



TUGAS AKHIR - SM 091332

**MODEL REGRESI  $COX$  DALAM  
MENENTUKAN FUNGSI KEANDALAN  
JARINGAN DISTRIBUSI AIR**

Yossy Pratama  
NRP 1208 100 028

Dosen Pembimbing  
Dra. Farida Agustini Widjajati, MS  
Dra. Nuri Wahyungsih, M.Kes

JURUSAN MATEMATIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT – SM 091332**

***COX REGRESSION MODEL OF DETERMINING  
THE RELIABILITY FUNCTION ON WATER  
SUPPLY NETWORK***

**Yossy Pratama  
NRP 1208 100 028**

**Supervisor**

Dra. Farida Agustini Widjajati, MS  
Dra. Nuri Wahyungsih, M.Kes

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS  
Faculty of Mathematics and Natural Science  
Sepuluh November Institute of Technology  
Surabaya 2016**

# LEMBAR PENGESAHAN

## MODEL REGRESI COX DALAM MENENTUKAN FUNGSI KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI AIR

### COX REGRESSION MODEL OF DETERMINING THE RELIABILITY FUNCTION ON WATER SUPPLY NETWORK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Pada bidang studi Program Studi S-1 Jurusan Matematika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**YOSSY PRATAMA**  
NRP. 1208 100 028

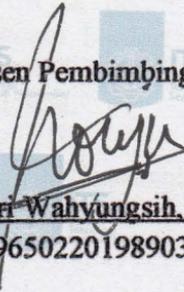
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,



Dra. Farida Agustini Widjajati, MS.  
NIP. 19540817198103 2 003

Dosen Pembimbing II,



Dra. Nuri Wahyungsih, M.Kes.  
NIP. 19650220198903 2 002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Matematika  
FMIPA ITS



Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT  
NIP. 19700831 199403 1 003

Surabaya, Januari 2016



## MODEL REGRESI COX DALAM MENENTUKAN FUNGSI KEANDALAN JARINGAN DISTRIBUSI AIR

Nama Mahasiswa : Yossy Pratama  
NRP : 1208100028  
Jurusan : Matematika  
Dosen Pembimbing : Dra. Farida Agustini W.,MS  
Dra.NuriWahyuningsih, M.Kes

### Abstrak

Regresi *Cox* adalah metode regresi yang digunakan untuk melihat faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya suatu peristiwa (biasa dikenal dengan nama *time-dependent covariate*) dengan peubah responnya adalah waktu ketahanan hidup. Penggunaan regresi *Cox* harus memenuhi *proportional hazard*, jika asumsi ini tidak terpenuhi maka pemodelan regresi *Cox* tidak tepat. Pada tugas akhir ini regresi *Cox proportional hazard* diaplikasikan pada kasus jaringan distribusi air yaitu menentukan fungsi keandalan jaringan distribusi air sehingga air dapat mengalir pada setiap wilayah satu sama lain. Dari pengolahan data PDAM di peroleh model regresi *Cox proportional hazards* sebagai berikut :  $h(t) = h_0(t) \exp(-0,361x_3)$ . Dengan  $h_0(t)$  adalah fungsi *hazards*. Model ini memuat prediktor ketebalan pipa.

**Kata Kunci** : Regresi *Cox*, *Proportional Hazards*, Distribusi jaringan air

**COX REGRESSION MODEL OF DETERMINING THE  
RELIABILITY FUNCTION ON WATER SUPPLY  
NETWORK**

**Name** : Yossy Pratama  
**NRP** : 1208100028  
**Department** : Matematika  
**Supervisor** : Dra. Farida Agustini W.,MS  
Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes

**Abstract**

Cox regression is a regression method which is used to see the causal event factor (usually famous name is time dependent covariate) with time endurance life. The use of *Cox regression proportional hazards* must meet, if this assumption is not met then the *Cox regression* modeling is not appropriate. In this final *Cox proportional hazards* regression was applied to the case of the water distribution network that is looking for a risk of failure of the water distribution network. It implies the water flows in each region with each other. From the results of the data taps run with SPSS then get the *Cox proportional hazards* regression model :  $h(t) = h_0(t) \exp(-0,361x_3)$ . With  $h_0(t)$  is *hazards* function. The final model is variable thickness.

**Keywords** : *Cox regression, Cox proportional hazards, Inwaterdistribution network*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta kesehatan dan keteguhan hati sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang memberikan bantuan dalam penyusunan tugas akhir ini, yang terhormat :

1. Bapak Dr. Imam Mukhlash S.Si MT, selaku Ketua Jurusan Matematika ITS dan Dosen Wali.
2. Ibu Dra. Farida Agustini Widjajati, MS dan Ibu Dra. Nuri Wahyuningsih, M.Kes selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Daryono Budi U., M.Si, Ibu Endah Rokhmati M.P., MT, Ph.D, Dra. Titik Mujiati, M.Si selaku dosen penguji.
4. Bapak Dr. Chairul Imron, M.I.Komp selaku Kaprodi jurusan Matematika ITS.
5. Bapak dan ibu dosen Matematika ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata penulis mohon maaf sebesar-besarnya apabila ada kesalahan yang diperbuat, baik yang sengaja maupun tidak. Semoga tugas akhir bermanfaat bagi pembaca khususnya dan rekan-rekan mahasiswa lainnya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

*Special thanks to :*

1. Bapak Ibu tercinta yang telah memberikan bantuan moril maupun materi serta doa yang tak pernah putus kepada penulis. Adikku, Lelyana Pelitasari yang selalu memberi semangat dan mengalah demi bisa menggunakan sepeda montornya selama bimbingan dan tugas akhir selama ini. Saudara-saudaraku, Kak Andre, Kak Alfian, Mbak Childa, Mbak Lia serta seluruh keluarga dan kerabat penulis atas doa yang diberikan.
2. Terima kasih kepada someone, kehadirannya selama beberapa bulan terakhir ini sangat berarti.
3. Buat 7 serangkai yang senasib, Ade Rifani Ardian, Umar Faruk, Sholik, Tony Yulianto, Indira 08, Rindy Eka 08 perjuangan kita belum berakhir sampai disini. Dek Ade Novita, teman-teman seperjuangan TA, Chaca Kharisma, Sholik, dan semua yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Makasih buat bantuan dan support serta kebersamaan yang menyenangkan selama ini.
4. Keluarga kedua, STI-43 (KOMANDAN), kalian adalah orang-orang pilihan yang hebat. Terima kasih buat pengalaman dan kebersamaan kita selama hampir 4 tahun ini.
5. Teman-teman dan adik-adikku HIMATIKA ITS, Semua memori yang ada tak kan pernah terlupakan.
6. Tetangga-tetanggaku yang amat rukun, amat selalu bersama dalam kegiatan kemanusiaan, terima kasih atas masukkan dari kalian semuanya.
7. Sahabat-sahabat ku Midun, Eda, Eka, Indra, Sholik, Ade, Umar semoga kita semua sukses
8. Teman-teman KOMANDAN 2008, serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Semoga Allah membalas dengan kebaikan yang berlimpah. Amin

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Sistem Distribusi .....	5
2.1.1 Sistem Lingkaran .....	7
2.1.2 Sistem Gridiriron Dan Sistem Cabang .....	8
2.2 Tujuan Sistem Distribusi .....	10
2.3 Pengertian Regresi .....	11
2.4 Regresi <i>Cox</i> .....	11
2.5 Analisis <i>Survival</i> .....	13
2.5.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas .....	13
2.5.2 Fungsi <i>Survival</i> .....	14
2.5.3 Fungsi <i>Hazards</i> .....	15
2.6 Distribusi Eksponensial .....	18
2.7 Estimasi Parameter Model .....	18
2.8 Pengujian Parameter .....	19
2.8.1 Pengujian Serentak .....	19

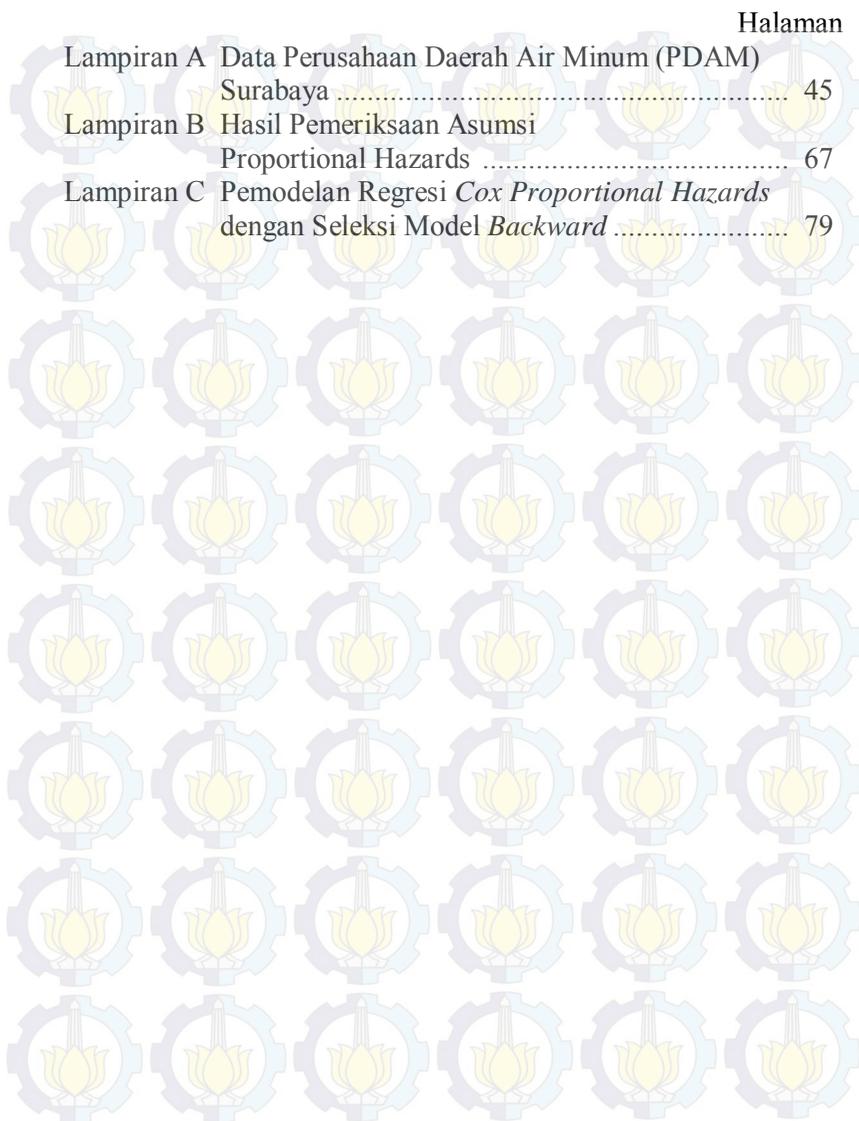
2.8.2 Pengujian Parsial .....	20
2.9 Pengujian Asumsi <i>Proportional Hazards</i> .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
3.1 Studi Literatur .....	23
3.2 Studi Lapangan .....	23
3.3 Pengolahan Data .....	23
3.4 Penerapan Model Pada Permasalahan .....	24
3.5 Penarikan Kesimpulan .....	24
3.6 Penulisan Laporan Tugas Akhir .....	24
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>25</b>
4.1 Data Penelitian .....	25
4.2 Statistik Deskriptif .....	25
4.2.1 Panjang Pipa .....	25
4.2.2 Diameter Pipa .....	26
4.2.3 Ketebalan Pipa .....	27
4.2.4 Tekanan Pipa .....	28
4.2.5 Pelanggan Yang Dilalui .....	28
4.3 Pemodelan Regresi <i>Cox</i> .....	29
4.3.1 Estimasi Parameter .....	29
4.3.2 Asumsi <i>Proportional Hazards</i> .....	32
4.3.3 Uji Signifikansi Parameter .....	35
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>43</b>
5.1 Simpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>45</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>47</b>
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	<b>59</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1	Statistik Deskriptif untuk Panjang Pipa ..... 26
Tabel 4.2	Statistik Deskriptif untuk Diameter Pipa ..... 26
Tabel 4.3	Statistik Deskriptif untuk Ketebalan Pipa ..... 27
Tabel 4.4	Statistik Deskriptif untuk Tekanan Pipa ..... 28
Tabel 4.5	Statistik Deskriptif untuk Jumlah Pelanggan yang Dilalui ..... 29

