



TUGAS AKHIR – SS141501

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN
MESIN SEPARATOR SDC DI PT AJINOMOTO
INDONESIA, MOJOKERTO MENGGUNAKAN
METODE *POWER LAW PROCESS***

**WAHYU NURFITRIYANA ANDRANINGTYAS
NRP 1313 100 110**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – SS 141501

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN
MESIN SEPARATOR SDC DI PT AJINOMOTO
INDONESIA, MOJOKERTO MENGGUNAKAN
METODE *POWER LAW PROCESS***

**WAHYU NURFITRIYANA ANDRANINGTYAS
NRP 1313 100 110**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – SS 141501

**DETERMINING OPTIMUM REPLACEMENT OF
SDC SEPARATOR MACHINE IN PT AJINOMOTO
INDONESIA, MOJOKERTO USING POWER LAW
PROCESS METHOD**

**WAHYU NURFITRIYANA ANDRANINGTYAS
NRP 1313 100 110**

**Supervisor
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN MESIN SEPARATOR SDC DI PT AJINOMOTO INDONESIA, MOJOKERTO MENGGUNAKAN METODE *POWER LAW PROCESS*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Wahyu Nurfitriyana Andraningtyas
NRP. 1313 100 110

Disetujui oleh Pembimbing:
Dr. Muhammad Mashuri, MT
NIP : 19620408 198701 1 001

()



Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2017

**PENENTUAN WAKTU OPTIMUM PERBAIKAN
MESIN SEPARATOR SDC DI PT AJINOMOTO
INDONESIA, MOJOKERTO MENGGUNAKAN
METODE *POWER LAW PROCESS***

Nama Mahasiswa : Wahyu Nurfitriyana Andraningtyas
NRP : 1313100110
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, MT

ABSTRAK

Pada perusahaan manufacture, mesin merupakan salah satu komponen penting dalam kegiatan produksi. Oleh sebab itu, penting adanya pemeliharaan untuk menjaga kehandalan mesin. Proses pertama dalam produksi MSG di PT Ajinomoto Indonesia adalah proses pemisahan ampas berupa slurry dan gypsum dari bahan baku MSG yakni tebu (proses H1). Pada proses tersebut, digunakan 11 mesin separator SDC. Sembilan mesin separator digunakan untuk memisahkan ampas awal berupa slurry. Selanjutnya, slurry tersebut diproses kembali hingga diperoleh gypsum dengan menggunakan dua mesin separator. Fokus penelitian pada 2 mesin separator SDC gypsum. Pada proses tersebut mesin separator SDC adalah mesin yang sering mengalami kegagalan sehingga biaya perbaikan menjadi mahal. Metode Power Law Process dengan proses Poisson yang non-homogen adalah metode analisis pada sistem repairable dengan laju kerusakan yang meningkat. Pada penelitian ini diperoleh waktu optimum perawatan mesin berdasarkan biaya minimum sebesar Rp 361993,66 per hari operasi pada kerusakan pertama atau saat mesin telah beroperasi selama 223 hari. Maka, perawatan mesin dapat dilakukan sesuai waktu optimum yang diperoleh atau saat mesin telah mengalami kerusakan sebelum waktu tersebut. Hal tersebut bergantung pada mana yang lebih dahulu terjadi, sehingga kerugian lain dapat dicegah.

Kata Kunci : *Mesin Separator SDC, power law process, proses H1, proses Poisson non-homogen*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**DETERMINING OPTIMUM REPLACEMENT OF SDC
SEPARATOR MACHINE FOR SEPARATING GYPSUM IN
PT AJINOMOTO INDONESIA, MOJOKERTO USING
POWER LAW PROCESS METHOD**

Name : Wahyu Nurfitriyana Andraningtyas
Student Number : 1313100110
Department : Statistics
Supervisor : Dr. Muhammad Mashuri, MT

ABSTRACT

In manufacturing companies, machine is one of the main components in production activities. Therefore, it is important to maintain the reliability of the machine. The first process for MSG production in PT Ajinomoto Indonesia is separating dregs into form slurry and gypsum (H1 process). The process using 11 SDC separator machines. Nine separator machines are used to separate slurry (initial dreg). Then, the slurry is reprocessed until gypsum is obtained by using two separator machines. Focus of this study is two SDC separator gypsum machines. In that process the SDC separator machines were a machine that often fails so cost for repair was expensive. Power Law Process method with Non-Homogeneous Poisson Process is the method of analysis in repairable system that the rate of failure is increasing. This study resulted that optimum replacement SDC separator machine is based on minimum cost Rp 361993,66 at first damage or when the SDC separator machines had been operating for 223 days. Thus, the maintenance can be done based on the time of optimum replacement or when the machines are failure before that time. It depends on what happens first so that other losses can be prevented.

Keywords : *H1 process, non-homogeneous Poisson process, power law process, SDC separator machine,*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat Hidayah dan Karunia-Nya dan sholawat serta salam senantiasa tercurahkan untuk Nabi Besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, arahan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT**, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, dan waktunya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. **Bapak Drs. Haryono, M.SIE** dan **Ibu Dra. Madu Ratna M.Si** sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun untuk Tugas Akhir ini.
3. **Kedua orang tua serta saudara tercinta Mbak Vika, Mbak Epin dan Ririn** atas kasih sayang yang selalu memberikan semangat, dukungan serta doa yang tidak pernah putus dalam pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. **Bapak Dr. Suhartono**, selaku ketua Departemen Statistika FMIPA ITS dan **Bapak Dr. Sutikno, S.Si, M.Si**, selaku Kaprodi dan dosen wali penulis.
5. **Pihak PT Ajinomoto Indonesia, Mojokerto** yang telah memberikan kesempatan untuk memberikan data, melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. **Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Statistika FMIPA ITS** atas ilmu yang diberikan kepada penulis dan membantu kelancaran administrasi Tugas Akhir.
7. **Angkatan 2013 serta semua pihak** walaupun sibuk tapi tetap meluangkan waktunya untuk membantu penulis.

Kritik dan saran yang membangun untuk penulis akan sangat membantu untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan menambah wawasan keilmuan bagi semua pihak

Surabaya, Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Stochastic Point Process</i>	7
2.2 <i>Poisson Process</i>	7
2.2.1 <i>Homogeneous Poisson Process (HPP)</i>	8
2.2.2 <i>Non-Homogeneous Poisson Process (NHPP)</i>	8
2.3 <i>Power Law Process</i>	9
2.4 Estimasi Parameter	10
2.5 Pengujian Cramer-Von Mises	11
2.6 Pengujian Kesamaan <i>Trend</i>	12
2.7 Estimasi Parameter Sistem Identik	12
2.8 Model Optimasi	13
2.9 Proses Produksi MSG.....	15
2.10 Alur Proses H1.....	16
2.11 Mesin Separator SDC	17
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	19
3.2 Variabel Penelitian	19
3.3 Langkah Analisis Penelitian	19

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakteristik Data.....	23
4.2 Estimasi Parameter Tiap Mesin Separator SDC.....	25
4.3 Pengujian Cramer-von Mises	26
4.4 Pengujian Kesamaan <i>Trend</i>	27
4.5 Estimasi Parameter Sistem Identik.....	28
4.6 Model Optimasi.....	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	39
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Struktur Data	19
Tabel 4.1 Estimasi Parameter	26
Tabel 4.2 <i>Unbiased Conditional</i> MLE β ($\bar{\beta}$) dan Statistik Uji Cramer-Von Mises	27
Tabel 4.3 ROCOF Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i>	29
Tabel 4.4 Nilai C_p dan C_f Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i>	30
Tabel 4.5 Ekspetasi Biaya Perawatan Mesin Separator SDC.....	33

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Proses Pembuatan MSG AJI-NO-MOTO	15
Gambar 2.2	Alur Penggunaan Mesin Separator SDC Proses H1	16
Gambar 2.3	Konstruksi Mesin Separator SDC	17
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4.1	Plot Kumulatif Waktu Kegagalan (t) dan Banyaknya Kegagalan yang Terjadi ($M(t)$) Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i> (a) tahun '88 dan (b) tahun '97	24
Gambar 4.2	ROCOF Mesin Separator SDC pemisah <i>Gypsum</i>	29
Gambar 4.3	Ekspektasi Biaya Penggantian dan atau Perbaikan Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i> Terhadap T dan n	31
Gambar 4.4	Waktu Optimum Penggantian dan atau Perbaikan Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i>	32

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data <i>Lifetime</i> Mesin Separator SDC Tahun '88	39
Lampiran 2. Data <i>Lifetime</i> Mesin Separator SDC Tahun '97	39
Lampiran 3. Perhitungan Uji Cramer-Von Mises.....	40
Lampiran 4. Nilai ROCOF Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i>	41
Lampiran 5. Ekspetasi Biaya Penggantian dan atau Perbaikan Mesin Separator SDC Pemisah <i>Gypsum</i> C_p dan C_f	42
Lampiran 6. Surat Penerimaan Penelitian Tugas Akhir di PT Ajinomoto Indonesia	43
Lampiran 7. <i>Syntax</i> Model Optimasi dengan Matlab	44

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Monosodium Glutamate (MSG) adalah salah satu jenis bumbu masakan yang berfungsi sebagai penyedap rasa masakan (Chartika, 2005). MSG ditemukan oleh Kikunae Ikeda tahun 1907 dari penggunaan sejenis rumput laut. Setelah mengalami sejarah panjang di Jepang, Kikunae Ikeda bersama Saburosuke Suzuki II mematenkan bumbu penyedap tersebut dengan rasa populer yakni “umami”. Sejak tahun 1963, Jepang bersama Korea memelopori produksi MSG yang terus berkembang hingga ke seluruh dunia. Di Indonesia sebelum terjadi krisis moneter, tahun 1997 produksi MSG mencapai sekitar 250000 ton pertahun dan menjadikan Indonesia sebagai negara eksportir terbesar setelah Cina (Chartika, 2005). Bahkan setelah krisis moneter, produksi MSG terus meningkat dari tahun 2008 hingga 2013, dengan rata-rata kenaikan sebesar 9,1% per tahunnya (Pratiwi, 2015).

Ajinomoto *group* sebagai produsen terbesar dari MSG dan bumbu masakan lainnya ikut ambil bagian dalam sejarah dari MSG. Pada tahun 1909, di Jepang produksi masal dari bumbu penyedap atau MSG dilakukan dengan merk dagang AJI-NO-MOTO yang telah dipatenkan oleh Saburosuke Suzuki II bersama Kikunae Ikeda. Hal tersebut sebagai cikal bakal produk pertama dari Ajinomoto *group* yang terkenal hingga sekarang (The Aspiration of The Ajinomoto Group, 2000-2017). Pabrik Ajinomoto *group* telah berdiri di 27 negara di dunia termasuk di Indonesia. Pada tahun 1969 didirikan PT Ajinomoto Indonesia sebagai salah satu bentuk kerja sama antara pemerintah Indonesia dengan Jepang di Jakarta. Pabrik pertama yang dibangun tahun 1970 terletak di Mojokerto, Jawa Timur dengan produksi pertama adalah MSG.

