



TUGAS AKHIR - KM184801

**METODE MONTE CARLO UNTUK VALUASI CAT
BOND BENCANA BANJIR SURABAYA DENGAN
MENYERTAKAN JUMP DIFFUSION PROCESS**

HENGKY KURNIAWAN
NRP. 06111640000026

Dosen Pembimbing:
Endah R.M. Putri, S.Si., M.T., Ph.D.
Dr. Chairul Imron, M.I.Komp.

DEPARTEMEN MATEMATIKA
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - KM184801

**MONTE CARLO METHOD TO VALUATE CAT BOND OF
FLOOD IN SURABAYA UNDER JUMP DIFFUSION
PROCESS**

HENGKY KURNIAWAN
NRP. 06111640000026

Supervisors:

Endah R.M. Putri, S.Si., M.T., Ph.D.

Dr. Chairul Imron, M.I.Komp.

DEPARTMENT OF MATHEMATICS

Faculty of Science and Data Analytics

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

METODE MONTE CARLO UNTUK VALUASI CAT BOND BENCANA BANJIR SURABAYA DENGAN MENYERTAKAN JUMP DIFFUSION PROCESS

MONTE CARLO METHOD TO VALUATE CAT BOND OF FLOOD IN SURABAYA UNDER JUMP DIFFUSION PROCESS

TUGAS AKHIR

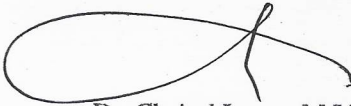
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika
Pada bidang studi Matematika Terapan
Program Studi S1 Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

HENGKY KURNIAWAN
NRP. 06111640000026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing II,



Dr. Chairul Imron, M.I.Komp.
NIP. 19611115 198703 1 003

Dosen Pembimbing I,



Endah R.M. Putri, S.Si., M.T., Ph.D.
NIP. 19761213 200212 2 001

Mengetahui,

Kepala Departemen Matematika
FSAD ITS



Subchan S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19710513 199702 1 001

Surabaya, 18 Agustus 2020

**METODE MONTE CARLO UNTUK VALUASI CAT BOND BENCANA
BANJIR SURABAYA DENGAN MENYERTAKAN JUMP DIFFUSION
PROCESS**

Nama : Hengky Kurniawan
NRP : 06111640000026
Departemen : Matematika FSAD ITS
Dosen Pembimbing : Endah R.M. Putri, S.Si., M.T., Ph.D.
Dr. Chairul Imron, M.I.Komp.

Abstrak

Bencana alam memiliki frekuensi yang relatif sangat kecil. Namun, dibalik frekuensinya yang kecil, bencana alam dapat mendatangkan kerusakan dan kerugian yang sangat besar. Salah satu instrumen keuangan yang bertujuan melakukan transfer resiko dengan cara mengasuransikan kejadian bencana alam ke pasar modal adalah *CAT bond*. Pada Tugas Akhir ini, bencana yang dijadikan bahasan adalah banjir. *Gaussian Process Regression* merupakan metode yang cocok untuk menganalisa curah hujan maksimum harian yang tak menentu. Curah hujan dan hidrolika menjadi faktor penentu kerugian yang ditimbulkan oleh banjir. Kerugian yang ditimbulkan oleh banjir dapat dimodelkan dengan *Jump Diffusion Process* dimana MAPE yang dihasil jauh lebih kecil dibandingkan dengan *Diffusion Process*. Hasil simulasi Monte Carlo menunjukkan pengaruh yang kuat dari *threshold* pemicu kontrak terhadap harga *CAT Bond*. Selain itu, proporsi pengurangan dan nilai suku bunga cukup mempengaruhi harga *CAT Bond* sedangkan banyak iterasi tidak cukup mempengaruhi harga *CAT Bond*.

Kata Kunci : *CAT Bond*, regresi, banjir, *Jump Diffusion Process*, Monte Carlo

MONTE CARLO METHOD TO VALUATE CAT BOND OF FLOOD IN SURABAYA UNDER JUMP DIFFUSION PROCESS

Name : Hengky Kurniawan
NRP : 06111640000026
Department : Mathematics FSDA ITS
Supervisors : 1. Endah R.M. Putri, S.Si., M.T., Ph.D.
2. Dr. Chairul Imron, M.I.Komp.