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surabaya .....	45
Lampiran B Hasil Pemeriksaan Asumsi Proportional Hazards .....	67
Lampiran C Pemodelan Regresi <i>Cox Proportional Hazards</i> dengan Seleksi Model <i>Backward</i> .....	79



## DAFTAR NOTASI

Simbol	Nama
$T$	Peubah random yang menyatakan <i>survival time</i> .
$t$	Nilai-nilai dari peubah random $T$ .
$f(t)$	Pdf dari peubah random $T$ .
$F(t)$	CDF dari peubah random $T$ .
$S(t)$	Fungsi <i>survival</i> .
$h(t)$	Fungsi <i>hazard</i> .
$H(t)$	Fungsi <i>hazard</i> kumulatif.
$h_0(t)$	Fungsi <i>baseline hazard</i> .
$\varphi(x_i)$	Fungsi dari vektor peubah prediktor untuk individu ke- $i$ .
$X$	Matriks yang memuat nilai-nilai peubah prediktor.
$p$	Jumlah peubah prediktor.
$\widehat{HR}$	Rasio <i>hazard</i> .
$L(\beta)$	Fungsi <i>likelihood</i> model <i>proportional hazard</i> .
$t_{(j)}$	Urutan waktu kegagalan ke- $j$ .
$x_j$	Vektor peubah prediktor dari individu yang gagal pada saat $t_{(j)}$ .
$R(t_{(j)})$	Himpunan individu yang berisiko gagal pada waktu $t_{(j)}$ .
$\delta_i$	Status individu (0 jika tersensor dan 1 jika tidak tersensor).
$G^2$	Nilai dari rasio <i>likelihood</i> .
$L_R$	Nilai <i>likelihood</i> pada model tanpa peubah
$L_F$	Nilai <i>likelihood</i> pada model dengan peubah.
$W^2$	Nilai uji Wald.
$PR_{hj}$	<i>Schoenfeld residual</i> peubah prediktor ke- $h$ dari individu yang mengalami <i>event</i> pada

$x_{hj}$	waktu ( $t_{(j)}$ ).
$\hat{a}_{hj}$	Nilai dari peubah prediktor ke- $h$ dari individu yang mengalami <i>event</i> pada waktu ( $t_{(j)}$ ).
$r_{RT,PR_h}$	Rataan terboboti dari peubah prediktor ke- $h$ untuk individu dalam $R(t_{(j)})$ .
$RT$	Nilai koefisien korelasi Pearson antara <i>rank survival time</i> dengan <i>Schoenfeld residual</i> peubah prediktor ke- $h$ .
$\varepsilon_i$	<i>Rank survival time</i> .
$E(\varepsilon_i)$	Nilai residual untuk amatan ke- $i$ .
$\sigma^2(\varepsilon_i)$	Ekspektasi atau rata-rata residual ke- $i$ .
$y_{ij}$	Varian residual ke- $i$ .
$\beta_{pj}$	Nilai amatan ke- $i$ untuk peubah respon ke- $j$ .
$n$	Parameter regresi peubah prediktor ke- $p$ dengan peubah respon ke- $j$ .
$q$	Jumlah pengamatan.
$\sigma_{qq}$	Jumlah peubah respon.
$I$	Matriks varian peubah respon.
$corr(x, y)$	Matriks identitas.
$\bar{x}$	Koefisien korelasi peubah $x$ dan $y$ .
$R$	Rata - rata atau mean peubah $x$ .
$d_i^2$	Matriks korelasi.
$\hat{\beta}$	Nilai jarak untuk pengujian normal multivariate.
$\hat{\varepsilon}$	Matriks estimasi parameter regresi.
$H$	Matriks estimasi residual.
$S_i$	Matriks <i>sum of square treatment</i> .
$v$	Matriks varian-kovarian kelompok ke- $i$ .
$\alpha$	Derajat kebebasan <i>Chi Squared</i> .
$Df$	Tingkat signifikansi.
	Derajat kebebasan <i>Wilks Lambda</i> .

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan penduduk pada suatu daerah berdampak terhadap besarnya kebutuhan air bersih. Perkembangan penduduk tidak hanya berada pada daerah yang dekat dengan sumber air, tetapi semakin lama semakin meluas dan jauh dari sumber air. Selama ini daerah Surabaya mengandalkan air dari sumber air sungai untuk di olah menjadi air minum. Saat ini system jaringan pipa PDAM Surabaya belum cukup memenuhi kebutuhan air bersih untuk seluruh warga Surabaya sehingga perlu adanya pengembangan system jaringan pipa yang dapat memenuhi kebutuhan untuk warga kota Surabaya.

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Surabaya adalah sebuah perusahaan yang mengelola dan mensuplai kebutuhan air bersih untuk wilayah Surabaya. Dalam rangka memenuhi kebutuhan air bersih tersebut, PDAM Surabaya terus melakukan perbaikan pelayanan dengan meningkatkan kualitas air yang dikirim, menambah jumlah kapasitas produksi, dan juga melalui perbaikan-perbaikan sistem jaringan distribusi.

Sistem jaringan distribusi yang diterapkan oleh PDAM Surabaya adalah "Sistem Jaringan Tertutup". Air yang di distribusikan berasal dari beberapa sumber mata air, Instalasi Pengolahan Air (IPA), dan sejumlah sumur dalam yang tersebar diseluruh wilayah Surabaya. Dengan sistem jaringan tertutup tersebut PDAM Surabaya berharap dapat mendistribusikan air bersih secara merata dan seimbang diseluruh lokasi jaringan sesuai dengan kebutuhannya. Air bersih dari sumber-sumber tersebut ada yang langsung di distribusikan kepada pelanggan dan ada pula yang ditampung ke dalam *reservoir-reservoir* sebagai pusat penampungan air sementara untuk menjaga air yang di distribusikan agar tetap berada pada tekanan tertentu [1].

Salah satu usaha untuk memenuhi kebutuhan air bersih adalah dengan mencari sumber air baru untuk meningkatkan kapasitas

produksi air bersih. Sehingga perlu dilakukan pengembangan sistem jaringan pipa guna mencukupi permintaan masyarakat akan air bersih. Pengembangan system jaringan distribusi pipa yang baik adalah system yang mampu memenuhi kebutuhan air bersih bagi penduduk yang tinggal didaerah tersebut. Sebaiknya sebelum dilakukan pengembangan system jaringan pipa perlu dilakukan analisis resiko kegagalan jaringan distribusi air. Salah satu metode yang dipakai adalah dengan metode regresi *Cox*[1].

Metode regresi *Cox* adalah metode yang digunakan untuk menganalisis ketahanan yang berdasarkan waktu. Pada penelitian sebelumnya, regresi *Cox* dipakai untuk menganalisis ketahanan hidup pasien diabetes melitus. Data yang digunakan untuk aplikasi kasus, bersumber dari data ketahanan hidup penderita kanker rahim dengan penyensoran tipe III. Penaksiran parameter menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Pengolahan data menggunakan *software* statistik SPSS 16.

### **1.1 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang diselesaikan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan model regresi *Cox* yang sesuai untuk distribusi jaringan air PDAM.
2. Berdasarkan model regresi *Cox*, faktor apa saja yang dapat menentukan fungsi keandalan dalam jaringan distribusi air PDAM.

### **1.2 Batasan Masalah**

Tugas Akhir ini dibatasi dengan batasan sebagai berikut :

1. Data yang diambil adalah data dari kantor PDAM Surabaya selama tahun 2014.
2. Faktor yang diamati meliputi jumlah pelanggan yang dilalui dan kondisi pipa yaitu panjang, diameter, ketebalan, dan tekanan.
3. Untuk menentukan fungsi keandalan jaringan distribusi air digunakan *software* SPSS.

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan model regresi *Cox* yang sesuai untuk distribusi jaringan air PDAM.
2. Menentukan faktor yang dapat menentukan fungsi keandalan dalam jaringan distribusi air PDAM.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai wawasan pemahaman mengenai peubah yang dapat menentukan fungsi keandalan jaringan distribusi air PDAM pada Model regresi *Cox* dengan *proportional hazards*.
2. Sebagai bahan pertimbangan untuk PDAM mengenai kondisi jaringan distribusi air yang saat ini digunakan, agar dapat diantisipasi keadaan jaringan distribusi air sehingga dapat memberikan pelayanan yang baik kepada masyarakat.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun berdasarkan sistematika tulisan sebagai berikut :

#### BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan, dan batasan masalah serta tujuan dan manfaat penelitian.

#### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori yang digunakan penulis dalam mengerjakan tugas akhir.

#### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

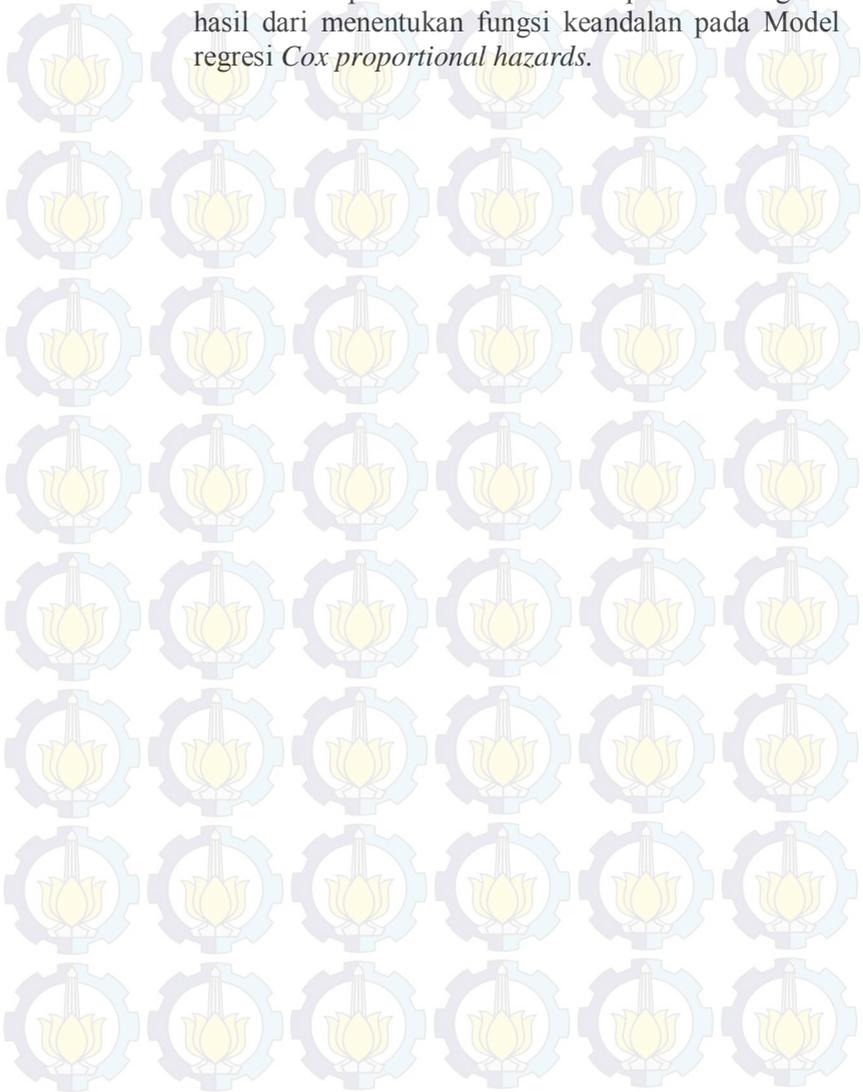
Menjelaskan alur kerja dan model yang digunakan dalam mengerjakan tugas akhir.

#### BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Menyajikan analisis dan pembahasan data yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam mencapai tujuan penelitian.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran dari penulis mengenai hasil dari menentukan fungsi keandalan pada Model regresi *Cox proportional hazards*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan pada tugas akhir di bahas di bab ini.

#### **2.1 Sistem Distribusi Air**

Sistem penyaluran air bagi masyarakat luas mengalami kebutuhan akan infrastuktur yang signifikan untuk melindungi kesehatan masyarakat dan menjamin keberadaan air minum yang aman. Dari waktu ke waktu, kualitas dari jaringan distribusi air dan sambungan-sambungannya bisa mengalami kehambatan dalam mengalirkan air, baik karena tekanan dalam operasinya, gangguan dalam konstruksi, gangguan alami seperti akar-akar pohon, atau aktivitas sekitarnya. Di lain pihak, kebutuhan air yang terus menerus meningkat karena perkembangan kota dan pertumbuhan populasi dapat menghambat stasiun-stasiun pompa yang tidak dapat lagi memenuhi kebutuhan masyarakat akibat usia alat atau ukuran alat.