Proses produksi awal MSG di PT Ajinomoto Indonesia disebut H1 yakni pemisahan ampas dari bahan baku tebu yakni berupa *slurry* dan *gypsum*. Proses awal untuk menghasilkan suatu produk tentunya menjadi salah satu proses produksi yang penting dan berat. Pada proses H1, mesin produksi yang vital digunakan

adalah mesin separator SDC karena berfungsi sebagai pemisah cairan asli dari padatan (bahan baku) hingga diperoleh zat cair bening (tetes tebu untuk produksi MSG). Terdapat 11 mesin separator pada proses H1. Sembilan mesin separator SDC untuk pemisahan tetes tebu hingga diperoleh bentuk bubuk (*slurry*) yang bekerja secara paralel. Selanjutnya *slurry* tersebut masuk kedalam 2 mesin separator SDC untuk diproses kembali menjadi ampas berupa *gypsum* (Ca).

Pada perusahaan *manufacture*, mesin adalah komponen pokok dalam kegiatan produksi. Oleh sebab itu, diperlukan suatu tindakan pengontrolan atau perawatan untuk menjaga kehandalan mesin tersebut (Fadhil & Mashuri, 2016). Kebijakan *maintenance* oleh PT Ajinomoto Indonesia adalah *preventive maintenance* dan *breakdown maintenance*. Jadwal perawatan rutin atau *preventive maintenance* mesin separator pemisah *gypsum* dilakukan 4 bulan sekali sedangkan *breakdown maintenance* diterapkan apabila ditengah pengoperasian mesin mengalami kerusakan atau penggantian komponen. PT Ajinomoto Indonesia menerapkan kategori kerusakan mesin berdasarkan vibarasi, *temperature* dan *sound*. Ukuran ketetapan rusak yakni, apabila getaran atau vibrasi mesin lebih dari 13,8 (*vibration*) dan *temperature* lebih dari 70 derajat sedangkan *sound* bergantung dari operator mesin.

Penelitian ini berfokus pada 2 mesin separator SDC untuk pemisah *gypsum*. Karena perbandingan mesin separator SDC pada proses H1 yang tidak seimbang. Dimana, proses pemisah *gypsum* hanya menggunakan 2 mesin sedangkan pemisah *slurry* terdapat 9 mesin separator dengan jumlah bahan baku produksi yang sama. Apabila terjadi penurunan kinerja komponen mesin separator SDC pemisah *gypsum*, maka berpengaruh pada efisiensi kinerja mesin. Selain itu, mesin separator SDC merupakan termasuk mesin dengan biaya perbaikan mahal dibandingkan mesin produksi lainnya. Hal ini menimbulkan kerugian yang besar untuk perusahaan *manufacture*.

Berdasarkan hasil aktual di lapangan, *preventive maintenance* mesin separator SDC dilakukan tidak sesuai jadwal yang telah ditetapkan oleh manajemen. Hal tersebut tentunya dapat menyebabkan *downtime* atau kegagalan pada mesin

separator SDC terjadi kapan saja. Perbedaan operator, *temperature*, maupun lama operasi pada masing-masing komponen mesin yang digunakan dapat menjadi penyebab adanya variasi usia pakai komponen mesin (Junaidah & Iriawan, 2003). *Downtime* pada mesin separator SDC lebih sering terjadi jika dibandingkan dengan mesin produksi MSG lainnya. Jika terjadi *downtime* pada salah satu mesin separator pemisah *gypsum*, maka mesin separator SDC yang lain akan beroperasi lebih berat. Hal tersebut dapat menyebabkan meningkatnya laju kerusakan mesin yang lain karena kinerja mesin yang tidak seimbang. Apabila awal proses produksi mengalami masalah atau kendala, proses produksi selanjutnya tentunya akan terganggu.

Perbaikan untuk mesin yang mengalami kegagalan (*downtime*) pun tidak selamanya efisien. Jika mesin yang mengalami kegagalan telah dilakukan beberapa kali perbaikan, maka kehandalan mesin juga akan menurun serta laju kerusakan yang terjadi semakin meningkat seiring bertambahnya waktu (Ridgon & Basu, 2000). Perbaikan yang dilakukan tidak lagi ekonomis dari segi biaya dan komponen yang telah rusak akan dibuang dan diganti dengan yang baru (Ebeling, 1997). Hal ini dapat mengakibatkan bertambahnya waktu dan biaya yang dikeluarkan karena tingkat kerusakan yang terus meningkat dan perbaikan tiap mesin separator SDC yang dioperasikan berbeda-beda. Selain itu, target produksi perusahaan yang ditetapkan sebelum proses produksi dilakukan juga ikut terganggu. Beberapa kerugian tersebut terjadi karena kegagalan pada mesin separator SDC pemisah *gypsum* sehingga diperlukan adanya pengontrolan agar segera dilakukan perbaikan atau penggantian komponen mesin guna mencegah kegagalan (*downtime*).

Oleh sebab itu, statistika diterapkan sebagai bentuk evaluasi dan meningkatkan kehandalan mesin separator. Hal tersebut berguna untuk menentukan waktu optimum perbaikan atau *replacement* komponen mesin separator. Selain itu, juga untuk menentukan waktu *preventif* yang optimal dengan melihat fungsi minimum biaya yang dikeluarkan. Pada penelitian sebelumnya oleh Leung dan Cheng tahun 2000 mengenai penentuan kebijakan penggantian mesin bus dengan menggunakan pemilihan kebijakan

perbaikan pada period ke- T atau saat terjadi kegagalan ke- N dengan metode *Power Law Process*. Penggantian atau perbaikan period ke- T biasa disebut *time truncated* sedangkan kegagalan ke- N merupakan *failure truncated*. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa pemilihan kebijakan perbaikan tersebut bergantung pada mana yang terjadi terlebih dahulu. *Power Law Process* (PLP) atau biasa disebut *Weibull process* dengan penerapan Proses Poisson Non Homogen atau *Non Homogeneous Poisson Process* akan sangat berguna untuk reliabilitas suatu sistem yang *repairable* (Kabarsian & Ibrahim, 2010). Penerapan metode *Power Law Process* tidak hanya berguna untuk sistem yang *repairable* tapi juga sistem yang apabila dilakukan perbaikan maka sistem tersebut diasumsikan *as good as new* serta memiliki laju kerusakan yang meningkat maupun menurun (Ridgon & Basu, 2000). Pada penelitian sebelumnya yang lain menggunakan metode *Power Law Process* (Pangastuti & Haryono, 2016) mengenai kebijakan penggantian komponen roda lokomotif seri CC2017706 dilakukan setelah beroperasi 923 hari atau setelah 2 kali *preventif*. Berdasarkan hasil penelitian oleh Junaidah (2003) yang dilakukan di PT Ajinomoto Indonesia mengenai *preventive maintenance* untuk mesin pengepakan, disimpulkan bahwa perbaikan mesin hendaknya dilakukan sesuai jadwal untuk efisiensi dari segi tenaga dan biaya.

Pada penelitian ini akan dilakukan penentuan waktu optimum perbaikan atau penggantian mesin separator pemisah *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Power Law Process* (PLP) berdasarkan data *time truncated*. Kebijakan waktu perbaikan atau penggantian yang optimum ditentukan berdasarkan biaya minimum yang dikeluarkan untuk biaya kerusakan dan kerugian lain dengan pendekatan ilmu statistika.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, penerapan *preventive maintenance* sudah sejak lama dilakukan oleh PT Ajinomoto Indonesia. Penjadwalan yang telah ditetapkan yakni 4 bulan untuk mesin separator SDC. Namun, kenyataannya tidak dilakukan sesuai dengan penjadwalan.

Semakin sering mesin digunakan, maka *downtime* mesin tersebut meningkat seiring waktu. Oleh sebab itu, dapat menyebabkan laju kerusakan juga ikut meningkat. Penggunaan mesin separator SDC pada proses H1 dengan rasio yang tidak seimbang yakni 9:2. Dimana, hanya 2 mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang digunakan. Apabila salah satu mesin mengalami *downtime*, tentu mesin yang lain akan beroperasi lebih berat. Selain itu, perbaikan mesin juga menjadi mahal. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan ditentukan waktu optimum perbaikan atau penggantian mesin separator SDC pemisah *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia Mojokerto. Waktu optimum perbaikan atau penggantian yang tepat dapat meminimumkan biaya perbaikan mesin.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah memperoleh waktu optimum perbaikan atau penggantian mesin separator SDC pemisah *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia. Waktu optimum tersebut diperoleh dari model optimasi yang meminimumkan biaya kerusakan sehingga kerugian-kerugian lain yang terjadi seperti, terhambatnya proses produksi akibat kerusakan komponen mesin separator SDC pemisah *gypsum* dapat dicegah. Selain itu, biaya perawatan mesin juga menjadi lebih ekonomis.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu mampu memberikan informasi mengenai kebijakan waktu perbaikan dan penggantian mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang optimum dengan pengeluaran biaya yang minimum di PT Ajinomoto Indonesia. Oleh karena itu, dapat menjadi bahan masukan atau evaluasi untuk perbaikan mesin. Selain itu, pada penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan pada penelitian atau mengenai peranan dan penerapan ilmu statistika di bidang industri, khususnya pada reliabilitas mesin.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Analisis dilakukan berdasarkan data *time truncated*, yakni data yang digunakan ketika pengamatan berhenti pada t waktu yang ditentukan.
2. Fokus penelitian adalah pada proses pemisahan ampas tebu dengan 2 mesin separator SDC *gypsum*. Dimana, setiap mesin separator beroperasi saling independen.
3. Nilai c_p yang digunakan berasal dari biaya *preventif* komponen mesin separator SDC pemisah *gypsum* yakni *screw* BTN. Hal ini karena *screw* BTN adalah motor penggerak dari mesin. Oleh sebab itu, jika mengalami kerusakan keseluruhan dari mesin separator SDC tidak dapat beroperasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stochastic Point Process*

Menurut Hoyland dan Rausand (1994), proses stokastik digunakan untuk mengetahui hubungan dari suatu runtutan peristiwa yang bersifat tidak pasti. Proses stokastik adalah proses dari $\{N(t), t \geq 0\}$ yang mempunyai realisasi berupa *counting process*, dengan $N(t)$ adalah sebuah variabel random yang menyatakan jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval waktu $(0, t)$.

Pada komponen suatu sistem, terdapat dua jenis komponen yakni *repairable* dan *non-repairable*. Sebuah komponen dari suatu sistem yang apabila terjadi kerusakan dan komponen tersebut dapat diperbaiki dengan beberapa proses perbaikan selain penggantian pada seluruh sistem disebut *repairable* sistem. Sedangkan sebaliknya jika suatu komponen yang mengalami kerusakan dan harus diganti dengan komponen yang baru dalam artian komponen tersebut sudah tidak dapat diperbaiki lagi disebut *non-repairable* sistem (O'Connor, 1991)

Salah satu istilah dalam *preventive maintenance*, yakni minimal *repair* yang memiliki arti bahwa suatu sistem yang gagal akan berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan dengan kondisi yang sama dan usia efektif yang sama seperti pada saat kegagalan yang terakhir. Minimal *repair* mengasumsikan waktu perbaikan dianggap sangat minimum serta untuk memperoleh model yang fleksibel dari suatu kegagalan sistem yang akan diperbaiki dalam minimal *repair*. Oleh sebab itu, hanya sebagian kecil dari banyaknya komponen dalam sistem yang akan diganti pada proses *repair* sehingga mengkondisikan sistem sama seperti sebelum sistem mengalami kerusakan. Hal tersebut dianggap terbaik karena dapat mendeteksi kenaikan atau penurunan dari suatu sistem (Rigdon & Basu, 2000).

