akan mengisi *form* permintaan *spare part* kepada pihak perencanaan suku cadang. Dalam *form* tersebut terdapat jenis dan kuantitas *spare part* yang dipesan oleh pihak *user*. *Form* tersebut nantinya akan diserahkan kepada pihak pengadaan barang. Setelah menerima *form* permintaan *spare part*, pihak pengadaan barang akan berkoordinasi kembali dengan pihak perencanaan suku cadang untuk memastikan apakah *spare part* tersebut telah sesuai dengan permintaan *user*. Pihak perencanaan suku cadang akan kembali berkoordinasi dengan pihak *user* untuk memastikan hal tersebut. Setelah semua sesuai, pihak pengadaan barang akan berkoordinasi dengan pihak pengelolaan persediaan untuk memastikan apakah *spare part* yang dipesan oleh *user* masih terdapat dalam gudang perusahaan. Apabila *spare part* tersebut masih tersedia dalam gudang, kuantitas *spare part* yang nantinya dipesan akan disesuaikan dengan kuantitas yang berada dalam gudang.



Gambar 1. 1 Alur Koordinasi PT. X

Alur koordinasi dalam pengadaan *spare part* memakan waktu yang tidak sebentar. Untuk pemesanan *spare part* dari dalam negeri membutuhkan waktu kurang lebih tiga bulan, sedangkan pemesanan *spare part* dari luar negeri membutuhkan waktu kurang lebih enam bulan. Dikarenakan waktu pemesanan *spare part* yang tidak sebentar, pihak *user* lebih memilih untuk memesan *spare part* dalam jumlah yang besar pada awal periode untuk menghindari risiko kekurangan

spare part pada pertengahan periode pemesanan. Penentuan kuantitas *spare part* yang dipesan oleh *user* tidak berdasarkan perhitungan yang spesifik, hanya berdasarkan data historis. Dikarenakan hal tersebut sering kali PT. X mengalami *deadstock* pada akhir periode dikarenakan masih banyak *spare part* yang tidak digunakan dalam gudang perusahaan. *Deadstock* merupakan suatu kondisi dimana *spare part* yang terdapat dalam gudang tidak digunakan selama satu tahun. *Spare part* yang dianggap *deadstock* masih dapat digunakan kembali pada tahun selanjutnya apabila masih dalam kondisi baik. Tidak jarang pula PT. X mengalami kekurangan persediaan *spare part* dikarenakan pemesanan yang dilakukan oleh *user* terlalu sedikit. Untuk mengatasi permasalahan mengenai kekurangan persediaan *spare part*, PT. X melakukan berbagai kebijakan berupa melakukan pembelian *spare part* dengan menggunakan kas persediaan yang dimiliki oleh pihak perencanaan suku cadang. Dampak yang ditimbulkan dari pemberlakuan kebijakan tersebut adalah meningkatnya biaya yang dikeluarkan untuk pembelian *spare part*. Hal tersebut dikarenakan pembelian *spare part* tidak dilakukan melalui proses *tender*, sehingga harga untuk setiap *spare part*-nya sedikit lebih tinggi.

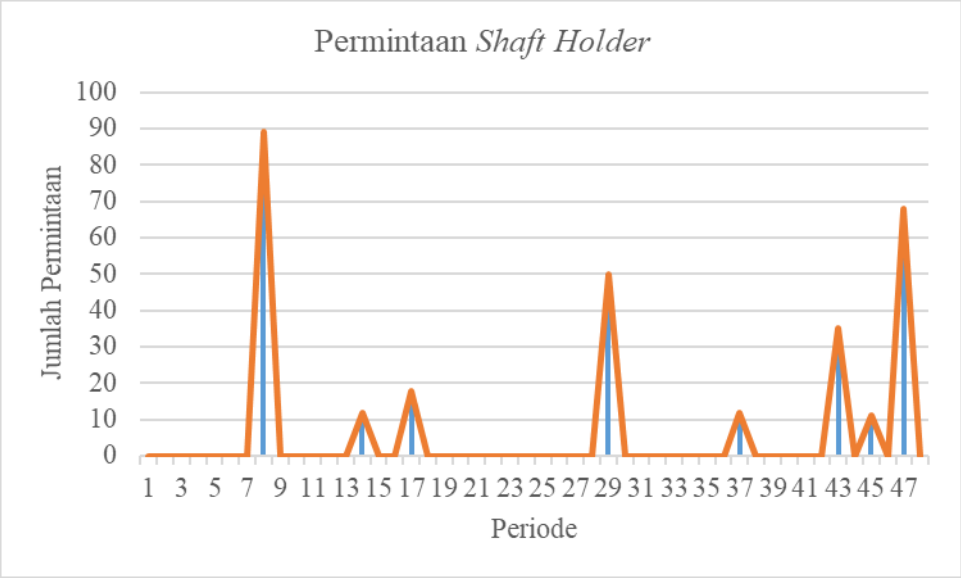


Gambar 1. 2 *Goods Receipt* dan *Goods Issue Spare Part* pada PT. X

Berdasarkan Gambar 1. 2, pada tahun 2016 sampai dengan tahun 2018, lebih banyak *spare part* yang masuk ke gudang (*goods receipt*) daripada *spare part* yang digunakan (*goods issue*). Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya banyak

deadstock pada akhir periode. Pada periode tahun 2015 sampai dengan tahun 2018 total biaya *deadstock* yang dialami mencapai lebih dari 300 juta rupiah. Total biaya *deadstock* yang dialami perusahaan sejak tahun 1993 hingga tahun 2018 dapat mencapai lebih dari 109 miliyar rupiah.

Alasan sering terjadinya *deadstock* pada periode tahun 2015 sampai dengan 2018 dikarenakan pihak *user* tidak mengetahui dengan pasti jumlah kebutuhan *spare part* pada kondisi sebenarnya. Hal itu disebabkan karena adanya ketidakpastian permintaan *spare part* yang menyebabkan permintaan *spare part* menjadi sangat bervariasi.



Gambar 1. 3 Permintaan *Shaft Holder* pada Periode Tahun 2015-2018

Salah satu jenis *spare part* yang digunakan adalah *shaft holder*. Berdasarkan Gambar 1. 3, permintaan *shaft holder* dari bulan pertama hingga bulan terakhir memiliki jumlah yang sangat fluktuatif. Permintaan *spare part* tersebut hanya terjadi pada bulan ke-8 sebesar 89 unit, bulan ke-14 sebesar 12 unit, bulan ke-17 sebesar 18 unit, bulan ke-29 sebesar 50 unit, bulan ke-37 sebesar 12 unit, bulan ke-43 sebesar 35 unit, bulan ke-45 sebesar 11 unit, dan bulan ke-47 sebesar 68 unit. Sedangkan pada bulan-bulan lainnya tidak mengalami permintaan sama sekali.

Adanya ketidakpastian permintaan tersebut menyulitkan pihak *user* dalam menentukan kebutuhan *spare part*. Oleh karena itu diperlukan metode peramalan yang tepat untuk dapat mengetahui jumlah *spare part* yang dibutuhkan. Dalam jurnal "*Forecasting Methods for Spare Parts Demand*" (Matricola, 2009), dilakukan perbandingan untuk masing-masing metode peramalan seperti *exponential smoothing*, Croston, *Syntetos Boylan Approzimation* (SBA), *Bootstrap*, ARIMA, dan *Artificial Neural Network* (ANN). Terdapat kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode tersebut, namun metode Croston dan SBA merupakan metode yang paling sering digunakan untuk pola permintaan yang berselang (Willemain, et al., 2004). Meskipun metode ARIMA juga dapat digunakan untuk pola permintaan berselang, metode ini membutuhkan banyak data untuk mendapatkan hasil peramalan dengan tingkat keakuratan yang tinggi (Fattah, et al., 2018; Saravanan, et al., 2019; Xin, et al., 2015). Apabila data yang dimiliki sangat terbatas, metode *Bootstrap* sangat cocok untuk digunakan, namun sering kali metode ini menghasilkan peramalan yang sangat bias (Matricola, 2009). Sedangkan untuk metode ANN sangat sulit untuk diimplementasikan mengingat metode ini hanya dapat digunakan untuk kasus yang spesifik, tidak untuk kasus secara umum. Namun tingkat keakuratan hasil peramalan dengan menggunakan metode ini dapat dikatakan cukup tinggi (Vargaz & Cortes, 2017). Berdasarkan beberapa kelebihan dan kekurangan pada masing-masing metode peramalan, maka dipilihlah metode Croston dan SBA dalam penelitian ini dikarenakan kedua metode tersebut merupakan metode yang paling sering digunakan untuk pola permintaan *intermittent* atau *lumpy*. Selain itu metode tersebut merupakan metode yang dapat diimplementasikan dengan kondisi perusahaan saat ini.

Selain beberapa metode tersebut, peramalan kebutuhan *spare part* juga dapat dengan mempertimbangkan tingkat keandalan suatu mesin (Manzini, et al., 2009). Dengan mempertimbangkan tingkat keandalan dan tingkat kegagalan suatu mesin, dapat meramalkan kebutuhan *spare part* sampai pada level tertentu (Kontrec & Panic, 2017). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan *spare part* adalah dengan menggunakan model *age replacement*. Model *age replacement* merupakan suatu model dimana interval penggantian komponen

dilakukan dengan memperhitungkan umur komponen tersebut (Jardine & Tsang, 2013).

Sebelum menentukan metode peramalan, perlu dilakukan klasifikasi *spare part* terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristik masing-masing *spare part*. Terdapat tiga metode yang dapat digunakan, antara lain klasifikasi dengan menggunakan analisis ABC, analisis VED, dan analisis ADI-CV. Analisis ABC bertujuan untuk menentukan *spare part* mana yang bernilai tinggi (Scroeder, et al., 2010). Analisis VED bertujuan untuk mengetahui tingkat kekritisan dari suatu *spare part* (Vaisakh & Dileepal, 2013). Selain menggunakan analisis VED, tingkat kekritisan *spare part* juga dapat ditentukan dengan menggunakan FMEA (*failure mode and effects analysis*) (Ashley & Armitage, 2010). Namun FMEA memiliki beberapa kekurangan apabila dibandingan dengan analisis VED, antara lain membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melakukan klasifikasi *spare part* dengan menggunakan metode FMEA (Hassan, et al., 2009) dan metode FMEA dapat menghasilkan klasifikasi yang bias (Franklin, et al., 2012). Berdasarkan hal tersebut, maka dipilihlah analisis VED untuk menentukan tingkat kekritisan *spare part* dikarenakan analisis tersebut lebih mudah untuk diimplementasikan. Penggunaan analisis ABC atau VED secara terpisah dianggap kurang efektif dan efisien dalam penanganan persediaan *spare part*. Oleh karena itu dikembangkan suatu matriks yang mengkombinasikan serta dapat mengakomodasi kedua klasifikasi tersebut. Klasifikasi menggunakan matriks ABC-VED dianggap dapat mencapai hasil yang lebih baik dalam penanganan persediaan (Vaz, et al., 2008; Khurana, et al., 2013; Pund, et al., 2016). Sedangkan dengan analisis ADI-CV dapat memetakan pola permintaan dari *spare part* (Ghobbar & Friend, 2004).

Penelitian ini difokuskan pada *spare part* dengan nilai penggunaan yang tinggi (kelas A), *vital*, dan memiliki pola permintaan *intermittent* atau *lumpy*. *Spare part* yang termasuk dalam kelas A memiliki kontribusi nilai penggunaan yang tinggi, oleh karena itu apabila tidak dilakukan pengelolaan dengan tepat, dapat menimbulkan kerugian untuk perusahaan (Vaz, et al., 2008). Sedangkan untuk *spare part* dengan kategori *vital*, apabila *spare part* tersebut tidak dikelola dengan benar, maka proses produksi dapat terhenti dan berdampak pada kerugian perusahaan. Penelitian difokuskan pada *spare part* dengan pola permintaan

intermittent atau *lumpy* dikarenakan kedua pola permintaan tersebut lebih sulit untuk dilakukan peramalan apabila dibandingkan dengan pola permintaan *erratic* atau *slow moving* (Saravanan, et al., 2019). Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka *spare part* yang terpilih merupakan *spare part* dengan nilai penggunaan yang tinggi, *vital*, dan memiliki pola *intermittent* atau *lumpy*.

Pada penelitian ini, pemilihan metode peramalan penting untuk dilakukan untuk mendapatkan hasil kebutuhan *spare part* yang sesuai. Dari berbagai metode peramalan yang digunakan, perlu menentukan metode mana yang paling cocok diterapkan untuk masing-masing *spare part*. Pemilihan metode yang tepat akan dilihat dari hasil *error* peramalan terendah untuk masing-masing metode peramalan yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan dalam penelitian ini adalah melakukan peramalan untuk menentukan jumlah kebutuhan *spare part* yang memiliki karakteristik nilai penggunaan tinggi, bersifat *vital*, dan memiliki pola permintaan *intermittent* atau *lumpy*. Peramalan permintaan kebutuhan *spare part* akan dilakukan dengan menggunakan tiga metode yang berbeda, antara lain metode Croston, SBA, dan *reliability-based design*. Pemilihan metode peramalan untuk masing-masing *spare part* akan berdasarkan tingkat *error* pada masing-masing metode peramalan.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, berikut ini merupakan tujuan penelitian yang ingin dicapai.

1. Untuk mengidentifikasi karakteristik *spare part* dengan menggunakan pendekatan analisa ABC, VED, dan ADI-CV.
2. Untuk melakukan peramalan kebutuhan *spare part* dengan menggunakan metode Croston, SBA, dan *reliability-based design*.
3. Untuk menentukan metode peramalan yang cocok diterapkan pada klasifikasi *spare part* berdasarkan perhitungan tingkat *error*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian Tugas Akhir ini diharapkan dapat membantu perusahaan dalam menentukan kebutuhan *spare part* dengan pendekatan yang lebih terstruktur dan sistematis, khusunya untuk *item* yang memiliki karakteristik *high-value, vital,* dan pola *lumpy*. Selain itu, penelitian Tugas Akhir ini diharapkan juga dapat menjadi salah satu referensi bermanfaat untuk Tugas Akhir berikutnya.

1.5 Ruang Lingkup Peneltian

Berikut ini merupakan batasan dan asumsi yang digunakan dalam melakukan penelitian.

1.5.1 Batasan

Batasan merupakan upaya untuk membatasi ruang lingkup masalah sehingga penelitian dapat lebih fokus dilakukan. Berikut ini merupakan batasan yang digunakan dalam melakukan penelitian.

1. Peramalan kebutuhan *spare part* berdasarkan data penggunaan *spare part* selama Januari 2018 sampai dengan Desember 2019. Hal tersebut dikarenakan adanya keterbatasan dalam pengambilan data baik data sekunder maupun data primer.
2. Penelitian hanya dilakukan pada *spare part* yang bersifat rutin.

1.5.2 Asumsi

Asumsi merupakan suatu kondisi yang ditetapkan sehingga penelitan yang dilakukan dapat dibatasi. Berikut ini merupakan asumsi yang digunakan dalam melakukan penelitian.

1. Tidak terjadi perubahan biaya-biaya selama periode waktu penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar dapat lebih mudah dipahami, berikut ini merupakan sistematika penulisan yang merupakan kerangka penulisan laporan penelitian.

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada Bab 1 akan berisi mengenai latar belakang permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian, rumusan masalah yang akan diselesaikan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian, manfaat yang akan diperoleh dalam melakukan penelitian, ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 akan berisi mengenai literatur yang relevan dengan permasalahan yang akan dibahas. Beberapa literatur yang dibahas dalam bab ini antara lain mengenai konsep manajemen persediaan *spare part*, metode pengklasifikasian *spare part*, metode peramalan *spare part*, analisis tingkat *error* peramalan, serta akan dijelaskan mengenai penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang saat ini dilaksanakan.

Dalam metode pengklasifikasian *spare part*, terdapat empat metode yang digunakan, antara lain klasifikasi *spare part* berdasarkan nilai atau *value* (analisis ABC), klasifikasi *spare part* berdasarkan tingkat kekritisan (analisis VED), klasifikasi yang mengombinasikan ABC dan VED (analisis ABC-VED), serta klasifikasi *spare part* berdasarkan pola permintaan (analisis ADI-CV). Sedangkan terdapat tiga metode peramalan yang digunakan, yaitu metode Croston, metode *Syntetos Boylan Approximation* (SBA), dan dengan menggunakan *reliability-based design* dimana mengaplikasikan model *age replacement*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 akan berisi mengenai metodologi dalam melakukan penelitian yang akan ditampilkan dalam bentuk diagram alir serta terdapat penjelasan untuk masing-masing tahapan. Terdapat tiga tahap dalam penelitian ini, yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, serta tahap analisis dan interpretasi data.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 akan berisi mengenai pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam menyelesaikan permasalahan. Pengumpulan data yang dilakukan dapat

berupa data primer maupun data sekunder yang didapatkan dari *database* yang dimiliki oleh perusahaan. Data yang telah terkumpul akan diolah untuk menentukan total kebutuhan *spare part*. Terdapat beberapa tahapan dalam pengolahan data, antara lain klasifikasi *spare part* dengan analisis ABC, klasifikasi *spare part* dengan analisis VED, klasifikasi *spare part* dengan analisis ADI-CV, penentuan *spare part* terpilih, perhitungan peramalan menggunakan metode Croston, perhitungan peramalan menggunakan metode SBA, perhitungan peramalan menggunakan metode *age replacement*, serta perhitungan tingkat *error* untuk masing-masing metode peramalan.

BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada Bab 5 akan berisi mengenai analisis terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Dari hasil analisis yang dilakukan dapat memberikan rekomendasi perbaikan dalam peramalan kebutuhan *spare part*.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 6 akan berisi mengenai kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan. Kesimpulan yang diberikan akan menjawab dari tujuan penelitian yang telah ditentukan sebelumnya. Selain itu dalam bab ini juga akan ditampilan saran-saran untuk melakukan penelitian selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berisi teori-teori yang digunakan selama melakukan penelitian, antara lain konsep manajemen persediaan *spare part*, metode klasifikasi *spare part*, metode peramalan *spare part*, serta tingkat *error* peramalan.

2.1 Konsep Manajemen Persediaan *Spare Part*

Spare parts atau suku cadang merupakan persediaan yang umum dimiliki oleh perusahaan dan dibutuhkan dalam pemeliharaan mesin dan peralatan yang digunakan. Menurut penelitian yang telah dilakukan, biaya yang dikeluarkan dalam pengadaan suku cadang berpengaruh terhadap biaya siklus hidup suatu mesin atau peralatan. Mesin atau peralatan yang memiliki umur ekonomis hingga mencapai 30 tahun, setiap tahunnya mengonsumsi suku cadang sebesar 2.5% dari harga pembelian (Tim, et al., 2005).

Menurut Indrajit, et al. (2003) dalam bukunya yang berjudul "Manajemen Persediaan, Barang Umum dan Suku Cadang untuk Pemeliharaan dan Operasi", *spare parts* atau suku cadang didefinisikan sebagai suatu alat yang yang mendukung dalam pengadaan barang untuk keperluan mesin atau peralatan yang digunakan dalam proses produksi. Berdasarkan definisi tersebut, suku cadang memiliki peranan penting dalam berjalannya proses produksi di perusahaan. Menurut penggunaannya, suku cadang dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis (Indrajit & Djokopranoto, 2003), antara lain.

1. Suku cadang habis pakai (*consumable parts*), merupakan suku cadang yang digunakan dalam pemakaian biasa, yaitu yang akan aus dan rusak. Kerusakan suku cadang ini dapat terjadi sewaktu-waktu, oleh karena itu diperlukan pengaturan persediaan yang tepat sehingga dapat selalu tersedia apabila dibutuhkan. Jenis suku cadang ini harus dapat diadakan dalam waktu singkat sehingga tidak mengganggu jalannya mesin atau peralatan.
2. Suku cadang pengganti (*replacement parts*), merupakan jenis suku cadang yang waktu penggantiannya dilakukan ketika *overhaul*, yaitu pada waktu diadakan

perbaikan besar-besaran. Perusahaan akan melakukan penjadwalan untuk melakukan perbaikan tersebut. Selain melakukan penjadwalan, perusahaan juga perlu untuk memperkirakan kebutuhan suku cadang yang perlu dilakukan penggantian. Oleh karena itu, jenis suku cadang ini tidak disimpan dalam persediaan, kecuali untuk mesin atau peralatan yang vital.

3. Suku cadang jaminan (*insurance parts*), merupakan suku cadang yang biasanya tidak pernah rusak, tetapi terdapat kemungkinan untuk rusak, dan apabila mengalami kerusakan dapat menghentikan jalannya operasi dan produksi. Jenis suku cadang ini biasanya memiliki ukuran yang besar, bernilai tinggi, dan membutuhkan waktu yang lama dalam proses pembuatannya.

Sedangkan menurut Botter & Fortuin (2000), *spare part* dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *repairable* dan *consumable*. *Spare part* yang bersifat *repairable* secara teknis dan ekonomis masih dapat diperbaiki sehingga dapat digunakan lebih dari satu kali pemakaian. Sedangkan *consumable spare part* merupakan jenis *spare part* yang secara teknis maupun nilai ekonomis tidak dapat diperbaiki kembali sehingga hanya dapat digunakan untuk satu kali pemakaian.

Ketersediaan *spare part* di gudang mempengaruhi kelancaran berjalannya proses produksi secara umum. Dalam pengadaan *spare part* terdapat *trade-off* antara mengelola persediaan dengan tingkat *service level* yang diterjemahkan kedalam akurasi peramalan, pengelolaan *spare part* tanpa ada hambatan, serta kemampuan analisa yang tinggi (Ghodrati & Kumar, 2014).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi persediaan *spare part*, antara lain persediaan/ stok maksimum, persediaan/stok minimum, standar pemesanan, batas pemesanan kembali atau *reorder point*, serta waktu pengadaan. Persediaan/ stok maksimum adalah batas tertinggi dari tersedianya *spare part* dengan jumlah yang menguntungkan secara ekonomis. Persediaan/ stok minimum merupakan batas terendah dimana batas tersebut merupakan batas aman tersedianya *spare part*. Standar pemesanan adalah jumlah standar *spare part* setiap kali melakukan pemesanan yang mempertimbangkan keuntungan secara ekonomis. Sedangkan *reorder point* merupakan jumlah *spare part* yang dapat dipakai selama waktu pengadaan kembali.

Terdapat beberapa komponen biaya di dalam persediaan *spare part*. Berikut ini merupakan komponen-komponen biaya persediaan *spare part* menurut Vrat (2014).

1. Biaya penyimpanan, merupakan biaya yang dikeluarkan dan berkaitan dengan diadakannya persediaan barang yang timbul akibat menyimpan barang.
2. Biaya pembelian, merupakan biaya yang dikeluarkan untuk membeli persediaan. Biaya ini didapatkan dari *unit cost* dikalikan dengan kuantitas pemesanan.
3. Biaya pemesanan, merupakan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan sehubungan dengan kegiatan pemesanan barang yang berawal dari penempatan pemesanan hingga tersedianya barang tersebut.

2.2 Metode-Metode Klasifikasi *Spare Parts*

Pengendalian persediaan merupakan faktor penting dalam perusahaan yang berfungsi untuk menjaga kelancaran selama proses produksi. Apabila persediaan yang dimiliki perusahaan terlalu besar akan berdampak pada peningkatan biaya penyimpanan dan risiko kerusakan barang. Namun apabila persediaan terlalu sedikit dapat meningkatkan risiko terjadinya kekurangan persediaan (*stock out*) yang dapat menyebabkan terhentinya proses produksi, menurunkan keuntungan yang didapatkan, atau bahkan dapat menyebabkan kehilangan konsumen (Herjanto, 2003).

Langkah yang dapat dilakukan dalam pengendalian persediaan adalah dengan melakukan pengklasifikasian *spare parts.* Setiap *spare part* yang digunakan untuk mendukung proses produksi pasti memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dengan melakukan pengklasifikasian *spare parts* tersebut dapat diketahui perlakuan yang tepat untuk masing-masing klasifikasi.