Abstract

Natural disasters have a relatively small frequency. However, despite its small frequency, natural disasters can bring enormous damage and losses. One financial instrument that aims to transfer risk by insuring natural disasters into the capital market is the CAT bond. In this Final Project, the disaster that is being discussed is flooding. Gaussian Process Regression is a suitable method for analyzing erratic daily maximum rainfall. Rainfall and hydraulics are determinants of losses caused by floods. Losses caused by flooding can be modeled by the Jump Diffusion Process where the MAPE produced is much smaller than the Diffusion Process. The Monte Carlo simulation results show the strong influence of the contract trigger threshold on the price of CAT Bond. Besides, the proportion of reductions and the interest rate simply affects the price of CAT Bond while many iterations do not sufficiently affect the price of CAT Bond.

Key Words : CAT bond, regression, flood, Jump Diffusion Process Monte Carlo.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dihaturkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan perlindungan-Nya, Tugas Akhir ini bisa terselesaikan dengan baik dan tepat waktu walau pengerjaan dilakukan di tengah wabah virus Corona COVID-19 yang melanda Indonesia.

Tugas Akhir merupakan salah satu dari mata kuliah wajib pada Departemen Matematika FSAD ITS dan menjadi suatu syarat kelulusan. Mata kuliah ini ditujukan kepada mahasiswa semester 7 atau 8 yang akan menyelesaikan studi S1.

Tugas Akhir ini disusun dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Matematika (S.Mat.) pada bidang minat Matematika Terapan, khususnya Matematika Industri dan Keuangan (MIKE). Tugas Akhir disusun dengan menggunakan data curah hujan maksimum dari BNPB. Dengan data tersebut, penulis meneliti mengenai harga dari CAT *bond* untuk bencana banjir di Surabaya agar kedua pihak baik investor maupun sponsor tidak mengalami kerugian besar apabila terjadi maupun tidak terjadinya banjir. Adapun judul dari Tugas Akhir ini adalah

METODE MONTE CARLO UNTUK VALUASI CAT BOND BENCANA BANJIR SURABAYA DENGAN MENYERTAKAN JUMP DIFFUSION PROCESS

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh sebab itu, tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Lim Meng Kwe dan Tjhang Tjin Ngo, serta saudara kandung penulis, Lina Indrayanti, Ricky Dharmawan, Marisa Ratnasari, dan Jacky Setiawan atas inspirasi, dukungan, dan bimbingannya selama ini.
2. Bapak Subchan S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku kepala Departemen Matematika FSAD ITS yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis.

3. Ibu Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, M.T. selaku Sekretaris Departemen Bidang Akademik Departemen Matematika FSAD ITS yang telah membantu penulis dalam hal menyelesaikan kebutuhan administrasi selama periode pengambilan Tugas Akhir.
4. Ibu Endah Rokhmati Merdika Putri, S.Si., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Chairul Imron, M.I.Komp., selaku dosen pembimbing I dan II, atas bimbingan, saran, kritik, motivasi, dan pengalaman yang tak terlupakan selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Drs. Soetrisno M.IKom. dan Bapak Drs. Suhud Wahyudi M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan yang membangun.
6. Bapak Drs. Komar Baihaqi, M.Si. dan Bapak Drs. Nurul Hidayat, M.Kom., sebagai dosen wali yang sudah memberikan arahan selama kegiatan perkuliahan di ITS.
7. Segenap Bapak dan Ibu dosen Departemen Matematika FSAD ITS lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala ilmu yang telah diajarkan.
8. Para mahasiswa Departemen Matematika ITS angkatan 2016 terutama teman-teman 4 Wise Monkey, Yohanes A Crux Gosal, Renjiro Owen dan Soma Ushio serta tidak lupa Anisa Saverina Alfiyani yang telah senantiasa menemani dan mendukung penulis selama menempuh bangku perkuliahan.
9. Teman-teman seperjuangan *Actuarial Club* terutama mas Venansius Ryan Tjahjono, Fatimah Azzahra, Erlin Dhebora, mbak Vira Diana Ulnazilla, mbak Marina Nadya Henrietta dan mas Dimaz Wisnu Adipradana yang sudah membantu penulis dengan memberikan dukungan juga motivasi yang luar biasa.