2.2 *Poisson Process*

Proses poisson dapat ditemukan pada sebuah komponen dari suatu sistem yang memiliki tingkat kerusakan (λ) konstan atau rusak secara tiba-tiba maka secara langsung diperbaiki atau

dilakukan pergantian. λ menyatakan nilai rata-rata dan varians dari jumlah kerusakan suatu sistem sedangkan, M menyatakan jumlah kejadian yang muncul dari sebuah kegagalan pada interval waktu $(0, t)$ (Rigdon & Basu, 2000). Berikut persamaan yang menyatakan banyaknya kerusakan yang berdistribusi Poisson

$$p(x) = P(M = m) = \frac{e^{-\lambda}(\lambda)^m}{m!} \text{ Untuk } m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.1)$$

Proses Poisson dibagi menjadi dua macam yakni Proses Poisson Homogen atau *Homogeneous Poisson Process* (HPP) dan Proses Poisson Non Homogen atau *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP).

2.2.1 *Homogeneous Poisson Process* (HPP)

Proses Poisson Homogen atau *Homogeneous Poisson Process* (HPP) adalah proses Poisson dimana, waktu kedatangan bersifat independen dan berdistribusi Eksponensial dengan parameter yang sama yakni, λ untuk *failure rate*. Rata-rata dari kejadian ini adalah $\frac{1}{\lambda}$. Variabel random yang menyatakan waktu antar kejadian X_1, X_2, \dots, X_n , dimana mengikuti distribusi Eskponensial maka *joint pdf* dengan T_1, T_2, \dots, T_n dinyatakan dalam persamaan berikut ini

$$f(t_1, t_2, \dots, t_n) = \lambda^n \exp(-\lambda t_n) \quad (2.2)$$

Dimana, $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_{n-1} < t_n$

2.2.2 *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP)

Proses Poisson Non Homogen atau *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) adalah proses Poisson dengan model sederhana yang dapat diaplikasikan untuk suatu sistem dengan laju kerusakan yang meningkat maupun menurun dengan menggunakan metode statistika yang relevan dan mudah pengaplikasiannya dengan fungsi intensitas yang tidak konstan (Rigdon & Basu, 2000).

NHPP menggambarkan proses kerusakan komponen suatu sistem yang memiliki pola tertentu dengan jumlah kumulatif hingga waktu t adalah $M(t)$. NHPP biasa disebut dengan Proses Weibull karena *Rate of Occurance of Failure* (ROCOF) memiliki fungsi *failure rate* yang sama dengan parameter dari distribusi weibull yakni, parameter *scale* (λ) dan parameter *shape* (β).

ROCOF adalah estimasi nilai laju kerusakan dari suatu komponen, jika suatu komponen pada sistem *repairable* telah diobservasi pada interval waktu $[0, t]$ dengan t dapat ditentukan interval waktunya (*time truncated*) atau pada kegagalan terakhir (*failure truncated*) maka ROCOF dapat diaplikasikan dengan melihat dari beberapa kali kegagalan yang terjadi (Rigdon & Basu, 2000). Menurut Hoyland dan Rausand (1994), *mean* intensitas kumulatif $[W(t)]$ dari NHPP adalah sebagai berikut

$$W(t) = \int_0^t w(t)dt \quad (2.3)$$

Menurut Rigdon dan Basu (2000), ketika fungsi laju kerusakan memiliki persamaan bentuk $w(t) = \left(\frac{\beta}{\lambda}\right) \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1}$ dengan $\beta > 1$ dan $\lambda > 0$, maka proses tersebut dinamakan *Power Law Process*.

2.3 Power Law Process

Power Law Process (PLP) atau model proses Weibull adalah salah satu salah satu model yang digunakan untuk memeriksa data yang mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan fungsi intensitas yang dibentuk dari fungsi *survival* distribusi Weibull (Rigdon & Basu, 2000). Persamaan *survival* dinyatakan sebagai berikut

$$S(x) = e\left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right], \text{ dengan } t > 0 \quad (2.4)$$

t merupakan variabel random dengan *cumulative density function* (CDF) adalah sebagai berikut

$$F(x) = 1 - S(x) = 1 - e\left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right], t > 0 \quad (2.5)$$

Sedangkan pdf (*probability density function*) adalah sebagai berikut

$$f(x) = F'(x) = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta} e\left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right] \quad (2.6)$$

Persamaan fungsi laju kerusakan adalah sebagai berikut

$$w(t) = \frac{f(x)}{S(x)} = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} \quad (2.7)$$

Menurut Ridgon dan Basu (2000), parameter (β) dan (λ) adalah parameter positif. Parameter (β) menggambarkan bagaimana kehandalan suatu sistem akan menurun seiring bertambahnya waktu. $\beta < 1$ maka laju kerusakan menurun artinya kehandalan sistem meningkat. Apabila $\beta > 1$ maka laju kerusakan akan meningkat yang artinya kehandalan sistem menurun. Jika $\beta = 1$ maka *Power Law Process* (PLP) menjadi lebih sederhana yakni Proses Poisson Homogen dengan fungsi intensitas sebesar $\frac{1}{\lambda}$.

2.4 Data Time Truncated

Data *time truncated* adalah data dari suatu pengamatan berhenti ketika ditentukan t waktu pengamatan. Pada kondisi pengamatan dengan t waktu yang ditentukan, banyaknya kegagalan $N(t)$ adalah variabel random dari interval waktu $(0, t)$.

Apabila NHPP dengan fungsi intensitas $w(t)$ adalah pengamatan hingga t waktu dan apabila waktu kegagalan $0 < T_1 < T_2 < \dots < T_{N(t)}$, dimana $N(t)$ adalah banyaknya kegagalan secara random pada interval $(0, t)$ maka pada dikondisikan pada $N(t) = n$, waktu kegagalan $0 < T_1 < T_2 < \dots < T_{N(t)}$ adalah *fixed* variabel yang didistribusikan sebagai $N(t)$ order statistik dari distribusi Uniform pada interval $(0, t)$ (Ridgon & Basu, 2000).

2.5 Estimasi Parameter

Pada data *time truncated*, untuk komponen *repairable* dengan M kali kegagalan dengan waktu kegagalan bernilai $0 < T_1 < T_2 < \dots < T_M$. Pengamatan waktu kegagalan berhenti setelah ditetapkan waktu ke- T sehingga kegagalan ke- M merupakan variabel random. M adalah variabel random yang mengikuti distribusi Poisson dengan mean $\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta$ sehingga diperoleh persamaan berikut

$$f_M(m) = \frac{\left[\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right]^m \exp\left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right]}{m!}, m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.9)$$

Fungsi *joint density* dari N dan $T_1 < T_2 < \dots < T_M$ adalah

$$\begin{aligned}
f(n, t_1, t_2, \dots, t_m) &= \frac{\left(\frac{t}{\lambda}\right)^{m\beta} \exp\left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right]}{m!} m! \prod_{j=1}^m \frac{\beta}{t} \left(\frac{t_j}{t}\right)^{\beta-1} \\
&= \frac{\beta^m}{\lambda^{m\beta}} \left(\prod_{j=1}^m t_j\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta\right] \quad (2.10)
\end{aligned}$$

Untuk $n \geq 1; 0 < t_1 < t_2 < \dots < t_m < t$. Pada persamaan (2.10) dapat dirubah ke dalam bentuk logaritma natural sehingga fungsi log-likelihoodnya menjadi

$$\begin{aligned}
\ell(\lambda, \beta | m, t) &= m \ln \beta - m \ln \lambda + \\
&(\beta - 1) \sum_{j=1}^m \ln t_j - m(\beta - 1) \ln \lambda - \left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta \quad (2.11)
\end{aligned}$$

Selanjutnya persamaan (2.11) diturunkan terhadap β dan λ . Jika setidaknya terdapat paling sedikit terjadi 1 kegagalan sebelum waktu ke- t maka MLE atau *Maximum Likelihood Estimation* yang digunakan untuk meng-estimasi parameter $\hat{\lambda}$ dan $\hat{\beta}$ untuk setiap sistem yang dianalisis adalah sebagai berikut (Rigdon & Basu, 2000)

$$\hat{\beta}_i = \frac{M_k}{\sum_{j=1}^M \ln\left(\frac{T_k}{T_{j,k}}\right)} \quad (2.12)$$

$$\hat{\lambda}_i = \frac{T_k}{\left(M^{\frac{1}{\beta}}\right)} \quad (2.13)$$

Dimana, k adalah banyaknya sistem yang dianalisis dan i menyatakan tiap sistemnya.

2.6 Pengujian Cramer-Von Mises

Uji Cramer-Von Mises digunakan untuk mengetahui apakah waktu kegagalan dari suatu sistem *repairable* mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process* (NHPP) dengan hipotesis sebagai berikut

H_0 : Data waktu kegagalan tiap mesin tidak sesuai dengan hukum laju kerusakan yang meningkat atau model yang digunakan tidak sesuai

H_1 : Data waktu kegagalan tiap mesin sesuai dengan hukum laju kerusakan yang meningkat atau model sesuai

Statistik uji Cramer-Von Mises *Test* adalah pada persamaan berikut

$$C_R^2 = \frac{1}{12M} + \sum_{j=1}^M \left(\hat{R}_j - \frac{2j-1}{2M} \right)^2 \quad (2.14)$$

Dimana, $\hat{R}_j = \left(\frac{t_j}{t} \right)^{\bar{\beta}}$ adalah transformasi rasio-power serta $\bar{\beta}$ (*unbiased conditional MLE* dari $\hat{\beta}$) diperoleh dari persamaan berikut dengan M menyatakan banyaknya kegagalan yang terjadi

$$\bar{\beta}_i = \frac{M-1}{M} \hat{\beta}_i \quad (2.15)$$

Keputusan menolak H_0 apabila nilai C_R^2 lebih kecil dari nilai kritis untuk uji Cramer-Von Mises *test* dengan tingkat signifikansi sebesar 5% sehingga dapat disimpulkan bahwa data waktu kegagalan tiap mesin sesuai dengan hukum laju kerusakan yang meningkat atau model sesuai (Rigdon & Basu, 2000).

2.7 Pengujian Kesamaan *Trend* Laju Kerusakan

Pengujian kesamaan *trend* digunakan untuk menguji apakah kedua mesin separator yang digunakan memiliki *trend* laju kerusakan yang sama atau *growth* dari parameter $\hat{\beta}$ dari k sistem yang diamati adalah sama. Hal ini berguna untuk mendapatkan satu kebijakan yang sama dalam menentukan waktu optimum penggantian dan perbaikan dengan biaya yang minimum untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang digunakan oleh PT Ajinomoto Indonesia. Pengujian kesamaan *trend* laju kerusakan dengan hipotesis sebagai berikut

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2$$

$$H_1 : \beta_1 \neq \beta_2$$

dengan statistik uji pengujian kesamaan *trend* laju kerusakan adalah pada persamaan sebagai berikut

$$F = \frac{\hat{\beta}_2}{\hat{\beta}_1} \quad (2.16)$$

Menggunakan taraf signifikan sebesar 5%. Keputusan menolak H_0 apabila nilai $F < F_{1-\alpha/2}(2M_1, 2M_2)$ atau $F > F_{\alpha/2}(2M_1, 2M_2)$, sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* tidak memiliki *trend* laju kerusakan yang sama atau dengan kata lain kedua mesin

memiliki *growth* parameter $\hat{\beta}$ yang berbeda. Maka kebijakan diperoleh berbeda-beda tiap mesin separator SDC.