Kesehatan dan kesejahteraan ekonomi dari suatu populasi akan tergantung juga pada suplai yang berkelanjutan dari air bersih dan tidak terkontaminasi. Banyak sumber-sumber air menjadi terhambat untuk menyalurkan air akibat kebutuhan manusia dan lingkungan yang terus meningkat. Dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan populasi di saat ini dan di masa akan datang, pemerintah harus menyediakan cadangan air yang mencukupi dan dapat digunakan.

Dalam sistem distribusi ini tentunya terdapat kriteria-kriteria yang harus dipenuhi agar sistem berjalan dengan baik. Kriteria-kriteria yang dimaksud antara lain [2] :

1. Air yang dialirkan harus tersedia dalam jumlah yang cukup dan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dimanapun dan kapanpun.

2. Penurunan mutu air akibat distribusi harus sekecil mungkin, sehingga sampai ke konsumen dalam keadaan yang masih memenuhi standart.
3. Pipa memiliki desain yang baik, sehingga tidak ada kebocoran di dalam sistemnya dan juga memiliki tekanan yang baik sehingga debit aliran airnya konstan.
4. Jalur pipa diusahakan sependek mungkin dan sedikit mungkin menggunakan fasilitas serta lokasi penempatannya aman dari gangguan yang mungkin dapat merusak pipa.

Komposisi dari suatu sistem penyediaan dapat terdiri dari sebagian atau keseluruhan dari 3 komponen utama, yaitu :

1. Sistem sumber, dengan atau tanpa bangunan pengolahan air minum.
2. Sistem transmisi, terdiri dari sistem transportasi, cara pengangkutan, kapasitas yang diangkut, peletakan dan penempatan, serta peralatan dan perlengkapan.
3. Sistem distribusi, terdiri dari suatu resevoir dan pipa distribusi.

Sistem distribusi adalah sistem penyaluran air bersih atau air minum dari resevoir ke daerah pelayanan. Perencanaan jaringan pipa distribusi merupakan suatu hal yang penting karena menyangkut kepentingan dan kebutuhan orang banyak. Perencanaan ini merupakan bagian dari tujuan umum pelayanan air bersih kepada masyarakat dalam pencapaian target kualitas dan kuantitas. Pekerjaan dalam sistem distribusi meliputi sistem pipa, pemasangan katup-katup, pemasangan hidrant, dan peralatan lainnya yang berhubungan dengan pengadaan atau penghantaran air dari resevoir distribusi (pipa transmisi) sampai ke konsumen.

Sistem distribusi dapat digolongkan berdasarkan sistem pipa dan letak dari sistem distribusi tersebut, yaitu [3]:

1. Sistem lingkaran atau cincin.
2. Sistem gridiriron (kisi-kisi) dan sistem cabang.

### **2.1.1 Sistem lingkaran atau sistem cincin**

Sistem ini sering dipakai pada daerah-daerah yang memiliki perbedaan elevasi sangat kecil. Aliran air dalam sistem ini dua arah. Pada sistem ini, pipa induk dan pipa sekunder berhubungan secara makro sistem. Pipa-pipa ini hanya memberi air ke titik-titik pembagi (*junction*) dan arah aliran secara bolak-balik.

Ciri-ciri sistem distribusi yang memakai sistem ini adalah :

1. Tidak merupakan arah satu aliran saja
2. Gradasi ukuran pipa tidak beraturan
3. Tidak memiliki titik mati
4. Pada saat terjadinya pemakaian puncak di suatu daerah, aliran air dapat berubah

Keuntungan memakai sistem ini adalah :

1. Dapat melayani banyak tempat dan kemungkinan akan terjadi pengembangan bila ada pelanggan bertambah.
2. Jika ada kerusakan, maka dapat dilokalisir sehingga tidak mempengaruhi aliran ke seluruh sistem.
3. Distribusi air merata.
4. Jika ada pemakaian puncak, aliran air dari daerah lain dapat memenuhi kebutuhan tersebut.

Kerugian dari sistem ini adalah :

1. Biaya perpipaan akan lebih mahal karena pipa yang dibutuhkan banyak dan jalurnya tidak teratur.
2. Gradasi pipa tidak terlihat jelas.
3. Tekanan dalam pipa cukup rendah sehingga bila ada kebakaran, air tidak dapat dialirkan secara serentak.
4. Alirannya belum tentu satu arah, dapat bolak-balik pada waktu tertentu. Tetapi pada saat segaris lurus dihitung searah.

Sistem dengan pola lingkaran ini digunakan untuk daerah pelayanan dengan sifat :

1. Bentuk dan luasannya menyebar ke segala arah.
2. Jaringan jalannya berhubungan satu sama lain.
3. Elevasi tanah relatif datar.

Sistem ini mempunyai dua jenis perencanaan, yaitu :

1. Outer line : Pemasangan jaringan ke arah keluar dengan pengembangan ke dalam. Baik digunakan untuk daerah yang mengalami perkembangan.
2. Inner line : Pemasangan jaringan ke arah dalam saja. Baik untuk daerah yang tidak akan mengalami penambahan jumlah penduduk dan penambahan fasilitas.

### **2.1.2 Sistem gridiron (kisi-kisi) dan Sistem cabang**

Sistem ini mirip dengan sistem lingkaran, tetapi terbagi-bagi menjadi zone-zone kecil. Sistem ini merupakan metode yang paling sering digunakan, terutama pada kota-kota besar.

Sistem ini dipakai untuk daerah yang memiliki perbedaan elevasi besar, pengaliran air pada sistem ini adalah dengan

cara gravitasi. Aliran air dalam sistem cabang ini adalah satu arah.

Pada sistem ini pipa induk disambung dengan beberapa pipa sekunder. Pipa sekunder disambung ke beberapa pipa sub induk yang akan mengalami pipa servis.

Ciri-ciri sistem ini :

1. Memiliki satu arah aliran.
2. Aliran berakhir pada satu titik mati.

Keuntungan dari sistem ini :

1. Baik diterapkan pada daerah yang menurun.
2. Cukup ekonomis karena jalurnya pendek.
3. Tidak memerlukan banyak pipa.
4. Gradasi (perubahan) ukuran pipa terlihat jelas (makin ke ujung makin kecil).
5. Tekanan air cukup tinggi sehingga dapat digunakan untuk pengaliran air.
6. Mudah mengoperasikan.
7. Mudah dalam perhitungan dimensi.
8. Perkembangan sistem dapat disesuaikan dengan perkembangan kota

Kerugian sistem ini :

1. Jika ada kerusakan, seluruh sistem dalam daerah pelayanan akan terganggu karena tidak adanya sirkulasi air.
2. Timbul rasa, bau, dan gangguan kesehatan karena adanya air yang diam pada ujung-ujung pipa cabang. Untuk itu dilakukan pengurasan pada tiap waktu tertentu, karena itu

diperlukan katup penguras dan mengakibatkan adanya kehilangan air yang cukup besar.

3. Bila ada peningkatan kebutuhan air secara tiba-tiba, maka kebutuhan itu tidak akan tersedot. Suplai air hidran juga akan lebih sedikit, karena sifat alirannya hanya satu arah.
4. Keadaan pipa untuk tiap cabang berbeda-beda untuk setiap situasi.
5. Memiliki banyak titik pipa, sehingga peralatan pipa akan lebih banyak digunakan.

Sistem dengan pola cabang ini digunakan untuk daerah pelayanan dengan sifat :

1. Bentuk dan arah perluasan memanjang dan terpisah.
2. Elevasi permukaan tanahnya mempunyai perbedaan tinggi yang cukup besar dan menurun secara teratur.
3. Luas daerah pelayanan secara teratur.

## **2.2 Tujuan Sistem Distribusi**

Tujuan dari sistem distribusi adalah menyalurkan air minum ke daerah pelayanan, dengan tetap memperhatikan faktor kuantitas, kualitas dan tekanan air sesuai rencana semula. Dalam sistem distribusi perlu diperhatikan beberapa faktor agar tercipta tingkat pelayanan kebutuhan yang baik, antara lain :

- a) Terjaganya kualitas air sepanjang pipa distribusi sampai kepada konsumen.
- b) Kuantitas air yang mencukupi kebutuhan masyarakat dan ketersediaannya setiap saat secara kontinu.

- c) Antisipasi terjadinya kehilangan yang bersifat insidental seperti kebocoran pipa, pencurian air, dan sebagainya.
- d) Tekanan pengaliran harus dapat menjangkau seluruh daerah pelayanan baik yang kritis sekalipun sehingga dapat tercukupi kebutuhannya dengan sistem distribusi yang dirancang.

### 2.3 Pengertian Regresi

Istilah regresi pertama kali dalam konsep statistik digunakan oleh Sir Francis Galton dimana yang bersangkutan melakukan kajian yang menunjukkan bahwa tinggi badan anak-anak yang dilahirkan dari para orang tua yang tinggi cenderung bergerak (*regress*) kearah ketinggian rata-rata populasi secara keseluruhan. Galton memperkenalkan kata regresi (*regression*) sebagai nama proses umum untuk memprediksi satu peubah, yaitu tinggi badan anak dengan menggunakan peubah lain, yaitu tinggi badan orang tua. Pada perkembangan berikutnya hukum Galton mengenai regresi ini ditegaskan lagi oleh Karl Pearson dengan menggunakan data lebih dari seribu. Pada perkembangan berikutnya, para ahli statistik menambahkan istilah regresi berganda (*multiple regression*) untuk menggambarkan proses dimana beberapa peubah digunakan untuk memprediksi satu peubah lainnya.

Regresi linier mempunyai persamaan yang disebut sebagai persamaan regresi. Persamaan regresi mengekspresikan hubungan linier antara peubah tergantung / peubah kriteria yang diberi simbol  $Y$  dan salah satu atau lebih peubah bebas/prediktor yang diberi simbol  $X$  jika hanya ada satu prediktor dan  $X_1, X_2$  sampai dengan  $X_k$ , jika terdapat lebih dari satu prediktor (Cramer & Howitt, 2006:139) [4].

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i ; i = 1, 2, \dots, n \quad \varepsilon_i \overset{IID}{\sim} N(0, \sigma^2)$$

Tujuan menggunakan analisis regresi adalah :

1. Menguji hipotesis karakteristik dependensi.

2. Membuat estimasi rata-rata dan nilai peubah tergantung dengan didasarkan pada nilai peubah bebas.
3. Untuk mengukur peubah bebas yang berpengaruh cukup signifikan terhadap peubah terikatnya.

#### 2.4 Regresi Cox

Pemodelan data *survival time* dengan peubah prediktor yang mempengaruhi fungsi *hazard* dilakukan dengan menggunakan regresi, tetapi jika analisis regresi biasa diterapkan pada data *survival* maka akan menimbulkan masalah, yaitu data *survival* tidak berdistribusi normal dan data tersensor akan menjadi data hilang pada peubah prediktor. Oleh karena itu digunakan regresi Cox dalam analisis *survival*. Model regresi Cox merupakan model semiparametrik, yang artinya data *survival time* tidak diketahui distribusinya sehingga tidak diketahui bentuk dari fungsi *baseline hazard*.