10. Mahasiswa ONMIPA yang tergabung pada *Olympiad Club*, terutama mas Uzumaki Nagato Tenshou, mas Venansius Ryan Tjahjono, mas Sie Evan Setiawan, Rif'an Amrozi, M. Ilham Dwi Firmansyah, Yohanes A Crux Gosal, M. Reza Al Ramadhan, Alvian Alif Hidayatullah, dan Ridho Nur Rohman Wijaya yang sudah memberikan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat waktu.
11. Segenap Tim Pembuat Soal OMITS 2018 dan 2019, terutama Sovia Prabaningtyas, Sonia Dian Amartya Harsono Putri, Zuhair Zahir, Rif'an Amrozi, M. Ilham Dwi Firmansyah, Yohanes A Crux Gosal, Shafira Herlinawati, Renjiro Owen, dan mas Venansius Ryan atas pengalaman yang tak terlupakan untuk penulis.
12. Mahasiswa TPKB ITS terutama Renjiro Owen, Giovani Patricia, Kelvin Liusiani, dan Leonard Angga atas dukungan dan motivasi yang telah diberikan.
13. Seluruh pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan saran, dukungan, dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sangat dalam atas doa dan semangat yang diberikan kepada penulis.

Penulis juga mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan isi Tugas Akhir ini. Segala kritik dan saran akan penulis terima dengan senang hati.

Surabaya, 15 Juni 2020

Hengky Kurniawan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR SIMBOL	xxii
1 BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
2 BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Metode Regresi	7
2.2.1 Regresi Linear	8
2.2.2 Regresi Proses Gaussian	9

2.3	Estimasi Parameter	10
2.3.1	Algoritma <i>Grid Search</i>	10
2.3.2	Algoritma <i>Random Search</i>	11
2.4	Banjir	11
2.5	Debit Hidrologi	13
2.6	Debit Hidrolika	15
2.7	Faktor Penentu Kerugian	16
2.7.1	Faktor Wilayah	16
2.7.2	Faktor Jiwa	17
2.7.3	Faktor Pengali	17
2.8	Model Kerugian Banjir	18
2.9	Algoritma Deteksi Lompatan	19
2.9.1	Algoritma <i>Block Average</i>	19
2.9.2	Algoritma <i>Sequential Average</i>	20
2.10	Model <i>Jump Diffusion Process</i>	21
2.11	<i>Catastrophe Bond</i> (CAT Bond)	22
2.11.1	Prinsip Kerja CAT Bond	22
2.11.2	Ukuran <i>Forward Martingale</i>	23
2.11.3	Valuasi CAT Bond	24
2.12	Pembangkitan Bilangan Acak	25
2.13	Pendekatan Monte Carlo	25

3 BAB III

METODE PENELITIAN 27

4 BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN 31

4.1	Praproses Data	31
4.1.1	Seleksi Data	31
4.1.2	Perhitungan Jari-Jari Hidrolika	32
4.2	Perhitungan Debit Hidrologi	35
4.2.1	Prediksi Curah Hujan Maksimum	35
4.2.2	Perhitungan Koefisien Pengaliran Gabungan	40
4.2.3	Pengacakan Saluran	41

4.2.4	Perhitungan Waktu Konsentrasi	48
4.2.5	Implementasi Metode Rasional	49
4.3	Perhitungan Debit Hidrolika	50
4.3.1	Pengacakan Saluran Drainase	50
4.3.2	Implementasi Rumus Manning	56
4.4	Perhitungan Kerugian	56
4.5	Pencocokan Kurva Kerugian	59
4.5.1	Proses Deteksi Lompatan	62
4.5.2	Model <i>Jump Diffusion Process</i>	63
4.6	Penentuan Harga CAT <i>Bond</i>	68
5	BAB V	
	PENUTUP	79
5.1	Kesimpulan	79
5.2	Saran	80
	DAFTAR PUSTAKA	81
	LAMPIRAN	L-1