2.2.1 Analisis ABC

Analisis ABC merupakan metode pengklasifikasian yang menggunakan prinsip pareto atau aturan 80-20, dimana 80% konsekuensi yang muncul disebabkan oleh 20% penyebabnya. Analisis ABC mengklasifikasikan persediaan menjadi tiga kelas berdasarkan besarnya nilai (*value*) yang dihasilkan (Scroeder, et

al., 2010). Berikut ini merupakan pengklasifikasian persediaan berdasarkan analisis ABC.

Tabel 2. 1 Klasifikasi ABC

Kategori	Total Persediaan (%)	Biaya Tahunan (%)
Kelas A	±20	±80
Kelas B	±30	±15
Kelas C	±50	±5

Sumber : (Scroeder, et al., 2010)

2.2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA merupakan salah satu pendekatan sistematis untuk menganalisis keandalan suatu sistem dan penyebab kegagalannya. Dengan mengetahui penyebab dari masing-masing kegagalan, dapat ditentukan *spare part* yang termasuk dalam kategori kritis (Ashley & Armitage, 2010). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan, efek yang ditimbulkan, dan mengidentifikasi aksi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Terdapat tiga faktor yang mempengaruhi dalam metode FMEA yaitu *severity* (tingkat keparahan), *occurrence* (tingkat kejadian), dan *detection* (metode deteksi). *Severity* merupakan penilaian yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan akibat kegagalan yang terjadi. Semakin tinggi nilai *severity*, maka semakin besar dampak yang ditimbulkan. *Occurrence* merupakan frekuensi terjadinya kegagalan selama masa penggunaan produk. Semakin tinggi nilai *occurrence*, semakin sering pula kegagalan tersebut terjadi. Sedangkan *detection* merupakan penilaian yang diberikan terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang terjadi. Semakin rendah nilai *detection* yang diberikan, semakin mudah kegagalan tersebut untuk dideteksi. Pada metode FMEA dihasilkan nilai RPN *(risk priority number*) yang dihitung dengan mengalikan nilai *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). Dari hasil nilai RPN yang didapatkan, dapat dilakukan klasifikasi untuk masing-masing *spare part*.

2.2.3 Analisis VED

Analisis VED bertujuan untuk mengklasifikasikan persediaan berdasarkan tingkat kekritisannya. Secara umum kekritisan *spare parts* dapat ditentukan dari produksi kerugian *downtime*, karena untuk cadangan yang tidak tersedia pada saat diperlukan. Dalam analisis ini, dibedakan menjadi tiga kategori (Vaisakh & Dileepal, 2013), antara lain.

1. *Vital* (V), item yang termasuk dalam ketegori ini apabila tidak tersedia dapat menyebabkan terhentinya proses produksi atau setidaknya menjadi sangat berpengaruh. Sebagian besar suku cadang untuk mesin *bottleneck* merupakan suku cadang yang vital.
2. *Essential* (E), apabila suku cadang yang termasuk dalam kategori ini tidak tersedia, dapat menyebabkan kerugian untuk perusahaan.
3. *Desirable* (D), suatu suku cadang akan diinginkan apabila kehilangan produksi tidak terlalu signifikan karena ketidaktersediaannya.

2.2.4 Analisis ABC-VED

Pengklasifikasian dengan menggunakan analisis ABC dan VED secara *independent*, dianggap kurang efektif dan efisien dalam pengelolaan persediaan (Al-Najjar, et al., 2018). Oleh karena itu sampai saat ini banyak penelitian yang mengombinasikan kedua analisis tersebut (Vaz, et al., 2008; Khurana, et al., 2013; Pund, et al., 2016). Kombinasi kedua analisis tersebut menghasilkan matriks 3 x 3 yang menghasilkan Sembilan sub kelas. Kesembilan kelas tersebut dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu kategori I, II, dan III. Kategori I terdiri dari sub kelas AV, AE, AD, BV, dan CV. Kategori II terdiri dari sub kelas BE, BD, dan CE. Sedangkan kategori III terdiri dari sub kelas CD.

	V	E	D
A	AV	AE	AD
B	BV	BE	BD
C	CV	CE	CD

Gambar 2. 1 Matriks ABC-VED

2.2.5 Analisis ADI-CV

Analisis *Average Demand Interval* (ADI) dan *Coefficient of Variations* (CV) mengklasifikasikan suku cadang berdasarkan pola permintaan berdasarkan interval antar kemunculan permintaan dan keberagaman tingkat permintaan yang muncul (Ghobbar & Friend, 2004). Berdasarkan interval kemunculan permintaan, suatu item dapat diklasifikasikan menjadi *continuous item* dan *intermittent item*. *Continuous item* sering disebut dengan *fast moving item* dan lebih cocok menggunakan kebijakan *continuous review*. Sedangkan *intermittent item* lebih dikenal dengan istilah *slow moving item* dan lebih cocok menggunakan kebijakan *periodic review*. Untuk item yang memiliki pola permintaan *intermittent*, dapat diklasifikasikan kembali menjadi 4 kategori (Ghobbar & Friend, 2004), sebagai berikut.

1. *Slow moving demand* : tidak memiliki variasi yang besar antara kebutuhan dan kuantitas permintaan dari pelanggan.
2. *Intermittent demand* : permintaan dari pelanggan bersifat acak atau terdapat banyak periode tanpa permintaan sama sekali.
3. *Erratic demand* : permintaan dari pelanggan yang bersifat tidak menentu dan ditandai dengan tingginya variasi ukuran permintaan per periode.
4. *Lumpy demand* : permintaan nol secara acak dan dalam jangka waktu yang panjang.

Klasifikasi suku cadang berdasarkan pola penggunaannya dapat dilihat dari hasil perhitungan nilai ADI dimana menunjukkan rentang ukuran permintaan rata-rata pada periode tertentu. Perhitungan nilai ADI dapat dilakukan berdasarkan persamaan berikut (Kurniyah, et al., 2010).

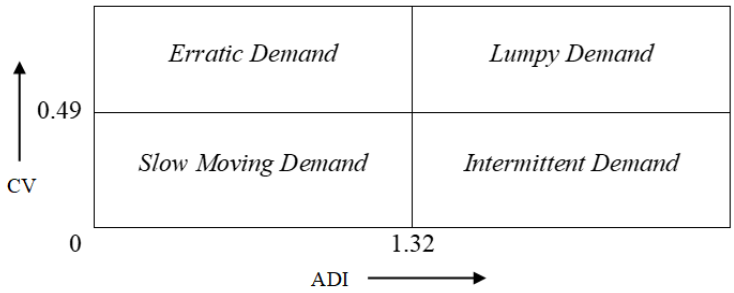
$$ADI = \frac{\sum_{N}^{i=1} t_i}{N} \tag{2.1}$$

Sedangkan untuk menghitung nilai CV, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Kurniyah, et al., 2010).

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(\varepsilon_i - \varepsilon)^2}{N}}}{\varepsilon} \tag{2.2}$$

Nilai ε diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kurniyah, et al., 2010).

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^{N} \varepsilon_i}{N} \quad (2.3)$$



Gambar 2. 2 Klasifikasi ADI-CV

Sumber : (Syntetos & Boylan, 2005)

Dari hasil perhitungan ADI-CV, dapat diketahui klasifikasi untuk masing-masing *spare parts* apakah termasuk ke dalam *erratic demand, lumpy demand, slow moving demand,* ataukah *intermittent demand*. Dengan melakukan pengklasifikasian tersebut dapat mempermudah dalam melakukan pemilihan kebijakan persediaan yang tepat.

2.3 Metode Peramalan *Spare Parts*

Metode yang digunakan dalam peramalan *spare parts* berbeda dengan metode yang digunakan dalam peramalan permintaan suatu produk pada biasanya. Hal itu disebabkan karena permintaan *spare parts* memiliki pola berselang atau permintaannya tidak selalu ada dalam satu tahun, dimana terdapat bulan tertentu yang tidak terdapat permintaan sama sekali. Jenis permintaan berselang tersebut dikenal dikenal pola permintaan yang bersifat *intermittent* atau *lumpy*. Menurut Willemain, et al. (2004), metode peramalan yang cocok diterapkan pada pola permintaan yang bersifat *intermittent* atau *lumpy* adalah dengan menggunakan metode Croston. Selain itu dikenal juga metode *Syntetos Boylan Approximation* (SBA) yang mempertimbangkan faktor estimasi yang didapatkan dari metode Croston. Selain kedua metode tersebut, peramalan kebutuhan *spare part* juga dapat berdasarkan tingkat keandalan dan tingkat kegagalan suatu *spare part* (*reliability-based design*).

2.3.1 Metode Croston

Metode Croston merupakan salah satu metode peramalan yang dikembangkan oleh J.D. Croston pada tahun 1972. Metode ini merupakan pengembangan dari metode *exponential smoothing* namun mempertimbangkan perhitungan jumlah permintaan dan waktu *inter-arrival* antar permintaan (Leven & Segerstedt, 2004). Dalam metode ini membagi data menjadi dua bagian, yaitu *demand size* (permintaan *non-zero*) dan *inter-demand interval* (waktu antar kedatangan permintaan). Dikarenakan dalam metode ini juga mempertimbangkan waktu antar permintaan, metode ini sesuai untuk peramalan yang memiliki pola permintaan *intermittent*.

Dalam metode CR memisahkan besar permintaan yang diperbaharui (z_t) dan interval permintaan (p_t). Apabila dalam periode t, tidak dapat permintaan maka nilai z_t dan p_t pada akhir periode tidak mengalami perubahan. Namun apabila dalam periode t terjadi perubahan permintaan atau ketika dimana $x_t > 0$, maka estimasi akan diperbaharui sebagai berikut.

$$z_t = \begin{cases} z_{t-1}, if\ x_t = 0 \\ \alpha . x_{t-1} + (1-\alpha) z_{t-1}, if\ x_t > 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$q_t = \begin{cases} q_{t-1} + 1, & if\ x_t = 0 \\ 1, if\ x_t > 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$p_t = \begin{cases} p_t, if\ x_t = 0 \\ \alpha . q_{t-1} + (1-\alpha), p_{t-1}, if\ x_t > 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Dimana :

x_t = data aktual permintaan pada periode t

z_t = rata-rata peramalan permintaan pada periode t

p_t = rata-rata interval antara permintaan non-zero pada periode t

α = konstanta *smoothing*, $0 < \alpha < 1$

Untuk menghitung besarnya peramalan permintaan pada periode t, maka dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$F_t = \frac{z_t}{p_t} \quad (2.7)$$

2.3.2 Metode Syntetos-Boylan Approximation

Metode *Syntetos Boylan Approximation* (SBA) pada dasarnya mengacu pada metode Croston dengan menggunakan persamaan dasar dari metode tersebut, namun memiliki persamaan peramalannya yang berbeda. Syntetos dan Boylan menunjukkan bahwa metode Croston yang asli adalah bias. Untuk memperbaiki hal tersebut, maka Syntetos dan Boylan mengurangi metode peramalan Croston dengan faktor estimasi $1 - \frac{\alpha}{2}$. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, maka persamaan untuk menghitung besarnya peramalan permintaan pada periode t adalah sebagai berikut.

$$F_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right).\frac{z_t}{p_t} \tag{2.8}$$

2.3.3 Reliability-Based Design

Reliability atau keandalan merupakan probabilitas sistem akan memiliki kinerja sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan dalam periode waktu tertentu dibawah beberapa kondisi, seperti suhu, beban, arus listrik, dan lain-lain, tanpa mengalami kerusakan (Elsayed, 2012). Dhillon (1997) juga mendefinisikan keandalan sebagai peluang suatu sistem dapat berfungsi normal ketika digunakan dalam periode waktu tertentu dan dalam kondisi operasi spesifik. Salah satu pengukuran yang biasa digunakan untuk menghitung keandalan adalah dengan menggunakan *Mean Time To Failure* (MTTF). MTTF merupakan rata-rata waktu suatu sistem terus beroperasi sampai terjadi kerusakan atau kegagalan untuk pertama kalinya. Berikut ini merupakan persamaan MTTF yang biasa digunakan.

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \tag{2.9}$$

Salah satu model matematis yang dikembangkan oleh Jardin (2013) dalam menentukan kebutuhan *spare part* adalah model *age replacement*. Dalam model ini, penggantian komponen dilakukan bergantung pada umur *spare part* tersebut. Penggantian komponen dilakukan dengan menetapkan interval waktu penggantian berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan sebelumnya apabila terjadi suatu kerusakan. Terdapat dua siklus penggantian pada model *age replacement*, yaitu siklus pertama ditentukan oleh komponen yang telah mencapai umur

penggantian sesuai dengan yang telah direncanakan sebelumnya. Sedangkan siklus kedua ditentukan oleh komponen yang telah mengalami kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang direncanakan sebelumnya.

Tujuan dari model ini adalah untuk menentukan umur penggantian komponen yang optimal untuk meminimasi ekspektasi total biaya penggantian per satuan waktu. Berikut ini merupakan persamaan untuk perhitungan total biaya penggantian per satuan waktu (Jardine & Tsang, 2013).

$$C(t_p) = \frac{C_p x R(t_p) + C_f[1 - R(t_p)]}{[(t_p + T_p) x R(t_p)] + [(M(t_p) + T_f) x (1 - R(t_p))]} \quad (2.10)$$

Dimana :

$C(t_p)$ = total biaya penggantian per satuan waktu

C_p = biaya pada siklus penggantian pencegahan

C_f = biaya pada siklus penggantian akibat kerusakan

T_p = waktu untuk melakukan penggantian pencegahan

t_p = interval waktu penggantian pencegahan

T_f = waktu untuk melakukan penggantian akibat kerusakan

$R(t_p)$ = nilai *reliability* pada periode t_p

$M(t_p)$ = waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan jika penggantian pencegahan dilakukan pada periode t_p

Untuk dapat mengetahui nilai $M(t_p)$, maka diperlukan persamaan sebagai berikut.

$$M(t_p) = \int_{-\infty}^{t_p} \frac{t f(t) dt}{1 - R(t)} \quad (2.11)$$

$$M(t_p) = \int_{-\infty}^{t_p} \frac{\left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t_p-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}}{1 - R(t)} \quad (2.12)$$

Dimana :

$f(t)$ = *probability density function*

Untuk menentukan kebutuhan *spare part* pada periode tertentu berdasarkan interval waktu penggantian optimal, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$EN(T, t_p) = \frac{T}{t_p \, x \, R(t_p) + M(t_p) \, x \, [1 - R(t_p)]} \tag{2.13}$$

Dimana :

$EN(T, t_p)$ = kebutuhan *spare part* pada periode T

T = periode waktu T

2.4 Analisis Tingkat *Error* Peramalan

Dalam metode peramalan tidak pernah lepas dari kesalahan atau *error* dikarenakan tidak ada metode peramalan yang akurat. Dalam menentukan metode peramalan yang tepat, penting untuk memilih metode peramalan yang mendekati akurat dilihat dari perhitungan *error* yang dilakukan (Nasution, 2008). Menurut Gasperz (2008) terdapat lima pengukuran *error* yang dapat digunakan, antara lain *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Forecast Error* (MFE), *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Presentation Error* (MAPE), dan *Cumulative Forecast Error* (CFE). Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan dalam menghitung kesalahan dalam peramalan.

$$MAD = \sum \left| \frac{A_t - F_t}{n} \right| \tag{2.14}$$

$$MSE = \sum \frac{(A_t - F_t)^2}{n} \tag{2.15}$$

$$MFE = \sum \frac{(A_t - F_t)}{n} \tag{2.16}$$

$$MAPE = \left(\frac{100}{n}\right) \sum \left| A_t - \frac{F_t}{A_t} \right| \tag{2.17}$$

$$CFE = \sum_i^n e_i = \sum A_t - F_t \tag{2.18}$$

Dimana:

A_t = data aktual pada periode t

F_t = hasil *forecast* pada periode t

n = jumlah periode

e_i = kesalahan peramalan (*forecast error*)

2.5 Penelitian Terdahulu

Untuk dapat mengetahui perbandingan penilitian yang saat ini dilakukan dengan penelitian terdahulu, maka perlu dilakukan *review* dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berhungan dengan penelitian yang dilakukan saat ini. *Review* penelitian terdahulu terkait dengan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian saat ini.

Untuk melakukan perhitungan kebutuhan *spare part* yang memiliki pola *intermittent* atau *lumpy*, Croston (1972) pada jurnalnya yang berjudul "*Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands"* menemukan metode baru yang mempertimbangkan *interval* pemesanan. Metode ini dikenal dengan nama metode Croston sesuai dengan pencetus persamaannya. Namun pada tahun 2005, Syntetos dan Boylan dalam jurnalnya yang berjudul "*The Accuracy of Intermittent Demand Estimates*" menemukan kesalahan dalam persamaan yang dibuat oleh Croston. Oleh karena itu, dalam jurnal tersebut, Syntetos dan Boylan menyempurnakan persamaan yang telah dibuat oleh Croston sebelumnya.

Hemeimat et al (2015) dalam jurnalnya yang berjudul "*Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis*" menyatakan bahwa peramalan *spare part* merupakan hal yang penting dalam perusahaan. Sering kali peramalan *spare part* dengan pola permintaan *lumpy* atau *intermittent* mengalami kesulitan dikarenakan pola permintaan yang tidak menentu. Peramalan *spare part* dengan pola *intermittent* atau *lumpy* menggunakan metode peramalan tradisional dianggap tidak cocok dikarenakan permintaannya yang bersifat stokastik dan permintaan bernilai nol pada beberapa periode. Untuk dapat menentukan metode peramalan yang tepat dan dapat diterapkan pada perusahaan amatan, yaitu pabrik gula, maka dilakukan beberapa perbandingan hasil metode peramalan. Metode peramalan yang digunakan antara lain *Moving Average* (MA), *Exponential Smoothing* (ES), Croston, *Syntetos Boylan Approximation* (SBA), dan *Teunter-Syntetos-Babai* (TSB). Kelima metode tersebut akan dilakukan perhitungan tingkat *error* menggunakan tiga parameter yaitu *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean*

Squared Error (MSE), dan *Mean Error* (ME). Fokus dari penelitian ini adalah untuk menentukan metode peramalan terbaik berdasarkan tingkat *error* yang terendah.

Kontrec dan Panic (2017) dalam jurnalnya yang berjudul "*Spare Parts Forecasting Based on Reliability"* menyatakan bahwa peramalan kebutuhan *spare part* tidak dapat menggunakan metode peramalan pada umumnya. Perhitungan kebutuhan jumlah *spare part* dapat dilakukan dengan menganalisis tingkat keandalan dan tingkat kerusakan dari suatu mesin. Penentuan metode dalam *reliability-based* ini tergantung pada data ketersediaan dari mesin. Persamaan perhitungan peramalan tergantung dari jenis distribusi data. Dengan melakukan perhitungan berdasarkan tingkat keandalan dan tingkat kerusakan, dapat mengurangi biaya, meminimasi kekurangan *spare part* di gudang, dan menghindari terjadinya keterlambatan akibat tidak tersedianya *spare part* di gudang.

Dalam jurnal "*Automobile Spare Parts Forecasting: A Comparative Study of Time Series Method*" (Vargaz & Cortes, 2017), peramalan kebutuhan *spare part* menggunakan tiga metode yang berbeda, yaitu metode klasik, metode ARIMA, dan ANN. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memilih metode terbaik berdasarkan nilai MSE yang terendah. Metode klasik lebih cocok digunakan untuk pola permintaan yang *smooth*. Apabila metode ini digunakan untuk pola permintaan yang *intermittent*, akan menghasilkan peramalan yang bias. Metode ARIMA dapat digunakan untuk pola permintaan yang bersifat *erratic* atau *intermittent*, namun metode ini memiliki kekurangan yaitu membutuhkan data yang tidak sedikit untuk mendapatkan hasil peramalan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Sedangkan untuk metode ANN memiliki beberapa kekurangan, antara lain metode ini tidak berdasarkan pada model matematis, membutuhkan data historis yang tidak sedikit, serta sulit untuk diimplementasikan. Namun hasil peramalan menggunakan metode ANN dianggap memiliki tingkat keakuratan yang tinggi.

Dalam *thesis* "*Forecasting Methods for Spare Parts Demand*" (Matricola, 2009), dilakukan perbandingan pada berbagai jenis metode peramalan, antara lain *single exponential smoothing*, Croston, SBA, Bootstrap, ARIMA, serta ANN. Apabila data yang dimiliki sangat terbatas, metode Bootstrap merupakan metode yang cocok digunakan, namun terkadang metode ini memberikan hasil peramalan

yang bias. Metode Croston dan SBA merupakan metode yang cocok digunakan untuk pola permintaan yang bersifat *intermittent* atau *lumpy*.

Baart (2014) dalam jurnalnya yang berjudul "*Forecasting Spare Part Demand Using Information about Future Maintenance Sessions*" mengenalkan metode *two step method*, dimana metode tersebut mempertimbangkan faktor *maintenance* dalam perhitungannya. Namun metode tersebut tidak memberikan tingkat keakuratan yang tinggi.