Untuk membangun model regresi Cox, memisalkan risiko kegagalan individu ke-*i* pada saat *t* bergantung pada nilai  $x_1, x_2, \dots, x_p$  dari *p* peubah prediktor  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Model regresi Cox sebagai berikut :

$$h_i(t) = h_0(t) \cdot r_i(t)$$

Dengan  $r_i(t) = \exp(\beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi})$  Himpunan nilai dari peubah prediktor dinyatakan dalam bentuk vektor  $\mathbf{x}$ , dengan  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)'$  dan  $h_0(t)$  adalah fungsi *hazard* untuk individu dengan semua nilai peubah prediktor  $\mathbf{x}$  adalah nol, dimana  $h_0(t)$  disebut *baseline hazard function*. Bentuk umum fungsi *hazard* dalam regresi Cox untuk individu ke-*i* adalah sebagai berikut :

$$h_i(t) = h_0(t) \exp(\beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi}) \quad (2.1)$$

dengan:

$h_i(t)$  : fungsi *hazard* individu ke- $i$  pada waktu  $t$

$h_0(t)$  : fungsi *baselinehazard*

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  : parameter regresi

$x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi}$  : nilai peubah prediktor  $X_1, X_2, \dots, X_p$  untuk individu ke- $i$

Model *Cox proportional hazard* dapat dinyatakan sebagai model linier logaritma, sehingga persamaan menjadi:

$$\ln \left( \frac{h_i(t)}{h_0(t)} \right) = (\beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi})$$

Jika  $\mathbf{T}$  adalah vektor yang memuat nilai peubah respon individu ke- $i$ , dimana  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $\mathbf{X}$  adalah matriks yang memuat nilai peubah prediktor ke- $h$  individu ke- $i$ , dimana  $h = 1, 2, \dots, p$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , dan  $\boldsymbol{\beta}$  adalah vektor yang memuat parameter regresi dari peubah prediktor ke- $h$ , dimana  $h = 1, 2, \dots, p$  maka matriks amatan dapat dinyatakan dengan [5]:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2p} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & x_{n3} & \dots & x_{np} \end{bmatrix}, \text{ dan } \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}$$

## 2.5 Analisis *Survival*

Analisis *survival* adalah salah satu cabang statistika yang mempelajari teknik analisis data *survival*. Data *survival* adalah data waktu bertahan sampai munculnya kejadian tertentu data

*survival* dikumpulkan dalam suatu periode waktu terbatas, dan sebagai konsekuensinya bisa saja data yang diperoleh tidak mencakup total waktu bertahan seseorang. Waktu suatu individu telah bertahan selama periode pengamatan sampai terjadinya suatu *kejadian* yang diinginkan disebut *survival time*. Dengan kata lain, *survival time* adalah suatu peubah yang menyatakan waktu dimana suatu perlakuan dimulai sampai terjadi suatu *kejadian*. *Survival time* dapat dinyatakan dalam tahun, bulan, atau hari. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam analisis *survival*, yaitu [6]:

1. Waktu awal individu masuk pengamatan didefinisikan dengan jelas.
2. Skala waktu pengukuran dari *survival time* jelas.
3. Waktu akhir pengamatan juga terdefiniskan dengan jelas.

Dalam analisis *survival* terdapat tiga fungsi utama, yaitu fungsi densitas peluang, fungsi *survival*, dan fungsi *hazard*.

### 2.5.1 Fungsi Kepadatan Probabilitas (Pdf)

Misalkan  $T$  adalah peubah random yang menyatakan waktu *survival time* seorang individu, dimana  $T$  merupakan peubah random non negatif. Jika  $t$  menyatakan beberapa nilai tertentu untuk peubah  $T$ , maka fungsi kepadatan probabilitas  $f(t)$ , yaitu limit dari peluang individu mengalami *kejadian* dalam interval  $t$  sampai  $t + \Delta t$  dan dinyatakan dengan [5]:

$$f(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.2)$$

Fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari peubah  $T$  adalah peluang bahwa peubah  $T$  kurang dari waktu  $t$  ( $t \geq 0$ ), secara matematis dinyatakan dengan [5]:

$$\begin{aligned} F(t) &= P(T < t) \\ &= \int_0^t f(x) dx \end{aligned} \quad (2.3)$$

dari persamaan (2.3), diperoleh

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{dF(t)}{dt} \\ &= F'(t) \end{aligned} \quad (2.4)$$

### 2.5.2 Fungsi Survival

Fungsi *survival*  $S(t)$  adalah peluang individu bertahan hidup lebih dari sama dengan waktu tertentu  $t$ . Secara matematis dapat dinyatakan dengan [5] :

$$S(t) = P(T \geq t) \quad (2.5)$$

Berdasarkan definisi CDF dari peubah random  $T$ , dari persamaan (2.5) dapat dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} S(t) &= P(T \geq t) \\ &= 1 - P(T < t) \\ &= 1 - F(t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Selain itu fungsi *survival* juga dapat dinyatakan dalam bentuk pdf, yaitu :

$$\begin{aligned} F(t) &= 1 - S(t) \\ \frac{d(F(t))}{dt} &= \frac{d(1 - S(t))}{dt} \end{aligned}$$

Pdf di hasilkan dari turunan CDF, diperoleh

$$\begin{aligned} f(t) &= -\frac{d(S(t))}{dt} \\ &= -S'(t) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Secara teori, fungsi *survival* dapat diplot sebagai kurva yang menggambarkan peluang ketahanan suatu individu pada titik waktu  $t$  antara 0 sampai  $\infty$ . Semua fungsi *survival* memiliki karakteristik seperti berikut [6] :

1. Saat  $t = 0$ ,  $S(0) = 1$ , artinya karena belum ada individu yang mengalami *kejadian* pada awal pengamatan, sehinggalpeluang ketahananpada saat  $t = 0$  adalah 1.
2. Saat  $t \rightarrow \infty$ ,  $S(\infty) = 0$ , artinya jika periode pengamatan bertambah tanpa batas, pada akhirnya tidak ada individu yang akan bertahan hidup sehingga kurva *survival* mendekati nol.

### 2.5.3 Fungsi Hazards

Fungsi *hazard* adalah laju kegagalan (*failure rate*) suatu individu yang terjadi dalam interval waktu  $t$  sampai  $t + \Delta t$  dengan syarat individu masih bertahan hidup sampai dengan waktu  $t$ . Fungsi *hazard* didefinisikan pada persamaan berikut [5]:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} \quad (2.8)$$

Berdasarkan definisi tersebut, dapat diperoleh hubungan antara fungsi *survival* dan fungsi *hazard* dengan menggunakan teori peluang bersyarat.

Peluang terjadinya kejadian A dengan syarat kejadian B sudah terjadi [ $P(A|B)$ ] didefinisikan dengan [8]:

$$P(A|B) = P(A \cap B) / P(B) \quad (2.9)$$

Jika dengan menggunakan persamaan (2.9), maka persamaan (2.8) dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned} h(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P((t \leq T < t + \Delta t) \cap (T \geq t))}{P(T \geq t) \Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{P(T \geq t) \Delta t} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Sesuai dengan definisi fungsi *survival* yaitu  $S(t) = P(T \geq t)$ , persamaan (2.9) dapat dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} h(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{S(t)\Delta t} \\ &= \frac{1}{S(t)} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t)}{\Delta t} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Berdasarkan definisi fungsi kepadatan probabilitas (pdf), yaitu pada persamaan (2.2) maka persamaan (2.11) menjadi:

$$\begin{aligned} h(t) &= \frac{f(t)}{S(t)} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dari persamaan (2.7), persamaan (2.11) dapat dinyatakan dengan:

$$h(t) = -\frac{d(S(t))}{dt} \frac{1}{S(t)} \quad (2.13)$$

jika  $\frac{d \ln S(t)}{d S(t)} = \frac{1}{S(t)}$ , maka persamaan (2.12) menjadi:

$$\begin{aligned} h(t) &= -\frac{d(S(t))}{dt} \frac{d(\ln S(t))}{d(S(t))} \\ &= -\frac{d(\ln S(t))}{dt} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.11) didapat CDF *hazard* atau fungsi *hazard* kumulatif  $H(t)$  merupakan fungsi keandalan yang terjadi dari interval 0 sampai  $t$  yang dinyatakan dengan:

$$H(t) = \int_0^t h(x)dx \quad (2.15)$$

Sehingga dari persamaan (2.14) dan (2.15) dapat dinyatakan sebagai:

$$\int_0^t h(x)dx = - \int_0^t \frac{d \ln S(x)}{dx} dx$$

$$- \int_0^t h(x)dx = \int_0^t \frac{d}{dx} \ln S(x) dx$$

$$- \int_0^t h(x)dx = \ln S(x) \Big|_0^t$$

$$- \int_0^t h(x)dx = \ln S(t) - \ln S(0) \quad (2.16)$$

Sesuai dengan karakteristik dari fungsi *survival*, yaitu  $S(0) = 1$ ,

$$\ln(S(0)) = \ln(1) = 0$$

Sehingga persamaan (2.15) menjadi:

$$- \int_0^t h(x)dx = \ln(S(t)) \quad (2.17)$$

Persamaan (2.16) dinyatakan dalam bentuk fungsi eksponensial, sehingga menjadi:

$$\exp\left(- \int_0^t h(x)dx\right) = \exp(\ln S(t)) = S(t) \quad (2.18)$$

Jadi

$$S(t) = \exp\left(- \int_0^t h(x)dx\right) \quad (2.19)$$

Sesuai dengan definisi persamaan (2.15), persamaan (2.18) dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$S(t) = \exp[-H(t)]$$

atau

$$H(t) = -\ln[S(t)]$$

## 2.6 Distribusi Eksponensial

Distribusi Eksponensial adalah distribusi khusus dari distribusi gamma untuk  $\alpha = 1$ , peubah acak kontinu  $X$  mempunyai distribusi eksponensial dengan parameter  $\beta$ , jadi yang digunakan adalah:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} & \text{untuk } x \geq 0 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases}$$

dengan  $\beta > 0$ . Mean dan varians dari distribusi eksponensial sebagai berikut:

$$\mu = \beta \text{ dan } \sigma^2 = \beta^2$$

## 2.7 Estimasi Parameter Model

*Maximum Likelihood Estimation* adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengestimasi suatu parameter. Misalkan terdapat  $p$  peubah random  $X_1, X_2, \dots, X_p$  dari suatu populasi dengan pdf bersama  $f(x_1, \dots, x_p; \beta)$ , fungsi *likelihood*-nya adalah [8]:

$$L(\beta) = f(x_1; \beta) \dots f(x_p; \beta)$$

atau

$$L(\beta) = \prod_{i=1}^p f(x_i; \beta)$$

Untuk mengestimasi parameter model digunakan metode *Maximum Partial Likelihood Estimation*. Prinsip dasarnya adalah memaksimalkan fungsi *partial likelihood*. Fungsi *partial likelihood* merupakan fungsi peluang bersama dari parameter yang tidak diketahui nilainya. Misalkan terdapat  $n$  individu dengan  $k$  individu yang tidak tersensor dan  $(n - k)$  adalah *survival time* tersensor dan  $t_{(1)} < t_{(2)} < \dots < t_{(k)}$  merupakan waktu ketahanan terurut tak tersensor, sehingga  $t_{(j)}$  adalah urutan waktu kegagalan ke- $j$ . Dengan demikian fungsi *likelihood* untuk model *proportional hazard* adalah [4]:

$$L(\beta) = \prod_{j=1}^k \frac{\exp(\beta' x_j)}{\sum_{l \in R(t_j)} \exp(\beta' x_l)} \quad (2.20)$$

dengan  $x_j$  merupakan vektor peubah prediktor dari individu yang mengalami *kejadian* pada saat  $t_{(j)}$ .  $R(t_{(j)})$  merupakan himpunan individu yang berisiko gagal pada waktu  $t_{(j)}$ . Besaran  $\sum_{l \in R(t_j)} \exp(\beta' x_l)$  merupakan penjumlahan nilai  $\exp(\beta' x_l)$  untuk setiap individu anggota  $R(t_{(j)})$ .

## 2.8 Pengujian Parameter

Pengujian parameter dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya seberapa signifikan pengaruh dari suatu prediktor terhadap suatu respon. Dalam hal ini terdapat 2 (dua) pengujian, yaitu : pengujian serentak dan parsial.

### 2.8.1 Pengujian Serentak

Pengujian ini dilakukan menggunakan uji rasio *likelihood*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui

apakah secara keseluruhan parameter signifikan dalam model.

Hipotesa :

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$  (tidak ada peubah prediktor yang signifikan)

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $\beta_h \neq 0$ , dengan  $h = 1, 2, \dots, p$  (minimal ada satu peubah prediktor yang signifikan).

Statistik Uji:

$$\chi^2 = -2(\ln L_R - \ln L_F) \quad (2.21)$$

dimana:

$L_R$ : nilai *likelihood* pada model tanpa peubah.

$L_F$  : nilai *likelihood* pada model dengan peubah.

Kriteria Uji:

Jika  $\chi^2 > \chi_{p,\alpha}^2$  dengan derajat kebebasan  $p$  (banyaknya parameter  $\beta$  dari peubah prediktor pada model) dan selang kepercayaan sebesar 95% ( $\alpha = 0,05$ ) atau  $p\text{-value} < 0,05$  maka  $H_0$  ditolak, berarti minimal ada satu peubah prediktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon [5].

### 2.8.2 Pengujian Parsial

Pengujian ini dilakukan menggunakan uji rasio *wald*. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh signifikan setiap peubah prediktor terhadap peubah respon secara parsial.

Hipotesa :

$H_0: \beta_h = 0$ , dengan  $h = 1, 2, \dots, p$  (peubah tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1: \beta_h \neq 0$  (peubah berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

$$W^2 = \left[ \frac{\hat{\beta}_h}{SE(\hat{\beta}_h)} \right]^2 \quad (2.22)$$

dimana :

$\hat{\beta}_h$  : estimasi parameter dari peubah prediktor ke- $h$

$SE(\hat{\beta}_h)$  : standar error estimasi parameter dari peubah prediktor ke- $h$ .