2.8 Estimasi Parameter Sistem Identik

Untuk mendapatkan satu kebijakan yang sama dalam menentukan waktu optimum perbaikan dan penggantian mesin separator SDC pemisah *gypsum*, maka asumsi identik dari kedua mesin harus kuat dan mampu dibuktikan kebenarannya. Diketahui t_{ij} adalah notasi dari kegagalan ke- j pada sistem ke- i . Anggap sistem i adalah diamati hingga waktu ke T_j , dimana $T_j > t_{j,n_j}$ untuk data *time truncated*. n_j adalah jumlah kegagalan yang diamati untuk sistem ke- i dan $N = n_1 + n_2 + \dots + n_k$. Fungsi likelihood untuk kegagalan sistem yang independen adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} L(\lambda, \beta) &= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\prod_{j=1}^{n_j} \lambda(t_{i,j}) \exp[-\Lambda(T_j)] \right] \right\} \\ &= \prod_{i=1}^k \left\{ \left[\prod_{j=1}^{n_j} \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t_{i,j}}{\lambda} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{T_j}{\lambda} \right)^\beta \right] \right\} \quad (2.17) \\ &= \beta^{\sum_{i=1}^k n_j} \lambda^{-\beta \sum_{i=1}^k n_j} \left(\prod_{i=1}^k \prod_{j=1}^{n_j} t_{i,j} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_j}{\lambda} \right)^\beta \right] \end{aligned}$$

Fungsi likelihood $\ell(\lambda, \beta) = \log L(\lambda, \beta)$ adalah bentuk *close form* sehingga nilai β dan λ dapat dihitung. Berikut adalah persamaan untuk estimasi parameter β dan λ dari differential fungsi likelihood $l(\lambda, \beta)$

$$\lambda = \left(\frac{\sum_{i=1}^k T_i^\beta}{N} \right)^{1/\beta} \quad (2.18)$$

dan

$$\beta = \frac{N}{\lambda^{-\beta} \sum_{i=1}^k T_i^\beta \ln T_j - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} \ln t_{i,j}} \quad (2.19)$$

Jika semua k sistem dengan data *time truncated* yang memiliki $T_i = T$ maka persamaan (2.18) menjadi

$$\hat{\lambda} = \left(\frac{\frac{1}{k^\beta T}}{N^\beta} \right) \quad (2.20)$$

Kemudian persamaan (2.19) disubstitusikan ke persamaan (2.20) sehingga diperoleh persamaan berikut

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} \ln\left(\frac{T}{t_{ij}}\right)} \quad (2.21)$$

2.9 Model Optimasi

Penggantian komponen yang mendadak dapat menimbulkan biaya yang besar. Biaya yang timbul karena penggantian yang terencana lebih ekonomis dibandingkan biaya mendadak. Hal ini karena dapat mengurangi waktu kinerja produksi mesin yang hilang dan mengurangi dampak terhadap komponen lain yang mengalami kerusakan. Oleh sebab itu, untuk mengurangi jumlah kerusakan jumlah komponen yang rusak maka diperlukan penjadwalan penggantian pada interval waktu tertentu sehingga dapat meminimalkan total biaya per satuan waktu (Tyas, Haryono, & Aksioma, 2016).

Waktu yang digunakan untuk memperbaiki dan melakukan penggantian komponen suatu sistem diasumsikan sangat minimum. Kebijakan penggantian yang optimal berdasarkan meminimalkan jangka panjang dari model biaya (Nakagawa & Kowada, 1983). Dinyatakan dalam persamaan berikut

$$\begin{aligned} & T\Pr\{Y_n > T\} + \int_0^T t d\Pr\{Y_n \leq t\} \\ &= \int_0^T \Pr\{Y_n \leq t\} dt = \sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt \end{aligned} \quad (2.22)$$

untuk $j = 1, 2, \dots, (n-1)$ dan nilai ekspektasi untuk banyaknya kegagalan hingga dilakukan penggantian atau *replacement* adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} & \sum_{j=0}^{n-1} j\Pr\{N(T) = j\} + n\Pr\{Y_n \leq T\} \\ &= n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Fungsi biaya penggantian komponen suatu sistem berdasarkan kegagalan ke- n dan waktu kerusakan ke- T dinyatakan dalam persamaan berikut

$$c(T; n) = \frac{c_f \left[n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \right] + c_p}{\sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt} \quad (2.24)$$

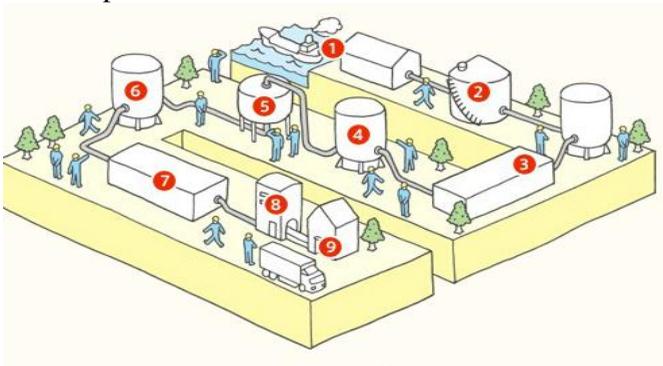
Dimana, $T > 0$, $n = 1, 2, \dots, N$, $j = 0, 1, 2, \dots, (n - 1)$ dan c_f menyatakan rata-rata biaya penggantian yang tidak terencana serta c_p adalah rata-rata biaya perbaikan minimal yang terjadwal. $W(t)$ menyatakan kumulatif *hazard* atau *mean intensity* yang diperoleh dari

$$W(t) = \int_0^t w(t)dt = \left(\frac{t}{\lambda}\right)^\beta \quad (2.25)$$

Kebijakan penggantian yang optimal untuk setiap jenis atau komponen suatu sistem ditentukan dengan meminimalkan persamaan $c(T; n)$.

2.10 Proses Produksi MSG AJI-NO-MOTO

Proses pembuatan bumbu penyedap masakan dari pengolahan bahan baku hingga dikemas dan siap untuk didistribusikan ke pelanggan memerlukan proses yang cukup panjang. Berikut adalah alur proses pembuatan MSG secara umum di PT Ajinomoto Indonesia dari website resmi ajinomoto.com dengan 9 tahapan alur.



Gambar 2.1 Proses Pembuatan MSG AJI-NO-MOTO

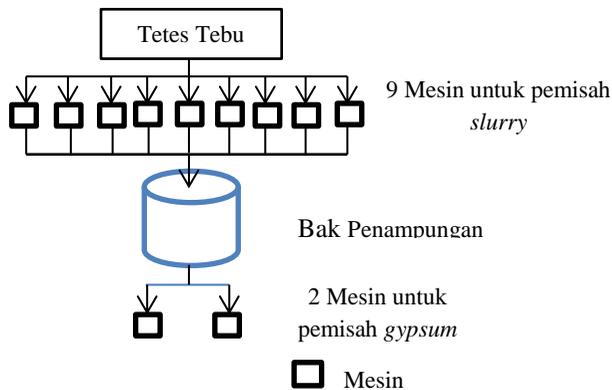
1. Pemilihan bahan baku terbaik dari pertanian alami dan mudah didapat. Bahan baku MSG adalah tetes tebu. Pada proses ini tetes tebu diproses untuk dibersihkan dari ampasnya (fokus proses penelitian).
2. Pada proses ini, Asam Glutamat diproduksi melalui proses fermentasi. Tetes tebu yang sudah disterilkan dengan pemanasan dan zat-zat nutrisi dimasukkan ke dalam tangki hingga menjadi kaldu fermentasi. Mikroorganisme

penghasil Asam Glutamat ditambahkan guna membantu untuk mengkonsumsi gula yang secara perlahan menjadi Asam Glutamat.

3. Tahapan berikutnya adalah Asam Glutamat diisolasi melalui pengkristalan dengan mengasamkan kaldu fermentasi. Lempengan kristal glutamat yang diperoleh dipisahkan dari kaldu fermentasi yang asam.
4. Selanjutnya, MSG dibuat dari Asam Glutamat dengan menambahkan Natrium Hidroksida. Monosodium Glutamate memiliki kelarutan dan stabilitas yang sangat baik sebagai bumbu masak dibandingkan dengan Asam Glutamat karena lebih mudah larut dalam air serta kecil kemungkinannya untuk menyerap air dan memiliki rasa “umami” yang kuat.
5. Pada tahap kelima, MSG dibersihkan dengan menggunakan karbon aktif untuk menghilangkan zat-zat yang tidak diinginkan. Hal ini dimaksudkan agar MSG menjadi bersih dan jernih.
6. Pengkristalan MSG dilakukan dengan cara larutan MSG dari tahap sebelumnya dikonsentratkan dengan pemanasan sehingga kristal MSG terbentuk.
7. Kristal MSG selanjutnya dikeringkan dengan cara digetarkan dan dipindahkan dengan udara panas dibagian bawah dan udara dingin dibagian atas.
8. Pengemasan kristal MSG yang bermutu tinggi ditimbang sesuai takaran.
9. Tahap akhir adalah pengiriman MSG AJI-NO-MOTO ke pelanggan.

2.11 Alur Proses H1

Proses awal pembuatan MSG (H1) adalah proses yang membutuhkan mesin separator dengan tujuan untuk pemisahan tetes tebu dari ampasnya. Sebanyak 11 mesin separator digunakan dalam proses ini. Pada proses H1 dilakukan secara seri. Berikut secara lebih jelas dari alur penggunaan mesin separator pada proses H1 di PT Ajinomoto Indonesia

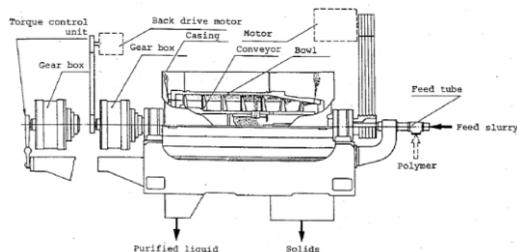


Gambar 2.2 Alur Penggunaan Mesin Separator SDC Proses H1

Pada Gambar 2.2, 9 mesin separator digunakan dengan tujuan pemisahan *slurry* dari bahan baku tetes tebu yang bekerja secara independen. Selanjutnya setelah *slurry* di tampung di bak penampungan diproses kembali dengan 2 mesin separator yang juga bekerja secara independen untuk pemisahan Kalsium (*gypsum*). Hasil dari pemisahan *gypsum* diproses lebih lanjut untuk menjadi MSG

2.12 Mesin Separator SDC

Mesin separator yang digunakan PT Ajinomoto Indonesia, Mojokerto pada proses H1 (pemisahan *gypsum*) adalah SDC P3000. Proses H1 adalah proses awal sebelum diperoleh MSG dari bahan baku tetes tebu. Fungsi utama dari mesin separator pada umumnya adalah sebagai pemisah cairan asli dari padatan dan zat cair bening (P3000C *Manual Book*). Berikut adalah konstruksi dari mesin separator SDC P3000