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Peta Bahaya Banjir Surabaya	12
3.1 <i>Flowchart</i> Proses Pengerjaan Tugas Akhir	27
4.1 Peta Kota Surabaya	31
4.2 Diagram Penampang U-Ditch	33
4.3 Curah Hujan Kelurahan Keputih	36
4.4 Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Keputih	37
4.5 Hasil Regresi Linear Curah Hujan Keputih	38
4.6 Hasil Regresi Proses Gaussian Curah Hujan Keputih	39
4.7 Kerugian Kelurahan Keputih	59
4.8 Kerugian Hasil Jumlahan Seluruh Kelurahan	60
4.9 Kerugian Kumulatif Surabaya	61
4.10 Hasil Deteksi Lompatan	62
4.11 Kurva Hasil Pencocokan Tanpa <i>Jump</i>	64
4.12 Kurva Hasil Pencocokan Dengan <i>Jump</i>	64
4.13 Kurva Hasil Penyesuaian Tanpa <i>Jump</i>	66
4.14 Kurva Hasil Penyesuaian Dengan <i>Jump</i>	66
4.15 Prediksi Kerugian Kumulatif	67
4.16 Prediksi Kerugian Non Kumulatif	68
4.17 Prediksi Kerugian Kumulatif dengan <i>Threshold</i>	70
4.18 Diagram Model CAT <i>Bond</i>	73
4.19 Kurva Harga menurut Jumlah Iterasi	74
4.20 Kurva Harga menurut <i>Threshold</i>	75
4.21 Kurva Harga menurut Proporsi	76
4.22 Kurva Harga menurut Suku Bunga	77

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Tabel Data Kelurahan Hasil Seleksi Data	32
4.2 Hasil Perhitungan Jari-Jari Hidrolika	34
4.3 Nilai Koefisien Pengaliran	40
4.4 Data Jenis Saluran	42
4.5 Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih	45
4.6 Data Spesifikasi Saluran U-Ditch	50
4.7 Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih	53
4.8 Tabel Nilai Parameter	72

DAFTAR SIMBOL

X_t	Variabel Bebas <i>Predictor</i>
t	Waktu
β	Konstanta
$p(.)$	Peluang
$p(. .)$	Peluang Bersyarat
Q_a	Debit Hidrologi
C	Koefisien Pengaliran
I_t	Intensitas Maksimum Curah Hujan saat t
A	Luas Daerah Pengaliran
\bar{C}	Koefisien Pengaliran Gabungan
R_{24}	Curah Hujan Maksimum
t_c	Waktu Konsentrasi
n_k	Koefisien Kekasaran
l	Panjang Lintasan
s	Kemiringan
Q_b	Debit Hidrolika
n_m	Koefisien Manning
R_h	Jari-jari Hidrolika
A_{cs}	Luas Penampang Saluran
P_w	Keliling Penampang
S_t	Harga Opsi
μ	Rata-rata
σ	Standar Deviasi
λ	Intensitas Lompatan
dW_t	Gerak Brown Standar
$A(0, t)$	Faktor <i>Accumulate</i> t Waktu
$D(0, t)$	Faktor <i>Discount</i> t Waktu

$\exp(\cdot)$	Fungsi eksponensial
$\mathbb{E}(\cdot)$	Nilai ekspektasi
x_n	Proses Stokastik
$ \cdot $	Nilai mutlak
$\mathbb{E}(\cdot \cdot)$	Nilai Ekspektasi Bersyarat
$\mathbb{E}_Q(\cdot \mathcal{F}_t)$	Nilai Ekspektasi <i>Martingale</i>
\mathcal{F}_t	Filtrasi pada <i>Martingale</i>
T	Waktu Akhir Kontrak
$P(t, T)$	Harga CAT <i>Bond</i> saat t dengan Waktu Akhir T
Ψ	Arus Kas
\sum	Operator Penjumlahan dengan Batas Tertentu
N	Jumlah Iterasi
H_r	Tinggi Acak
H_s	Tinggi Terpilih
C_a	Perkiraan Luas Terendam Banjir
α	Bilangan Acak Uniform
F_a	Luas Terendam Banjir
C_p	Perkiraan Individu Terpapar Banjir
β	Bilangan Acak Uniform
M_f	Faktor Pengali
L_a	Kerugian per Wilayah
L_p	Kerugian per Individu
L_w	Kerugian per Saluran (<i>Watersheds</i>)
L_c	Kerugian Kumulatif
l_t	Kerugian pada t
η	Waktu <i>Trigger</i> CAT <i>Bond</i>
H	<i>Threshold</i>
V	Uang Pertanggungan

ω	Proporsi Pengurangan Uang Pertanggungan
r	Suku Bunga
Max(.)	Fungsi Maksimum
MAPE	<i>Mean Percentage Absolute Error</i>

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini, dijelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat penulisan dari Tugas Akhir.