Kriteria Uji :

Jika  $W^2 > \chi_{\alpha,1}^2$  dengan derajat kebebasan 1 dan taraf kepercayaan sebesar 95% ( $\alpha = 0,05$ ) atau  $p\text{-value} < 0,05$  maka  $H_0$  ditolak, berarti peubah prediktor yang diuji berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon [5].

## 2.9 Pengujian Asumsi *Proportional Hazard* (PH)

Pengujian asumsi *Proportional Hazard* dengan metode *Goodness of Fit* (GOF) menggunakan beberapa macam uji statistik, salah satunya adalah *Schoenfeld residual*. *Schoenfeld residual* terdefinisi pada setiap individu yang mengalami kejadian untuk setiap peubah prediktor pada model. Asumsi *Proportional Hazard* terpenuhi untuk setiap peubah prediktor jika *Schoenfeld residual* tersebut tidak berkorelasi dengan *rank survival time*.

Langkah-langkah pengujian asumsi *Proportional Hazard* menggunakan *Schoenfeld residual* adalah sebagai berikut [9] :

1. Membangun model *Cox proportional hazard* dan mencari taksiran *Schoenfeld residual* untuk setiap peubah prediktor.
2. Membuat peubah *rank survival time* yang diurutkan mulai dari individu yang mengalami kejadian pertama kali.

3. Menguji korelasi antara peubah pada langkah kedua dengan *Schoenfeld residual*. Penolakan hipotesis null berarti asumsi *proportional hazard* tidak terpenuhi [6].

*Schoenfeld residual* dari peubah prediktor ke-*h* dari individu yang mengalami kejadian pada waktu  $(t_{(j)})$  didefinisikan sebagai:

$$PR_{hj} = x_{hj} - E(x_{hj} | R(t_{(j)}))$$

dimana

$$E(x_{hj} | R(t_{(j)})) = \frac{\sum_{l \in R(t_{(j)})} x_{hl} \exp(\beta' x_l)}{\sum_{l \in R(t_{(j)})} \exp(\beta' x_l)}$$

Dengan  $PR_{hj}$  adalah *Schoenfeld residual* peubah prediktor ke-*h* dari individu yang mengalami kejadian pada waktu  $t_{(j)}$ ,  $x_{hj}$  adalah nilai dari peubah prediktor ke-*h* dari individu yang mengalami kejadian pada waktu  $t_{(j)}$ ,  $E(x_{hj} | R(t_{(j)}))$  adalah *conditional expectation*  $x_{hj}$  jika diketahui  $R(t_{(j)})$  [10].

Dalam pengujian korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual* masing-masing peubah predictor digunakan koefisien korelasi *Pearson*. Koefisien korelasi *Pearson* dinyatakan dengan [11] :

$$r_{RT, PR_h} = \frac{k \sum_j^k RT_j PR_{jh} - (\sum_j^k RT_j)(\sum_j^k PR_{jh})}{\sqrt{k \sum_j^k RT_j^2 - (\sum_j^k RT_j)^2} \sqrt{k \sum_j^k PR_{jh}^2 - (\sum_j^k PR_{jh})^2}} \quad (2.23)$$

dengan:

$r_{RT, PR_h}$  : nilai koefisien korelasi *Pearson* antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* peubah prediktor ke-*h*.

$k$  : banyak individu yang mengalami kejadian.

$RT$  : *rank survival time*.

$PR_h$  : *Schoenfeld residual* dari peubah prediktor ke-*h*.

Hipotesa pengujian korelasi adalah sebagai berikut:

Hipotesa :

$H_0 : \rho = 0$  (tidak terdapat korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual*)

$H_1 : \rho \neq 0$  (terdapat korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual*)

Statistik Uji:

$$t_{hit} = \frac{r_{RT,PR_h} \sqrt{k-2}}{\sqrt{1-r_{RT,PR_h}^2}} \quad (2.24)$$

Kriteria Uji:

Tolak  $H_0$  jika  $|t_{hit}| > t_{\frac{\alpha}{2}, k-2}$  atau  $p\text{-value} < 0,05$ . Artinya terdapat korelasi antara *survival time* dengan *schoenfeld residual*. Sehingga asumsi *proportional hazard* tidak terpenuhi.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bagian ini dijelaskan langkah-langkah yang dikerjakan dalam penelitian. Metodologi penelitian berguna sebagai acuan sehingga penelitian ini dapat berjalan secara sistematis.

#### **1. Studi Literatur**

Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan gambaran mengenai teori-teori dan konsep-konsep yang mendasar tentang permasalahan dalam penelitian sehingga hasil yang didapat akan bersifat ilmiah. Studi literatur yang diperlukan meliputi sistem distribusi air, pemodelan sistem, penggunaan model simulasi, dan program aplikasi pengolahan data.

#### **2. Studi Lapangan**

Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui apakah permasalahan yang telah dirumuskan memang benar sesuai dengan kondisi sesungguhnya yang terjadi di lapangan. Dengan studi lapangan ini permasalahan mulai tampak dengan ditemukannya ketidaksesuaian sasaran yang ingin dicapai dengan kondisi real yang terjadi dengan objek yang diteliti.

#### **3. Pengolahan Data Deskriptif dan Identifikasi Peubah**

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan data secara deskriptif dari beberapa faktor yang digunakan untuk menganalisis resiko kegagalan jaringan distribusi air. Selanjutnya untuk pemodelan diidentifikasi peubah prediktor sebagai berikut :

$X_1$  : panjang pipa (meter).

$X_2$  : diameter pipa (cm).

$X_3$  : ketebalan pipa (inchi).

$X_4$  : tekanan pipa (bar).

$X_5$  : jumlah pelanggan yang dilalui (pelanggan).

Peubah respon (Y) dari tugas akhir ini adalah kegagalan jaringan distribusi air.

#### **4. Langkah-langkah Penyelesaian pada Permasalahan**

Pada tahap ini permasalahan diselesaikan dengan metode yang dipakai yaitu dengan dengan model regresi *Cox* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Melakukan estimasi parameter model regresi *Cox proportional hazard* dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE).
- b. Membentuk model regresi *Cox proportional hazard* sementara.
- c. Melakukan pemeriksaan asumsi *proportional hazard* dengan menggunakan pendekatan *Goodness of Fit*.
- d. Melakukan pengujian signifikansi parameter dengan uji serentak dan uji parsial.
- e. Membentuk model regresi *Cox proportional hazard* baru dengan menghilangkan peubah yang tidak signifikan.
- f. Melakukan pemeriksaan asumsi *proportional hazard* untuk model baru dengan menggunakan pendekatan *Goodness of Fit*.
- g. Melakukan pengujian signifikansi parameter dengan uji serentak dan uji parsial untuk model regresi *Cox* yang baru.

#### **5. Penarikan Kesimpulan**

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan. Kesimpulan merupakan hasil perhitungan dari analisis dan pembahasan yang merupakan jawaban dari permasalahan.

#### **6. Penulisan Laporan Tugas Akhir**

Tahap terakhir yang akan dilakukan adalah tahap penulisan tugas akhir.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini dijelaskan tentang gambaran umum data dilanjutkan dengan tahapan analisis regresi *Cox* yang meliputi pembentukan model sementara, pengujian asumsi *proportional hazard*, pengujian signifikansi, dan pembentukan model regresi *Cox* yang digunakan sebagai kesimpulan dalam Tugas Akhir ini.

#### **4.1 Data Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder mengenai jaringan pipa air pada PDAM di Kota Surabaya. Data tersebut berisi tentang macam-macam peubah yang mempengaruhi kegagalan jaringan pipa air. Data tersebut adalah panjang, lebar, diameter, ketebalan, tekanan dan jumlah pelanggan yang dilalui. Data lengkap disajikan dalam Lampiran A.

#### **4.2 Statistik Deskriptif**

Untuk menunjukkan karakteristik dari peubah prediktor yang dapat mempengaruhi terjadinya kegagalan dalam jaringan pipa air PDAM Kota Surabaya dilakukan analisis statistik deskriptif. Dalam analisis statistik deskriptif ini ukuran yang digunakan adalah nilai maksimum, nilai minimum, dan rata-rata tiap prediktor.

##### **4.2.1 Panjang Pipa**

Panjang pipa setiap wilayah yang dialiri PDAM berbeda-beda. Wilayah yang padat jumlah penduduknya panjang pipa PDAM yang semakin pendek, sedangkan wilayah yang tidak padat penduduk pipa PDAM yang mendistribusikan air ke rumah warga semakin panjang. Menurut PDAM panjang pipa ideal yang digunakan untuk mendistribusikan air ke rumah warga adalah 100m. Analisis data secara deskriptif untuk peubah panjang pipa disajikan dalam Tabel 4.1

**Tabel 4.1** Statistik Deskriptif untuk Panjang Pipa

Ukuran	Nilai	Instalasi Pipa
Minimum	41,87	Sepanjang
Maksimum	481,06	Osowilangun
Rata-Rata	104,752	-
Keterangan	36% instalasi pipa lebih dari 100 meter panjangnya, 64% kurang dari 100 meter	

Berdasarkan Tabel 4.1 panjang pipa maksimum sebesar 481,06 meter dimiliki instalasi pipa Osowilangun, sedangkan panjang pipa minimum sebesar 41,87 meter dimiliki instalasi pipa Sepanjang. Adapun rata-rata panjang pipa PDAM Kota Surabaya yang digunakan sebagai sarana distribusi air ke pelanggan sebesar 104,752 meter. Secara keseluruhan sebagian besar instalasi pipa PDAM di Kota Surabaya memiliki panjang kurang dari 100 meter.

#### 4.2.2 Diameter Pipa

Diameter pipa mempengaruhi debit air yang terdistribusi. Menurut PDAM diameter pipa ideal yang digunakan untuk mendistribusikan air ke rumah warga adalah 100 cm. Analisis data secara deskriptif untuk peubah panjang pipa disajikan dalam Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Statistik Deskriptif untuk Diameter Pipa

Ukuran	Nilai	Instalasi Pipa
Minimum	75	Karangrejo dan Krembangan
Maksimum	150	Margomulyo, Wonocolo dan Kedung Baruk
Rata-Rata	102,4	-
Keterangan	72% instalasi pipa diameternya sudah ideal yaitu 100 cm, 4% instalasi pipa diameternya lebih dari 100 cm, 24% kurang dari 100 cm.	

Berdasarkan Tabel 4.2 diameter pipa maksimum sebesar 150 cm dimiliki instalasi pipa Margomulyo, sedangkan diameter pipa minimum sebesar 75 cm dimiliki instalasi pipa Karangrejo dan Krembangan. Adapun rata-rata diameter pipa PDAM Kota Surabaya yang digunakan sebagai sarana distribusi air ke pelanggan sebesar 102,4 cm. Secara keseluruhan sebagian besar instalasi pipa PDAM di Kota Surabaya berdiameter 100 cm.

#### 4.2.3 Ketebalan Pipa

Ketebalan sangat mempengaruhi dalam perpipaan, jika ketebalan pipa tersebut menyempit maka alirannya juga kecil dan sebaliknya. Menurut PDAM ketebalan pipa ideal yang digunakan untuk mendistribusikan air ke rumah warga adalah 7 inchi. Analisis data secara deskriptif untuk peubah ketebalan pipa disajikan dalam Tabel 4.3

**Tabel 4.3** Statistik Deskriptif untuk Ketebalan Pipa

Ukuran	Nilai	Instalasi Pipa
Minimum	5-7	Margomulyo, Pabean Cantikan, Sepanjang, Oso Wilangun, Mulyorejo, Babat Jerawat, Ketintang, Kedung Baruk, Manukan, Wonocolo, Tandes, Tegalsari, Dr. Soetomo, Sawunggaling, Ngagel, Kertajaya, Sidotopo, Wonokromo, Rungkut, Tambak Langon, Sambikerep
Maksimum	10	Sukolilo dan Tambaksari
Rata-Rata	5,56	-
Keterangan	8% instalasi pipa ketebalannya ideal yaitu 7 inchi, 8% instalasi pipa ketebalannya lebih 7 inchi, 84% kurang dari 7 inchi.	