Gambar 2.3 Konstruksi Mesin Separator SDC

Komponen utama mesin separator SDC terdiri dari

1. *Bowl*, berfungsi untuk memutar silinder (menghilangkan ampas dari bahan baku), dimana pemutar silinder menggunakan *screw* BTN.
2. *Conveyor*, membawa lapisan endapan dari padatan pada dinding *interior bowl*
3. *Casing*, penutup yang digunakan untuk mengumpulkan zat (cairan dan padatan)
4. *Gear box*, untuk membedakan kecepatan rotasi dari *conveyor* dengan *bowl*
5. *Back drive*, menyesuaikan perbedaan kecepatan rotasi antara *bowl* dan *conveyor* serta mengontrol pengeringan dan menemukan padatan dari bahan baku
6. *Torque control unit*, alat keselamatan untuk beban berlebih

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari data *lifetime* mesin separator SDC pemisah *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia, Mojokerto. Mesin separator SDC digunakan pada proses H1 sebagai pemisah *gypsum* dari bahan baku MSG yakni tetes tebu selama kurun waktu 2010 hingga 2016.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah waktu antar kerusakan pada 2 mesin separator pada proses H1 (pemisahan *gypsum*) dari lama perbaikan atau penggantian komponen mesin dalam satuan hari. Struktur data untuk variabel yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Struktur Data Penelitian

Kegagalan ke- j	Mesin Separator	
	Mesin 1 (’88)	Mesin 2 (’97)
1	$Y_{1,1}$	$Y_{2,1}$
2	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$
\vdots	\vdots	\vdots
M_j	Y_{1,M_j}	Y_{2,M_j}

3.3 Langkah Penelitian

Langkah-langkah analisis yang dilakukan guna mencapai tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mengumpulkan data usia (*lifetime*) mesin separator SDC pemisah *gypsum* pada proses produksi H1.
2. Menetapkan *time truncated* untuk masing-masing mesin yakni sebesar 2600 hari untuk mesin separator SDC tahun ’88 dan mesin separator SDC tahun ’97
3. Mendeskripsikan karakteristik dari data *lifetime* mesin separator di PT Ajinomoto Indonesia. Hal ini dilakukan

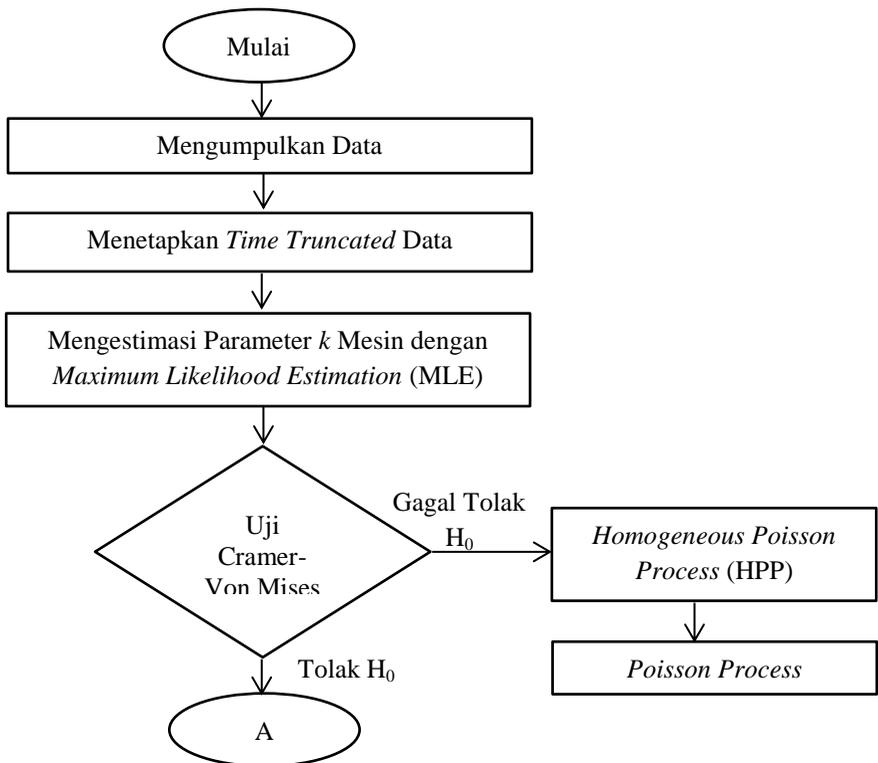
secara perhitungan statistika deskriptif yakni *mean* atau rata-rata dari data *lifetime* serta secara visual dengan menampilkan waktu kumulatif kegagalan (t_j) dan kegagalan ke- j ($M(t)$). Dari visual nanti dapat diketahui apakah data *lifetime* dapat dimodelkan dengan *Non-Homogeneous Poisson Process*.

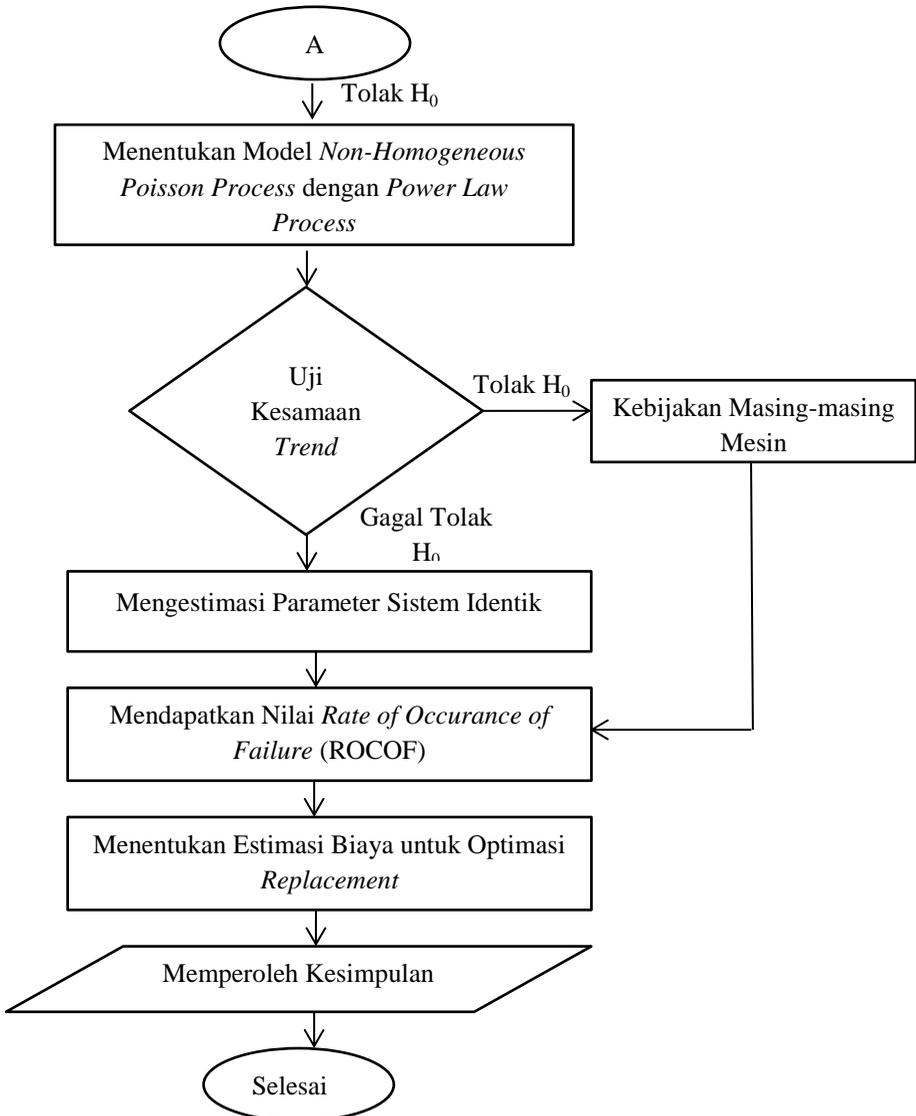
4. Melakukan estimasi parameter masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum*, dimana nilai masing-masing parameter dapat menentukan apakah kedua mesin separator SDC identik dengan *range* nilai parameter β dan λ yang tidak jauh. Estimasi parameter menggunakan metode MLE (*Maximum Likelihood Estimation*) untuk model data *time truncated* pada persamaan (2.12) untuk β dan persamaan (2.13) untuk λ . Nilai parameter β yang didapatkan juga harus lebih satu agar analisis metode *Power Law Process* dapat dilanjutkan.
5. Nilai parameter β dan λ yang telah didapatkan digunakan untuk melakukan uji Cramer-Von Mises. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah model sesuai dengan metode *Power Law Process* (PLP) atau tidak. Namun terlebih dahulu harus mendapatkan nilai unbiased conditional MLE dari β ($\bar{\beta}$) menggunakan persamaan (2.15) sehingga persamaan (2.14) untuk pengujian Cramer-Von Mises dapat dilanjutkan.
6. Pengujian kesamaan *trend* untuk mendapatkan satu kebijakan yang sama dalam menentukan waktu optimum penggantian dan perbaikan dengan biaya yang minimum pada kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang digunakan oleh PT Ajinomoto Indonesia pada persamaan (2.16). Jika memiliki *trend* yang sama dalam *failure rate* maka penerapan satu kebijakan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* dilakukan.
7. Setelah diperoleh bahwa *trend* laju kerusakan kedua mesin separator SDC adalah sama sehingga dapat dilakukan estimasi parameter untuk sistem identik menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* pada persamaan (2.20) untuk parameter λ dan (2.21) untuk parameter β .

Nilai parameter β dan λ untuk sistem identik tersebut juga digunakan untuk memperoleh grafik dari nilai *Rate of Occurrence of Failure* (ROCOF).

8. Mendapatkan model optimasi untuk menentukan waktu penggantian yang meminimumkan biaya kerusakan mesin separator SDC pemisah *gypsum* di PT. Ajinomoto Indonesia. Menghitung $c(T; n)$ menggunakan persamaan (2.24) dengan menggunakan prosedur iterasi menggunakan perhitungan integral trapezoid hingga didapatkan nilai yang minimum dari $c(T; n)$
9. Mendapatkan kesimpulan dari hasil analisis.

Tahapan analisis dirangkum dan disajikan dalam bentuk diagram alir sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar berikut





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua mesin separator SDC yang digunakan sebagai pemisah *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia pada proses H1 (proses pemisahan *gypsum*) dari bahan baku tetes tebu untuk diproduksi menjadi MSG. Mesin separator SDC yang digunakan yakni, mesin tahun '88 dan tahun '97. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *data time truncated* dengan T yang ditetapkan sama yakni, sebesar 2600 hari untuk mesin separator SDC '88 dan mesin separator SDC '97.