Tabel 2. 2 Gap Penelitian Terdahulu

Judul Penelitian	**Penulis dan Tahun**	**Tujuan**	**Metode**									
			Klasifikasi ABC	**Klasifikasi VED**	**Klasifikasi ADI-CV**	**Metode Croston**	**Metode SBA**	**Metode TSB**	***Reliability-Based***	**ANN**	**ARIMA**	**Bootstrap**
Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands	(Croston, 1972)	Menentukan kebutuhan *spare part* dengan metode Croston				✓						
The Accuracy of Intermittent Demand Estimates	(Syntetos & Boylan, 2005)	Menyempurnakan metode Croston					✓					
Lumpy Demand Forecasting Using Neural Network	(Gutierrez, et al., 2008)	Membandingkan metode peramalan tradisional dengan metode ANN				✓	✓			✓		
Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis	(Hemeimat, et al., 2016)	Menentukan metode peramalan berdasarkan tingkat *error*				✓	✓	✓				
Spare Parts Forecasting Based on Reliability	(Kontrec & Panic, 2017)	Menghitung kebutuhan *spare part* berdasarkan tingkat keandalan mesin							✓			

Tabel 2. 3 Gap Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Tujuan	Metode									
			Klasifikasi ABC	Klasifikasi VED	Klasifikasi ADI-CV	Metode Croston	Metode SBA	Metode TSB	*Reliability-Based Design*	ANN	ARIMA	Bootstrap
Automobile Spare-Parts Forecasting : A Comparative Study of Time Series Methods	(Vargaz & Cortes, 2017)	Memilih metode terbaik berdasarkan nilai MSE yang paling rendah.								✓	✓	
Forecasting Methods for Spare Parts Demand	(Matricola, 2009)	Membandingkan macam-macam metode peramalan pada *spare parts.*				✓	✓			✓	✓	✓
Lumpy Demand Forecasting Using Neural Network	(Gutierrez, et al., 2008)	Membandingkan metode tradisional dengan metode ANN					✓			✓		
Aircraft Spareparts Demand Forecasting based on Multiple ARIMA Model	(Xin, et al., 2015)	Menentukan kebutuhan *sparepart* dengan menggunakan metode ARIMA									✓	
Forecasting Techniques for Sales of Spare Part	(Saravanan, et al., 2019)	Menentukan kebutuhan *sparepart* dengan menggunakan metode ARIMA									✓	

Tabel 2. 4 Gap Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

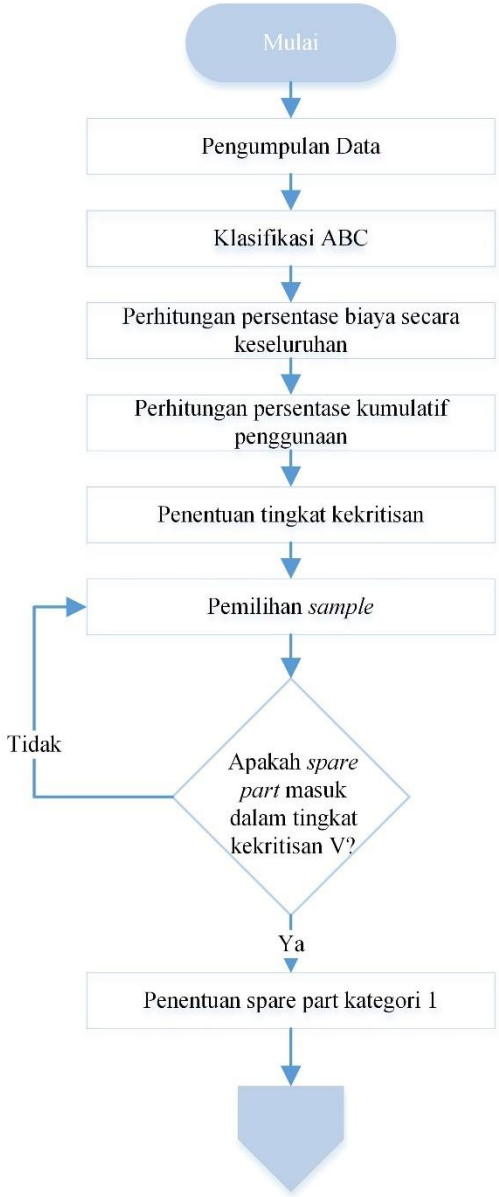
Judul Penelitian	**Penulis dan Tahun**	**Tujuan**	**Metode**									
			Klasifikasi ABC	**Klasifikasi VED**	**Klasifikasi ADI-CV**	**Metode Croston**	**Metode SBA**	**Metode TSB**	***Reliability-Based Design***	**ANN**	**ARIMA**	**Bootstrap**
Forecasting of Demand Using ARIMA Model	(Fattah, et al., 2018)	Melakukan peramalan permintaan dengan metode ARIMA									✓	
Spare Parts Demand Forecasting : A Review on Bootstrapping Methods	(Hasni, et al., 2019)	Mengenal metode Bootstrap										✓
Forecasting Spare Parts Demand Using Information about Future Maintenance Sessions	(Baart, 2014)	Mencari metode peramalan terbaik dengan memperhatikan tingkat *error* dari masing-masing metode				✓	✓	✓				

Tabel 2. 5 Gap Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

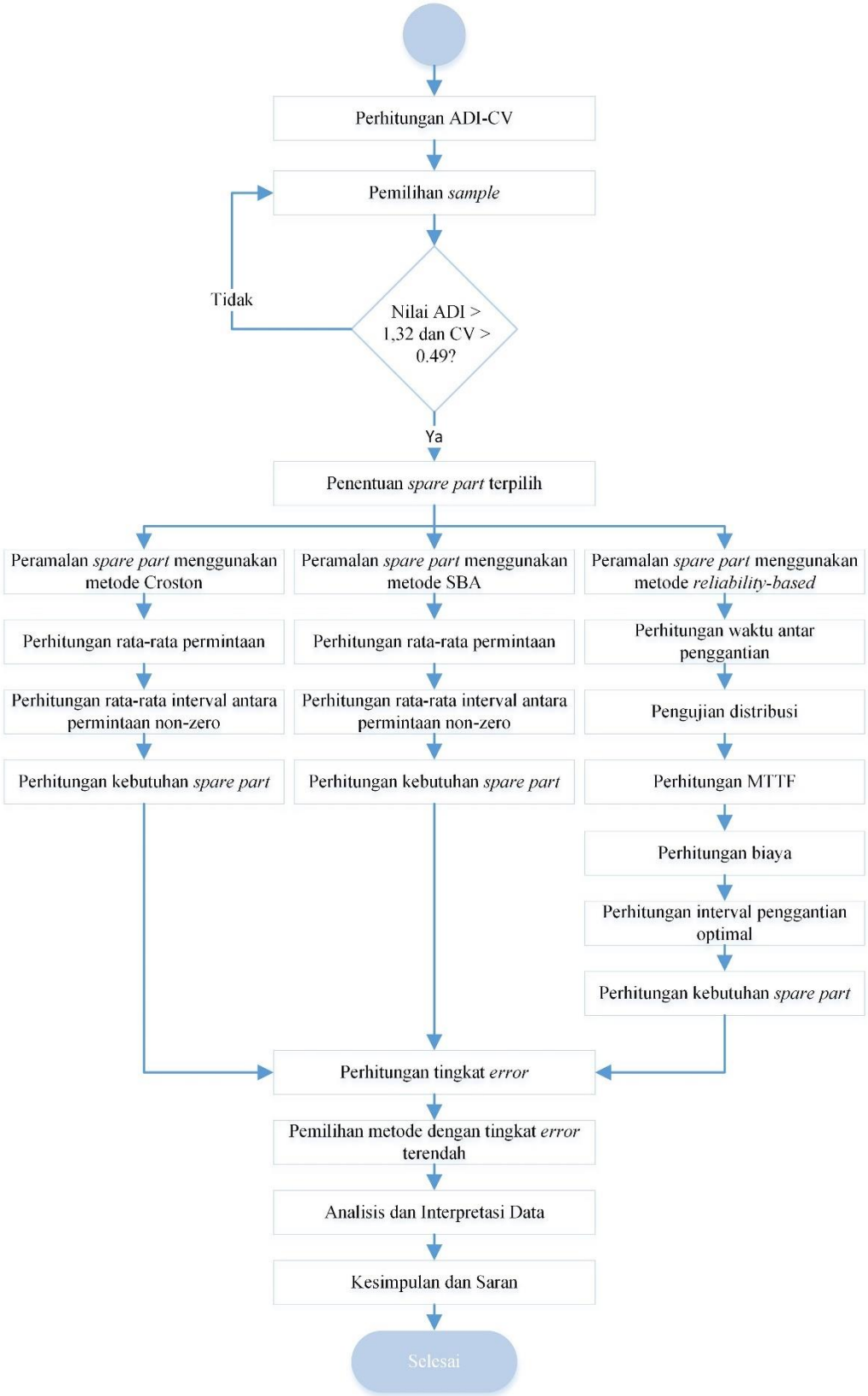
Judul Penelitian	**Penulis dan Tahun**	**Tujuan**	**Metode**									
			Klasifikasi ABC	**Klasifikasi VED**	**Klasifikasi ADI-CV**	**Metode Croston**	**Metode SBA**	**Metode TSB**	***Reliability-Based Design***	**ANN**	**ARIMA**	**Bootstrap**
Improved Forecasts for Uncertain and Unpredictable Spare Parts Demand in Business Aircraft with Bootstrap Method	(Mobarakeh, et al., 2017)	Peramalan dengan menggunakan metode Bootstrap										✓
Peramalan Kebutuhan *Spare Part* pada Sebuah Perusahaan Semen di Indonesia	(Penulis, 2020)	Menentukan metode peramalan yang tepat berdasarkan *usage value*, tingkat kekritisan, dan pola permintaan.	✓	✓	✓	✓	✓		✓			

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi atau alur selama melakukan penelitian. Secara garis besar terdapat tiga tahapan dalam pengerjaan Tugas Akhir, yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, serta tahap analisis dan interpretasi data. Berikut ini merupakan alur metodologi dalam melakukan penelitian.



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian



Gambar 3. 2 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.1 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan beberapa data yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang terjadi. Data yang digunakan merupakan data yang didapatkan dari pengamatan langsung maupun data historis yang dimiliki oleh perusahaan. Berikut ini merupakan data-data yang diperlukan dalam perhitungan selanjutnya.

1. Nama *spare parts* yang digunakan oleh perusahaan.
2. Data harian penggunaan *spare parts* selama Januari 2018 sampai dengan Desember 2019.
3. Data harian kerusakan mesin dan *spare parts* selama Januari 2018 sampai dengan Desember 2019.
4. Data harian interval penggantian *spare parts* selama Januari 2018 sampai dengan Desember 2019.
5. *Lead time* pengadaan *spare parts*.
6. Data komponen biaya perawatan yang meliputi biaya pembelian, biaya tenaga kerja dan biaya perbaikan.

Data-data tersebut akan digunakan dalam penentuan klasifikasi *spare part* maupun dalam perhitungan peramalan untuk masing-masing metode. Berikut ini merupakan masing-masing data yang dibutuhkan dalam klasifikasi dan perhitungan peramalan *spare part*.

Tabel 3. 1 Kebutuhan Data

		Kebutuhan Data
Klasifikasi *Spare Part*		• Biaya pembelian *spare part* • Data penggunaan *spare part*
Perhitungan Peramalan	Metode Croston	• Data penggunaan *spare part* (data permintaan dan interval waktu pemesanan)
	Metode SBA	• Data penggunaan *spare part* (data permintaan dan interval waktu pemesanan)

Tabel 3. 2 Kebutuhan Data (Lanjutan)

		Kebutuhan Data
Perhitungan Peramalan	*Reliability-Based Design*	• Data kerusakan mesin dan *spare part* • Data interval penggantian *spare part* • Biaya tenaga kerja • Biaya perbaikan • *Lead time* pengadaan *spare part*

3.2 Tahap Pengolahan Data

Terdapat beberapa tahapan pengerjaan dalam sub bab ini, antara lain tahapan klasifikasi *spare part*, perhitungan kebutuhan *spare part* dengan tiga metode, serta perhitungan tingkat *error* untuk masing-masing metode.

3.2.1 Klasifikasi Spare Part

Dalam menentukan klasifikasi *spare part*, terdapat empat tahapan yang dilakukan, antara lain melakukan analisis ABC, melakukan analisis VED, melakukan analisis ABC-VED, serta melakukan analisis ADI-CV. Tujuan dari melakukan klasifikasi *spare part* adalah untuk menentukan *spare part* yang akan dilakukan perhitungan selanjutnya.

Tahapan pertama adalah melakukan analisis ABC, dimana analisis ini bertujuan untuk mengetahui kontribusi nilai masing-masing *spare part*. Langkah pertama dalam analisis ini adalah melakukan perhitungan persentase biaya pada masing-masing *spare part* terhadap keseluruhan. Setelah mengetahui persentase biaya, dilakukan perhitungan persentase kumulatif penggunaan *spare part*. Dari hasil perhitungan persentase kumulatif tersebut, akan didapatkan kelas yang sesuai untuk masing-masing *spare part*.

Tahapan kedua adalah dengan melakukan analisis VED, dimana analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekritisan dari suatu *spare part*. Dalam analisis ini dibutuhkan pendapat pihak perusahaan untuk mengetahui kategori masing-masing *spare part*.

Tahapan ketiga yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis ABC-VED, dimana analisis ini mengombinasikan analisis ABC dan VED. Fokus dalam penelitian ini adalah untuk memprioritaskan *spare part* yang termasuk ke dalam

kategori 1 (AV, BV, CV, AE, dan AD). *Spare part* yang termasuk ke dalam kategori 1, nantinya akan menjadi data dalam perhitungan tahap selanjutnya.

Tahapan terakhir yang dilakukan adalah dengan melakukan analisis ADI-CV, dimana analisis ini bertujuan untuk mengetahui pola permintaan dari *spare part*. Dalam penelitian ini hanya berfokus kepada *spare part* yang memiliki pola *intermittent* atau *lumpy*. Akan dipilih lima *spare part* yang memiliki tingkat penggunaan yang tinggi (kelas A), termasuk dalam kategori vital, dan memiliki pola permintaan *lumpy* atau *intermittent*.

3.2.2 Perhitungan Kebutuhan Spare Part

Terdapat tiga metode yang digunakan dalam menentukan kebutuhan *spare part*, yaitu metode Croston, *Syntetos Boylan Approximation* (SBA), serta *reliability-based design* dimana menggunakan model *age replacement*.

Peramalan dengan metode Croston diperkenalkan pertama kali oleh J.D. Croston pada tahun 1972. Dalam jurnalnya yang berjudul "*Inventory Control with Modified Procedure and Erlang Distribution*", Leven dan Segerstedt menyatakan alasan penggunaan metode Croston dalam peramalan *spare part* dikarenakan metode tersebut mempertimbangkan perhitungan jumlah permintaan dan waktu - *inter-arrival* antar permintaan. Pada tahapan perhitungan peramalan dengan metode Croston, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan perhitungan besar permintaan pada periode t (Z_t). Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan interval permintaan (p_t). Setelah didapatkan kedua nilai tersebut, dapat dilakukan peramalan permintaan untuk periode selanjutnya. Perhitungan peramalan dengan metode Croston dapat dilakukan dengan persamaan (2.7).

Sedangkan perhitungan dengan metode SBA diadopsi dari *Syntetos* dan *Boylan* dalam jurnalnya yang berjudul "*The Accuracy of Intermittent Demand*". Perhitungan peramalan permintaan dengan metode SBA memiliki langkah yang hampir mirip dengan metode Croston, namun yang membedakan kedua perhitungan tersebut adalah faktor estimasi yang digunakan. Dalam metode SBA faktor estimasi yang digunakan dalam perhitungan adalah $1 - \frac{\alpha}{2}$. Sehingga perhitungan peramalan dengan metode SBA dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (2.8).

Untuk perhitungan kebutuhan *spare part* berdasarkan *reliability-based design*, terdapat enam Langkah yang dilakukan. Langkah pertama adalah menghitung waktu antar penggantian untuk *spare part*. Langkah kedua adalah melakukan pengujian distribusi untuk masing-masing *spare part* terpilih dengan menggunakan *software* Weibull. Dengan menggunakan *software* ini, dapat menentukan jenis distribusi yang sesuai dengan data serta mengetahui nilai parameter-parameter yang dibutuhkan. Nilai parameter tersebut yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Setelah penentuan jenis distribusi, maka dapat dilakukan perhitungan MTTF untuk masing-masing distribusi dan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan biaya. Terdapat lima komponen dalam perhitungan biaya, antara lain biaya tenaga kerja, biaya *lost production*, biaya *spare part*, biaya *preventive,* serta biaya *corrective*. Biaya tenaga kerja, *lost production*, dan biaya *spare part* merupakan *input* dalam perhitungan biaya *preventive* dan biaya *corrective*. Sedangkan biaya *preventive* dan *corrective* merupakan *input* dalam perhitungan interval penggantian optimal. Perhitungan interval penggantian optimal dilakukan berdasarkan ekspektasi total biaya penggantian minimum dan dilakukan dengan menggunakan *software* Mathcad. Langkah terakhir dalam metode ini adalah menghitung kebutuhan *spare part* berdasarkan tingkat keandalan dan tingkat kerusakan mesin.

3.2.3 Perhitungan Tingkat Error

Untuk dapat mengetahui tingkat keakuratan dari sebuah metode peramalan, perlu dilakukan pengujian tingkat *error* antara hasil peramalan dengan kondisi yang sebenarnya. Perhitungan tingkat *error* pada metode Croston, SBA, dan *reliability-based design* menggunakan dua pengukuran, yaitu MAD dan MSE. Semakin rendah nilai *error*, maka metode peramalan semakin akurat. Perhitungan MAD berdasarkan persamaan (2.14) dan untuk perhitungan MSE akan berdasarkan persamaan (2.15).

3.3 Tahap Analisis dan Interpretasi Data

Secara garis besar terdapat tiga analisis yang akan dibahas dalam tahap ini, antara lain analisis penentuan *spare part*, analisis perhitungan peramalan dengan

tiga metode, serta analisis perhitungan *error* untuk masing-masing metode peramalan.

3.3.1 Analisis Klasifikasi Spare Part

Pada tahap ini akan dilakukan analisis untuk tiga klasifikasi yang dilakukan. Klasifikasi yang dilakukan antara lain klasifikasi ABC, VED, dan ADI-CV. Tujuan dilakukannya pengklasifikasian ini adalah untuk menentukan karakteristik dari masing-masing *spare part*, sehingga dapat memudahkan dalam melakukan peramalan. Hasil dari ketiga klasifikasi yang dilakukan dapat menentukan *spare part* terpilih yang akan dilakukan perhitungan selanjutnya.

3.3.2 Analisis Metode Peramalan Kebutuhan Spare Part

Pada tahapan ini akan dilakukan analisis hasil perbandingan hasil perhitungan peramalan kebutuhan *spare part* dengan metode Croston, SBA, dan *reliability-based design*. Pada tahap ini akan dijelaskan perbedaan hasil ketiga metode peramalan yang digunakan.

3.3.3 Analisis Perhitungan Tingkat Error

Pada tahapan ini akan dilakukan analisis metode mana yang memiliki tingkat *error* paling rendah. Semakin rendah hasil perhitungan tingkat *error*, maka hasil peramalan semakin akurat. Analisis dapat dilakukan dengan menampilkan grafik mengenai perbandingan tingkat *error* pada masing-masing metode peramalan untuk setiap *spare part* yang diamati. Hasil perhitungan tingkat *error* masing-masing metode akan di-*plotting* dalam satu grafik untuk lebih memudahkan dalam menentukan metode peramalan yang digunakan dengan tingkat *error* terendah. Pada sumbu X akan ditampilkan metode peramalan yang digunakan, yaitu Croston, SBA, dan *reliability-based design*. Sedangkan pada sumbu Y akan ditampilkan mengenai hasil dari perhitungan tingkat *error* dari masing-masing metode. Akan terdapat dua persamaan dikarenakan menggunakan dua pengukuran tingkat *error,* yaitu MSE dan MAD.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini akan ditampilkan mengenai data-data yang diperlukan dalam perhitungan serta akan dilakukan pengolahan data sesuai dengan metodologi yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.1 Data *Spare Part*

Dalam perusahaan ini terdapat kurang lebih 1240 *spare part* yang digunakan untuk menunjang keberlangsungan proses produksi. Berikut ini merupakan data *spare part* yang digunakan pada periode Januari 2018 sampai dengan Desember 2019.

Tabel 4. 1 Data *Spare Part*

No.	Material	Deskripsi Material
1.	116-200001	BALL, GRINDING; 90MM
2.	116-200003	BALL, GRINDING; 20MM
3.	116-200004	BALL, GRINDING; 17MM
4.	116-200005	BALL, GRINDING; 80MM
5.	116-200006	BALL, GRINDING; 70MM
6.	116-200007	BALL, GRINDING; 40MM
7.	116-200008	BALL, GRINDING; 25MM
8.	116-200009	BALL, GRINDING; 50MM
9.	117-200299	ANCHOR, DOUBLE Y; 12MMX350MM; SUS-310
10.	117-200305	ANCHOR, DOUBLE Y; 12MMX650MM; SUS-310
11.	117-200312	ANCHOR, SINGLE Y; 12MMX200MM; SUS-310
12.	117-200314	ANCHOR, SINGLE Y; 12MMX350MM; SUS-310
…	…	…
…	…	…
…	…	…
1236.	636-200085	FILTER, AIR ELEMENT; PN.88290003-111
1237.	636-200086	FILTER, ELEMENT; PN.250034-122
1238.	636-200089	FILTER, AIR; P/N.10023440/3
1239.	636-200090	FILTER, AIR; P/N.100354-FG6
1240.	636-200091	FILTER, AIR; P/N.1001450

4.2 Klasifikasi *Spare Part* dengan Analisis ABC

Pada sub bab ini akan dilakukan klasifikasi *spare part* menggunakan analisis ABC. *Spare part* akan diklasifikasikan menjadi tiga kelas, yaitu kelas A dimana memberikan kontribusi nilai sebesar 80%, kelas B yang memberikan kontribusi nilai sebesar 15%, dan kelas C yang memberikan kontribusi nilai sebesar 5%. Berikut ini merupakan hasil dari klasifikasi ABC terhadap *spare part* secara keseluruhan.

Tabel 4. 2 Klasifikasi ABC

No.	Material	*Unit Cost*	Total	*Total Value*	% Biaya	% Kumulatif	Kelas
1	116-200006	Rp 304,790.94	14259	Rp 4,346,013,971.00	4.097%	4.097%	A
2	201-200054	Rp 289,368.33	9540	Rp 2,760,573,864.00	2.603%	6.700%	A
3	608-200168	Rp 1,920,032.96	1144	Rp 2,196,517,711.00	2.071%	8.771%	A
4	116-200009	Rp 2,196,040.35	891	Rp 1,956,671,950.00	1.845%	10.616%	A
5	201-200053	Rp 215,736.61	8816	Rp 1,901,933,958.00	1.793%	12.409%	A
…	…	…	…	…	…	…	A
219	628-200602	Rp 196,440.75	544	Rp 106,863,767.00	0.101%	80.012%	B
220	616-201122	Rp 254,676.75	418	Rp 106,454,883.00	0.100%	80.112%	B
221	636-200085	Rp 7,076,958.60	15	Rp 106,154,379.00	0.100%	80.212%	B
222	331-200824	Rp 4,072,307.69	26	Rp 105,880,000.00	0.100%	80.312%	B
223	325-200694	Rp 204,370.39	514	Rp 105,046,382.00	0.099%	80.411%	B
…	…	…	…	…	…	…	B
502	319-200029	Rp 4,450,000.00	6	Rp 26,700,000.00	0.025%	95.000%	C
503	611-200009	Rp 18,690.58	1417	Rp 26,484,553.00	0.025%	95.025%	C
504	613-200344	Rp 84,011.82	313	Rp 26,295,700.00	0.025%	95.050%	C
505	611-201464	Rp 553,500.00	47	Rp 26,014,500.00	0.025%	95.074%	C
…	…	…	…	…	…	…	C
1240	631-202856	Rp 0.30	100	Rp 30.00	0.000%	100.000%	C

4.3 Klasifikasi *Spare Part* dengan Analisis VED

Pada sub bab berikut ini akan dilakukan klasifikasi VED untuk menentukan tingkat kekritisan dari suatu *spare part*. Terdapat beberapa kriteria yang digunakan perusahaan untuk menentukan tingkat kekritisan dari suatu *spare part*. Berikut ini merupakan kriteria-kriteria yang digunakan.

Tabel 4. 3 Kriteria Penentuan Tingkat Kekritisan *Spare Part*

Kriteria	Deskripsi
Fungsi :	Fungsi *spare part* pada proses produksi
1. Tambahan	Fungsi *spare part* digunakan untuk *supporting* terhadap peralatan operasi, tidak berdampak langsung terhadap produksi.
2. Keselamatan	Fungsi *spare part* untuk menjaga keselamatan *operator*.
3. Tak tergantikan	*Spare part* digunakan pada peralatan utama sebuah mesin produksi.
Dampak Produksi	Dampak kerusakan *spare part* pada proses produksi
0. *No Impact*	Kerusakan *spare part* tidak berdampak pada produksi
1. *Quality Losses*	Kerusakan *spare part* berdampak pada kerusakan hasil produksi
2. *Productivity*	Kerusakan *spare part* menyebabkan berkurangnya jumlah produk yang dihasilkan.
3. *Sudden Stop*	Kerusakan *spare part* menyebabkan berhentinya mesin secara tiba-tiba yang menyebabkan *shutdown* peralatan keseluruhan.

Untuk menentukan tingkat kekritisan suatu *spare part*, pihak perusahaan telah membuat suatu matriks dimana *spare part* akan dibedakan menjadi enam golongan berdasarkan kriteria pada Tabel 4. 3. Berikut ini merupakan matriks yang digunakan oleh pihak perusahaan.

		Production Impact			
		0	**1**	**2**	**3**
Function	**1**	1	2	3	
	2	2	3	4	5
	3		4	5	6

Desirable
Essential
Vital

Gambar 4. 1 Matriks Penentuan Tingkat Kekritisan

Golongan 1 dan 2 merupakan golongan *spare part* yang termasuk ke dalam kategori *desirable*. Untuk golongan 3 dan 4, merupakan golongan *spare part* yang termasuk dalam kategori *essential*. Sedangkan golongan 5 dan 6 merupakan

golongan yang termasuk dalam kategori *vital*. Pada masing-masing golongan memiliki kriteria masing-masing. Berikut ini merupakan kriteria untuk masing-masing golongan.