Berdasarkan Tabel 4.3 ketebalan pipa maksimum sebesar 10 inchi dimiliki instalasi pipa Sukolilo dan Tambaksari, sedangkan diameter pipa minimum sebesar 5 inchi dimiliki sebagian besar

instalasi pipa PDAM di Kota Surabaya. Kecamatan Karangrejo dan Krembangan memiliki ketebalan pipa yang ideal yaitu sebesar 7 inchi.

#### 4.2.4 Tekanan Pipa

Tekanan pipa mempengaruhi dalam distribusi aliran dalam pipa. Jika tekanan pipa besar maka distribusi air yang akan dihasilkan juga banyak dan sebaliknya jika tekanan pipa kecil maka distribusi air yang akan dihasilkan juga sedikit. Menurut PDAM tekanan pipa ideal sebesar 15 bar berdasarkan pengukuran barometer. Analisis data secara deskriptif untuk peubah tekanan pipa disajikan dalam Tabel 4.4

**Tabel 4.4** Statistik Deskriptif untuk Tekanan Pipa

Ukuran	Nilai	Instalasi Pipa
Minimum	1,9	Sepanjang
Maksimum	317,93	Oso Wilangun
Rata-Rata	21,586	-
Keterangan	72% instalasi pipa memiliki tekanan kurang dari 15 bar, 28% instalasi pipa memiliki tekanan lebih dari 15 bar.	

Berdasarkan Tabel 4.4 tekanan pipa maksimum sebesar 317,93 bar dimiliki instalasi pipa Oso Wilangun, sedangkan tekanan pipa minimum sebesar 1,9 inchi dimiliki instalasi pipa Sepanjang. Adapun rata-rata tekanan pipa PDAM Kota Surabaya yang digunakan sebagai sarana distribusi air ke pelanggan sebesar 21,586 cm. Secara keseluruhan sebagian besar instalasi pipa PDAM di Kota Surabaya memiliki tekanan kurang dari 15 bar.

#### 4.2.5 Pelanggan yang Dilalui

Pipa-pipa PDAM saling terhubung membentuk suatu jaringan yang berfungsi sebagai sarana distribusi air hingga digunakan oleh pelanggan. Menurut PDAM dalam suatu instalasi dapat mengalirkan air sampai 2.000 pelanggan. Analisis data secara

deskriptif untuk peubah jumlah pelanggan disajikan dalam Tabel 4.5

**Tabel 4.5** Statistik Deskriptif untuk Jumlah Pelanggan

Ukuran	Nilai	Instalasi Pipa
Minimum	9	Krembangan
Maksimum	7.775	Mulyorejo
Rata-Rata	3.156,08	-
Keterangan	56% instalasi pipa mendistribusikan air ke lebih dari 2.000 pelanggan, 44% instalasi pipa instalasi pipa mendistribusikan air ke kurang dari 2.000 pelanggan	

Berdasarkan Tabel 4.5 instalasi pipa yang melalui jumlah pelanggan terbesar adalah instalasi pipa Mulyorejo yang mengalir 7.775 pelanggan, sedangkan instalasi pipa yang melalui jumlah pelanggan terkecil adalah instalasi pipa Krembangan yang mengalir 9 pelanggan. Adapun rata-rata jumlah pelanggan yang dialiri pipa PDAM Kota Surabaya sebesar 3.156,08. Secara keseluruhan sebagian besar instalasi pipa PDAM di Kota Surabaya mendistribusikan air ke lebih dari 2.000 pelanggan.

### 1.3 Pemodelan Regresi Cox

Sebelum menentukan model regresi Cox yang sesuai dengan data pada Lampiran A, terlebih dahulu dilakukan estimasi parameter model. Selanjutnya dilakukan uji signifikansi model dan pemeriksaan asumsi *proportional hazard*, kemudian dilakukan seleksi model sampai didapatkan model yang signifikan.

#### 4.3.1 Estimasi Parameter

Untuk mendapatkan estimasi parameter  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$  pada model regresi Cox digunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Dalam mengestimasi parameter dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) adalah

memaksimumkan fungsi *likelihood*. Pada persamaan (2.19) dapat digunakan untuk mengestimasi parameter model. Fungsi *partial likelihood* dengan pendekatan *Breslow* dinyatakan dengan:

$$L(\boldsymbol{\beta}) = \prod_{j=1}^r \frac{\exp(\boldsymbol{\beta} x_{(j)})}{\sum_{i \in R(t_j)} \exp(\boldsymbol{\beta} x_{(j)})} \quad (4.1)$$

Dengan  $\mathbf{s}_j$  adalah vektor penjumlahan dari setiap peubah prediktor  $p$  untuk individu yang mengalami kejadian pada waktu ke- $j$ ,  $t_{(j)}$  dimana  $j = 1, 2, \dots, r$ . Jika ada  $d_j$  pada  $t_{(j)}$ , maka elemen ke- $h$  dari  $\mathbf{s}_j$  adalah  $s_{hj} = \sum_{k=1}^{d_j} x_{hjk}$ . Dimana  $x_{hjk}$  adalah nilai dari peubah prediktor ke- $h$ ,  $h = 1, 2, \dots, p$ , untuk  $d_j$  individu ke- $k$ ,  $k = 1, 2, \dots, d_j$  yang mengalami kejadian pada waktu ke- $j$ ,  $j = 1, 2, \dots, r$ .

Setelah didapatkan fungsi *likelihood*, selanjutnya dilakukan transformasi  $\ln$  terhadap persamaan (4.1) sehingga diperoleh fungsi *log likelihood* yang bersesuaian, yaitu:

$$\ln L(\boldsymbol{\beta}) = \ln \prod_{j=1}^r \frac{\exp(\boldsymbol{\beta} x_{(j)})}{\sum_{i \in R(t_j)} \exp(\boldsymbol{\beta} x_{(j)})} \quad (4.2)$$

Sesuai dengan sifat logaritma, persamaan (4.2) dapat dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} \ln L(\boldsymbol{\beta}) &= \sum_{i=1}^r \ln \frac{\exp(\boldsymbol{\beta} x_{(j)})}{\sum_{i \in R(t_j)} \exp(\boldsymbol{\beta} x_{(j)})} \\ &= \sum_{i=1}^r \left( \boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}_i - \ln \left( \sum_{l \in R(t_i)} \exp(\boldsymbol{\beta}' \mathbf{x}_l) \right) \right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) dapat dinyatakan dengan:

$$\ln L(\boldsymbol{\beta}) = \sum_{i=1}^r \left( \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{ih}) - \ln \left( \sum_{l \in R(t_i)} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right) \right) \quad (4.4)$$

Langkah selanjutnya untuk mengestimasi parameter  $\boldsymbol{\beta}$  pada model adalah mencari turunan pertama dari fungsi *Inlikelihood* terhadap parameter  $\boldsymbol{\beta}$  kemudian disama dengankan nol. Turunan pertama fungsi *loglikelihood* terhadap parameter  $\boldsymbol{\beta}$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta_1} &= \sum_{i=1}^r \left[ x_{1i} - \frac{\sum_{l \in R(t_i)} x_{1l} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl})}{\left( \sum_{l \in R(t_i)} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right)} \right] \\ \frac{\partial \ln L(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta_2} &= \sum_{i=1}^r \left[ x_{2i} - \frac{\sum_{l \in R(t_i)} x_{2l} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl})}{\left( \sum_{l \in R(t_i)} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right)} \right] \\ &\vdots (4.5) \\ \frac{\partial \ln L(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta_p} &= \sum_{i=1}^r \left[ x_{pi} - \frac{\sum_{l \in R(t_i)} x_{pl} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl})}{\left( \sum_{l \in R(t_i)} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right)} \right] \end{aligned}$$

Berikut ini adalah turunan kedua dari fungsi *Inlikelihood* terhadap parameter  $\boldsymbol{\beta}$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \ln L(\boldsymbol{\beta})}{\partial \beta_y \partial \beta_{y^*}} &= - \sum_{j=1}^r d_j \frac{\left( \sum_{l \in R(t_j)} x_{yl} x_{y^*l} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right)}{\left( \sum_{l \in R(t_j)} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right)} + \\ &\sum_{j=1}^r d_j \frac{\left( \sum_{l \in R(t_j)} x_{yl} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right) \left( \sum_{l \in R(t_j)} x_{y^*l} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right)}{\left( \left( \sum_{l \in R(t_j)} \exp \sum_{h=1}^p (\beta_h x_{hl}) \right) \right)^2} \quad (4.6) \end{aligned}$$

dengany,  $y^* = 1, 2, \dots, p$

Dengan menggunakan data yang ada kemudian diolah menggunakan software SPSS maka diperoleh *Beta* pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Estimasi Parameter Model

No.	Peubah	Estimasi( $\beta$ )
1.	$X_1$	0,007
2.	$X_2$	0,007
3.	$X_3$	-0,372
4.	$X_4$	-0,011
5.	$X_5$	0

Lampiran Output lengkapnya disajikan pada Lampiran B.

Berdasarkan hasil estimasi parameter diperoleh model regresi *Cox proportional hazard* sementara sebagai berikut:

$$h(t) = h_0(t) \exp(0,007X_1 + 0,007X_2 - 0,372X_3 - 0,011X_4)$$

### 1.3.2 Asumsi *Proportional Hazards*

Setelah didapatkan estimasi parameter selanjutnya dilakukan pemeriksaan asumsi *proportional hazard* terhadap semua peubah prediktor. Untuk pemeriksaan asumsi *proportional hazard* dalam Tugas Akhir ini menggunakan pendekatan *Goodness of Fit*. Asumsi *proportional hazard* terpenuhi jika tidak terdapat korelasi antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* masing-masing peubah prediktor. Nilai *Schoenfeld residual* masing-masing peubah prediktor ditunjukkan pada Lampiran C.

Untuk menunjukkan tidak ada korelasi antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* dilakukan dengan pengujian hipotesis. Sebelum uji hipotesis dilakukan, terlebih dahulu mencari nilai koefisien korelasi Pearson. Uji korelasi Pearson antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berikut hasil perhitungan koefisien korelasi Pearson antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* sesuai dengan persamaan (2.23):

$$\begin{aligned}
 r_{RT,PR_1} &= \frac{n \sum_i^n RT_i PR_{1i} - (\sum_i^n RT_i) (\sum_i^n PR_{1i})}{\sqrt{n \sum_i^n RT_i^2 - (\sum_i^n RT_i)^2} \sqrt{n \sum_i^n PR_{1i}^2 - (\sum_i^n PR_{1i})^2}} \\
 &= \frac{(25)(-1,09 \times 10^{-10}) - (325)(-2,04 \times 10^{-14})}{\sqrt{(25)(5525) - (325)^2} \sqrt{(25)(130663,4) - (-2,04 \times 10^{-14})^2}} \\
 &= \frac{-28,25 \times 10^{-10} + 0,663 \times 10^{-10}}{\sqrt{(25)(5525) - (325)^2} \sqrt{(25)(130663,4) - (-2,04 \times 10^{-14})^2}} \\
 &= 0,170
 \end{aligned}$$

dengan:

$r_{RT,pr_1}$ : koefisien korelasi pearson antara *ranksurvival time* Schoenfeld residual panjang pipa.

$n$ : banyak data yang tidak tersensor

$RT$ : *rank survival time*.

$PR_1$ : *Schoenfeld residual* panjang pipa.

Selanjutnya dilakukan pengujian hipotesis, dengan hipotesis untuk pengujian korelasi adalah sebagai berikut:

Hipotesa :

$H_0 : \rho = 0$  (tidak terdapat korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual*)

$H_1 : \rho \neq 0$  (terdapat korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual*)

Statistik Uji yang digunakan adalah :

Dengan menggunakan persamaan (2.24) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 t_{hit} &= \frac{0,170 \sqrt{25 - 2}}{\sqrt{1 - 0,0289}} \\
 &= \frac{3,91}{\sqrt{0,9711}} \\
 &= 0,9854477
 \end{aligned}$$

$$t_{tabel} = t_{0,025,25-2}$$

$$= 2,069$$

Kriteria Uji:

Karena  $|t_{hit}| = 0,985447 < 2,069$  dan  $p\text{-value} = 0,416 > 0,05$   $H_0$  diterima, artinya tidak terdapat korelasi antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* panjang pipa sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi *proportional hazard* untuk panjang pipa terpenuhi.