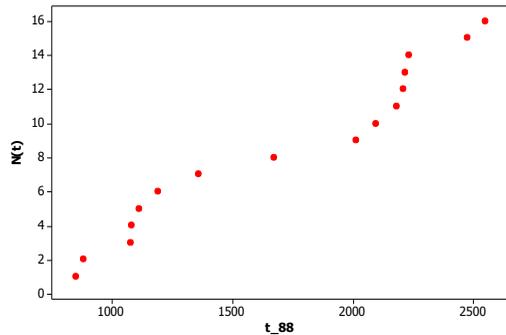
Pada bab ini akan dibahas mengenai uji Cramer-Von Mises yang digunakan untuk mengetahui apakah waktu kegagalan dari masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum* dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Power Law Process* atau model menggunakan metode tersebut telah sesuai. Namun, terlebih dahulu akan dianalisis mengenai karakteristik data mengenai laju kerusakan yang terjadi. Apabila waktu kegagalan dari kedua mesin separator SDC mengindikasikan model yang non-stasioner, maka model *Non-Homogeneous Poisson Process* yang diterapkan telah sesuai. Selanjutnya melakukan estimasi parameter *Power Law Process* pada masing-masing mesin separator SDC. Hal ini untuk mendapatkan parameter β untuk pengujian Cramer-Von Mises.

Bab ini juga membahas kesamaan trend dari laju kerusakan kedua mesin separator dengan tujuan untuk mendapatkan satu kebijakan yang dapat diterapkan untuk kedua mesin separator SDC. Kebijakan tersebut mengenai penentuan waktu optimum penggantian dan perbaikan dengan biaya yang minimum untuk kedua mesin separator SDC sehingga langkah terakhir yang dijelaskan pada bab ini adalah mengenai optimasi penggantian dan perbaikan mesin separator SDC pemisah *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia.

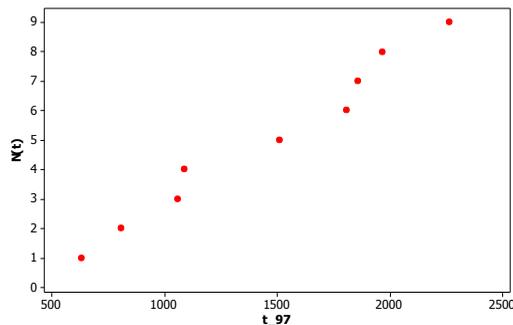
4.1 Karakteristik Data

Pada proses produksi H1 (pemisahan *gypsum*), untuk memisahkan *gypsum* dari *slurry* PT Ajinomoto Indonesia menggunakan dua mesin separator SDC. Dimana, masing-masing mesin memiliki spesifikasi yang sama dan bekerja secara

independen. Karakteristik data dari tiap mesin separator SDC dianalisis secara visual sebagai berikut.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Plot Kumulatif waktu kegagalan (t) dan Banyaknya Kegagalan yang Terjadi ($M(t)$) Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum* (a) tahun '88 dan (b) tahun '97

Berdasarkan Gambar 4.1 yakni plot antara kumulatif waktu kegagalan mesin separator SDC pemisah *gypsum* (t) dengan banyaknya kerusakan yang terjadi ($M(t)$). Waktu antar kerusakan yang semakin kecil menandakan bahwa mesin separator SDC yang semakin cepat mengalami kegagalan seiring dengan waktu. Terlihat pula bahwa pada plot (a) untuk mesin separator SDC '88 dan plot (b) untuk mesin separator SDC '97 kurva yang terbentuk menunjukkan lengkungan baik lengkungan ke atas atau

lengkungan ke bawah di beberapa t . Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan *reliability* mesin separator SDC '88 belum memadai.

Plot yang menunjukkan lengkungan yang signifikan harus dimodelkan dengan proses yang non-stasioner. Salah satunya adalah dengan *Non-Homogeneous Poisson Process* (Rigdon & Basu, 2000). Metode spesial dari NHPP yang biasanya digunakan adalah *Power Law Process*. Oleh sebab itu, data *lifetime* dari mesin separator SDC pemisah *gypsum* akan dianalisis lebih lanjut dengan metode *Power Law Process* sehingga nantinya diperoleh waktu penggantian dan perbaikan dari biaya yang paling minimum.

4.2 Estimasi Parameter Tiap Mesin Separator SDC

Estimasi parameter untuk data *lifetime* pada masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum* dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation*. Perhitungan estimasi parameter β dan λ pada persamaan (2.12) dan (2.13).

- a) Parameter β_1 untuk mesin separator SDC '88 diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut

$$\hat{\beta}_1 = \frac{M_1}{\sum_{j=1}^{M_1} \ln\left(\frac{T_1}{T_{j,1}}\right)} = \frac{16}{7,86421} = 2,03453$$

- b) parameter λ_1 untuk mesin separator SDC '88 diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut

$$\hat{\lambda}_1 = \frac{T_1}{M_1^{\beta_1}} = \frac{2600}{16^{2,03453}} = 665,476$$

Sedangkan estimasi parameter untuk mesin separator SDC '97 adalah sebagai berikut

- a) Parameter β_2 diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut

$$\hat{\beta}_2 = \frac{M_2}{\sum_{j=1}^{M_2} \ln\left(\frac{T_2}{T_{j,2}}\right)} = \frac{9}{5,99952} = 1,50012$$

- b) parameter λ_2 diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut

$$\hat{\lambda}_2 = \frac{T_2}{M_2^{\beta_2}} = \frac{2600}{9^{1,50012}} = 600,984$$

Pada Tabel 4.1 berikut disajikan hasil perhitungan estimasi parameter masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum*.

Tabel 4.1 Estimasi Parameter

Paramater	Mesin Separator SDC '88	Mesin Separator SDC '97
$\hat{\beta}$	2,03453	1,50012
$\hat{\lambda}$	665,476	600,984

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi parameter untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum*, diperoleh bahwa nilai parameter $\hat{\beta}$ yang lebih dari 1 karena untuk suatu sistem dapat dianalisis lebih lanjut dengan metode *Power Law Process* nilai parameter $\hat{\beta}$ yang diperoleh harus lebih dari satu (Rigdon & Basu, 2000). Maka, kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* dapat dianalisis lebih lanjut dengan metode *Power Law Process*. Nilai parameter $\hat{\beta}$ dan $\hat{\lambda}$ untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang tidak terlalu jauh dapat mengindikasikan bahwa sistem identik. Hal ini dapat mempermudah penentuan satu kebijakan waktu optimum untuk kedua mesin separator SDC yakni, dengan nilai $\hat{\beta}$ dan $\hat{\lambda}$ yang sama untuk kedua mesin. Nilai parameter $\hat{\beta}$ yang telah diperoleh akan digunakan untuk mendapatkan nilai *conditional unbiased* $\hat{\beta}$ yang disimbolkan dengan $(\bar{\beta})$ pada pengujian Cramer-Von Mises.

4.3 Pengujian Cramer-Von Mises

Pengujian Cramer-Von Mises digunakan untuk mengetahui apakah model sesuai dengan metode *Power Law Process* (PLP) atau tidak. Hipotesis *null* yang digunakan adalah waktu kegagalan untuk mesin ke- k bukan diatur oleh *Power Law Process* atau model tidak sesuai.

Langkah pertama dalam pengujian Cramer-Von Mises adalah mendapatkan nilai *unbiased conditional* MLE dari β yang disimbolkan dengan $(\bar{\beta})$ dengan menggunakan persamaan (2.15). Berikut perhitungan dari *unbiased conditional* $\hat{\beta}$ masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum*

$$\bar{\beta}_1 = \frac{M_1 - 1}{M_1} \hat{\beta}_1 = \frac{16 - 1}{16} (2,03453) = 1,90738$$

$$\bar{\beta}_2 = \frac{M_2-1}{M_2} \hat{\beta}_2 = \frac{9-1}{9} (1,50012) = 1,33344$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dilanjutkan untuk perhitungan uji Cramer-Von Mises pada persamaan (2.14). Berikut disajikan nilai *unbiased conditional* $\hat{\beta}$ yang disimbolkan dengan ($\bar{\beta}$) untuk masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum* dan statistik uji Carmer-Von Mises (C_R^2) sebagai berikut

Tabel 4.2 *Unbiased Conditional* MLE β ($\bar{\beta}$) dan Statistik Uji Cramer Von Mises

Mesin Separator	$\bar{\beta}$	(C_R^2)	<i>Critical Value</i>	Keputusan
'88	1,90738	0,07846	0,216	Tolak H_0
'97	1,33344	0,06709	0,211	Tolak H_0

Nilai statistik uji Cramer-Von Mises (C_R^2) pada Tabel 4.2 untuk masing-masing mesin separator SDC pemisah *gypsum* tahun '88 dan tahun '97 adalah sebesar 0,07876 dan 0,06709. Nilai yang telah diperoleh tersebut kurang dari *critical value* dengan level signifikan 5% dan M (banyaknya kegagalan) masing-masing mesin bernilai 16 dan 9. Keputusan yang didapat adalah tolak H_0 . Maka, didapatkan kesimpulan bahwa model *Non-Homogeneous Process Poisson* telah sesuai atau waktu kegagalan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* diatur dengan *Power Law Process*.

4.4 Pengujian Kesamaan *Trend* Laju Kerusakan

Untuk mendapatkan satu kebijakan yang sama dalam menentukan waktu optimum penggantian dan perbaikan dengan biaya yang minimum pada kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang digunakan oleh PT Ajinomoto Indonesia, maka perlu dilakukan pengujian kesamaan *trend* laju kerusakan. Pengujian kesamaan *trend* laju kerusakan digunakan untuk menguji apakah kedua mesin separator yang digunakan memiliki *trend* laju kerusakan yang sama atau *growth* dari parameter β dari kedua mesin separator SDC yang diamati adalah sama. Hipotesis null dari pengujian kesamaan *trend* laju kerusakan ini adalah $\beta_1 = \beta_2$.

Hasil perhitungan nilai statistik uji F dari persamaan (2.16) adalah diperoleh F sebesar 0,73733. *Critical value* dengan menggunakan $\alpha=5\%$ adalah $F_{0,025(32;18)}=2,33$ dan

$F_{0,975(32;18)} = 0,4505$. Dimana, nilai statistik uji F sebesar $0,73733$ berada diantara *critical value* $0,4505$ dan $2,33$ maka H_0 gagal ditolak. Oleh sebab itu, tidak ada bukti bahwa kedua mesin separator mempunyai perbedaan nilai pada *growth* parameter β atau memiliki *trend* laju kerusakan yang sama sehingga penerapan satu kebijakan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* dapat dilakukan oleh PT Ajinomoto Indonesia. Selanjutnya, untuk memperoleh satu kebijakan waktu optimum pada kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* dilanjutkan dengan estimasi parameter untuk sistem identik.

4.5 Estimasi Parameter Sistem Identik

Estimasi parameter sistem identik menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* untuk mendapat waktu optimum dari penggantian dan perbaikan kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum*. Perhitungan estimasi parameter β dan λ pada persamaan (2.15) dan (2.14). Estimasi parameter β untuk sistem yang identik diperoleh dari hasil perhitungan sebagai berikut

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} \ln(T/t_{ij})}$$

$$\hat{\beta} = \frac{(16+9)}{13,8637} = 1,80327$$

Dan estimasi parameter λ untuk sistem yang identic adalah

$$\hat{\lambda} = \left(\frac{k^{1/\beta T}}{N^{1/\beta}} \right)$$

$$\hat{\lambda} = \left(\frac{2^{1/1,80327} (2600)}{(25)^{1/1,80327}} \right) = 640,742$$

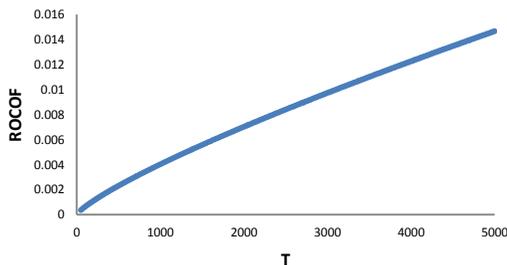
Nilai estimasi parameter β dan λ yang diperoleh tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan waktu optimum perbaikan dan atau penggantian yang dapat diterapkan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum*. Selain itu, nilai parameter β dan λ juga digunakan untuk perhitungan ROCOF (*Rate of Occurrence of Failure*) sehingga nantinya secara visual dari ROCOF dapat diketahui bagaimana *trend* dari laju kerusakan kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* tersebut.