Tabel 4. 4 Kriteria pada Masing-Masing Golongan *Spare Part*

Kategori	Golongan	Kriteria
Desirable	1	• Fungsi *spare part* sebagai pendukung terhadap peralatan operasi, tidak berdampak langsung terhadap produksi • Kerusakan *spare part* tidak berdampak pada produksi
	2	• Fungsi *spare part* untuk menjaga keselamatan operator • Kerusakan *spare part* tidak berdampak pada produksi
	2	• Fungsi *spare part* sebagai pendukung terhadap peralatan operasi, tidak berdampak langsung terhadap produksi • Kerusakan *spare part* berdampak pada kerusakan hasil produksi
Essential	3	• Fungsi *spare part* sebagai pendukung terhadap peralatan operasi, tidak berdampak langsung terhadap produksi • Kerusakan *spare part* menyebabkan berkurangnya jumlah produk yang dihasilkan
	3	• Fungsi *spare part* untuk menjaga keselamatan operator • Kerusakan *spare part* berdampak pada kerusakan hasil produksi
	4	• Fungsi *spare part* untuk menjaga keselamatan operator • Kerusakan *spare part* menyebabkan berkurangnya jumlah produk yang dihasilkan
	4	• *Spare part* digunakan pada peralatan utama sebuah mesin produksi • Kerusakan *spare part* berdampak pada kerusakan hasil produksi
Vital	5	• Fungsi *spare part* untuk menjaga keselamatan operator • Kerusakan *spare part* menyebabkan berhentinya mesin secara tiba-tiba yang menyebabkan *shutdown* peralatan keseluruhan
	5	• *Spare part* digunakan pada peralatan utama sebuah mesin produksi • Kerusakan *spare part* menyebabkan berkurangnya jumlah produk yang dihasilkan
	6	• *Spare part* digunakan pada peralatan utama sebuah mesin produksi • Kerusakan *spare part* menyebabkan berhentinya mesin secara tiba-tiba yang menyebabkan *shutdown* peralatan keseluruhan

Penentuan tingkat kekritisan suatu *spare part* ditentukan berdasarkan Tabel 4. 4. Berikut ini merupakan tingkat kekritisan dari masing-masing *spare part*, dimana V menunjukkan *vital*, E menunjukkan *essential*, dan D menunjukkan *desirable*.

Tabel 4. 5 Klasifikasi VED

No	Material	Deskripsi Material	Klasifikasi VED
1	201-200062	BAR, ANGLE; 120MMX120MMX12MMX6M	V
2	201-200055	BAR, ANGLE; 25MMX25MMX2.5MMX6M	V
3	201-200051	BAR, ANGLE; 50MMX50MMX5MMX6M	V
4	201-200053	BAR, ANGLE; 65MMX65MMX6MMX6M	V
5	201-200054	BAR, ANGLE; 75MMX75MMX8MMX6M	V
…	…	…	V
43	508-200004	ADJUSTER PNEUMATIC CYLINDER GATE	E
44	116-200004	BALL, GRINDING; 17MM	E
45	116-200003	BALL, GRINDING; 20MM	E
46	116-200008	BALL, GRINDING; 25MM	E
47	116-200007	BALL, GRINDING; 40MM	E
…	…	…	E
722	201-200205	ANCHOR, DOUBLE Y; 12MMX350MM; SUS-304	D
723	117-200299	ANCHOR, DOUBLE Y; 12MMX350MM; SUS-310	D
724	117-200305	ANCHOR, DOUBLE Y; 12MMX650MM; SUS-310	D
725	117-200312	ANCHOR, SINGLE Y; 12MMX200MM; SUS-310	D
726	117-200314	ANCHOR, SINGLE Y; 12MMX350MM; SUS-310	D
…	…	…	D
1240	608-200230	XYLETHON, LINING; F/HOPPER CHUTE	D

Pada penelitian ini hanya difokuskan pada *spare part* yang termasuk ke dalam kategori *vital*. Berdasarkan Tabel 4. 5, terdapat 42 *spare part* yang termasuk ke dalam kategori *vital*. Berikut ini merupakan *spare part* yang digunakan dalam pengelolaan data selanjutnya.

Tabel 4. 6 *Spare Part* Kategori 1 dalam Matriks ABC-VED

No	Material	Deskripsi Material	Kelas	Klasifikasi VED
1	201-200054	BAR, ANGLE; 75MMX75MMX8MMX6M	A	V
2	201-200053	BAR, ANGLE; 65MMX65MMX6MMX6M	A	V
3	201-200051	BAR, ANGLE; 50MMX50MMX5MMX6M	A	V
4	201-200062	BAR, ANGLE; 120MMX120MMX12MMX6M	A	V

Tabel 4. 7 *Spare Part* Kategori 1 dalam Matriks ABC-VED (Lanjutan)

No	Material	Deskripsi Material	Kelas	Klasifikasi VED
5	331-200823	CYLINDER VACUUM PUMP	A	V
6	307-200009	RUBBER, BLADDER ACCUMULATOR; SB330HT	A	V
7	623-200354	BEARING, 6209-2Z	A	V
8	616-200629	GASKET, JIC1600W; 1/8INX1MX15M	A	V
9	318-200031	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	A	V
10	318-200022	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	A	V
11	301-200162	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	A	V
12	621-200338	SPROCKET, DOUBLE; TEETH: 20T; RC 40	A	V
13	609-200396	CHAIN, ROLLER; 160H-3 TRIPPLE DIAMOND	A	V
14	201-200055	BAR, ANGLE; 25MMX25MMX2.5MMX6M	A	V
15	609-200011	LINK, CONNECTING; CS532164A00	A	V
16	319-200084	REPAIR KIT, F/VACUUM PUMP SUCTION DEVICE	A	V
17	324-200503	BLADE, PRIMARY BLADE ; F/BELT 2000MM	A	V
18	616-201266	PACKING, FB 3071 B; FELT SEAL	A	V
19	331-200832	REPAIR KIT VACUUM PUMP	A	V
20	319-200887	BUSHING, 50MMX110MMX85MM	A	V
21	319-200085	REDUCING, NIPPLE; 3/8INXG1/4IN	A	V
22	331-200824	ROTOR SHAFT SLEEVE	B	V
23	301-200546	SHAFT, SCREW HEAD; C/W.PARALLEL KEY	B	V
24	325-201209	BELT, CONV.; 800MMX3PLYXEP315X5MMX1.5MM	B	V
25	626-201192	SWITCH, PROXIMITY; E2E-X10Y1; 24-240VAC	B	V
26	301-200424	LINK PIN, BREAKER PLATE; NUT 35MMX885MM	B	V
27	312-200381	FAN COOLER, P/N.R36-2509	B	V
28	611-201256	NIPPLE, QUICK; DISCONNECT 1/2IN (13MM)	B	V
29	624-200858	SPROCKET, DOUBLE; TEETH: 18T; RC 50	B	V
30	631-202503	SWITCH, EMERGENCY STOP 2 POSITION	B	V
31	623-202003	BEARING, 6330 M/C3	B	V
32	319-200913	SHAFT, HOLDER IMPELLER; 60MMX298.7M	B	V
33	331-200825	SHAFT SLEEVE VACUUM PUMP	B	V
34	622-200215	V-BELT, 5V 1500	B	V
35	322-200242	IDLER, CARRYING ROLLER; F/BELT 800MM	B	V
36	622-200382	V-BELT, SPC 3550	B	V
37	631-201498	INSULATOR:OVAL 2 HOLES AWG-8	B	V
38	609-200270	CHAIN, ROLLER; RC-80 SINGLE STRAND	B	V

Tabel 4. 8 *Spare Part* Kategori 1 dalam Matriks ABC-VED (Lanjutan)

No	Material	Deskripsi Material	Kelas	Klasifikasi VED
39	623-201485	BEARING, SNL 532 TG	B	V
40	319-201028	PULLEY, HEAD OUTSIDE; 69MMX725MMX818MM	B	V
41	621-200248	PULLEY, TAPPER; BUSH 4-SPB-236	B	V
42	631-201068	SWITCH, CONTACT PUSH BUTTON: 4/13	B	V

4.4 Klasifikasi *Spare Part* dengan Analisis ADI - CV

Pada sub bab ini akan dilakukan klasifikasi *spare part* dengan menggunakan analisis ADI-CV. Dengan melakukan klasifikasi dengan analisis ADI-CV, maka dapat diketahui pola permintaan dari masing-masing *spare part*. Sebelum melakukan perhitungan ADI-CV, maka diperlukan data mengenai penggunaan *spare part* pada periode waktu tertentu. Berikut ini merupakan data penggunaan *spare part* pada periode Januari 2018 sampai dengan Desember 2019.

Tabel 4. 9 Data Penggunaan *Spare Part*

No	Material	Bulan Ke-									Total
		1	2	3	4	5	6	7	…	24	
1	201-200054	134	491	444	256	544	1376	453	…	199	9540
2	201-200053	501	345	688	390	500	303	166	…	351	8420
3	201-200051	720	1158	1021	449	1876	654	400	…	0	18118
4	201-200062	83	0	14	75	115	19	96	…	19	749
5	331-200823	0	0	0	0	0	0	0	…	0	85
6	307-200009	2	0	0	0	2	0	0	…	5	52
7	623-200354	0	153	0	0	0	0	0	…	98	270
8	616-200629	1	3	2	1	3	101	168	…	0	550
9	318-200031	0	0	0	6	0	0	0	…	169	600
10	318-200022	0	0	43	108	197	124	0	…	0	472
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
42	631-201068	0	8	6	0	0	0	0	0	0	25

Setelah mengetahui data penggunaan *spare* part, dapat dilakukan perhitungan ADI-CV. Perhitungan ADI dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2.1) sedangkan perhitungan CV dapat dilakukan dengan menggunakan

persamaan (2.2). Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan ADI-CV yang telah dilakukan untuk 42 *spare part*.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan ADI-CV

No	Material	ti	N	ADI	CV	Klasifikasi
1	201-200054	0	24	0.00	14.21	*Erratic*
2	201-200053	2	22	0.09	11.71	*Erratic*
3	201-200051	1	23	0.04	19.71	*Erratic*
4	201-200062	6	18	0.33	5.95	*Erratic*
5	331-200823	20	4	5.00	4.22	*Lumpy*
6	307-200009	9	15	0.60	1.59	*Erratic*
7	623-200354	19	5	3.80	10.56	*Lumpy*
8	616-200629	9	15	0.60	12.21	*Erratic*
9	318-200031	18	6	3.00	10.44	*Lumpy*
10	318-200022	20	4	5.00	11.12	*Lumpy*
11	301-200162	18	6	3.00	9.37	*Lumpy*
12	621-200338	18	6	3.00	7.94	*Lumpy*
13	609-200396	23	1	23.00	3.79	*Lumpy*
14	201-200055	3	21	0.14	15.05	*Erratic*
15	609-200011	22	2	11.00	7.52	*Lumpy*
16	319-200084	22	2	11.00	9.01	*Lumpy*
17	324-200503	21	3	7.00	5.28	*Lumpy*
18	616-201266	20	4	5.00	2.53	*Lumpy*
19	331-200832	22	2	11.00	2.78	*Lumpy*
20	319-200887	20	4	5.00	6.21	*Lumpy*
21	319-200085	22	2	11.00	35.25	*Lumpy*
22	331-200824	23	1	23.00	4.99	*Lumpy*
23	301-200546	20	4	5.00	3.24	*Lumpy*
24	325-201209	22	2	11.00	8.39	*Lumpy*
25	626-201192	16	8	2.00	3.30	*Lumpy*
26	301-200424	23	1	23.00	9.29	*Lumpy*
27	312-200381	23	1	23.00	1.38	*Lumpy*
28	611-201256	16	8	2.00	35.73	*Lumpy*
29	624-200858	22	2	11.00	6.95	*Lumpy*
30	631-202503	19	5	3.80	2.60	*Lumpy*
31	623-202003	22	2	11.00	1.76	*Lumpy*
32	319-200913	21	3	7.00	5.20	*Lumpy*
33	331-200825	23	1	23.00	5.18	*Lumpy*
34	622-200215	19	5	3.80	2.30	*Lumpy*
35	322-200242	20	4	5.00	5.67	*Lumpy*
36	622-200382	10	14	0.71	5.23	*Erratic*
37	631-201498	22	2	11.00	1.24	*Lumpy*
38	609-200270	20	4	5.00	6.83	*Lumpy*

Tabel 4. 11 Rekapitulasi Perhitungan ADI-CV (Lanjutan)

No	Material	ti	N	ADI	CV	Klasifikasi
39	623-201485	22	2	11.00	1.35	*Lumpy*
40	319-201028	23	1	23.00	2.19	*Lumpy*
41	621-200248	23	1	23.00	7.19	*Lumpy*
42	631-201068	19	5	3.80	2.22	*Lumpy*

Sebagaimana yang telah disampaikan di Bab 1, penelitian ini hanya berfokus pada *spare part* yang memiliki pola permintaan *intermittent* atau *lumpy*. Pada Tabel 4. 10, hanya terdapat pola *erratic* dan *lumpy* dalam *spare part* yang diamati. Oleh karena itu pemilihan *spare part* selanjutnya hanya pada *spare part* yang memiliki pola *lumpy*. Berikut ini merupakan rekapitulasi *spare part* yang memiliki pola permintaan *lumpy*.

Tabel 4. 12 *Spare Part* dengan Pola Permintaan *Lumpy*

No	Material	ti	N	ADI	CV	Klasifikasi
1	331-200823	20	4	5.00	4.22	*Lumpy*
2	623-200354	19	5	3.80	10.56	*Lumpy*
3	318-200031	18	6	3.00	10.44	*Lumpy*
4	318-200022	20	4	5.00	11.12	*Lumpy*
5	301-200162	18	6	3.00	9.37	*Lumpy*
6	621-200338	18	6	3.00	7.94	*Lumpy*
7	609-200396	23	1	23.00	3.79	*Lumpy*
8	609-200011	22	2	11.00	7.52	*Lumpy*
9	319-200084	22	2	11.00	9.01	*Lumpy*
10	324-200503	21	3	7.00	5.28	*Lumpy*
11	616-201266	20	4	5.00	2.53	*Lumpy*
12	331-200832	22	2	11.00	2.78	*Lumpy*
13	319-200887	20	4	5.00	6.21	*Lumpy*
14	319-200085	22	2	11.00	35.25	*Lumpy*
15	331-200824	23	1	23.00	4.99	*Lumpy*
16	301-200546	20	4	5.00	3.24	*Lumpy*
17	325-201209	22	2	11.00	8.39	*Lumpy*
18	626-201192	16	8	2.00	3.30	*Lumpy*
19	301-200424	23	1	23.00	9.29	*Lumpy*
20	312-200381	23	1	23.00	1.38	*Lumpy*
21	611-201256	16	8	2.00	35.73	*Lumpy*
22	624-200858	22	2	11.00	6.95	*Lumpy*
23	631-202503	19	5	3.80	2.60	*Lumpy*
24	623-202003	22	2	11.00	1.76	*Lumpy*
25	319-200913	21	3	7.00	5.20	*Lumpy*
26	331-200825	23	1	23.00	5.18	*Lumpy*
27	622-200215	19	5	3.80	2.30	*Lumpy*

Tabel 4. 13 *Spare Part* dengan Pola Permintaan *Lumpy* (Lanjutan)

No	Material	ti	N	ADI	CV	Klasifikasi
28	322-200242	20	4	5.00	5.67	*Lumpy*
29	631-201498	22	2	11.00	1.24	*Lumpy*
30	609-200270	20	4	5.00	6.83	*Lumpy*
31	623-201485	22	2	11.00	1.35	*Lumpy*
32	319-201028	23	1	23.00	2.19	*Lumpy*
33	621-200248	23	1	23.00	7.19	*Lumpy*
34	631-201068	19	5	3.80	2.22	*Lumpy*

4.5 Penentuan *Spare Part* Terpilih

Pada sub bab ini akan dilakukan penentuan *spare part* terpilih yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Setelah melakukan analisis ABC, analisis VED, dan analisis ADI-CV, akan didapatkan 34 total *spare part*. Perhitungan yang dilakukan akan difokuskan pada lima *spare part* urutan teratas pada Tabel 4. 12. Kelima *spare part* yang terpilih tersebut memiliki nilai penggunaan tinggi (kelas A), termasuk kategori *vital*, dan memiliki pola permintaan *intermittent* atau *lumpy*. Berikut ini merupakan *spare part* terpilih yang akan dilakukan perhitungan selanjutnya.

Tabel 4. 14 *Spare Part* Terpilih

No	Material	Deskripsi Material	Kelas	Kategori	Pola Permintaan
1.	331-200823	CYLINDER VACUUM PUMP	A	V	*Lumpy*
2.	623-200354	BEARING, 6209-2Z	A	V	*Lumpy*
3.	318-200031	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	A	V	*Lumpy*
4.	318-200022	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	A	V	*Lumpy*
5.	301-200162	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	A	V	*Lumpy*

4.6 Perhitungan Peramalan Menggunakan Metode Croston dan SBA

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan kebutuhan *spare part* dengan menggunakan metode Croston dan SBA. Pada perhitungan metode Croston atau SBA memperhitungkan rata-rata peramalan permintaan (z_t) dan rata-rata interval permintaan *non-zero* (p_t). Berikut ini merupakan contoh perhitungan nilai z_t dan p_t pada material 318-200022 menggunakan metode Croston pada periode 4.

$z_t = \alpha . x_{t-1} + (1-\alpha) z_{t-1}$ $\quad$ $p_t = \alpha . q_{t-1} + (1-\alpha), p_{t-1}$

$z_4 = 0.3\ x\ 43 + (1-0.3)12.90$ $\quad$ $p_4 = 0.3\ x\ 1 + (1-0.3)0.81$

$z_4 = 21.93$ $\quad$ $p_4 = 0.87$

Untuk mendapatkan peramalan kebutuhan *spare part* menggunakan metode Croston, nilai z_t dibagi dengan nilai p_t. Berikut ini merupakan contoh perhitungan kebutuhan *spare part* pada periode 4.

$$F_t = \frac{z_t}{p_t}$$

$$F_4 = \frac{21.93}{0.87} = 26$$

Berikut ini merupakan contoh rekapitulasi perhitungan kebutuhan *spare part* pada material 318-200022 dengan menggunakan metode Croston.

Tabel 4. 15 Perhitungan Kebutuhan *Spare Part* dengan Metode Croston pada Material 318-200022

PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Croston**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.30	0
3	43	12.90	1	0.81	16
4	108	21.93	1	0.87	26
5	197	88.10	1	0.91	98
6	124	98.87	1	0.93	106
7	0	98.87	2	0.93	106
8	0	98.87	3	0.93	106
9	0	98.87	4	0.93	106
10	0	98.87	5	1.85	54
11	0	98.87	6	2.80	36
12	0	69.21	7	3.76	19
13	0	48.45	8	4.73	11
14	0	33.91	9	5.71	6
15	0	33.91	10	6.70	6
16	0	33.91	11	6.70	6
17	0	33.91	12	6.70	6
18	0	33.91	13	6.70	6

Tabel 4. 16 Perhitungan Kebutuhan *Spare Part* dengan Metode Croston pada Material 318-200022 (Lanjutan)

PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Croston**
19	0	33.91	14	6.70	6
20	0	33.91	15	8.89	4
21	0	33.91	16	10.72	4
22	0	33.91	17	10.72	4
23	0	23.74	18	12.61	2
24	0	16.62	19	14.22	2
TOTAL KEBUTUHAN					**758**

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan kebutuhan untuk masing-masing *spare part* dengan menggunakan metode Croston.

Tabel 4. 17 Total Kebutuhan *Spare Part* Menggunakan Metode Croston

No.	Material	Deskripsi Material	Total Kebutuhan
1.	331-200823	CYLINDER VACUUM PUMP	51
2.	623-200354	BEARING, 6209-2Z	1362
3.	318-200031	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	314
4.	318-200022	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	758
5.	301-200162	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	507

Pada metode SBA, nilai z_t dan p_t didapatkan dari perhitungan yang sama dengan metode Croston. Yang membedakan metode Croston dan SBA adalah perhitungan kebutuhan *spare part* (F_t). Berikut ini merupakan contoh perhitungan F_t dengan menggunakan metode SBA untuk material 318-200022 pada periode 4.

$$F_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right).\frac{z_t}{p_t}$$

$$F_4 = \left(1 - \frac{0.3}{2}\right).\frac{21.93}{0.87}$$

$$F_4 = 22$$

Berikut ini merupakan contoh rekapitulasi perhitungan kebutuhan *spare part* pada material 318-200022 dengan menggunakan metode SBA.

Tabel 4. 18 Perhitungan Kebutuhan *Spare Part* dengan Metode SBA pada Material 318-200022

PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**SBA**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.30	0
3	43	12.90	1	0.81	14
4	108	21.93	1	0.87	22
5	197	88.10	1	0.91	83
6	124	98.87	1	0.93	90
7	0	98.87	2	0.93	90
8	0	98.87	3	0.93	90
9	0	98.87	4	0.93	90
10	0	98.87	5	1.85	46
11	0	98.87	6	2.80	31
12	0	69.21	7	3.76	16
13	0	48.45	8	4.73	9
14	0	33.91	9	5.71	6
15	0	33.91	10	6.70	5
16	0	33.91	11	6.70	5
17	0	33.91	12	6.70	5
18	0	33.91	13	6.70	5
19	0	33.91	14	6.70	5
20	0	33.91	15	8.89	4
21	0	33.91	16	10.72	3
22	0	33.91	17	10.72	3
23	0	23.74	18	12.61	2
24	0	16.62	19	14.22	1
TOTAL KEBUTUHAN					**644**

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan kebutuhan untuk masing-masing *spare part* dengan menggunakan metode SBA.

Tabel 4. 19 Total Kebutuhan *Spare Part* Menggunakan Metode SBA

No.	Material	Deskripsi Material	Total Kebutuhan
1.	331-200823	CYLINDER VACUUM PUMP	41
2.	623-200354	BEARING, 6209-2Z	1166
3.	318-200031	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	275
4.	318-200022	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	644
5.	301-200162	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	435

4.7 Perhitungan Peramalan Menggunakan Model *Age Replacement*

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan kebutuhan *spare part* dengan menggunakan model *age replacement*. Terdapat enam langkah pengerjaan pada model ini, antara lain perhitungan waktu antar penggantian *spare part*, pengujian distribusi, perhitungan MTTF, perhitungan biaya, perhitungan interval penggantian optimal, dan langkah terakhir adalah melakukan perhitungan kebutuhan *spare part*.

4.7.1 Perhitungan Waktu Antar Penggantian

Langkah pertama dalam perhitungan model ini adalah menentukan waktu antar penggantian untuk masing-masing *spare part*. Berikut ini merupakan rekapitulasi data untuk waktu antar penggantian pada masing-masing *spare part*.

Tabel 4. 20 Waktu Antar Penggantian Masing-Masing *Spare Part*

Komponen	Tanggal Penggantian	Jumlah Komponen	Waktu Antar Penggantian (hari)	Waktu Antar Penggantian (jam)
CYLINDER VACUUM PUMP	19-Feb-19	16		
	20-Feb-19	4	1	24
	21-Mar-19	8	29	696
	23-Mar-19	13	2	48
	1-Aug-19	8	131	3144
	2-Aug-19	8	1	24
	14-Aug-19	8	12	288
	28-Sep-19	20	45	1080
BEARING, 6209-2Z	28-Feb-18	153		
	23-Sep-18	7	207	4968
	22-Nov-18	8	60	1440
	11-Jan-19	3	50	1200
	16-Jan-19	1	5	120
	19-Dec-19	50	337	8088
	21-Dec-19	28	2	48
	24-Dec-19	20	3	72
SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	7-Apr-18	6		
	1-Dec-18	101	238	5712
	12-Jan-19	54	42	1008
	13-Feb-19	24	32	768
	22-Feb-19	144	9	216
	30-Nov-19	102	281	6744
	5-Dec-19	169	5	120

Tabel 4. 21 Waktu Antar Penggantian Masing-Masing *Spare Part* (Lanjutan)

Komponen	Tanggal Penggantian	Jumlah Komponen	Waktu Antar Penggantian (hari)	Waktu Antar Penggantian (jam)
PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	11-Mar-18	7		
	20-Mar-18	36	9	216
	17-Apr-18	108	28	672
	1-May-18	57	14	336
	29-May-18	140	28	672
	12-Jun-18	124	14	336
PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	18-Jan-18	76		
	19-Jul-18	76	182	4368
	25-Jul-18	74	6	144
	14-Aug-18	2	20	480
	12-Jun-19	4	302	7248
	23-Jul-19	76	41	984
	23-Nov-19	76	123	2952

4.7.2 Penentuan Jenis Distribusi

Langkah selanjutnya adalah menentukan jenis distribusi yang sesuai pada masing-masing *spare part*. Penentuan jenis distribusi pada *spare part* menggunakan bantuan *software* Weibull++6. Berikut ini merupakan contoh rekapitulasi hasil *running software* Weibull++6 pada material *Cylinder Vacuum Pump*.