Hasil pemeriksaan asumsi *proportional hazards* dengan pendekatan Goodness of Fit dari semua peubah prediktor dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pemeriksaan asumsi PH dengan *Goodness of Fit*

		Koefisien Korelasi Pearson	Signifikan (Sig)
$X_1$	<i>Survival time</i> dengan <i>schoenfeld residual</i> panjang pipa.	0,170	0,416
$X_2$	<i>Survival time</i> dengan <i>schoenfeld residual</i> diameter pipa.	0,007	0,972
$X_3$	<i>Survival time</i> dengan <i>schoenfeld residual</i> ketebalan pipa.	-0,257	0,214
$X_4$	<i>Survival time</i> dengan <i>schoenfeld residual</i> panjang pipa.	0,134	0,523
$X_5$	<i>Survival time</i> dengan <i>schoenfeld residual</i> pelanggan pipa.	0,136	0,517

### 1.3.3 Uji Signifikansi Parameter

Untuk mengetahui apakah model sementara signifikan atau tidak, dilakukan pengujian terhadap parameter model. Terdapat dua uji dalam pengujian signifikansi parameter, yaitu uji secara serentak dan uji secara parsial.

#### 1. Uji serentak

Hipotesa:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_5 = 0$  (tidak ada peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon)

$H_1 : \beta_p \neq 0$  (minimal ada satu peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon)

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.21) diperoleh

$$\begin{aligned}\chi^2 &= 116,007 - 97,067 \\ &= 18,94\end{aligned}$$

dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 5 diperoleh

$$\begin{aligned}\chi_{tabel}^2 &= \chi_{\alpha,5}^2 \\ &= 11,0705\end{aligned}$$

Kriteria Uji:

Karena  $\chi^2 = 18,94 > 11,0705$  maka  $H_0$  ditolak. Jadi terdapat peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon.

#### 2. Uji Parsial

a. Berikut uji parsial untuk parameter  $\beta_1$  (panjang pipa).

Hipotesa:

$H_0 : \beta_1 = 0$  (peubah  $X_1$  tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1 : \beta_1 \neq 0$  (peubah  $X_1$  berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

Dengan menggunakan persamaan (2.22) diperoleh

$$W^2 = \left(\frac{0,007}{0,016}\right)^2$$

$$= 0,1915$$

Dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 1 diperoleh

$$\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha,1}^2$$

$$= 3,841$$

Kriteria Uji :

Karena  $W^2 = 0,1915 < 3,841$  maka  $H_0$  diterima. Jadi parameter  $\beta_1$  tersebut signifikan sehingga panjang pipa tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon.

b. Berikut uji parsial untuk parameter  $\beta_2$  (diameter pipa).

Hipotesa:

$H_0 : \beta_2 = 0$  (peubah  $X_2$  tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1 : \beta_2 \neq 0$  (peubah  $X_2$  berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

Dengan menggunakan persamaan (2.22) diperoleh

$$W^2 = \left(\frac{0,007}{0,012}\right)^2$$

$$= 0,3403$$

Dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 1 diperoleh

$$\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha,1}^2$$

$$= 3,841$$

Kriteria Uji :

Karena  $W^2 = 0,3403 < 3,841$  maka  $H_0$  diterima. Jadi parameter  $\beta_2$  tersebut signifikan sehingga diameter pipa tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon.

c. Berikut uji parsial untuk parameter  $\beta_3$  (ketebalan pipa).

Hipotesa:

$H_0 : \beta_3 = 0$  (peubah  $X_3$  tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1 : \beta_3 \neq 0$  (peubah  $X_3$  berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

Dengan menggunakan persamaan (2.22) diperoleh

$$W^2 = \left( \frac{-0,372}{0,173} \right)^2 \\ = 4,6238$$

dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 1 diperoleh

$$\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha,1}^2 \\ = 3,841$$

Kriteria Uji :

Karena  $W^2 = 4,6238 > 3,841$  maka  $H_0$  ditolak. Jadi parameter  $\beta_3$  tersebut signifikan sehingga ketebalan berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon.

d. Berikut uji parsial untuk parameter  $\beta_4$  (tekanan pipa).

Hipotesa:

$H_0 : \beta_4 = 0$  (peubah  $X_4$  tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1 : \beta_4 \neq 0$  (peubah  $X_4$  berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

Dengan menggunakan persamaan (2.22) diperoleh

$$W^2 = \left( \frac{-0,011}{0,020} \right)^2 \\ = 0,3025$$

dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 1 diperoleh

$$\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha,1}^2 \\ = 3,841$$

Kriteria Uji :

Karena  $W^2 = 0,3025 < 3,841$  maka  $H_0$  diterima. Jadi parameter  $\beta_4$  tersebut signifikan sehingga tekanan pipa tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon.

e. Berikut uji parsial untuk parameter  $\beta_5$  (jumlah pelanggan yang dilalui).

Hipotesa:

$H_0 : \beta_5 = 0$  (peubah  $X_5$  tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1 : \beta_5 \neq 0$  (peubah  $X_5$  berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

Dengan menggunakan persamaan (2.22) diperoleh

$$W^2 = 0$$

dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 1 diperoleh

$$\begin{aligned}\chi_{tabel}^2 &= \chi_{\alpha,1}^2 \\ &= 3,841\end{aligned}$$

Kriteria Uji :

Karena  $W^2 = 0 < 3,841$  maka  $H_0$  diterima. Jadi jumlah parameter  $\beta_5$  tersebut signifikan sehingga pelanggan yang dilalui tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon.

Dalam perhitungan di atas dapat disimpulkan peubah panjang pipa ( $X_1$ ), diameter pipa ( $X_2$ ), tekanan pipa ( $X_4$ ), dan jumlah pelanggan yang dilalui ( $X_5$ ) secara individu tidak berpengaruh terhadap peubah respon.

Setelah perhitungan diatas dengan menghilangkan individu yang tidak berpengaruh terhadap peubah respon, berikut ini akan membentuk model regresi *Cox propotional hazard* baru dengan melakukan pemeriksaan asumsi *proportional hazard* dengan menggunakan pendekatan *goodness of Fit*.

Untuk menunjukkan tidak ada korelasi antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* dilakukan dengan pengujian hipotesis. Sebelum uji hipotesis dilakukan, terlebih dahulu mencari nilai koefisien korelasi Pearson. Uji korelasi Pearson antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* ditunjukkan pada Tabel 4.3. Berikut hasil perhitungan koefisien korelasi Pearson antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* sesuai dengan persamaan (2.23):

$$\begin{aligned}
 r_{RT,PR_1} &= \frac{n \sum_i^n RT_i PR_{1i} - (\sum_i^n RT_i) (\sum_i^n PR_{1i})}{\sqrt{n \sum_i^n RT_i^2 - (\sum_i^n PR_i)^2} \sqrt{n \sum_i^n PR_{1i}^2 - (\sum_i^n PR_{1i})^2}} \\
 &= \frac{(25)(-1,09 \times 10^{-10}) - (325)(-2,04 \times 10^{-14})}{\sqrt{(25)(5525) - (325)^2} \sqrt{(25)(130663,4) - (-2,04 \times 10^{-14})^2}} \\
 &= \frac{-28,25 \times 10^{-10} + 0,663 \times 10^{-10}}{\sqrt{(25)(5525) - (325)^2} \sqrt{(25)(130663,4) - (-2,04 \times 10^{-14})^2}} \\
 &= 0,170
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan pengujian hipotesis, dengan hipotesis untuk pengujian korelasi adalah sebagai berikut:

Hipotesa :

$H_0 : \rho = 0$  (tidak terdapat korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual*)

$H_1 : \rho \neq 0$  (terdapat korelasi antara *survival time* dengan *Schoenfeld residual*)

Statistik Uji yang digunakan adalah :

dengan menggunakan persamaan (2.24) diperoleh:

$$t_{hit} = \frac{0,170 \sqrt{25 - 2}}{\sqrt{1 - 0,0289}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,91}{\sqrt{0,9711}} \\
 &= 0,9854477 \\
 t_{tabel} &= t_{0,025,25-2} \\
 &= 2,069
 \end{aligned}$$

Kriteria Uji:

Karena  $|t_{hit}| = 0,985447 < 2,069$  dan  $p\text{-value} = 0,416 > 0,05$   $H_0$  diterima, artinya tidak terdapat korelasi antara *rank survival time* dengan *Schoenfeld residual* panjang pipa sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi *proportional hazard* untuk panjang pipa terpenuhi.

Hasil pemeriksaan asumsi *proportional hazards* dengan pendekatan Goodness of Fit dari semua peubah prediktor dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pemeriksaan asumsi PH dengan *Goodness of Fit*

		Koefisien Korelasi Pearson	Signifikan (Sig)
$X_3$	<i>Survival time</i> dengan <i>schonfeld residual</i> ketebalan pipa.	-0,0361	0,034
$X_5$	<i>Survival time</i> dengan <i>schonfeld residual</i> pelanggan pipa.	0,000	0,000

### 1. Uji Signifikansi Parameter Baru

Untuk mengetahui apakah model sementara signifikan atau tidak, dilakukan pengujian terhadap parameter model. Terdapat dua uji dalam pengujian signifikansi parameter, yaitu uji secara serentak dan uji secara parsial.

### 1. Uji serentak

Hipotesa:

$H_0 : \beta_3 = \beta_5 = 0$  (tidak ada peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon)

$H_1 : \beta_p \neq 0, p = 3 \text{ dan } 5$  (minimal ada satu peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon)

Statistik Uji:

dengan menggunakan persamaan (2.21) diperoleh

$$\chi^2 = 116,007 - 97,923 \\ = 18,084$$

dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 5 diperoleh

$$\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha,5}^2 \\ = 11,0705$$

Kriteria Uji:

Karena  $\chi^2 = 18,084 > 11,0705$  maka  $H_0$  ditolak. Jadi terdapat peubah prediktor yang signifikan terhadap peubah respon.

### 2. Uji parsial

Berikut uji parsial untuk parameter model ketebalan pipa ( $X_3$ ).

Hipotesa:

$H_0 : \beta_3 = 0$  (peubah tidak berpengaruh secara signifikan)

$H_1 : \beta_3 \neq 0$  (peubah berpengaruh secara signifikan)

Statistik Uji :

Dengan menggunakan persamaan (2.22) diperoleh

$$W^2 = \left( \frac{-0,0361}{0,171} \right)^2 \\ = 4,4567901$$

Dengan  $\alpha = 0,05$  dan derajat kebebasan 1 diperoleh

$$\chi_{tabel}^2 = \chi_{\alpha,1}^2 \\ = 3,841$$

Kriteria Uji :

Karena  $W^2 = 4,6238 > 3,841$  maka  $H_0$  ditolak. Jadi parameter  $\beta_3$  tersebut signifikan sehingga ketebalan berpengaruh secara signifikan terhadap peubah respon.

Dari hasil analisis data diatas dapat disimpulkan bahwa ketebalan pipa adalah faktor yang menentukan fungsi keandalan dalam jaringan distribusi air.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini diberikan simpulan sebagai hasil dari analisa yang telah dilakukan dan saran sebagai pertimbangan dalam pengembangan lebih lanjut.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan :

1. Model regresi *Cox* yang sesuai untuk distribusi jaringan air PDAM adalah  $h(t) = h_0(t) \exp(-0,361x_3)$ .
2. Berdasarkan model Regresi *Cox*, faktor yang dapat menentukan fungsi keandalan dalam jaringan distribusi air PDAM adalah faktor ketebalan pipa.

#### **5.2 Saran**

Pada Tugas Akhir ini perhitungan nilai keandalan hanya dilakukan pada lima jaringan distribusi air PDAM saja. Mungkin penelitian berikutnya bisa dikembangkan dengan menghitung tingkat keandalan jaringan distribusi air yang lainnya.