Berikut disajikan ROCOF dari kedua mesin separator SDC berdasarkan perhitungan pada Lampiran 6 yang ditabelkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut

Gambar 4.3 ROCOF Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

T	ROCOF
50	0,000362734
2000	0,007022144
4000	0,012253981
8000	0,021383789
10000	0,025581693
12000	0,029616447
14000	0,033520393
16000	0,037315745
18000	0,041018639

Nilai ROCOF juga dapat disajikan secara visual antara nilai ROCOF dan T yakni Gambar 4.2. Pada gambar tersebut, terbentuk kurva yang melengkung ke bawah (*curved down*). Hal ini dapat mengindikasikan bahwa peningkatan reliabilitas sejak waktu antar kegagalan lebih besar dari T . Adanya *trend* yang meningkat dan tidak konstan dari kurva juga dapat menunjukkan bahwa laju kerusakan mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang meningkat terhadap waktu serta mengikuti *Non-Homogeneous Poisson Process*.



Gambar 4.2 ROCOF Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

4.6 Model Optimasi

Selanjutnya setelah didapatkan bahwa penerapan satu kebijakan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* dapat dilakukan, maka tahapan akhir analisis adalah penentuan waktu yang meminimalkan biaya. Pada bagian ini akan dibahas mengenai waktu optimum untuk perbaikan dan atau penggantian dengan biaya yang minimum pada mesin separator SDC pemisah *gypsum*.

Dua biaya yang harus diketahui agar dapat menghitung model optimasi yakni c_p dan c_f . c_p adalah rata-rata biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan dan atau penggantian yang terencana atau terjadwal (*Cost of Preventive*). c_f adalah rata-rata biaya penggantian yang terjadi apabila suatu sistem mengalami kerusakan sewaktu-waktu (*Cost of Failure*). Nilai dari c_p dan c_f dari mesin separator SDC pemisah *gypsum* yang diperoleh dari PT Ajinomoto Indonesia sebagai berikut.

Tabel 4.4 Nilai c_p dan c_f Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

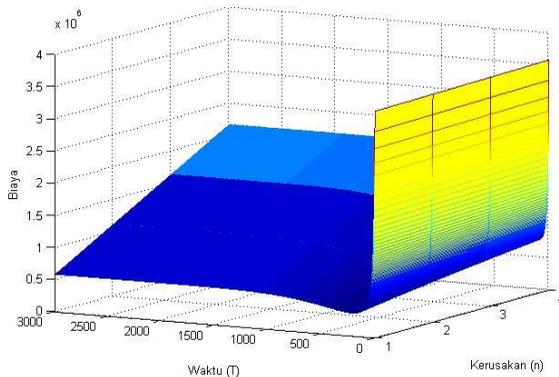
c_p	c_f
Rp 35000000	Rp 30000000

Nilai c_p yang disajikan pada Tabel 5 adalah biaya *preventif* yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk *preventif* dari *screw* BTN. *Screw* BTN adalah salah satu komponen pada mesin separator SDC P3000 yang berfungsi sebagai pemutar silinder (pemutar untuk menghilangkan *gypsum* dari *slurry*). Nilai c_p dan c_f tersebut akan digunakan untuk menghitung biaya perbaikan dan atau penggantian mesin separator SDC pemisah *gypsum* menggunakan persamaan berikut.

$$c(T; n) = \frac{300000000 \left[n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \right] + 35000000}{\sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt}$$

Untuk mendapatkan nilai minimum dari $c(T; n)$ maka terlebih dahulu akan dicari nilai dari laju kerusakan ($W(T)$) terhadap waktu dengan mensubstitusikan nilai parameter β dan λ sistem identik kedalam persamaan (2.25). Langkah selanjutnya adalah memilih sepasang T (iterasi waktu dari 1-3000 hari) dan n

(kejadian kegagalan ke- n , dimana pada penelitian ini $n=4$) yang akan dihitung dengan mensubstitusikan nilai c_f dan c_p kedalam persamaan diatas juga. Berikut disajikan gambar dalam bentuk grafik tiga dimensi, hasil perhitungan biaya dari persamaan $c(T; n)$ untuk sepasang waktu ke- T dan kerusakan ke- n



Gambar 4.3 Estimasi Biaya Penggantian dan atau Perbaikan Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

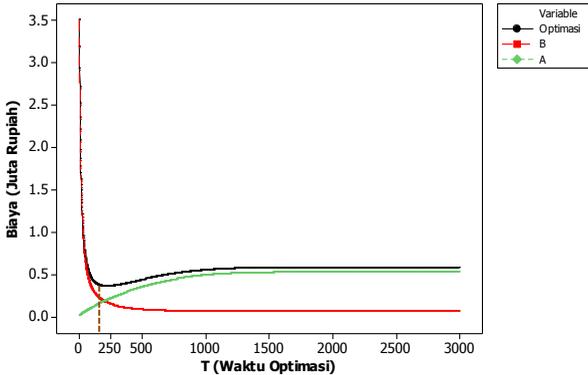
Selain gambar dalam bentuk 3 dimensi, waktu optimum untuk perbaikan dan penggantian komponen *screw* BTN mesin separator *gypsum* juga dapat disajikan dalam plot 2 dimensi. Hal ini untuk memudahkan penentuan waktu optimum berdasarkan biaya yang minimum menggunakan persamaan dari $c(T; n)$ yang dipisah menjadi persamaan A dan B sebagai berikut

$$A = \frac{300000000 \left[n - \sum_{j=0}^{n-1} (n-j) \frac{[W(T)]^j}{j!} e^{-W(T)} \right]}{\sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt}$$

$$B = \frac{35000000}{\sum_{j=0}^{n-1} \int_0^T \frac{[W(t)]^j}{j!} e^{-W(t)} dt}$$

Persamaan A dan B adalah persamaan secara matematis dari $c(T; n)$ yang nantinya dapat menentukan waktu optimum dari perpotongan antara kedua persamaan tersebut. Selanjutnya, untuk mendapatkan waktu optimum dari perbaikan dan penggantian

screw BTN disajikan dalam plot antara persamaan A, B dan $c(T; n)$ sebagai berikut



Gambar 4.4 Waktu Optimum Penggantian dan atau Perbaikan Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

Pada Gambar 4.4 disajikan titik optimum yang menyatakan waktu optimum untuk perbaikan dan penggantian dari perpotongan antara persamaan A (garis hijau) dan B (garis merah). Garis hitam menyatakan persamaan dari $c(T; n)$. Garis dari persamaan $c(T; n)$ juga menunjukkan waktu optimum dari perbaikan dan penggantian *screw* BTN. Pada plot tersebut dapat diketahui bahwa waktu optimum perbaikan dan penggantian *screw* BTN mesin separator SDC pemisah *gypsum* berdasarkan biaya yang minimum adalah pada T yang secara umum kurang dari 250 hari. Dari perpotongan antara persamaan A dan persamaan B serta titik terendah dari biaya pada persamaan $c(T; n)$. Maka, dari penyajian Gambar 4.4 diperoleh bahwa waktu optimum untuk perbaikan dan penggantian *screw* BTN mesin separator SDC pemisah *gypsum* kurang dari 250 hari operasi.

Hasil perhitungan dari persamaan $c(T; n)$ untuk *screw* BTN mesin separator SDC pemisah *gypsum* menunjukkan nilai masing-masing biaya yang dihasilkan pada kerusakan pertama sampai kerusakan ke-empat pada waktu ke- T secara jelas mengacu pada Lampiran 5 yang telah diringkas dalam Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Ekspektasi Biaya Perawatan Mesin Separator SDC

T (Hari)	Kerusakan ke- <i>n</i>			
	1	2	3	4
1	35037752	35040360	35042968	35045576
2	17522258	17526810	17531361	17535913
100	459617,41	564497,39	669377,37	774257,35
223	361993,66	558477,5	754961,34	951445,17
800	520235,94	972414,2	1424592,5	1876770,7
1400	582177,63	1102608,5	1623039,4	2143470,2
2000	587814	1114191,8	1640569,6	2166947,3
3000	587973,45	1114516,8	1641060,2	2167603,6

Berdasarkan Tabel 4.5 pada mesin separator SDC pemisah *gypsum* menghasilkan estimasi biaya yang minimum untuk perbaikan dan atau penggantian sebesar Rp 361993,66 per hari operasi mesin. Minimum biaya tersebut terdapat pada kerusakan pertama dan pada saat mesin separator SDC telah beroperasi selama 223 hari. Dari hasil perhitungan ekspektasi biaya perawatan dari nilai c_p dan c_f yang dikeluarkan oleh pihak PT Ajinomoto Indonesia untuk mesin separator SDC pemisah *gypsum*, maka untuk perbaikan dan atau penggantian, khususnya untuk *screw* BTN sebaiknya dilakukan setelah mesin mengalami kerusakan yang pertama atau pada saat mesin sudah beroperasi selama 223 hari. Bergantung pada mana yang lebih dahulu terjadi. Nilai ekspektasi biaya paling minimum yang diperoleh adalah sebesar Rp 361993,66 per hari operasi mesin. Hal ini berarti bahwa pada saat mesin separator SDC pemisah *gypsum* beroperasi selama satu hari produksi maka biaya yang dibutuhkan mesin untuk beroperasi adalah sebesar Rp 361993,66.