Tabel 4. 22 Rekapitulasi Hasil *Running Software* Weibull++6 Material *Cylinder Vacuum Pump*

Distribusi	Ranking	Parameter	
Exponential 1	5	Lambda	9.5852E-04
Exponential 2	4	Lambda	7.3453E-04
		Gamma	477.73291
Normal	4	Mean	757.713932
		Std	1063.92799
Lognormal	2	LMean	5.35336876
		LStd	2.11638508
Weibull 2	3	Beta	0.58431111
		Eta	504.798172

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Hasil *Running Software* Weibull++6 Material *Cylinder Vacuum Pump* (Lanjutan)

Distribusi	Ranking	Parameter	
Weibull 3	1	Beta	0.48325058
		Eta	529.857675
		Gamma	7.30000000

Berdasarkan hasil dari *running software* Weibull++6, didapatkan rekomendasi distribusi yang sesuai dilihat dari hasil peringkat yang diberikan. Untuk material *Cylinder Vacuum Pump*, rekomendasi distribusi yang sesuai adalah Weibull 3 dimana memiliki tiga parameter, yaitu beta (β) sebesar 0.48325058, eta (η) sebesar 529.857675, dan gamma (γ) sebesar 7.30000000. Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi jenis distribusi terpilih beserta parameter yang digunakan pada masing-masing *spare part*.

Tabel 4. 24 Penentuan Jenis Distribusi dan Nilai Parameter

No	Komponen	Jenis Distribusi	Parameter		
			β	η	γ
1	CYLINDER VACUUM PUMP	Weibull 3	0.48325058	529.858	7.3
2	BEARING, 6209-2Z	Weibull 3	0.33633594	1300.473	46.66
3	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	Weibull 3	0.43664189	1756.598	107.5
4	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	Weibull 3	0.98893234	323.111	172.18
5	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	Weibull 3	0.64812341	2653.298	50.68

4.7.3 Perhitungan MTTF

Setelah menentukan jenis distribusi dan nilai parameter pada masing-masing *spare part*, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *mean time to failure* (MTTF) untuk mendapatkan estimasi umur komponen sampai mengalami kerusakan. Perhitungan MTTF dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (2.9). Persamaan untuk menghitung nilai *reliability* disesuaikan dengan jenis distribusi yang digunakan. Berikut ini merupakan contoh perhitungan MTTF untuk material *Cylinder Vacuum Pump*.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} dt$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t-7.3}{529.858}\right)^{0.48325058}} dt$$

$$MTTF = 1138$$

Perhitungan MTTF juga dilakukan pada seluruh *spare part* yang terpilih dan dengan menggunakan bantuan *software* Mathcad. Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan MTTF untuk masing-masing *spare part*.

Tabel 4. 25 Rekapitulasi Perhitungan MTTF

No	Komponen	Jenis Distribusi	MTTF
1	CYLINDER VACUUM PUMP	Weibull 3	1138
2	BEARING, 6209-2Z	Weibull 3	7589
3	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	Weibull 3	4768
4	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	Weibull 3	552.813
5	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	Weibull 3	3689

4.7.4 Perhitungan Biaya

Terdapat lima biaya yang diperhitungkan dalam sub bab ini, antara lain biaya tenaga kerja, biaya *lost production*, harga *spare part*, biaya *preventive replacement*, dan biaya *corrective replacement*.

a) Biaya tenaga kerja

Dalam penggantian komponen pada suatu mesin, dibutuhkan setidaknya 11 orang yang bekerja. Satu orang sebagai manajer, dua orang sebagai *supervisor*, dua orang sebagai pelaksana, dan enam orang merupakan pekerja *outsource*. Terdapat 22 hari kerja dalam satu bulan dan para pegawai bekerja selama 8 jam

dalam satu hari. Jadi dalam satu bulan, para pegawai bekerja selama 176 jam. Apabila gaji seorang pekerja *outsource* selama satu bulan sebesar Rp 3,500,000.00, maka gaji seorang pekerja *outsource* per jam dapat dihitung sebagai berikut.

$$Biaya\ tenaga\ kerja\ (outsource) = \frac{besar\ gaji\ perbulan}{waktu\ bekerja\ perbulan} x jumlah\ pekerja$$

$$Biaya\ tenaga\ kerja\ (outsource) = \frac{Rp\ 3{,}500{,}000.00}{176} x6$$

$$Biaya\ tenaga\ kerja\ (outsource) = Rp\ 119{,}318.18/jam$$

Dilakukan perhitungan untuk seluruh pegawai yang terlibat di dalam proses penggantian komponen. Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan biaya masing-masing pegawai.

Tabel 4. 26 Rekapitulasi Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

No	Jabatan	Jumlah	Gaji	Biaya per jam
1	Manajer	1	Rp 20,000,000.00	Rp 113,636.36
2	Supervisor	2	Rp 15,000,000.00	Rp 170,454.55
3	Pelaksana	2	Rp 10,000,000.00	Rp 113,636.36
4	*Outsource*	6	Rp 3,500,000.00	Rp 119,318.18
Total Biaya Tenaga Kerja				Rp 517,045.45

Berdasarkan Tabel 4. 26, didapatkan total biaya tenaga kerja per jamnya mencapai Rp 517,045.45.

b) Biaya *lost production*

Biaya *lost production* merupakan biaya kerugian yang muncul akibat berhentinya proses produksi dikarenakan adanya proses penggantian komponen. Biaya *lost production* yang ditanggung diasumsikan setara dengan HPP semen sebesar Rp 355,000.00/ton. Kapasitas produksi perusahaan mencapai 3 juta ton per tahun, oleh karena itu dalam satu hari dapat mencapai 11000 ton semen. Total biaya yang ditimbulkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Biaya\ lost\ production = HPP\ x\ kapasitas\ produksi\ per\ jam$$

$Biaya\ lost\ production = Rp\ 355{,}000{,}000.00\ x\ 458$

$Biaya\ lost\ production = Rp\ 162{,}590{,}000.00/jam$

c) Harga *spare part*

Berikut ini merupakan satuan harga untuk masing-masing *spare part* yang terpilih.

Tabel 4. 27 Rekapitulasi Harga Masing-Masing *Spare Part*

No	Deskripsi Material	Harga Komponen
1	CYLINDER VACUUM PUMP	Rp 9,345,477.20
2	BEARING, 6209-2Z	Rp 1,917,420.03
3	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	Rp 524,226.45
4	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	Rp 641,157.52
5	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	Rp 675,000.00

d) Biaya *preventive replacement* (Cp)

Untuk melakukan perhitungan biaya *preventive replacement*, terdapat empat komponen yang diperhatikan, antara lain biaya tenaga kerja, biaya *lost production*, harga komponen, serta waktu untuk melakukan penggantian pencegahan (Tp). Berikut ini merupakan contoh perhitungan Cp untuk material *Cylinder Vacuum Pump*.

$Cp = (Biaya\ tenaga\ kerja\ x\ Tp) + (Biaya\ lost\ production\ x\ Tp) + Harga\ komponen$

$Cp = (Rp\ 517{,}045.45\ x\ 2) + (Rp\ 162{,}590{,}000.00\ x\ 2) + Rp\ 9{,}345477.20$

$Cp = Rp\ 335{,}559{,}568.11$

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan untuk jenis *spare part* lainnya.

Tabel 4. 28 Rekapitulasi Perhitungan *Preventive Replacement*

No	Material	Tp (jam)	Biaya Tenaga Kerja (Rp)	Biaya *Lost Production* (Rp)	Harga Komponen (Rp)	Cp (Rp)
1	CYLINDER VACUUM PUMP	2	517,045	162,590,000	9,345,477	335,559,568
2	BEARING, 6209-2Z	1	517,045	162,590,000	1,917,420	165,024,465
3	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	1	517,045	162,590,000	524,226	163,631,271
4	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	1	517,045	162,590,000	641,157	163,748,202
5	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	1	517,045	162,590,000	675,000	163,782,045

e) Biaya *corrective replacement* (Cf)

Perhitungan biaya *corrective replacement* hampir sama dengan perhitungan biaya *preventive replacement*. Yang membedakan perhitungan keduanya adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian diakibatkan oleh kerusakan (Tf). Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan untuk biaya *corrective replacement*.

Tabel 4. 29 Rekapitulasi Perhitungan *Corrective Replacement*

No	Material	Tf (jam)	Biaya Tenaga Kerja (Rp)	Biaya *Lost Production* (Rp)	Harga Komponen (Rp)	Cf (Rp)
1	CYLINDER VACUUM PUMP	5	517,045	162,590,000	9,345,477	824,880,704
2	BEARING, 6209-2Z	2	517,045	162,590,000	1,917,420	328,131,510
3	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	3	517,045	162,590,000	524,226	489,845,362
4	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	2	517,045	162,590,000	641,157	326,855,248
5	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	2	517,045	162,590,000	675,000	326,889,090

4.7.5 Perhitungan Interval Penggantian Optimal

Perhitungan interval penggantian optimal dilakukan berdasarkan ekspektasi total biaya penggantian minimum ($C(t_p)$). Penentuan interval penggantian dipilih berdasarkan nilai $C(t_p)$ yang paling rendah. Berikut ini merupakan contoh perhitungan $C(t_p)$ untuk material *Cylinder Vacuum Pump*.

$$R(t_p) = e^{-\left(\frac{t_p-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}$$

$$R(900) = e^{-\left(\frac{900-7.3}{529.858}\right)^{0.4833}}$$

$$R(900) = 0.276$$

$$M(t_p) = \int_{-\infty}^{t_p} \frac{tf(t)dt}{1-R(t)}$$

$$M(t_p) = \int_{-\infty}^{t_p} \frac{\left(\frac{\beta}{\eta}\right)\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t_p-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}}}{1-R(t)}$$

$$M(900) = \int_{-\infty}^{900} \frac{\left(\frac{0.4833}{529.858}\right)\left(\frac{t-7.3}{529.858}\right)^{0.4833-1} e^{-\left(\frac{900-7.3}{529.858}\right)^{0.4833}}}{1-0.276}$$

$$M(900) = 0.2812155$$

$$C(t_p) = \frac{C_p x R(t_p) + C_f[1-R(t_p)]}{[(t_p+T_p)xR(t_p)] + \left[(M(t_p)+T_f)x\left(1-R(t_p)\right)\right]}$$

$$C(1000) = \frac{\text{Rp } 335{,}559{,}568.11\ x\ 0.276 + \text{ Rp } 824{,}880{,}704.47[1-0.276]}{[(900+2)\ x\ 0.276] + [(0.2812155+5)x(1-0.276)]}$$

$$C(1000) = Rp\ 2{,}728{,}232.26$$

Untuk mendapatkan nilai $C(t_p)$, maka perlu dilakukan percobaan dengan cara mengubah nilai t_p. Berikut ini merupakan hasil dari percobaan mengubah nilai t_p dari material *Cylinder Vacuum Pump*.

Tabel 4. 30 Nilai $C(t_p)$ Masing-Masing t_p pada *Cylinder Vacuum Pump*

Material	tp	C(tp)
CYLINDER VACUUM PUMP	3000	Rp 2,574,370.65
	2500	Rp 2,493,926.51
	2200	Rp 2,477,811.85
	2100	Rp 2,477,324.89
	2060	Rp 2,468,877.92
	2040	Rp 2,474,442.22
	2023	Rp 2,476,732.90
	2022	Rp 2,459,980.81
	2021	Rp 2,461,180.48
	2020	Rp 2,462,381.31
	2000	Rp 2,468,733.69
	1500	Rp 2,501,209.82
	900	Rp 2,728,232.26

Berdasarkan Tabel 4. 30, ekspektasi total biaya penggantian paling rendah dilakukan pada interval waktu 2022 jam dengan biaya sebesar Rp 2,459,980.81. Dilakukan perhitungan yang sama untuk masing-masing *spare part* terpilih. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan t_p dan $C(t_p)$ pada masing-masing *spare part*.

Tabel 4. 31 Rekapitulasi Hasil Interval Penggantian Optimal

Material	Tp (jam)	C(tp)
CYLINDER VACUUM PUMP	2022	Rp 2,459,980.81
BEARING, 6209-2Z	9200	Rp 226,273.96
SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	9140	Rp 375,742.17
PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	173	Rp 952,173.35
PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	4028	Rp 256,435.73

4.7.6 Perhitungan Kebutuhan Spare Part

Setelah mengetahui interval waktu penggantian optimal pada masing-masing *spare part*, langkah selanjutnya adalah menentukan kebutuhan *spare part* pada periode waktu yang ditentukan berdasarkan data interval waktu penggantian optimal. Berikut ini merupakan contoh perhitungan kebutuhan *spare part* pada periode waktu dua tahun untuk material *Cylinder Vacuum Pump*.

$$EN(T, t_p) = \frac{T}{t_p \; x \; R(t_p) + M(t_p) \; x \; [1 - R(t_p)]}$$

$$EN(17520{,}2022) = \frac{17520}{2022 \; x \; 0.149 + 0.175 \; x \; [1 - 0.149]}$$

$$EN(17520{,}2022) = 59 \; spare \; part$$

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan untuk masing-masing *spare part* terpilih.

Tabel 4. 32 Kebutuhan *Spare Part*

Material	tp (jam)	R(tp)	M(tp)	EN
CYLINDER VACUUM PUMP	2022	0.149	0.1750881	59
BEARING, 6209-2Z	9200	0.146	0.1697892	14
SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	9140	0.13	0.1494253	15
PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	173	0.997	332.33333	103
PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	4028	0.273	0.3755158	16

4.8 Perhitungan Tingkat *Error*

Setelah melakukan peramalan kebutuhan *spare part* dengan tiga metode, maka dilakukan perhitungan tingkat *error* untuk masing-masing metode. Pemilihan metode diprioritaskan pada nilai MAD yang terendah. Berikut ini merupakan hasil perhitungan *error* untuk masing-masing metode.

Tabel 4. 33 Perhitungan *Error* pada Masing-Masing Metode

Material	Error	Metode		
		Croston	SBA	AR
CYLINDER VACUUM PUMP	MAD	4.25	4.08	4.67
	MSE	55.92	57.67	57.08
BEARING, 6209-2Z	MAD	53.08	46.83	10.67
	MSE	7213.92	5407.83	1310.75
SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	MAD	31.00	30.29	24.38
	MSE	2729.42	2777.71	3200.04
PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	MAD	28.92	27.50	22.63
	MSE	2213.67	1974.83	2682.29
PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	MAD	29.04	21.00	16.17
	MSE	1464.71	1853.25	1642.50

Berdasarkan Tabel 4. 33, peramalan *spare part Cylinder Vacuum Pump* menggunakan metode SBA. Sedangkan metode peramalan untuk *spare part*

Bearing, 620-2Z; Support, DWG-No.PT-411-M-032; Plate, Slide Plate Valve Assy; dan *Pin, F/Breaker Plate DWG PT-303-M-040* menggunakan metode *age replacement*.

BAB 5
ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

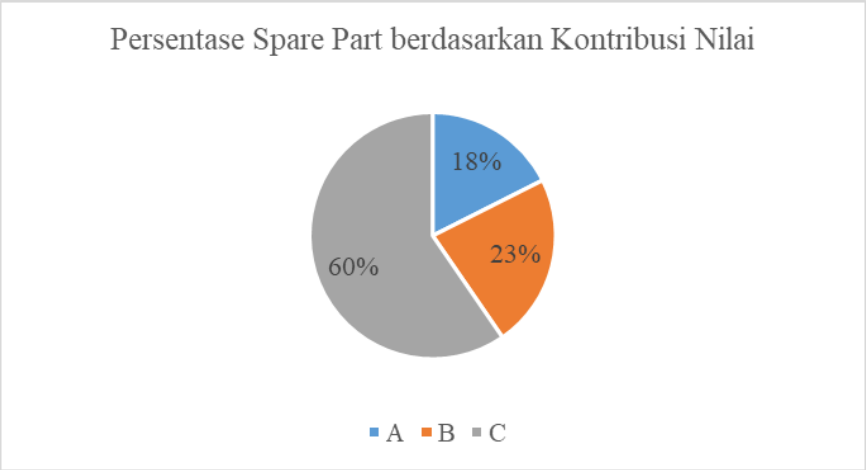
Pada bab ini akan dilakukan analisis dan interpretasi data berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data sebelumnya. Analisis yang dilakukan antara lain analisis klasifikasi *spare part*, analisis metode peramalan kebutuhan *spare part*, serta analisis perhitungan tingkat *error*.

5.1 Analisis Klasifikasi *Spare Part*

Klasifikasi *spare part* dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu klasifikasi ABC, klasifikasi VED, dan klasifikasi ADI-CV. Tujuan dari adanya klasifikasi ABC adalah untuk menentukan kelas dari *spare part* berdasarkan kontribusi nilai. Tujuan adanya klasifikasi VED adalah untuk menentukan tingkat kekritisan dari masing-masing *spare part*. Sedangkan tujuan dari adanya klasifikasi ADI-CV adalah untuk menentukan pola permintaan dari masing-masing *spare part*. Tiga tahapan klasifikasi ini nantinya akan menunjukkan prioritas dalam penentuan *spare part* yang terpilih.

5.1.1 Analisis Klasifikasi ABC

Terdapat dua parameter yang diperhitungkan dalam klasifikasi ABC, yaitu *unit cost* dan jumlah masing-masing *spare part*. Dengan kedua parameter tersebut akan didapatkan total biaya untuk masing-masing *spare part*. Besarnya total biaya sangat dipengaruhi oleh *unit cost* dan kuantitas penggunaan *spare part*. Hal tersebut dikarenakan total biaya didapatkan dari hasil perkalian *unit cost* dan kuantitas. Semakin tinggi *unit cost* atau kuantitas *spare part*, maka semakin tinggi pula total biaya untuk *spare part*. Dari total biaya tersebut, akan didapatkan persentase biaya *spare part* terhadap biaya keseluruhan. Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan kumulatif terhadap persentase biaya. Dari perhitungan kumulatif tersebut, *spare part* dapat dibedakan menjadi kelas A, B, ataupun C.



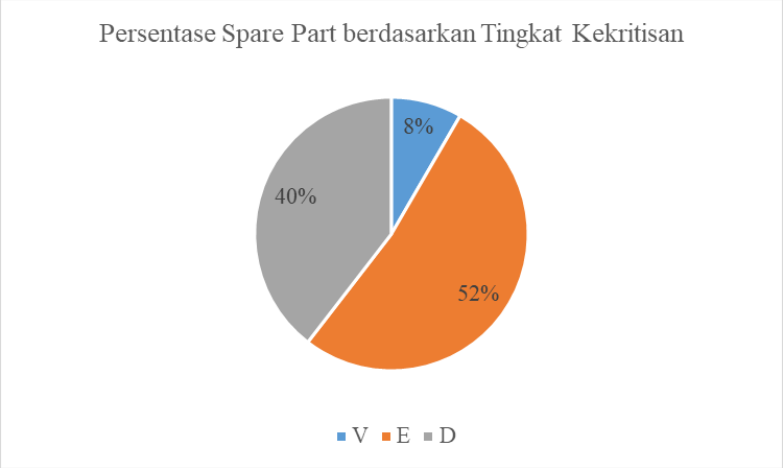
Gambar 5. 1 Persentase *Spare Part* berdasarkan Kontribusi Nilai

Dari hasil klasifikasi ABC yang dilakukan, didapatkan sejumlah 218 *spare part* masuk dalam kategori kelas A atau setara dengan 18% dari total *spare part* secara keseluruhan. Sebanyak 283 *spare part* masuk dalam kategori kelas B atau setara dengan 23% dari total *spare part* keseluruhan. Sedangkan *spare part* lainnya sebanyak 739 *spare part*, masuk dalam kategori kelas C atau setara dengan 60 % dari total keseluruhan. Kategori kelas A memberikan kontribusi nilai kurang lebih sebesar 80% dari total biaya. Sedangkan kategori kelas B memberikan kontribusi nilai sebesar 15% dari total biaya. Lalu untuk kelas C memberikan kontribusi nilai sebesar 5% dari total biaya.

5.1.2 Analisis Klasifikasi VED

Dalam klasifikasi VED *spare part* akan diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu kategori *vital*, *essential*, dan *desirable*. Penentuan kategori berdasarkan tingkat kekritisan dari suatu *spare part*. Sedangkan untuk menentukan tingkat kekritisan, terdapat beberapa kriteria yang digunakan. Apabila kerusakan *spare part* dapat menyebabkan terhentinya mesin secara tiba-tiba dan menyebabkan *shutdown* peralatan secara keseluruhan serta *spare part* tersebut digunakan pada peralatan utama sebuah mesin produksi, maka *spare part* tersebut akan diklasifikasikan dalam kategori *vital*. Apabila kerusakan *spare part* dapat menyebabkan berkurangnya jumlah produksi yang dihasilkan dan berdampak pada kerusakan hasil produksi, maka *spare part* tersebut akan diklasifikasikan dalam

kategori *essential*. *Spare part* kategori *essential* juga memiliki fungsi untuk menjaga keselamatan operator mesin. Sedangkan apabila *spare part* hanya digunakan sebagai pendukung terhadap peralatan operasi dan kerusakan *spare part* tidak memiliki dampak terhadap proses produksi, maka *spare part* tersebut masuk dalam kategori *desirable*. Dari hasil klasifikasi VED yang dilakukan terdapat 8% *spare part* yang termasuk dalam kategori *vital*, sebesar 52% merupakan *spare part* dengan kategori *essential*, serta sebesar 40% merupakan *spare part* dengan kategori *desirable*.



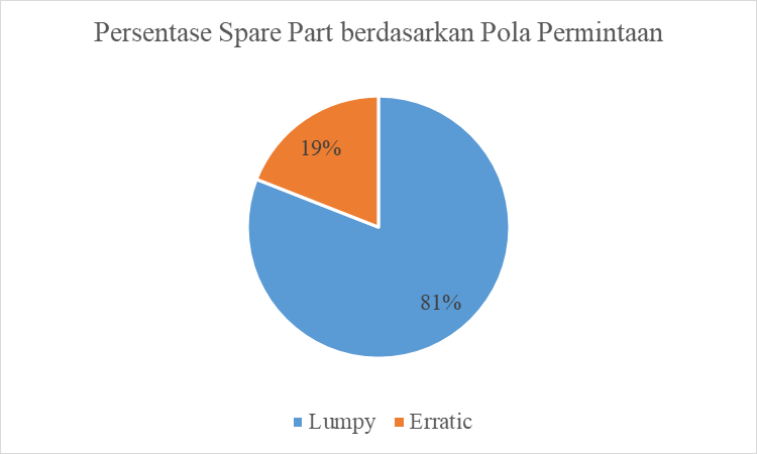
Gambar 5. 2 Persentase *Spare Part* berdasarkan Tingkat Kekritisan

Dengan adanya klasifikasi VED ini, dapat memudahkan dalam menentukan prioritas dalam pemilihan *spare part*. *Spare part* dengan kategori *vital* merupakan *spare part* yang perlu diprioritaskan dikarenakan proses produksi dapat berhenti apabila tidak ada persediaan *spare part* yang memadai. Yang termasuk dalam kategori *vital* antara lain *Cylinder Vacuum Pump*, *Rotor Shaft Sleeve*, *V-Belt*, dan lain sebagainya.