1.1 Latar Belakang Masalah

Risiko adalah bahaya, akibat atau konsekuensi yang dapat terjadi akibat sebuah proses yang sedang berlangsung atau kejadian yang akan datang [1]. Dalam bidang asuransi, risiko dapat diartikan sebagai suatu keadaan ketidakpastian, di mana jika terjadi suatu keadaan yang tidak dikehendaki dapat menimbulkan suatu kerugian. Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), pada tahun 2019 telah terjadi 1.426 kejadian bencana alam [2]. Kejadian bencana yang dimaksudkan dari data ini meliputi gempa, tsunami, erupsi gunung berapi, banjir, kekeringan, longsor, dan lain sebagainya. Adapun banyaknya kejadian bencana cenderung meningkat dari tahun ke tahun sehingga akan memberi dampak pada meningkatnya risiko bencana. Risiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat akibat kombinasi dari bahaya, kerentanan, dan kapasitas [3].

Pada tahun 2019, banjir menduduki posisi kedua sebagai bencana dengan frekuensi kejadian tertinggi. Puting beliung adalah bencana yang paling sering terjadi dengan 568 catatan kejadian yang diikuti oleh banjir dengan 385 catatan kejadian [2]. Dibalik kejadian banjir yang tidak sedahsyat bencana alam lainnya, kerugian yang ditimbulkannya tidaklah kalah dengan bencana alam lainnya. Sesuai yang dicatat oleh BNPB, total kerugian yang ditimbulkan oleh banjir pada tahun 2019 saja telah mencapai angka miliaran rupiah. Kerugian tersebut diukur dari infrastruktur yang rusak

akibat banjir. Dampak dari banjir tidak hanya berupa kerusakan infrastruktur, melainkan juga gangguan kesehatan pada masyarakat, mengganggu jalannya alat transportasi, dan bahkan pada kasus tertentu dapat terjadi korban jiwa [4].

Tingginya risiko kerugian akibat banjir menyebabkan diperlukannya suatu cara dalam menanggulangi risiko kerugian tersebut. Terdapat dua aspek utama yang dapat dipersiapkan untuk menghadapi risiko akibat banjir yaitu aspek infrastruktur dan aspek finansial. Pada aspek infrastruktur, hal utama yang dilakukan adalah mencegah terjadinya banjir. Pada aspek ini dilakukan pembenahan pada saluran drainase dan segala macam tata cara penataan kota. Pada aspek finansial, salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah mengalihkan risiko tersebut kepada pihak-pihak lain yang lebih siap menanggung kerugian yang timbul. Zong Gang Ma dan Cho Qun Ma (2012) menyatakan bahwa walaupun bencana alam tidak terlalu sering terjadi, namun kerugian yang dihasilkan bisa menjadi sangat besar [5]. Oleh karena itu, diperlukan adanya perusahaan asuransi yang memberikan jaminan nilai dan mengalihkan risiko bencana dengan membeli kontrak reasuransi.

Keuntungan dari memiliki asuransi adalah korban bencana dapat meminta agar perusahaan asuransi menanggung seluruh maupun sebagian kerugian yang dialaminya. Dalam menjalankan tugasnya, akan menjadi sangat sulit bagi perusahaan asuransi untuk membayar secara langsung sebagian atau keseluruhan kerugian kepada seluruh pemegang kontrak asuransi yang menjadi korban secara langsung setiap kali terjadinya bencana sehingga diperlukan adanya instrumen keuangan lainnya. Salah satu instrumen keuangan yang paling banyak diminati adalah obligasi atau surat utang atau dikenal juga sebagai *bond*. Secara khususnya, risiko yang ditimbulkan dari bencana alam yang dihubungkan dengan obligasi atau *bond* dinamakan *catastrophe bond* atau disingkat menjadi (*CAT bond*) [6]. *CAT bond* mengalihkan risiko bencana dengan mengasuransikan kejadian bencana ke pasar modal.