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A : DATA PERUSAHAAN DAERAH MINUM (PDAM) SURABAYA

No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	T	Status
1.	107,65	150	5	15,7	74	233	1
2.	99,99	75	7	7,85	9	246	1
3.	51,33	100	5	2,94	1798	254	1
4.	41,87	100	5	1,9	3820	435	1
5.	481,06	100	5	317,93	356	678	1
6.	104,49	100	5	15,7	7775	3078	1
7.	140,01	100	5	35,33	1073	889	1
8.	124,26	100	5	15,7	7380	5678	1
9.	100,02	150	5	11,78	144	358	1
10.	89	100	5	7,85	9242	8976	1
11.	79,62	150	5	2,94	4142	4573	1
12.	88	100	5	7,85	127	379	1
13.	86,98	100	5	3,93	6992	5890	1
14.	66,79	80	5	3,93	3088	5390	1
15.	93,77	100	10	7,85	1895	987	1
16.	55,34	80	5	2,94	5080	2647	1
17.	93,94	100	5	7,85	780	562	1
18.	100,03	100	5	15,7	4879	356	1
19.	86,45	100	5	7,85	3110	1290	1
20.	61,06	100	5	3,93	3578	4974	1
21.	85	100	10	7,85	2273	7803	1
22.	130,43	100	5	15,7	6222	5321	1
23.	113,08	100	5	11,78	1118	673	1

### Lanjutan Lampiran A

No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	T	Status
24.	66	75	7	2,94	2439	731	1
25.	72,64	100	5	3,93	1508	3590	1

Keterangan :

$X_1$  : Panjang Pipa

$X_2$  : Diameter Pipa

$X_3$  : Ketebalan Pipa

$X_4$  : Tekanan Pipa

$X_5$  : Jumlah Pelanggan Yang Dilalui

T : Kegagalan Dalam Jaringan Air

Status :

1 = Aliran Lancar

0 = Aliran Tidak Lancar

Lampiran B : Hasil Pemeriksaan Asumsi *Proportional Hazards*

**Correlations**

		Partial residual for X1	Partial residual for X2	Partial residual for X3	Partial residual for X4	Partial residual for X5
Partial residual for X1	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	1	,045	-,052	,977**	-,175
Partial residual for X2	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	,830	1	-,245	-,003	-,402
	N	25	25	25	25	25
Partial residual for X3	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	,830	-,245	1	-,990	-,510
	N	25	25	25	25	25

Partial residual for X3	Pearson Correlation	-,052	-,245	1	-,055	-,345
	Sig. (2-tailed)	,806	,238		,796	,092
	N	25	25	25	25	25
	Pearson Correlation	,977*	-,003	-,055	1	-,176
Partial residual for X4	Sig. (2-tailed)	,000	,990	,796		,400
	N	25	25	25	25	25
	Pearson Correlation	-,175	-,138	-,345	-,176	1
	Sig. (2-tailed)	,402	,510	,092	,400	
Partial residual for X5	N	25	25	25	25	25

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

**Lampiran C : Pemodelan Regresi Cox Proportional Hazards dengan Seleksi Model Backward**

1. Pemodelan *survival time* dengan semua variabel prediktor

**Case Processing Summary**

		N	Percent
	Event <sup>a</sup>	25	100,0%
Cases available in analysis	Censored	0	0,0%
	Total	25	100,0%
Cases with missing values	Cases with missing values	0	0,0%
	Cases with negative time	0	0,0%
Cases dropped	Censored cases before the earliest event in a stratum	0	0,0%
	Total	0	0,0%
Total		25	100,0%

a. Dependent Variable: t

## Block 0 : Beginning Block

### Omnibus Tests of Model Coefficients

-2 Log Likelihood
116,007

### Omnibus Tests of Model Coefficients<sup>a</sup>

-2 Log Likeli hood	Overall (score)			Change From Previous Step			Change From Previous Block		
	Chi- squa re	df	Sig.	Chi- square	df	Sig.	Chi- squa re	df	Sig.
97,0 67	17,5 80	5	,004	18,940	5	,002	18,9 40	5	,002

a. Beginning Block Number 1. Method = Enter

### Variables in the Equation

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)
X1	,007	,016	,229	1	,632	1,007
X2	,007	,012	,295	1	,587	1,007
X3	-,372	,173	4,632	1	,031	,690
X4	-,011	,020	,288	1	,591	,989
X5	,000	,000	13,786	1	,000	1,000

### Covariate Means

	Mean
X1	104,752
X2	102,400
X3	5,560
X4	21,586
X5	3156,080

### 2. Pemodelan *survival time* tanpa variabel

#### Omnibus Tests of Model Coefficients<sup>a</sup>

-2 Log Likelihood	Overall (score)			Change From Previous Step			Change From Previous Block		
	Chi-square	df	Sig.	Chi-square	df	Sig.	Chi-square	df	Sig.
97,067	17,580	5	,004	18,940	5	,002	18,940	5	,002

a. Beginning Block Number 1. Method = Enter

#### Variables in the Equation

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)
X1	,007	,016	,229	1	,632	1,007
X2	,007	,012	,295	1	,587	1,007
X3	-,372	,173	4,632	1	,031	,690
X4	-,011	,020	,288	1	,591	,989
X5	,000	,000	13,786	1	,000	1,000

a. Beginning Block Number 1. Method = Enter

**Variables in the Equation**

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)
X4	,000	,003	,000	1	,998	1,000
X5	,000	,000	8,884	1	,003	1,000

3. Nilai *Schoenfeld Residual* masing-masing Variabel Prediktor

PR1	PR2	PR3	PR4	PR5	RT
-10,9127	35,68563	0,18792	-13,6079	-1028,46	1
-20,5931	-32,7072	1,77729	-23,9774	-1283,87	2
-70,4909	-9,67316	0,11588	-30,3286	427,9565	3
-99,5926	-0,48479	0,18682	-45,9378	1936,492	7
316,9113	-0,73817	0,28447	249,8433	-1891,41	10
26,27414	-5,11562	0,20991	10,412	4444,943	16
43,4573	-2,21308	0,26258	21,15606	-1597,86	12
27,73892	0	1,78214	6,82199	1748,936	22
-25,7764	39,67728	0,12367	-23,3255	-1149,1	5

0	0	0	0	0	25
-0,92886	41,65348	0,34248	-2,76645	-104,95	18
-44,238	-0,40114	0,15459	-33,0882	-1453,44	6
0,70025	0	2,44011	-2,42931	2006,651	23
-13,1829	-8,86806	-0,7902	-2,19396	-1127,6	21
14,70636	-3,10362	4,63176	2,18919	-1418,83	13
-21,6828	-23,8058	0,19896	-2,22555	1658,678	15
-50,4972	-0,49927	-0,1924	-41,3599	-1045,67	8
-25,3695	-10,1637	0,12176	-19,1065	3530,658	4
8,01827	-3,23697	0,16922	2,28325	-264,794	14
-19,821	6,55003	0,46496	-2,76582	-706,484	19
-0,85005	0	1,06257	0	-1481,01	24
41,59812	9,17745	0,65146	7,89472	1654,124	20
-41,4323	-0,59888	0,23079	-45,6819	-916,298	9
-29,0755	-25,8991	1,65353	-10,6915	-220,662	11
-4,96084	-5,23536	0,21482	-1,11428	-1718,01	17

#### 4. Pemodelan *survival time* dengan faktor variabel prediktor

##### Omnibus Tests of Model Coefficients

-2 Log Likelihood
116,007

##### Block 1: Method = Enter

##### Omnibus Tests of Model Coefficients<sup>a</sup>

-2 Log Likelihood	Overall (score)			Change From Previous Step			Change From Previous Block		
	Chi- square	df	Sig.	Chi- square	df	Sig.	Chi- square	df	Sig.
97,923	16,697	2	,000	18,084	2	,000	18,084	2	,000

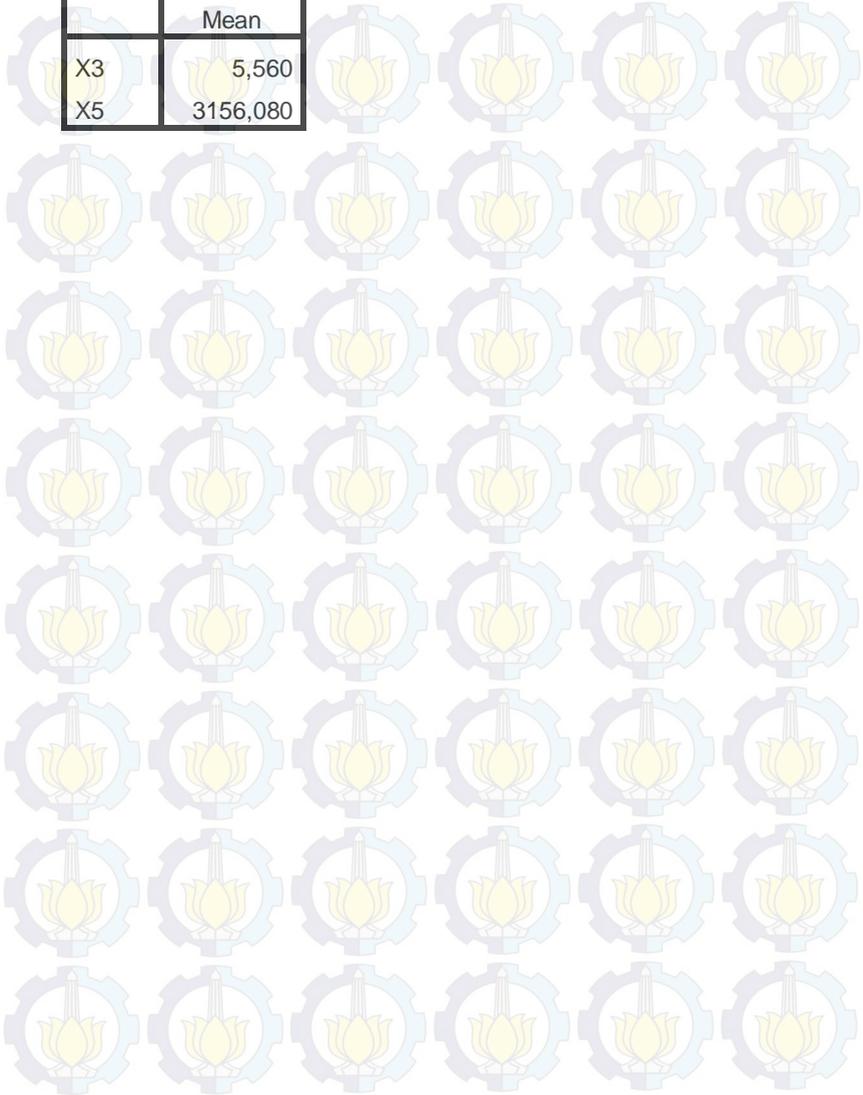
a. Beginning Block Number 1. Method = Enter

##### Variables in the Equation

	B	SE	Wald	df	Sig.	Exp(B)
X3	-,361	,171	4,470	1	,034	,697
X5	,000	,000	13,623	1	,000	1,000

### Covariate Means

	Mean
X3	5,560
X5	3156,080



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.L Rahmah, Suhardjono, M.Suwanto, Jurnal Optimasi dan simulasi sistem penyediaan jaringan air bersih dikecamatan kademangan kabupaten Blitar.
- [2] Referensi dari skripsi mahasiswa universitas diponegoro (*undip*) [eprints.undip.ac.id/33997/6/1877\\_CHAPTER\\_III.pdf](http://eprints.undip.ac.id/33997/6/1877_CHAPTER_III.pdf).
- [3] Referensi dari buku Babbit 6th ed, 1967 tentang regresi Cox.
- [4] Crammer & Howitt, 2006:139, Jurnal regresi linear.
- [5] Collett, D. 2003. *Modelling Survival Data in Medical Research*. Second Edition. London : Chapman and Hall.
- [6] Kleinbaum, D.G dan Klein, M. 2012.*Survival Analysis - A Self Learning Text*. Third Edition. New York : Springer.
- [7] Ninuk Rahayu, Adi Setiawan, Tundjung Mahatma, Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- [8] Walpole, R.E. 1993. *Pengantar Statistika*. Edisi Ketiga. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [9] Bain, L.J., dan Engelhardt, M. 1992. *Introduction to Probability and Mathematical Statistic*. California : Duxbury press.
- [10] Yohanes, R. T. 2011. *Pengecekan Asumsi Proportional Hazard pada Model Cox PH*. Tugas Akhir, Matematika. Depok: Universitas Indonesia.
- [11] Schoenfeld, D. 1982. *Partial Residula for The Poportional Hazard Regression Model*. *Biometrika*, 69 (1), 239-241.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Ponorogo pada 21 September 1990 dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu TK Siti Aminah Surabaya, SD Siti Aminah Surabaya, SMPN 16 Surabaya, dan SMA Ta'miriah Surabaya. Setelah lulus dari SMA, penulis mengikuti jalur mandiri dan Matematika ITS adalah salah satu pilihannya. Penulis aktif dalam kepengurusan HIMATIKA di Departemen Hubungan Eksternal periode 2009-2010 dan periode 2010-2011. Selain itu, penulis juga aktif dalam kepengurusan BEM FMIPA ITS di Departemen Saintek pada periode 2009-2010 dan periode 2010-2011. Di Jurusan Matematika ITS, penulis mengambil bidang minat Riset Operasi dan Pengolahan Data. Untuk kritik, saran, dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui *e-mail* ke [milanistiyossy22@gmail.com](mailto:milanistiyossy22@gmail.com)