Dalam penelitian ini difokuskan untuk *spare part* yang masuk dalam kategori I dalam klasifikasi ABC-VED. Kategori I dalam klasifikasi ABC-VED merupakan *spare part* yang memiliki tingkat kekritisan tinggi serta memiliki kontribusi nilai yang tinggi. Dari hasil klasifikasi ABC-VED yang dilakukan, didapatkan sebanyak 42 *spare part* yang termasuk dalam kategori I.

5.1.3 Analisis Klasifikasi ADI-CV

Klasifikasi ADI-CV bertujuan untuk mengetahui pola permintaan dari masing-masing *spare part*. Pola permintaan *spare part* akan mempengaruhi metode peramalan yang digunakan dalam menentukan kebutuhan *spare part*. Pola permintaan dapat diketahui dari hasil perhitungan ADI dan CV yang dilakukan. Apabila nilai ADI < 1.32 dan nilai CV < 0.49, *spare part* tersebut memiliki pola permintaan *slow moving*. Apabila nilai ADI < 1.32 dan nilai CV > 0.49, *spare part* tersebut memiliki pola permintaan *erratic*. Apabila nilai ADI > 1.32 dan nilai CV < 0.49, maka *spare part* tersebut memiliki pola permintaan *intermittent*. Sedangkan pola permintaan *lumpy* memiliki nilai ADI > 1.32 dan nilai CV > 0.49.



Gambar 5. 3 Persentase *Spare Part* berdasarkan Pola Permintaan

Berdasarkan perhitungan ADI-CV yang dilakukan, sebesar 81% dari 42 *spare part* memiliki pola permintaan *lumpy*, sedangkan sebesar 19% memiliki pola permintaan *erratic*. Pola *lumpy* ditandai dengan adanya permintaan nol secara acak dan dalam jangka waktu yang panjang. Sedangkan pola *erratic* ditandai dengan tingginya variasi ukuran permintaan per periode.

Penelitian di fokuskan pada *spare part* yang memiliki pola *intermittent* atau *lumpy*. Berdasarkan hasil klasifikasi ABC, VED, dan ADI-CV yang dilakukan didapatkan 34 *spare part* yang memiliki kontribusi nilai yang tinggi, memiliki tingkat kekritisan yang tinggi, serta memiliki pola *intermittent* atau *lumpy*. Dari 34 sampel *spare part* tersebut, dipilih lima *spare part* yang akan dilakukan perhitungan selanjutnya. *Spare part* yang tepilih antara lain *Cylinder Vacuum Pump; Bearing,*

6209-2Z; Support, DWG-No. PT-411-M-032; Plate, Slide Plate Valve Assy, dan *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040.*

5.2 Analisis Metode Peramalan Kebutuhan *Spare Part*

Peramalan kebutuhan *spare part* penting untuk dilakukan mengingat *spare part* merupakan penunjang dalam kinerja mesin produksi. Dengan metode peramalan yang tepat, dapat mengurangi risiko kelebihan atau kekurangan *spare part* dalam gudang. Pada penelitian ini dilakukan peramalan menggunakan tiga metode yang berbeda untuk menentukan kebutuhan *spare part*, antara lain metode Croston, metode SBA, dan metode *age replacement*.

Metode Croston merupakan metode pengembangan dari *exponential smoothing*. Dalam metode Croston terdapat dua parameter yang dipertimbangkan, yaitu *demand size* (permintaan *non-zero*) dan *inter-demand interval* (waktu antar kedatangan permintaan). Apabila tidak terdapat permintaan pada periode t, maka estimasi besarnya permintaan dan *inter-demand interval* tidak mengalami perubahan. Metode Croston akan menghasilkan peramalan yang halus, hal tersebut dikarenakan dengan menggunakan metode ini dapat mengurangi variasi permintaan yang terjadi.

Metode SBA pada dasarnya menggunakan persamaan dari metode Croston. Metode ini merupakan pengembangan dari metode Croston. Pada metode Croston menunjukkan hasil peramalan yang bias, oleh karena itu dalam metode SBA mempertimbangkan faktor estimasi $1 - \frac{\alpha}{2}$ untuk mengurangi bias yang dihasilkan pada metode Croston.

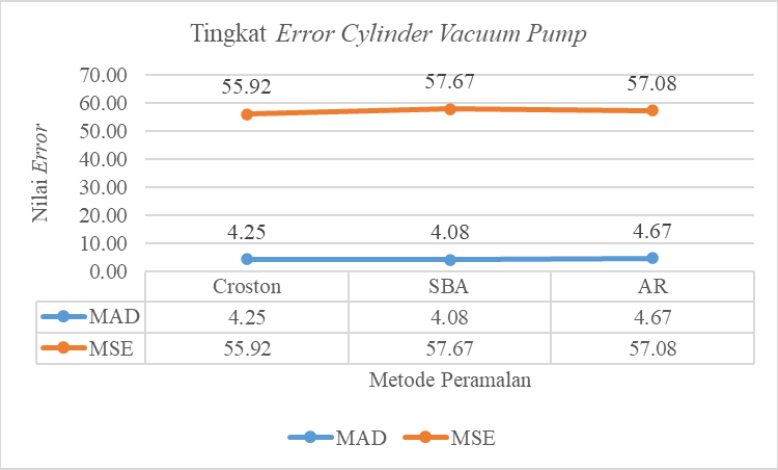
Metode *age replacement* merupakan salah satu model untuk menentukan kebutuhan *spare part* yang mempertimbangkan faktor *reliability* dalam perhitungannya. Dalam metode ini jenis distribusi berpengaruh terhadap perhitungan yang dilakukan. Dalam distribusi Weibull 3, terdapat tiga parameter yang digunakan, yaitu β (beta) menunjukkan bentuk atau *slope*, η (eta) menunjukkan skala, dan parameter γ (gamma) yang menunjukkan lokasi. Parameter-parameter tersebut merupakan masukan dalam perhitungan MTTF yang dilakukan. MTTF merupakan rata-rata waktu kerusakan yang akan datang. Pada Tabel 4. 25, nilai MTTF pada material *Cylinder Vacuum Pump* adalah sebesar 1138

jam. Hal tersebut berarti *spare part Cylinder Vacuum Pump* akan mengalami kerusakan setelah penggunaan selama 1138 jam. Dalam metode *age replacement* juga memperhitungkan beberapa biaya, antara lain biaya tenaga kerja, biaya *lost production*, harga *spare part*, biaya *preventive replacement*, dan biaya *corrective replacement*. Biaya tenaga kerja yang meliputi manajer, *supervisor*, pelaksana, dan *outsorce* sebesar Rp 517,045.45 per jam. Biaya *lost production* merupakan kerugian yang timbul diakibatkan tidak berjalannya proses produksi sebagaimana harusnya. Dalam biaya *lost production*, diasumsikan kerugian yang ditimbulkan setara dengan HPP dari semen. Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan biaya *lost production* yang timbul adalah sebesar RP 162,590,000.00 per jam. Biaya lain yang diperhitungkan adalah biaya per komponen yang dapat dilihat pada Tabel 4. 27. Biaya tenaga kerja, biaya *lost production*, dan biaya komponen merupakan masukan dalam perhitungan biaya *preventive replacement* dan *corrective replacement*. Selain ketiga biaya tersebut, terdapat Tp dan Tf dalam perhitungan biaya. Tp merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian pencegahan. Nilai Tp didapatkan dari ekspektasi teknisi dalam melakukan penggantian pencegahan. Sedangkan Tf merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penggantian yang diakibatkan karena kerusakan. Nilai Tf didapatkan dari data perusahaan ketika melakukan penggantian *spare part*. Dengan memperhitungkan seluruh biaya tersebut, dapat diketahui interval penggantian optimal untuk masing-masing *spare part*. Interval penggantian optimal dilakukan berdasarkan ekspektasi total biaya penggantian minimum atau $C(t_p)$. Nilai $C(t_p)$ paling minimum didapatkan dengan mengubah nilai t_p. Pada Tabel 4. 31 didapatkan interval penggantian optimal (t_p) pada *Cylinder Vacuum Pump* adalah selama 2022 jam*; Bearing, 6209-2Z* selama 9200 jam*; Support, DWG-No. PT-411-M-032* selama 9140 jam*; Plate, Slide Plate Valve Assy* selama 173 jam*;* dan *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040* selama 4028 jam. Apabila dibandingkan dengan nilai MTTF pada Tabel 4. 25, seluruh *spare part* selain *Plate, Slide Plate Valve Assy* memiliki t_p diatas nilai MTTF. Berdasarkan nilai interval penggantian optimal, dapat diketahui kebutuhan *spare part* untuk masing-masing *item*. Berdasarkan Tabel 4. 32, kebutuhan *spare part* untuk *Cylinder Vacuum Pump* adalah sebanyak 59 buah*; Bearing, 6209-2Z* sebanyak 14 buah*; Support, DWG-No.*

PT-411-M-032 sebanyak 15 buah*; Plate, Slide Plate Valve Assy* sebanyak 103 buah*;* dan *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040* sebanyak 16 buah.

5.3 Analisis Perhitungan Tingkat *Error*

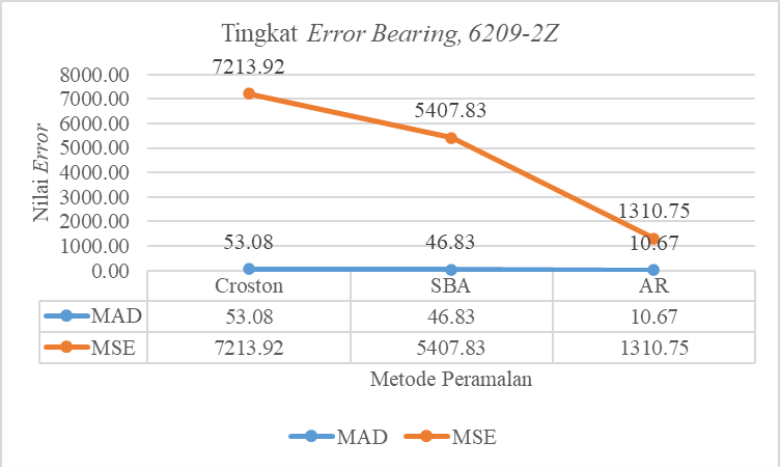
Pemilihan metode peramalan kebutuhan *spare part* terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai MAD dan MSE pada masing-masing metode. MAD digunakan apabila ingin mengukur kesalahan peramalan dalam unit ukuran yang sama dengan data yang sebenarnya. Sedangkan MSE digunakan karena dapat menghasilkan kesalahan yang moderat, namun terkadang menghasilkan kesalahan yang lebih kecil, tetapi tidak jarang pula dapat menghasilkan kesalahan yang sangat besar. Perhitungan tingkat *error* dapat lebih akurat apabila menggunakan MAPE atau *mean absolute percentage error*. Namun dalam kasus pola permintaan *intermittent* atau *lumpy* yang seringkali mengalami *zero demand*, perhitungan tingkat *error* tidak dapat dilakukan. Hal tersebut dikarenakan dalam persamaan MAPE, terdapat data aktual yang dijadikan sebagai pembilang. Apabila nilai pembilang dalam persamaan MAPE = 0, maka persamaan tersebut tidak dapat didefinisikan. Oleh karena itu perhitungan tingkat *error* hanya menggunakan dua pengukuran, yaitu MAD dan MSE.



Gambar 5. 4 Tingkat *Error Cylinder Vacuum Pump*

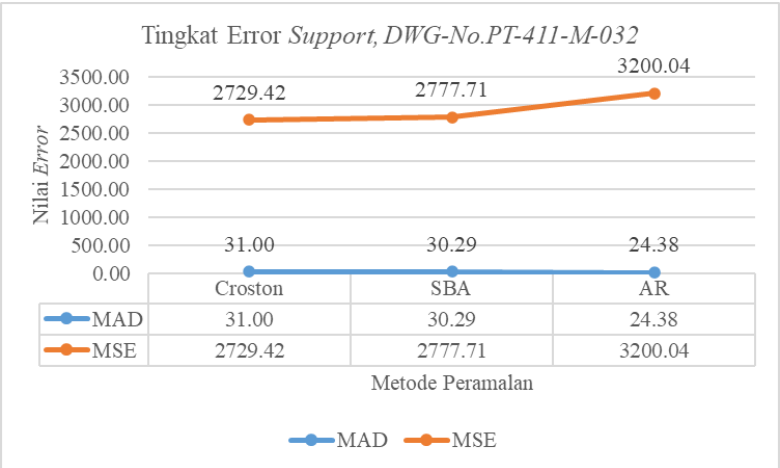
Pada Gambar 5. 4, metode SBA memiliki nilai MAD yang lebih kecil, sedangkan pada metode Croston menghasilkan MSE terendah. Dikarenakan nilai

MAD dan MSE terendah pada metode yang berbeda, Pemilihan metode yang tepat diprioritaskan pada metode yang memiliki nilai MAD terendah. Hal tersebut dikarenakan nilai MAD merupakan nilai *error* hasil perbandingan langsung dengan data sebenarnya. Semakin kecil nilai MAD, maka semakin kecil perbedaan hasil peramalan dengan data permintaan sebenarnya. Oleh karena itu metode peramalan *spare part Cylinder Vacuum Pump* yang tepat dapat menggunakan metode SBA.



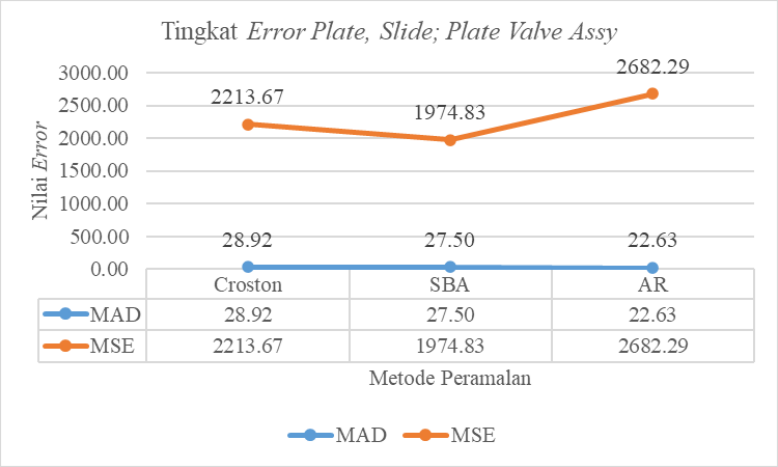
Gambar 5. 5 Tingkat *Error Bearing, 6209-2Z*

Sedangkan untuk *spare part Bearing, 6209-2Z*, metode peramalan kebutuhan *spare part* dengan menggunakan *age replacement* memiliki nilai MAD maupun nilai MSE terendah. Oleh karena itu metode peramalan yang tepat untuk *spare part Bearing, 6209-2Z* adalah menggunakan model *age replacement*.



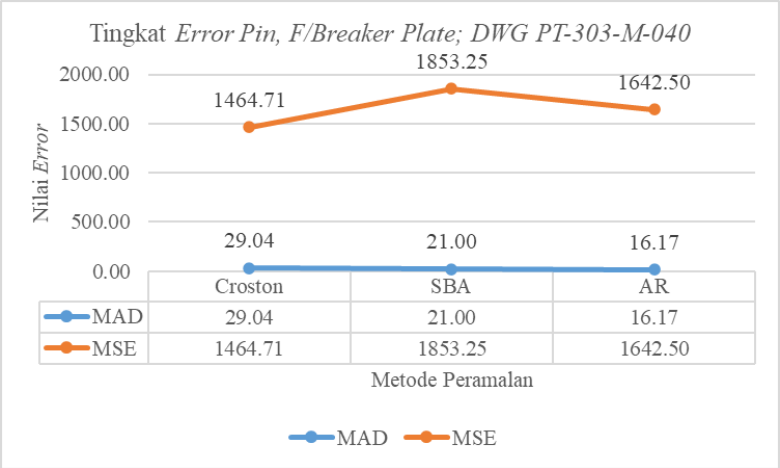
Gambar 5. 6 Tingkat *Error Support, DWG-No. PT-411-M-032*

Pada *spare part Support, DWG-No. PT-411-M-032*, metode *age replacement* memiliki nilai MAD terendah, namun metode ini memiliki nilai MSE tertinggi apabila dibandingkan dengan metode lainnya. Metode SBA memiliki nilai MSE terendah yaitu sebesar 2777.71. Meskipun metode SBA memiliki nilai MSE terendah, pemilihan metode yang tepat untuk *spare part Support, DWG-No. PT-411-M-032* adalah dengan menggunakan metode *age replacement* dikarenakan memiliki nilai MAD terendah.



Gambar 5. 7 Tingkat *Error Plate, Slide; Plate Valve Assy*

Metode *age replacement* pada *spare part Plate, Slide; Plate Valve Assy* memiliki nilai MAD terendah. Namun nilai MSE terendah terdapat pada metode SBA. Pemilihan metode yang tepat lebih diprioritaskan melihat nilai MAD terendah, hal tersebut dikarenakan semakin rendah nilai MAD, maka semakin kecil perbedaan yang terjadi antara data yang sebenarnya dengan data hasil peramalan.



Gambar 5. 8 Tingkat *Error Pin, F/Breaker Plate; DWG PT-303-M-040*

Sedangkan untuk *spare part Pin, F/Breaker Plate; DWG PT-303-M-040*, metode peramalan yang memiliki nilai MSE terendah adalah metode Croston. Namun metode yang memiliki nilai MAD terendah adalah metode *age replacement* dengan nilai MAD sebesar 16.17. Oleh karena itu, metode *age replacement* merupakan metode yang dipilih untuk meramalkan kebutuhan *spare part Pin, F/Breaker Plate; DWG PT-303-M-040*. Berdasarkan hasil analisis tingkat *error* diatas, berikut ini merupakan metode terpilih pada masing-masing *spare part*.

Tabel 5. 1 Metode Terpilih Masing-Masing *Spare Part*

No	Material	Metode Terpilih
1	CYLINDER VACUUM PUMP	SBA
2	BEARING, 6209-2Z	*Age Replacement*
3	SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	*Age Replacement*
4	PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	*Age Replacement*
5	PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040	*Age Replacement*

Berdasarkan Tabel 5. 1, empat dari lima *spare part* cocok untuk menerapkan metode *age replacement* dalam menentukan total kebutuhan *spare part*. Hal tersebut dikarenakan dalam metode *age replacement*, perhitungan kebutuhan *spare part* mengikuti jenis distribusi data penggunaan *spare part*. Sehingga hasil dari metode ini dapat menyesuaikan dengan data historis yang digunakan. Namun berdasarkan hasil perhitungan tingkat *error*, hanya *spare part Cylinder Vacuum Pump* yang cocok menggunakan metode SBA. Hal tersebut

dikarenakan permintaan *spare part Cylinder Vacuum Pump* baru terjadi pada akhir periode. Sebagaimana diketahui, metode Croston ataupun SBA merupakan metode dimana bertujuan untuk memperhalus hasil peramalan secara keseluruhan, sehingga dapat mengurangi tingkat variansi yang terjadi. Apabila permintaan terjadi pada awal periode, metode Croston dan SBA akan menghasilkan peramalan dengan jumlah yang tidak sedikit. Namun apabila permintaan terjadi di akhir periode, peramalan pada awal-awal periode akan bernilai = 0. Semakin banyak permintaan yang bernilai 0 di awal periode, maka semakin rendah pula nilai MAD yang dihasilkan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dilakukan penarikan kesimpulan serta pemberian saran dari hasil penelitian yang dilakukan. Penarikan kesimpulan berdasarkan pada tujuan penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Sedangkan pemberian saran ditujukan untuk penelitian-penelitian yang selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Terdapat tiga kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini. Berikut ini merupakan kesimpulan yang didapatkan dari penelitian "Peramalan Kebutuhan *Spare Part* untuk Barang dengan Karakteristik *High-Usage Value, Vital*, dan Pola *Lumpy* di Sebuah Perusahaan Semen di Indonesia".

1. Terdapat tiga kelas dalam klasifikasi ABC yaitu kelas A yang memiliki kontribusi nilai sebesar 80%, kelas B yang memiliki kontribusi nilai sebesar 15%, dan kelas C yang memiliki kontribusi nilai sebesar 5%. Terdapat 218 *spare part* yang termasuk dalam kelas A atau setara dengan 18% dari total seluruh *spare part*, sebanyak 283 *spare part* termasuk dalam kelas B setara dengan 23%, dan sebanyak 739 atau 60% dari total seluruh *spare part* yang termasuk dalam kelas C. Dalam klasifikasi VED terdapat tiga kategori, antara lain kategori *vital, essential,* dan *desirable*. Sebesar 8% termasuk dalam kategori *vital*, 52% termasuk dalam kelas *essential*, dan terdapat 40% *spare part* yang termasuk dalam kategori *desirable*. Terdapat 42 *spare part* yang termasuk dalam kategori I dalam matriks ABC-VED. Dari ke-42 *spare part* tersebut, 34 *spare part* (81%) diantaranya memiliki pola permintaan *lumpy*, sedangkan 8 *spare part* (19%) lainnya memiliki pola permintaan *erratic*. Pola permintaan *spare part* diketahui dengan melakukan perhitungan terhadap nilai ADI dan CV pada masing-masing *spare part*.
2. Pada peramalan menggunakan metode Croston, total kebutuhan *spare part* untuk *Cylinder Vacuum Pump* adalah sebanyak 51 buah*; Bearing, 6209-2Z* sebanyak 1362 buah*; Support, DWG-No. PT-411-M-032* sebanyak 314 buah*; Plate, Slide Plate Valve Assy* sebanyak 758 buah*;* dan *Pin, F/ Breaker Plate*

DWG PT-303-M-040 sebanyak 507 buah. Pada metode SBA total kebutuhan *spare part* untuk *Cylinder Vacuum Pump* adalah sebanyak 41 buah*; Bearing, 6209-2Z* sebanyak 1166 buah*; Support, DWG-No. PT-411-M-032* sebanyak 275 buah*; Plate, Slide Plate Valve Assy* sebanyak 644 buah*;* dan *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040* sebanyak 435 buah. Sedangkan untuk metode *age replacement* total kebutuhan *spare part* untuk *Cylinder Vacuum Pump* adalah sebanyak 59 buah*; Bearing, 6209-2Z* sebanyak 14 buah*; Support, DWG-No. PT-411-M-032* sebanyak 15 buah*; Plate, Slide Plate Valve Assy* sebanyak 103 buah*;* dan *Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040* sebanyak 16 buah.

3. Pemilihan metode peramalan yang tepat berdasarkan pada nilai MAD dan MSE yang terendah. Pada *spare part Cylinder Vacuum Pump* metode peramalan yang tepat adalah dengan menggunakan metode SBA dengan nilai MAD sebesar 4.08 dan nilai MSE sebesar 57.67. Metode peramalan yang tepat untuk *spare part Bearing, 6209-2Z* adalah menggunakan metode *age replacement* dengan nilai MAD sebesar 10.67 dan nilai MSE sebesar 1310.75. Pada *spare part Support, DWG-No. PT-411-M-032,* metode *age replacement* merupakan metode yang tepat dengan nilai MAD sebesar 24.38 dan nilai MSE sebesar 3200.04. Untuk *spare part Plate, Slide Plate Valve Assy* metode peramalan yang tepat menggunakan metode *age replacement* dengan nilai MAD sebesar 22.63 dan nilai MSE sebesar 2682.29. Sedangkan untuk *spare part Pin, F/ Breaker Plate DWG PT-303-M-040,* metode *age replacement* merupakan metode yang tepat untuk diterapkan dengan nilai MAD sebesar 16.17 dan nilai MSE sebesar 1642.50.

6.2 Saran

Berikut ini merupakan saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang sejenis.