Karena diperoleh satu kebijakan yang dapat diterapkan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* maka proses perawatan dilakukan pada waktu yang sama. Kebijakan tersebut patut dipertimbangkan untuk diterapkan pada mesin separator SDC pemisah *gypsum* karena ekspektasi biaya lebih kecil dibandingkan biaya sebenarnya yang dikeluarkan oleh perusahaan. Ilmu statistik juga dapat dipertimbangkan untuk diterapkan pada perawatan

kehandalan mesin produksi di PT Ajinomoto Indonesia yang selama ini hanya berdasarkan *trial error* mesin. Informasi yang diperoleh dari perusahaan yang menetapkan *schedule* untuk *maintenance* berdasarkan *trial error* mesin, maka hasil analisis waktu optimum dapat menjadi pertimbangan untuk perusahaan mengurangi biaya operasi produksi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh kesimpulan bahwa *lifetime* mesin separator SDC *gypsum* di PT Ajinomoto Indonesia merupakan *Non-Homogeneous Poisson Process*. Berdasarkan model tersebut, waktu optimum perawatan untuk kedua mesin separator SDC pemisah *gypsum* yakni sebaiknya dilakukan saat mesin telah beroperasi selama 223 hari atau mesin mengalami kerusakan yang pertama sebelum mencapai 223 hari. Hal tersebut tergantung dari mana yang lebih dahulu terjadi. Oleh sebab itu, apabila mesin separator SDC pemisah *gypsum* sudah mengalami kerusakan sebelum beroperasi selama 223 hari harus segera dilakukan tindakan perbaikan atau penggantian. Nilai estimasi biaya minimum adalah sebesar Rp 361993,66 per hari operasi mesin. Hal ini berarti bahwa saat mesin separator SDC beroperasi selama satu hari maka biaya yang dibutuhkan mesin untuk beroperasi adalah sebesar Rp 361993,66.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisis dari penelitian adalah

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan berfokus hanya pada satu komponen mesin saja agar dapat memberikan estimasi biaya yang sesuai dan biaya yang diperoleh nantinya tidak bias.
2. Pada tahap *pre-processing* data banyak ditemukan data yang tidak sesuai, sehingga diharapkan pihak perusahaan lebih teliti dalam pen-data-an lama perawatan atau perbaikan mesin secara intensif. Hal tersebut agar evaluasi dari kinerja setiap komponen mesin, khususnya mesin separator SDC dapat dilakukan dengan baik.
3. Ilmu statistika diharapkan dapat dipertimbangkan untuk menyelesaikan reliabilitas mesin produksi dan penjadwalan perawatan mesin, terutama pada mesin separator SDC pemisah *gypsum*.
4. Untuk dapat mengurangi biaya operasi produksi, sebaiknya waktu optimum dari hasil analisis dapat menjadi bahan

pertimbangan perusahaan. Misalnya, dapat dilakukan dengan menukar mesin lama sebelum mengalami kerusakan yang buruk dengan mesin yang baru. Hal tersebut dapat mengurangi biaya mesin baru yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Chartika, R. (2005). *Analisis Brand Image Produk MSG (Monosodium Glutamate) Bagi Konsumen Rumah Tangga Wilayah Kecamatan Senen Jakarta Pusat*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ebeling. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: McGraw-Hill.
- Fadhil, M., & Mashuri, M. (2016). *Optimasi Preventive Maintenance Pada Mesin Rotary Kiln dengan Metode Analisis Reliabilitas di PT Semen Indonesia, Tbk Tuban Plant*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hoyland, A., & Rausand, M. (1994). *System Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Junaidah, I., & Iriawan, N. (2003). *Preventive Maintenance Pada Mesin Pengemasan Jika Berdasarkan Pada Model Keandalan di PT Ajinomoto Jawa Timur*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Leung, F. K., & Cheng, A. L. (2000). Determining Replacement Policies for Bus Engines. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 771-783.
- Nakagawa, T., & Kowada, M. (1983). *Analysis of a System with Minimal Repair and Its Application to Replacement Policy*. North-Holland: North-Holland Publishing Company.
- O'Connor, P. (1991). *Practical Reliability Engineering, Third Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Pangastuti, S. S., & Haryono. (2016). *Optimasi Waktu Penggantian Komponen Roda Lokomotif Seri CC Dipo Lokomotif Sidotopo PT KAI (Persero) Menggunakan Metode Power Law Process*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pratiwi, W. (2015, Januari 26). MARS. Retrieved januari 20, 2017, from MARS: <http://www.marsindonesia.com>

- Rigdon, S. E., & Basu, A. P. (2000). *Statistical Methods for the Repairable Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sudjana. (2005). *Metode Statistik*. Bandung: Tarsito.
- The Aspiration of The Ajinomoto Group*. (2000-2017). Retrieved Januari 20, 2017, from AJINOMOTO: <http://www.ajinomoto.com>
- Tyas, N. A., Haryono, & Aksioma, D. F. (2016). *Penentuan Kebijakan Waktu Optimum Perbaikan Komponen Heat Exchanger (HE) Pesawat Boeing 737-800 Menggunakan Metode Power Law Process di PT Garuda Maintenance Facility (GMF) Aero Asia*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data *Lifetime* Mesin Separator SDC Tahun '88

Kerusakan Ke- <i>M</i>	Tanggal	<i>Lifetime</i>	$X_i - X_{i-1}$
1	1/3/2012	851	851
2	2/2/2012	881	30
3	8/16/2012	1077	196
4	8/22/2012	1083	6
5	9/23/2012	1115	32
6	12/7/2012	1190	75
7	5/24/2013	1358	168
8	4/3/2014	1672	314
9	3/11/2015	2014	342
10	6/2/2015	2097	83
11	8/28/2015	2184	87
12	9/21/2015	2208	24
13	9/29/2015	2216	8
14	10/16/2015	2233	17
15	6/14/2016	2475	242
16	8/28/2016	2550	75

Lampiran 2. Data *Lifetime* Mesin Separator SDC Tahun '97

Kerusakan Ke- <i>M</i>	Tanggal	<i>Lifetime</i>	$X_i - X_{i-1}$
1	2/23/2012	634	634
2	8/16/2012	809	175
3	4/24/2013	1060	251
4	5/24/2013	1090	30
5	7/22/2014	1514	424
6	3/15/2015	1811	297
7	5/1/2015	1858	47
8	8/21/2015	1970	112
9	6/10/2016	2264	294

Lampiran 3. Perhitungan Uji Cramer-Von Mises

Setelah *unbiased conditional β* diperoleh, maka statistik uji Cramer-Von Mises dapat dihitung

$$C_R^2 = \frac{1}{12M} + \sum_{j=1}^M \left(\hat{R}_j - \frac{2j-1}{2M} \right)^2$$
$$C_R^2(88) = \frac{1}{12(16)} + 0,07325 = 0,07846$$
$$C_R^2(97) = \frac{1}{12(9)} + 0,05783 = 0,06709$$

Lampiran 4. Nilai ROCOF Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

$$w(t) = \frac{\beta}{\lambda} \left(\frac{t}{\lambda}\right)^{\beta-1} = \frac{1,80327}{640,742} \left(\frac{t}{640,742}\right)^{640,742-1}$$

Berdasarkan persamaan diatas, diperoleh ROCOF untuk mesin separator SDC pemisah *gypsum* sebagai berikut

T	ROCOF
50	0.000363
51	0.000369
52	0.000374
53	0.00038
54	0.000386
55	0.000392
56	0.000397
57	0.000403
58	0.000409
59	0.000414
60	0.000419
...	...
4991	0.014638
4992	0.014641
4993	0.014643
4994	0.014645
4995	0.014648
4996	0.01465
4997	0.014653
4998	0.014655
4999	0.014657
5000	0.01466

Lampiran 5. Ekspetasi Biaya Penggantian dan atau Perbaikan Mesin Separator SDC Pemisah *Gypsum*

T (Hari)	Kerusakan ke- n			
	1	2	3	4
1	35037752	35040360	35042968	35045576
2	17522258	17526810	17531361	17535913
3	11684911	11691214	11697518	11703822
4	8767031	8774974	8782916	8790859
5	7016903	7026405	7035907	7045408
...	
220	362018,8	556477,7	750936,6	945395,5
221	362005	557139,8	752274,7	947409,6
222	361996,6	557806,5	753616,3	949426,2
223	361993,66	558477,5	754961,34	951445,17
224	361996	559152,8	756309,7	953466,5
...	
2996	587973,5	1114517	1641060	2167604
2997	587973,5	1114517	1641060	2167604
2998	587973,5	1114517	1641060	2167604
2999	587973,5	1114517	1641060	2167604
3000	587973,5	1114517	1641060	2167604

Lampiran 6. Surat Penerimaan Penelitian Tugas Akhir di PT Ajinomoto Indonesia



No : 01 /GP/I/2017

Mojokerto, 4 Januari 2017

Lampiran : --

Perihal : Jawaban Surat Permohonan Ijin Memperoleh Data Untuk Tugas Akhir

Yth. Ketua Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo
Surabaya 60111

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat dari Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, no: 069436/IT2.1.I.3/TU.00.09/2016, tanggal 10 November 2016, perihal "**Surat Permohonan Ijin Memperoleh Data untuk Tugas Akhir**", bersama ini kami menyampaikan bahwa kami bisa menerima kegiatan tersebut pada :

Tanggal : 9 Januari ~ 8 Februari 2017
Pukul : 08.00 ~ 16.00 WIB
Tempat : PT. Ajinomoto Indonesia
Jl Raya Mlirip Jetis, Mojokerto

Peserta : Wahyu Nurfitriyana Andraningtyas (131300110)

Untuk konfirmasi lebih lanjut bisa menghubungi General & Personnel Department PT. Ajinomoto Indonesia dengan Bp. Hari Budi. S / Bp. Djoko Siswanto di nomor telepon 0321-361710.

Demikian atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Hormat kami,
General Administration Dept



Renggana
General Manager

Lampiran 7. Syntax Model Optimasi dengan Matlab

```

clc;
clear;
Lambda=input('Lambda=');
Beta=input('Beta=');
Cf=input('Cf=');
Cp=input('Cp=');
N=1:1:4;
T=1:1:3000;
Tl=length(T);
Nl=length(N);
for a=1:Tl
    t=T(a);
    n=N;
    Rt=(t/Lambda).^Beta;
    at=0;
    for i=0:(n-1)
        at=at+((n-i)*((Rt^i)/factorial(i))*exp(-1*Rt));
    end
    atotal=Cf*(n-at)+Cp;
    for i=0:(n-1)
        c=0;
        h=(t-0)/1000;
        Luas=0;
        bw=0;
        for p=1:(1000-1)
            ba=(((c/Lambda).^Beta)^i)./factorial(i))*exp(-(c/Lambda).^Beta);
            d=c+h;
            bb=(((d/Lambda).^Beta)^i)./factorial(i))*exp(-(d/Lambda).^Beta);
            Luas=Luas+(0.5*(ba+bb)*h);
            c=d;
        end
        bw=bw+Luas;
    end
    C(a,n)=atotal/bw
end
mesh(C)

```

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMIPA-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Wahyu Nurfitriyana Andraningtyas

NRP : 1313100 110

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

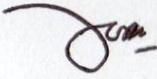
Nama Instansi : PT Ajinomoto Indonesia

Divisi/ bagian : E&M

sejak tanggal 9 Januari sampai dengan 8 Februari 2017 untuk keperluan Tugas Akhir/ Thesis Semester Gasal/Genap* 2016/ 2017.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Mojokerto,


(IOAN AE)
01312/01-12/199

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Wahyu Nurfitriyana Andraningtyas. Penulis yang biasa dipanggil Andra ini merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Agus Riyanto dan Ibu Bis Hartutik. Lahir di Kota Mojokerto, 3 Januari 1995. Pendidikan yang telah ditempuh oleh penulis antara lain adalah SDN Wates III, SMPN 1 Mojokerto, SMAN 1 Sooko. Selanjutnya, pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa

Jurusan Statistika Program Studi Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menempuh pendidikannya penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2014-2015 menjadi Staff Departemen Kewirausahaan (KWU) HIMASTA-ITS dan menjadi Bendahara di Statistics Computer Course (SCC) HIMASTA-ITS. Selanjutnya pada tahun 2015-2016 penulis menjadi Kabiro produksi di Departemen KWU HIMASTA-ITS. Selain itu, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan di lingkup Jurusan serta Fakultas. Selama menempuh pendidikan sarjana, penulis juga mendapatkan beasiswa dari Karya Salemba Empat (KSE) yakni, pada tahun ke-tiga dan ke-empat perkuliahan. Tahun 2016 penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Telkom Indonesia Divisi Regional V Surabaya. Segala saran dan kritik yang membangun untuk Tugas Akhir ini serta teman-teman yang ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi via email ke wahyu.nurfitriyana0301@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)