1. Mempertimbangkan penggunaan metode lain dalam penentuan kebutuhan *spare part* untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
2. Menggunakan data yang lebih lengkap, agar dapat menganalisis permasalahan yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Najjar, S. M., Jawad, M. K. & Saber, O. A., 2018. Application of ABC-VED Matrix Analysis to Control the Inventory of a Central Pharmacy in a Public Hospital: A Case Study. *International Journal of Science and Research,* 9(1), pp. 1328-1335.

Ashley, L. & Armitage, G., 2010. Failure Mode Effects and Analysis: An Empirical Comparison of Failure Mode Scoring Procedures. *J Patient Saf,* Volume 6, pp. 210-215.

Baart, A. L. J., 2014. *Forecasting Spare Parts Demand Using Information about Future Maintenance Sessions*, s.l.: s.n.

Bailey, G. J. & Helms, M., 2007. MRO Inventory Reduction-Challenges and Management: A Case Study of the Tennessee Valley Authority. *Production Planning & Control: The Management of Operations,* 18(3), pp. 261-270.

Botter, R. & Fortuin, L., 2000. Stocking Strategy for Service Parts - A Case Study. *International Journal of Operations & Production Management,* pp. 656-674.

Croston, 1972. Forecasting and Stock Control for Intermittent Demands. *Journal of the Operational Research Society,* pp. 289-303.

Dhillon, B. S., 2006. *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers.* USA: CRC.

Elsayed, E. A., 2012. *Reliability Engineering.* 2nd penyunt. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Faisal, R. M., Suryadhini, P. P. & Juliani, W., 2017. Analisis Perencanaan Kapasitas Produksi pada Perawatan Engine CT7. *Prosiding SNTI dan SATELIT 2017,* pp. 123-130.

Fattah, J. et al., 2018. Forecasting of Demand Using ARIMA Model. *International Journal of Engineering Business Management,* Volume 10, pp. 1-9.

Franklin, B. D., Shelbl, N. A. & Barber, N., 2012. Failure Mode Effects and Analysis: Too Little for Too Much?. *BMJ Qual Saf,* Volume 21, pp. 607-611.

Ghobbar, A. & Friend, C., 2004. The Material Requirement Planning System for Aircraft Maintenance and Inventory Control. *Journal of Air Transport Management*, pp. 217-221.

Ghodrati, B. & Kumar, U., 2014. A Leading Journal of Supply Chain Management Operating Environment-Based Spare Parts Forecasting and Logistic. *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp. 37-41.

Gutierrez, R. S., Solis, A. O. & Mukhopadhay, S., 2008. Lumpy Demand Forecasting Using Neural Network. *International Journal of Production Economics*, III(2), pp. 409-420.

Gutierrez, R. S., Solis, A. O. & Mukhopadhyay, S., 2008. Lumpy Demand Forecasting Using Neural Networks. *International Journal of Production Economics*, pp. 409-420.

Handoko, T. Y., 2014. *Dasar-Dasar Menajemen Produksi dan Operasi.* 1st penyunt. Yogyakarta: BPFE.

Hasni, M., Aguir, M. S., Babai, M. Z. & Jemai, Z., 2019. Spare Parts Demand Forecasting : A Review on Bootstrapping Methods. *International Journal of Production Research*, Volume 57, pp. 4791-4804.

Hassan, A., Siadat, A., Dantan, J. Y. & Martin, P., 2009. Interoperability of QFD, FMEA, and KCs Methods in the Product Development Process. *Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 403-407.

Hazhiah, I. T., Sugianto & Rahmawati, R., 2012. Estimasi Parameter Distribusi Weibull Dua Parameter Menggunakan Metode Bayes. *Jurnal Media Statistika*, pp. 27-35.

Hemeimat, R., Qatawneh, L. A., Arafah, M. & Masoud, S., 2016. Forecasting Spare Parts Demand Using Statistical Analysis. *American Journal of Operations Research*, Volume II, pp. 113-120.

Herjanto, E., 2003. *Manajemen Produksi dan Operasi.* Jakarta: Grasindo.

Indrajit, R. E. & Djokopranoto, R., 2003. *Manajemen Persediaan, Barang Umum dan Suku Cadang untuk Pemeliharaan dan Operasi.* Jakarta: Grasindo.

Jardine, A. K. & Tsang, A. H., 2013. *Maintenance, Replacement, and Reliability: Theory and Applications.* 2nd penyunt. New York: CRC Press.

Khurana, S., Chillar, N. & Gautam, K., 2013. Inventory Control Techniques in Medical Stores of a Tertiary Care Neuropsychiatry Hospital in Delhi. *Health,* Volume 5, pp. 8-13.

Kontrec, N. & Panic, S., 2017. *Spare Part Forecasting Based on Reliability,* s.l.: INTECH.

Kurniyah, R. W., Rusdiansyah, A. & Arvitrida, N. I., 2010. Analisis Pemilihan Metode Pengendalian Persediaan Material Consumable Pesawat B737 berdasarkan Klasifikasi Material (Studi Kasus di PT. GMF Aero Asia). *Jurnal Tugas Akhir Teknik Industri ITS.*

Lalu, S., 2003. *Dasar-Dasar Manajemen Produksi dan Operasi.* 1st penyunt. Jakarta: Salemba Empat.

Leven, E. & Segerstedt, A., 2004. Inventory Control with a Modified Croston Procedure and Erlang Distribution. *International Journal of Production Economics,* pp. 90: 361-7.

Manzini, R., Regattieri, A., Pham, H. & Ferrari, E., 2009. *Maintenance for Industrial System.* New York, US: Springer Science and Media.

Matricola, A. C., 2009. *Forecasting Methods for Spare Parts Demand,* s.l.: s.n.

Mehrotra, A., Natraj, N. R. & Trick, M. A., 2001. Consolidating Maintenance Spares. *Computational Optimization and Applications,* 18(3), pp. 251-272.

Mobarakeh, N. A., Shahzad, M. K., Baboli, A. & Tonadre, R., 2017. Improved Forecasts for Uncertain and Unpredictable Spare Parts Demand in Business Aircraft with Bootstrap Method. *International Federation of Automatic Control,* Volume 50, pp. 15241-15246.

Nasution, A. H., 2008. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi.* 2nd penyunt. Surabaya: Prima Printing.

Otaya, L. G., 2016. Distribusi Probabilitas Weibull dan Aplikasinya. *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam,* Volume 4, pp. 44-66.

Pardede, P. M., 2005. *Manajemen Operasi dan Produksi.* Jakarta: Andi Offset.

Pund, S. et al., 2016. ABC-VED Matrix Analysis of Government Medical College, Aurangabad Drug Store. *International Journal of Community Medicine and Public Health,* Volume 3, pp. 469-472.

Saravanan, A. M., Anbuudayasankar, S. P., David, P. A. W. & S., N. M., 2019. Forecasting Techniques for Sales of Spare Part. *International Journal of Recent Technology and Engineering,* 8(3), pp. 27-30.

Scroeder, Goldstein & Rungtusanatham, 2010. *Operations Management: Contemporary Concepts adn Cases.* 5th penyunt. s.l.:McGraw-Hill.

Simamora, Y. K., Puspita, E. & Herrhyanto, N., 2019. Peramalan Jumlah Permintaan Spare Part LCV Bushing Struthbar dengan Menggunakan Metode Croston dan Metode Syntetos Boylan Approximation. *Jurnal EurekaMatika,* Volume 7, pp. 47-57.

Syntetos, A. & Boylan, J., 2005. The Accuracy of Intermittent Demand Estimates. *International Journal of Forecasting,* Volume 21, pp. 303-314.

Tersine, R. J., 1994. *Principles of Inventory and Materials Management.* 4th penyunt. USA: Prentice Hall, Inc.

Thawani, E. A., 2004. Economic Analysis of Drug Expensive in Government Medical College Hospital. *The Indian Journal of Pharmacology*, pp. 15-16.

Tim, G., D., M., Mitchke & Rogers, M. C., 2005. *Profiting from Spare Parts,* s.l.: The McKinsey Quarterly.

Vaisakh & Dileepal, U., 2013. Inventory Management of Spare Part by Combined FSN and VED Analysis. *International Journal of Engineering and Innovative Technology,* Volume 2, No. 7.

Vargaz, C. A. G. & Cortes, M. E., 2017. Automobile Spare-Parts Forecasting : A Comparative Study of Time Series Methods. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering,* 14(1), pp. 3898-3912.

Vaz, S. et al., 2008. A Study of Drug Expenditure at a Tertiary Care Hospital: An ABC-VED Analysis. *Journal of Health Management,* Volume 10, pp. 119-127.

Vrat, P., 2014. *Materials Management An Integrated System Approach.* India: Springer.

Willemain, T. R., Smart, C. N. & Schwarz, H. F., 2004. A New Approach to Forecasting Intermittent Demand for Service Parts Inventories. *International Journal of Forecasting,* pp. 20: 375-387.

Xin, H., Cui, Y., Liu, X. & Luo, S., 2015. Aircraft Spareparts Demand Forecasting based on Multiple ARIMA Model. *International Conferenceon Information Sciences, Machinery, Materials, and Energy*, pp. 744-747.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

LAMPIRAN A PERHITUNGAN *COEFICIENT VARIANCE*

Thn	Periode	201-200054				201-200053				201-200051			
		εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2
2018	1	134	397.5	-263.5	69432.25	501	350.8333	150.1667	22550.03	720	754.9167	-34.9167	1219.174
	2	491		93.5	8742.25	345		-5.83333	34.02778	1158		403.0833	162476.2
	3	444		46.5	2162.25	688		337.1667	113681.4	1021		266.0833	70800.34
	4	256		-141.5	20022.25	390		39.16667	1534.028	449		-305.917	93585.01
	5	544		146.5	21462.25	500		149.1667	22250.69	1876		1121.083	1256828
	6	1376		978.5	957462.3	303		-47.8333	2288.028	654		-100.917	10184.17
	7	453		55.5	3080.25	166		-184.833	34163.36	400		-354.917	125965.8
	8	704		306.5	93942.25	835		484.1667	234417.4	956		201.0833	40434.51
	9	285		-112.5	12656.25	590		239.1667	57200.69	366		-388.917	151256.2
	10	158		-239.5	57360.25	0		-350.833	123084	156		-598.917	358701.2
	11	243		-154.5	23870.25	97		-253.833	64431.36	1176		421.0833	177311.2
	12	336		-61.5	3782.25	514		163.1667	26623.36	243		-511.917	262058.7
2019	1	517		119.5	14280.25	340		-10.8333	117.3611	2171		1416.083	2005292
	2	202		-195.5	38220.25	493		142.1667	20211.36	707		-47.9167	2296.007
	3	438		40.5	1640.25	648		297.1667	88308.03	550		-204.917	41990.84
	4	613		215.5	46440.25	219		-131.833	17380.03	296		-458.917	210604.5
	5	300		-97.5	9506.25	260		-90.8333	8250.694	1687		932.0833	868779.3
	6	859		461.5	212982.3	52		-298.833	89301.36	493		-261.917	68600.34
	7	101		-296.5	87912.25	368		17.16667	294.6944	386		-368.917	136099.5
	8	88		-309.5	95790.25	478		127.1667	16171.36	1046		291.0833	84729.51
	9	77		-320.5	102720.3	111		-239.833	57520.03	329		-425.917	181405
	10	332		-65.5	4290.25	171		-179.833	32340.03	380		-374.917	140562.5
	11	390		-7.5	56.25	0		-350.833	123084	898		143.0833	20472.84
	12	199		-198.5	39402.25	351		0.166667	0.027778	0		-754.917	569899.2

Thn	Periode	201-200062				331-200823				307-200009			
		εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2
2018	1	83	31.20833	51.79167	2682.377	0	3.541667	-3.54167	12.5434	2	2.166667	-0.16667	0.027778
	2	0		-31.2083	973.9601	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	3	14		-17.2083	296.1267	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	4	75		43.79167	1917.71	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	5	115		83.79167	7021.043	0		-3.54167	12.5434	2		-0.16667	0.027778
	6	19		-12.2083	149.0434	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	7	96		64.79167	4197.96	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	8	43		11.79167	139.0434	0		-3.54167	12.5434	6		3.833333	14.69444
	9	19		-12.2083	149.0434	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	10	78		46.79167	2189.46	0		-3.54167	12.5434	1		-1.16667	1.361111
	11	46		14.79167	218.7934	0		-3.54167	12.5434	1		-1.16667	1.361111
	12	22		-9.20833	84.7934	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
2019	1	32		0.791667	0.626736	0		-3.54167	12.5434	8		5.833333	34.02778
	2	31		-0.20833	0.043403	20		16.45833	270.8767	5		2.833333	8.027778
	3	27		-4.20833	17.71007	21		17.45833	304.7934	1		-1.16667	1.361111
	4	0		-31.2083	973.9601	0		-3.54167	12.5434	0		-2.16667	4.694444
	5	16		-15.2083	231.2934	0		-3.54167	12.5434	5		2.833333	8.027778
	6	1		-30.2083	912.5434	0		-3.54167	12.5434	5		2.833333	8.027778
	7	0		-31.2083	973.9601	0		-3.54167	12.5434	3		0.833333	0.694444
	8	13		-18.2083	331.5434	24		20.45833	418.5434	0		-2.16667	4.694444
	9	0		-31.2083	973.9601	20		16.45833	270.8767	2		-0.16667	0.027778
	10	0		-31.2083	973.9601	0		-3.54167	12.5434	2		-0.16667	0.027778
	11	0		-31.2083	973.9601	0		-3.54167	12.5434	4		1.833333	3.361111
	12	19		-12.2083	149.0434	0		-3.54167	12.5434	5		2.833333	8.027778

Thn	Periode	623-200354				616-200629				318-200031			
		εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2
2018	1	0	11.25	-11.25	126.5625	1	22.916667	-21.916667	480.34028	0	25	-25	625
	2	153		141.75	20093.063	3		-19.916667	396.67361	0		-25	625
	3	0		-11.25	126.5625	2		-20.916667	437.50694	0		-25	625
	4	0		-11.25	126.5625	1		-21.916667	480.34028	6		-19	361
	5	0		-11.25	126.5625	3		-19.916667	396.67361	0		-25	625
	6	0		-11.25	126.5625	101		78.083333	6097.0069	0		-25	625
	7	0		-11.25	126.5625	168		145.08333	21049.174	0		-25	625
	8	0		-11.25	126.5625	0		-22.916667	525.17361	0		-25	625
	9	0		-11.25	126.5625	0		-22.916667	525.17361	0		-25	625
	10	7		-4.25	18.0625	0		-22.916667	525.17361	0		-25	625
	11	8		-3.25	10.5625	0		-22.916667	525.17361	0		-25	625
	12	0		-11.25	126.5625	0		-22.916667	525.17361	101		76	5776
2019	1	4		-7.25	52.5625	2		-20.916667	437.50694	54		29	841
	2	0		-11.25	126.5625	0		-22.916667	525.17361	168		143	20449
	3	0		-11.25	126.5625	3		-19.916667	396.67361	0		-25	625
	4	0		-11.25	126.5625	236		213.08333	45404.507	0		-25	625
	5	0		-11.25	126.5625	2		-20.916667	437.50694	0		-25	625
	6	0		-11.25	126.5625	1		-21.916667	480.34028	0		-25	625
	7	0		-11.25	126.5625	21		-1.9166667	3.6736111	0		-25	625
	8	0		-11.25	126.5625	0		-22.916667	525.17361	0		-25	625
	9	0		-11.25	126.5625	0		-22.916667	525.17361	0		-25	625
	10	0		-11.25	126.5625	4		-18.916667	357.84028	0		-25	625
	11	0		-11.25	126.5625	2		-20.916667	437.50694	102		77	5929
	12	98		86.75	7525.5625	0		-22.916667	525.17361	169		144	20736

Thn	Periode	318-200022				301-200162				621-200338			
		εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2
2018	1	0	19.666667	-19.666667	386.77778	76	16	60	3600	0	17.166667	-17.166667	294.69444
	2	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	118		100.83333	10167.361
	3	43		23.333333	544.44444	0		-16	256	47		29.833333	890.02778
	4	108		88.333333	7802.7778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	5	197		177.33333	31447.111	0		-16	256	50		32.833333	1078.0278
	6	124		104.33333	10885.444	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	7	0		-19.666667	386.77778	150		134	17956	50		32.833333	1078.0278
	8	0		-19.666667	386.77778	2		-14	196	0		-17.166667	294.69444
	9	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	10	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	11	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	12	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
2019	1	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	2	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	3	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	4	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	5	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	6	0		-19.666667	386.77778	4		-12	144	0		-17.166667	294.69444
	7	0		-19.666667	386.77778	76		60	3600	0		-17.166667	294.69444
	8	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	9	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	50		32.833333	1078.0278
	10	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	0		-17.166667	294.69444
	11	0		-19.666667	386.77778	76		60	3600	0		-17.166667	294.69444
	12	0		-19.666667	386.77778	0		-16	256	97		79.833333	6373.3611

Thn	Periode	609-200396				201-200055				609-200011			
		εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2	εi	ε	εi-ε	(εi-ε)^2
2018	1	0	0.625	-0.625	0.390625	117	50.541667	66.458333	4416.7101	0	2.5416667	-2.5416667	6.4600694
	2	0		-0.625	0.390625	525		474.45833	225110.71	0		-2.5416667	6.4600694
	3	0		-0.625	0.390625	3		-47.541667	2260.2101	0		-2.5416667	6.4600694
	4	0		-0.625	0.390625	66		15.458333	238.96007	0		-2.5416667	6.4600694
	5	0		-0.625	0.390625	55		4.4583333	19.876736	0		-2.5416667	6.4600694
	6	0		-0.625	0.390625	12		-38.541667	1485.4601	0		-2.5416667	6.4600694
	7	0		-0.625	0.390625	0		-50.541667	2554.4601	0		-2.5416667	6.4600694
	8	0		-0.625	0.390625	7		-43.541667	1895.8767	0		-2.5416667	6.4600694
	9	0		-0.625	0.390625	12		-38.541667	1485.4601	0		-2.5416667	6.4600694
	10	0		-0.625	0.390625	2		-48.541667	2356.2934	0		-2.5416667	6.4600694
	11	0		-0.625	0.390625	22		-28.541667	814.62674	0		-2.5416667	6.4600694
	12	0		-0.625	0.390625	0		-50.541667	2554.4601	0		-2.5416667	6.4600694
2019	1	0		-0.625	0.390625	118		67.458333	4550.6267	60		57.458333	3301.4601
	2	0		-0.625	0.390625	29		-21.541667	464.0434	0		-2.5416667	6.4600694
	3	0		-0.625	0.390625	1		-49.541667	2454.3767	0		-2.5416667	6.4600694
	4	0		-0.625	0.390625	42		-8.5416667	72.960069	1		-1.5416667	2.3767361
	5	0		-0.625	0.390625	2		-48.541667	2356.2934	0		-2.5416667	6.4600694
	6	0		-0.625	0.390625	9		-41.541667	1725.7101	0		-2.5416667	6.4600694
	7	0		-0.625	0.390625	14		-36.541667	1335.2934	0		-2.5416667	6.4600694
	8	0		-0.625	0.390625	0		-50.541667	2554.4601	0		-2.5416667	6.4600694
	9	15		14.375	206.64063	5		-45.541667	2074.0434	0		-2.5416667	6.4600694
	10	0		-0.625	0.390625	18		-32.541667	1058.9601	0		-2.5416667	6.4600694
	11	0		-0.625	0.390625	8		-42.541667	1809.7934	0		-2.5416667	6.4600694
	12	0		-0.625	0.390625	146		95.458333	9112.2934	0		-2.5416667	6.4600694

LAMPIRAN B PERAMALAN METODE CROSTON

CYLINDER VACUUM PUMP					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.00	0
3	0	0.00	3	0.00	0
4	0	0.00	4	0.00	0
5	0	0.00	5	0.00	0
6	0	0.00	6	0.00	0
7	0	0.00	7	0.00	0
8	0	0.00	8	0.00	0
9	0	0.00	9	0.00	0
10	0	0.00	10	0.00	0
11	0	0.00	11	0.00	0
12	0	0.00	12	0.00	0
13	0	0.00	13	0.00	0
14	20	6.00	1	3.90	2
15	21	10.50	1	3.03	4
16	0	10.50	2	3.03	4
17	0	10.50	3	3.03	4
18	0	10.50	4	3.03	4
19	0	10.50	5	3.03	4
20	24	14.55	1	3.62	5
21	20	16.19	1	2.83	6
22	0	16.19	2	2.83	6
23	0	16.19	3	2.83	6
24	0	16.19	4	2.83	6
Total	**85**				**51**

BEARING, 6209-2Z					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	153	45.90	1	0.30	153
3	0	45.90	2	0.30	153
4	0	45.90	3	0.30	153
5	0	45.90	4	0.30	153
6	0	45.90	5	0.30	153
7	0	45.90	6	0.30	153
8	0	45.90	7	0.30	153
9	0	45.90	8	0.30	153
10	7	34.23	1	2.61	14
11	8	26.36	1	2.13	13

BEARING, 6209-2Z					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
12	0	26.36	2	2.13	13
13	4	19.65	1	2.09	10
14	0	19.65	2	2.09	10
15	0	19.65	3	2.06	10
16	0	19.65	4	2.06	10
17	0	19.65	5	2.06	10
18	0	19.65	6	2.06	10
19	0	19.65	7	2.06	10
20	0	19.65	8	3.54	6
21	0	19.65	9	4.88	5
22	0	19.65	10	4.88	5
23	0	19.65	11	4.88	5
24	98	43.16	1	6.72	7
Total	**270**				**1362**

SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.30	0
3	0	0.00	3	0.30	0
4	6	1.80	1	1.11	2
5	0	1.80	2	1.11	2
6	0	1.80	3	1.11	2
7	0	1.80	4	1.11	2
8	0	1.80	5	1.11	2
9	0	1.80	6	1.11	2
10	0	1.80	7	2.58	1
11	0	1.80	8	3.90	1
12	101	31.56	1	5.13	7
13	54	38.29	1	3.89	10
14	168	77.20	1	3.03	26
15	0	77.20	2	2.42	32
16	0	77.20	3	2.42	32
17	0	77.20	4	2.42	32
18	0	77.20	5	2.42	32
19	0	77.20	6	2.42	32
20	0	77.20	7	3.49	23
21	0	77.20	8	4.54	17
22	0	77.20	9	4.54	17
23	102	84.64	1	5.88	15

SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
24	169	109.95	1	4.42	25
Total	**600**				**314**

PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.30	0
3	43	12.90	1	0.81	16
4	108	41.43	1	0.87	48
5	197	88.10	1	0.91	98
6	124	98.87	1	0.93	106
7	0	98.87	2	0.93	106
8	0	98.87	3	0.93	106
9	0	98.87	4	0.93	106
10	0	98.87	5	1.85	54
11	0	98.87	6	2.80	36
12	0	69.21	7	3.76	19
13	0	48.45	8	4.73	11
14	0	33.91	9	5.71	6
15	0	33.91	10	6.70	6
16	0	33.91	11	6.70	6
17	0	33.91	12	6.70	6
18	0	33.91	13	6.70	6
19	0	33.91	14	6.70	6
20	0	33.91	15	8.89	4
21	0	33.91	16	10.72	4
22	0	33.91	17	10.72	4
23	0	23.74	18	12.61	2
24	0	16.62	19	14.22	2
Total	**472**				**758**

PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	76	22.80	1	0.00	0
2	0	22.80	2	0.00	0
3	0	22.80	3	0.00	0
4	0	22.80	4	0.00	0
5	0	22.80	5	0.00	0
6	0	22.80	6	0.00	0
7	150	60.96	1	1.80	34

PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
8	2	43.27	1	1.56	28
9	0	43.27	2	1.56	28
10	0	43.27	3	1.56	28
11	0	43.27	4	1.56	28
12	0	43.27	5	1.56	28
13	0	43.27	6	1.56	28
14	0	43.27	7	1.56	28
15	0	43.27	8	1.56	28
16	0	43.27	9	1.56	28
17	0	43.27	10	1.56	28
18	4	31.49	1	1.56	21
19	76	44.84	1	1.39	33
20	0	44.84	2	1.39	33
21	0	44.84	3	1.57	29
22	0	44.84	4	1.57	29
23	76	54.19	1	2.30	24
24	0	54.19	2	2.30	24
Total	**384**				**507**

LAMPIRAN C PERAMALAN METODE SBA

CYLINDER VACUUM PUMP					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.00	0
3	0	0.00	3	0.00	0
4	0	0.00	4	0.00	0
5	0	0.00	5	0.00	0
6	0	0.00	6	0.00	0
7	0	0.00	7	0.00	0
8	0	0.00	8	0.00	0
9	0	0.00	9	0.00	0
10	0	0.00	10	0.00	0
11	0	0.00	11	0.00	0
12	0	0.00	12	0.00	0
13	0	0.00	13	0.00	0
14	20	6.00	1	3.90	2
15	21	10.50	1	3.03	3
16	0	10.50	2	3.03	3
17	0	10.50	3	3.03	3
18	0	10.50	4	3.03	3
19	0	10.50	5	3.03	3
20	24	14.55	1	3.62	4
21	20	16.19	1	2.83	5
22	0	16.19	2	2.83	5
23	0	16.19	3	2.83	5
24	0	16.19	4	2.83	5
Total	**85**				**41**

BEARING, 6209-2Z					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	153	45.90	1	0.30	131
3	0	45.90	2	0.30	131
4	0	45.90	3	0.30	131
5	0	45.90	4	0.30	131
6	0	45.90	5	0.30	131
7	0	45.90	6	0.30	131
8	0	45.90	7	0.30	131
9	0	45.90	8	0.30	131
10	7	34.23	1	2.61	12
11	8	26.36	1	2.13	11

BEARING, 6209-2Z					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
12	0	26.36	2	2.13	11
13	4	19.65	1	2.09	8
14	0	19.65	2	2.09	8
15	0	19.65	3	2.06	9
16	0	19.65	4	2.06	9
17	0	19.65	5	2.06	9
18	0	19.65	6	2.06	9
19	0	19.65	7	2.06	9
20	0	19.65	8	3.54	5
21	0	19.65	9	4.88	4
22	0	19.65	10	4.88	4
23	0	19.65	11	4.88	4
24	98	43.16	1	6.72	6
Total	**270**				**1166**

SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.30	0
3	0	0.00	3	0.30	0
4	6	1.80	1	1.11	2
5	0	1.80	2	1.11	2
6	0	1.80	3	1.11	2
7	0	1.80	4	1.11	2
8	0	1.80	5	1.11	2
9	0	1.80	6	1.11	2
10	0	1.80	7	2.58	1
11	0	1.80	8	3.90	1
12	101	31.56	1	5.13	6
13	54	38.29	1	3.89	9
14	168	77.20	1	3.03	22
15	0	77.20	2	2.42	28
16	0	77.20	3	2.42	28
17	0	77.20	4	2.42	28
18	0	77.20	5	2.42	28
19	0	77.20	6	2.42	28
20	0	77.20	7	3.49	19
21	0	77.20	8	4.54	15
22	0	77.20	9	4.54	15
23	102	84.64	1	5.88	13

SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
24	169	109.95	1	4.42	22
Total	**600**				**275**

PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	0	0.00	1	0.00	0
2	0	0.00	2	0.30	0
3	43	12.90	1	0.81	14
4	108	41.43	1	0.87	41
5	197	88.10	1	0.91	83
6	124	98.87	1	0.93	90
7	0	98.87	2	0.93	90
8	0	98.87	3	0.93	90
9	0	98.87	4	0.93	90
10	0	98.87	5	1.85	46
11	0	98.87	6	2.80	31
12	0	69.21	7	3.76	16
13	0	48.45	8	4.73	9
14	0	33.91	9	5.71	6
15	0	33.91	10	6.70	5
16	0	33.91	11	6.70	5
17	0	33.91	12	6.70	5
18	0	33.91	13	6.70	5
19	0	33.91	14	6.70	5
20	0	33.91	15	8.89	4
21	0	33.91	16	10.72	3
22	0	33.91	17	10.72	3
23	0	23.74	18	12.61	2
24	0	16.62	19	14.22	1
Total	**472**				**644**

PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
1	76	22.80	1	0.00	0
2	0	22.80	2	0.00	0
3	0	22.80	3	0.00	0
4	0	22.80	4	0.00	0
5	0	22.80	5	0.00	0
6	0	22.80	6	0.00	0
7	150	60.96	1	1.80	29

PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040					
Periode	**Xt**	**Zt**	**qt**	**Pt**	**Ft**
8	2	43.27	1	1.56	24
9	0	43.27	2	1.56	24
10	0	43.27	3	1.56	24
11	0	43.27	4	1.56	24
12	0	43.27	5	1.56	24
13	0	43.27	6	1.56	24
14	0	43.27	7	1.56	24
15	0	43.27	8	1.56	24
16	0	43.27	9	1.56	24
17	0	43.27	10	1.56	24
18	4	31.49	1	1.56	18
19	76	44.84	1	1.39	28
20	0	44.84	2	1.39	28
21	0	44.84	3	1.57	25
22	0	44.84	4	1.57	25
23	76	54.19	1	2.30	21
24	0	54.19	2	2.30	21
Total	**384**				**435**

LAMPIRAN D INTERVAL PENGGANTIAN OPTIMAL

Material	tp	R(tp)	f(t)	M(tp)	C(tp)
CYLINDER VACUUM PUMP	3000	0.099	-0.1	-0.1109878	Rp 2,574,370.65
	2500	0.121	-0.122	-0.1387941	Rp 2,493,926.51
	2200	0.137	-0.137	-0.1587486	Rp 2,477,811.85
	2100	0.143	-0.144	-0.168028	Rp 2,477,324.89
	2060	0.146	-0.147	-0.1721311	Rp 2,468,877.92
	2040	0.147	-0.148	-0.1735053	Rp 2,474,442.22
	2023	0.148	-0.148	-0.1737089	Rp 2,476,732.90
	2022	0.149	-0.149	-0.1750881	Rp 2,459,980.81
	2021	0.149	-0.149	-0.1750881	Rp 2,461,180.48
	2020	0.149	-0.149	-0.1750881	Rp 2,462,381.31
	2000	0.15	-0.15	-0.1764706	Rp 2,468,733.69
	1500	0.192	-0.193	-0.2388614	Rp 2,501,209.82
	900	0.276	-0.276	-0.3812155	Rp 2,734,201.38
BEARING, 6209-2Z	9300	0.144	-0.145	-0.1693925	Rp 227,191.88
	9220	0.145	-0.159	-0.1859649	Rp 227,462.95
	9210	0.145	-0.188	-0.219883	Rp 227,714.55
	9205	0.145	-0.145	-0.1695906	Rp 227,830.75
	9201	0.145	-0.146	-0.1707602	Rp 227,929.84
	9200	0.146	-0.145	-0.1697892	Rp 226,273.96
	9000	0.148	-0.148	-0.1737089	Rp 227,930.39
	8000	0.159	-0.159	-0.1890606	Rp 237,262.90
	7000	0.173	-0.173	-0.2091898	Rp 247,320.33
	6000	0.189	-0.189	-0.2330456	Rp 261,798.63
SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032	9150	0.129	-0.13	-0.1492537	Rp 378,510.67
	9145	0.129	-0.114	-0.130884	Rp 378,712.04
	9141	0.129	-0.13	-0.1492537	Rp 378,882.52
	9140	0.13	-0.13	-0.1494253	Rp 375,742.17
	9130	0.13	-0.13	-0.1494253	Rp 376,152.81
	9125	0.13	-0.131	-0.1505747	Rp 376,358.79
	9122	0.13	-0.13	-0.1494253	Rp 376,481.97
	9120	0.13	-0.13	-0.1494253	Rp 376,564.35
	9111	0.13	-0.13	-0.1494253	Rp 376,935.51
	9100	0.13	-0.13	-0.1494253	Rp 377,390.15
	9000	0.131	-0.133	-0.1530495	Rp 378,393.22
	7000	0.163	-0.163	-0.1947431	Rp 381,869.93
	6000	0.183	-0.184	-0.2252142	Rp 390,883.90
	5000	0.209	-0.21	-0.2654867	Rp 402,594.89
	4000	0.243	-0.243	-0.321004	Rp 421,418.00
PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY	500	0.363	-0.363	-0.5698587	Rp 1,464,362.50
	220	0.86	-0.86	-6.1428571	Rp 984,711.79
	201	0.912	-0.912	-10.363636	Rp 970,644.53
	200	0.915	-0.915	-10.764706	Rp 969,658.25
	180	0.975	-0.975	-39	Rp 956,000.45
	179	0.978	-0.978	-44.454545	Rp 955,630.06
	175	0.991	-0.991	-110.11111	Rp 952,567.51
	173	0.997	-0.997	-332.33333	Rp 952,173.35
PIN, F/BREAKER	9000	0.111	-0.111	-0.1248594	Rp 308,544.16
	5000	0.224	-0.224	-0.2886598	Rp 258,885.11

Material	tp	R(tp)	f(t)	M(tp)	C(tp)	
PLATE; DWG PT-303-M-040	4500	0.247	-0.247	-0.3280212	Rp	257,502.34
	4030	0.272	-0.272	-0.3736264	Rp	257,397.83
	4029	0.272	-0.272	-0.3736264	Rp	257,461.63
	4028	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,435.73
	4027	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,499.32
	4026	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,562.95
	4025	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,626.61
	4022	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,817.77
	4021	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,881.56
	4020	0.273	-0.273	-0.3755158	Rp	256,945.37
	4000	0.274	-0.274	-0.3774105	Rp	257,139.05
	3000	0.343	-0.343	-0.52207	Rp	262,971.65

LAMPIRAN E PERHITUNGAN *ERROR*

CYLINDER VACUUM PUMP															
Periode	**Xt**	**Ft**			**Xt-Ft**			**(Xt-Ft)^2**			**Abs (Xt-Ft/n)**			**((Xt-Ft)^2)/n**		
		Croston	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**
1	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
2	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
4	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
6	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
8	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
10	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
12	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
14	20	2	2	4	18	18	16	324	324	256	0.75	0.75	0.67	13.50	13.50	10.67
15	21	4	3	4	17	18	17	289	324	289	0.71	0.75	0.71	12.04	13.50	12.04
16	0	4	3		-4	-3	0	16	9	0	0.17	0.13	0.00	0.67	0.38	0.00
17	0	4	3	4	-4	-3	-4	16	9	16	0.17	0.13	0.17	0.67	0.38	0.67
18	0	4	3		-4	-3	0	16	9	0	0.17	0.13	0.00	0.67	0.38	0.00
19	0	4	3	4	-4	-3	-4	16	9	16	0.17	0.13	0.17	0.67	0.38	0.67
20	24	5	4	4	19	20	20	361	400	400	0.79	0.83	0.83	15.04	16.67	16.67
21	20	6	5	4	14	15	16	196	225	256	0.58	0.63	0.67	8.17	9.38	10.67
22	0	6	5		-6	-5	0	36	25	0	0.25	0.21	0.00	1.50	1.04	0.00
23	0	6	5	4	-6	-5	-4	36	25	16	0.25	0.21	0.17	1.50	1.04	0.67
24	0	6	5	3	-6	-5	-3	36	25	9	0.25	0.21	0.13	1.50	1.04	0.38
Total	**85**	**51**	**41**	**59**	**34**	**44**	**26**	**1342**	**1384**	**1370**	**4.25**	**4.08**	**4.67**	**55.92**	**57.67**	**57.08**

BEARING, 6209-2Z																
Periode	**Xt**	**Ft**			**Xt-Ft**			**(Xt-Ft)^2**			**Abs (Xt-Ft/n)**			**((Xt-Ft)^2)/n**		
		Croston	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**
1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	153	153	131	4	0	22	149	0	484	22201	0.00	0.92	6.21	0.00	20.17	925.04
3	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
4	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
5	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
6	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
7	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
8	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
9	0	153	131		-153	-131	0	23409	17161	0	6.38	5.46	0.00	975.38	715.04	0.00
10	7	14	12	4	-7	-5	3	49	25	9	0.29	0.21	0.13	2.04	1.04	0.38
11	8	13	11	4	-5	-3	4	25	9	16	0.21	0.13	0.17	1.04	0.38	0.67
12	0	13	11		-13	-11	0	169	121	0	0.54	0.46	0.00	7.04	5.04	0.00
13	4	10	8		-6	-4	4	36	16	16	0.25	0.17	0.17	1.50	0.67	0.67
14	0	10	8		-10	-8	0	100	64	0	0.42	0.33	0.00	4.17	2.67	0.00
15	0	10	9		-10	-9	0	100	81	0	0.42	0.38	0.00	4.17	3.38	0.00
16	0	10	9		-10	-9	0	100	81	0	0.42	0.38	0.00	4.17	3.38	0.00
17	0	10	9		-10	-9	0	100	81	0	0.42	0.38	0.00	4.17	3.38	0.00
18	0	10	9		-10	-9	0	100	81	0	0.42	0.38	0.00	4.17	3.38	0.00
19	0	10	9		-10	-9	0	100	81	0	0.42	0.38	0.00	4.17	3.38	0.00
20	0	6	5		-6	-5	0	36	25	0	0.25	0.21	0.00	1.50	1.04	0.00
21	0	5	4		-5	-4	0	25	16	0	0.21	0.17	0.00	1.04	0.67	0.00
22	0	5	4		-5	-4	0	25	16	0	0.21	0.17	0.00	1.04	0.67	0.00
23	0	5	4		-5	-4	0	25	16	0	0.21	0.17	0.00	1.04	0.67	0.00
24	98	7	6	2	91	92	96	8281	8464	9216	3.79	3.83	4.00	345.04	352.67	384.00
Total	**270**	**1362**	**1166**	**14**	**-1092**	**-896**	**256**	**173134**	**129788**	**31458**	**53.08**	**46.83**	**10.67**	**7213.92**	**5407.83**	**1310.75**

SUPPORT, DWG-NO.PT-411-M-032																
Periode	**Xt**	**Ft**			**Xt-Ft**			**(Xt-Ft)^2**			**Abs (Xt-Ft/n)**			**((Xt-Ft)^2)/n**		
		Croston	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**
1	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	6	2	2		4	4	6	16	16	36	0.17	0.17	0.25	0.67	0.67	1.50
5	0	2	2		-2	-2	0	4	4	0	0.08	0.08	0.00	0.17	0.17	0.00
6	0	2	2		-2	-2	0	4	4	0	0.08	0.08	0.00	0.17	0.17	0.00
7	0	2	2		-2	-2	0	4	4	0	0.08	0.08	0.00	0.17	0.17	0.00
8	0	2	2		-2	-2	0	4	4	0	0.08	0.08	0.00	0.17	0.17	0.00
9	0	2	2		-2	-2	0	4	4	0	0.08	0.08	0.00	0.17	0.17	0.00
10	0	1	1		-1	-1	0	1	1	0	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00
11	0	1	1		-1	-1	0	1	1	0	0.04	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00
12	101	7	6	4	94	95	97	8836	9025	9409	3.92	3.96	4.04	368.17	376.04	392.04
13	54	10	9	4	44	45	50	1936	2025	2500	1.83	1.88	2.08	80.67	84.38	104.17
14	168	26	22	4	142	146	164	20164	21316	26896	5.92	6.08	6.83	840.17	888.17	1120.67
15	0	32	28		-32	-28	0	1024	784	0	1.33	1.17	0.00	42.67	32.67	0.00
16	0	32	28		-32	-28	0	1024	784	0	1.33	1.17	0.00	42.67	32.67	0.00
17	0	32	28		-32	-28	0	1024	784	0	1.33	1.17	0.00	42.67	32.67	0.00
18	0	32	28		-32	-28	0	1024	784	0	1.33	1.17	0.00	42.67	32.67	0.00
19	0	32	28		-32	-28	0	1024	784	0	1.33	1.17	0.00	42.67	32.67	0.00
20	0	23	19		-23	-19	0	529	361	0	0.96	0.79	0.00	22.04	15.04	0.00
21	0	17	15		-17	-15	0	289	225	0	0.71	0.63	0.00	12.04	9.38	0.00
22	0	17	15		-17	-15	0	289	225	0	0.71	0.63	0.00	12.04	9.38	0.00
23	102	15	13		87	89	102	7569	7921	10404	3.63	3.71	4.25	315.38	330.04	433.50
24	169	25	22	3	144	147	166	20736	21609	27556	6.00	6.13	6.92	864.00	900.38	1148.17
Total	**600**	**314**	**275**	**15**	**286**	**325**	**585**	**65506**	**66665**	**76801**	**31.00**	**30.29**	**24.38**	**2729.42**	**2777.71**	**3200.04**

PLATE, SLIDE; PLATE VALVE ASSY																
Periode	**Xt**	**Ft**			**Xt-Ft**			**(Xt-Ft)^2**			**Abs (Xt-Ft/n)**			**((Xt-Ft)^2)/n**		
		Croston	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**
1	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
2	0	0	0	4	0	0	-4	0	0	16	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.67
3	43	16	14	4	27	29	39	729	841	1521	1.13	1.21	1.63	30.38	35.04	63.38
4	108	48	41	4	60	67	104	3600	4489	10816	2.50	2.79	4.33	150.00	187.04	450.67
5	197	98	83	4	99	114	193	9801	12996	37249	4.13	4.75	8.04	408.38	541.50	1552.04
6	124	106	90	4	18	34	120	324	1156	14400	0.75	1.42	5.00	13.50	48.17	600.00
7	0	106	90	4	-106	-90	-4	11236	8100	16	4.42	3.75	0.17	468.17	337.50	0.67
8	0	106	90	4	-106	-90	-4	11236	8100	16	4.42	3.75	0.17	468.17	337.50	0.67
9	0	106	90	6	-106	-90	-6	11236	8100	36	4.42	3.75	0.25	468.17	337.50	1.50
10	0	54	46	4	-54	-46	-4	2916	2116	16	2.25	1.92	0.17	121.50	88.17	0.67
11	0	36	31	4	-36	-31	-4	1296	961	16	1.50	1.29	0.17	54.00	40.04	0.67
12	0	19	16	6	-19	-16	-6	361	256	36	0.79	0.67	0.25	15.04	10.67	1.50
13	0	11	9	4	-11	-9	-4	121	81	16	0.46	0.38	0.17	5.04	3.38	0.67
14	0	6	6	4	-6	-6	-4	36	36	16	0.25	0.25	0.17	1.50	1.50	0.67
15	0	6	5	4	-6	-5	-4	36	25	16	0.25	0.21	0.17	1.50	1.04	0.67
16	0	6	5	4	-6	-5	-4	36	25	16	0.25	0.21	0.17	1.50	1.04	0.67
17	0	6	5	4	-6	-5	-4	36	25	16	0.25	0.21	0.17	1.50	1.04	0.67
18	0	6	5	6	-6	-5	-6	36	25	36	0.25	0.21	0.25	1.50	1.04	1.50
19	0	6	5	4	-6	-5	-4	36	25	16	0.25	0.21	0.17	1.50	1.04	0.67
20	0	4	4	4	-4	-4	-4	16	16	16	0.17	0.17	0.17	0.67	0.67	0.67
21	0	4	3	5	-4	-3	-5	16	9	25	0.17	0.13	0.21	0.67	0.38	1.04
22	0	4	3	4	-4	-3	-4	16	9	16	0.17	0.13	0.17	0.67	0.38	0.67
23	0	2	2	4	-2	-2	-4	4	4	16	0.08	0.08	0.17	0.17	0.17	0.67
24	0	2	1	4	-2	-1	-4	4	1	16	0.08	0.04	0.17	0.17	0.04	0.67
Total	**472**	**758**	**644**	**103**	**-286**	**-172**	**369**	**53128**	**47396**	**64375**	**28.92**	**27.50**	**22.63**	**2213.67**	**1974.83**	**2682.29**

PIN, F/BREAKER PLATE; DWG PT-303-M-040																
Periode	**Xt**	**Ft**			**Xt-Ft**			**(Xt-Ft)^2**			**Abs (Xt-Ft/n)**			**((Xt-Ft)^2)/n**		
		Croston	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**	**Croston**	**SBA**	**AR**
1	76	0	0	3	76	76	73	5776	5776	5329	3.17	3.17	3.04	240.67	240.67	222.04
2	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0	0	0	3	0	0	-3	0	0	9	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.38
7	150	34	-3		116	153	150	13456	23409	22500	4.83	6.38	6.25	560.67	975.38	937.50
8	2	28	-4		-26	6	2	676	36	4	1.08	0.25	0.08	28.17	1.50	0.17
9	0	28	-4		-28	4	0	784	16	0	1.17	0.17	0.00	32.67	0.67	0.00
10	0	28	-4		-28	4	0	784	16	0	1.17	0.17	0.00	32.67	0.67	0.00
11	0	28	-5		-28	5	0	784	25	0	1.17	0.21	0.00	32.67	1.04	0.00
12	0	28	-5	3	-28	5	-3	784	25	9	1.17	0.21	0.13	32.67	1.04	0.38
13	0	28	-6		-28	6	0	784	36	0	1.17	0.25	0.00	32.67	1.50	0.00
14	0	28	-6		-28	6	0	784	36	0	1.17	0.25	0.00	32.67	1.50	0.00
15	0	28	-6		-28	6	0	784	36	0	1.17	0.25	0.00	32.67	1.50	0.00
16	0	28	-7		-28	7	0	784	49	0	1.17	0.29	0.00	32.67	2.04	0.00
17	0	28	-7		-28	7	0	784	49	0	1.17	0.29	0.00	32.67	2.04	0.00
18	4	21	-10	3	-17	14	1	289	196	1	0.71	0.58	0.04	12.04	8.17	0.04
19	76	33	-7		43	83	76	1849	6889	5776	1.79	3.46	3.17	77.04	287.04	240.67
20	0	33	-7		-33	7	0	1089	49	0	1.38	0.29	0.00	45.38	2.04	0.00
21	0	29	-8		-29	8	0	841	64	0	1.21	0.33	0.00	35.04	2.67	0.00
22	0	29	-9		-29	9	0	841	81	0	1.21	0.38	0.00	35.04	3.38	0.00
23	76	24	-11		52	87	76	2704	7569	5776	2.17	3.63	3.17	112.67	315.38	240.67
24	0	24	-11	4	-24	11	-4	576	121	16	1.00	0.46	0.17	24.00	5.04	0.67
Total	**384**	**507**	**-120**	**16**	**-123**	**504**	**368**	**35153**	**44478**	**39420**	**29.04**	**21.00**	**16.17**	**1464.71**	**1853.25**	**1642.50**

BIOGRAFI PENULIS

Ratna Vimala Devi lahir di Tuban pada tanggal 10 November 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara pasangan (Alm.) Maturkan dan Kusrini. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis antara lain SDN Latsari Tuban, SMP Negeri 1 Tuban, SMA Negeri 1 Tuban, hingga melanjutkan ke jenjang sarjana di Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa kepanitiaan, organisasi, penelitian, dan perlombaan.

Pada periode kepengurusan HMTI ITS 2017-2018, penulis menjabat sebagai Staff Divisi IE Fair. Selain aktif di tingkat departemen, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan oleh Badan Eksekutif Mahasiswa FTIRS ITS periode 2017-2018. Pada periode kepengurusan Badan Eksekutif Mahasiswa ITS 2018-2019, penulis ikut berpartisipasi dalam penyelenggaraan Gerigi ITS 2018 sebagai Pemandu Integralistik.

Selain kegiatan dalam lingkup manajerial, penulis juga aktif dalam kegiatan perlombaan. Perlombaan yang diikuti oleh penulis antara lain kompetisi *Industrial Engineering's Creative Season* yang diselenggarakan oleh Telkom University di Bandung dan Karya Tulis Ilmiah yang diselenggarakan oleh Universitas Darussalam Gontor di Ponorogo. Sementara dalam lingkup penelitian, penulis melaksanakan kegiatan Kerja Praktek di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, khususnya di Unit *Employee Relation*. Penulis dapat dihubungi melalui email ratnavimala.devi@gmail.com.