Nilai kontrak dari instrumen keuangan dapat diperoleh dengan beberapa metode seperti solusi analitik, metode transformasi, dan metode numerik. Salah satu pendekatan numerik yang sering digunakan adalah simulasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo merupakan simulasi stokastik dimana solusi yang didapatkan berdasarkan proses acak (random). Menyerupai operasi matematika dalam suatu model, Monte Carlo dapat membentuk suatu logika dalam mencari solusi [7]. Simulasi Monte Carlo bekerja dengan cara membangkitkan bilangan acak untuk setiap iterasi yang terjadi.

Telah banyak dilakukan penelitian terkait *CAT bond*. Salah satunya, Bodoff (2009) memodelkan valuasi *CAT bond* sebagai fungsi linier dari kerugian yang ditimbulkan sebagai bahan untuk menganalisa harga pasar dari obligasi *CAT bond*. Van Son (2013) menunjukkan bahwa pada obligasi *CAT bond*, selain dipengaruhi oleh risiko bencana juga dipengaruhi volatilitas nilai tukar dan korelasinya dengan tingkat bunga [8]. Siyamah (2019) melakukan analisis perbandingan terhadap valuasi *CAT bond* yang dipengaruhi oleh nilai tukar mata uang dengan metode Monte Carlo dan kuasi Monte Carlo [9]. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan harga *CAT bond* banjir dengan faktor curah hujan yang dimodelkan dengan *Jump Diffusion Process* serta limpasan yang diperoleh dari perhitungan hidrolika dengan suku bunga konstan.

1.2 Rumusan Masalah

Berjalan dari latar belakang yang sudah dipaparkan sebelumnya, bisa diformulasikan rumusan masalah pada proposal Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana indeks kerugian banjir akibat curah hujan yang diperoleh dengan metode regresi?
2. Bagaimana model penghitungan harga *CAT bond* untuk kerugian banjir yang mengikuti model *Jump Diffusion Process*?

3. Bagaimana hasil analisis dari penghitungan harga CAT *bond* dengan pendekatan Monte Carlo?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada proposal Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Daerah yang dijadikan fokus penelitian adalah Kota Surabaya.
2. Diasumsikan curah hujan bersifat seragam pada seluruh wilayah pada suatu kelurahan.
3. Diasumsikan hujan hanya terjadi paling banyak satu kali dalam satu hari.
4. Diasumsikan jenis saluran terdistribusi seragam.
5. Diasumsikan saluran drainase yang digunakan di Surabaya adalah U-Ditch.
6. Diasumsikan spesifikasi saluran U-Ditch yang digunakan terdistribusi seragam.
7. Diasumsikan kekasaran permukaan saluran bersifat homogen.
8. Diasumsikan kemiringan saluran sama dengan kemiringan permukaan air dalam saluran.
9. Penghitungan CAT *bond* berdasarkan tingkat suku bunga yang konstan.
10. Diasumsikan kepadatan penduduk pada setiap kecamatan bersifat homogen.
11. Diasumsikan kerugian yang diakibatkan oleh banjir adalah konstan per jiwa terpapar.
12. Diasumsikan kerugian yang diakibatkan oleh banjir adalah konstan per meter persegi.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan pada proposal Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan indeks kerugian banjir akibat curah hujan yang diperoleh dengan metode regresi.
2. Mendapatkan model perhitungan harga CAT *bond* untuk kerugian banjir yang mengikuti model *Jump Diffusion Process*.
3. Mendapatkan hasil analisis dari penghitungan harga CAT *bond* dengan pendekatan Monte Carlo.

1.5 Manfaat

Adapun tujuan pada proposal Tugas Akhir adalah sebagai berikut.

1. Menginisiasi kajian lebih lanjut mengenai bencana banjir di Surabaya.
2. Menginisiasi kajian lebih lanjut mengenai model CAT *bond* untuk bencana banjir.
3. Sebagai referensi perusahaan reasuransi bencana alam dalam penentuan kontrak *bond*.
4. Sebagai referensi pemerintah Surabaya dalam pengembangan kota terkait pencegahan banjir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Neil dan Yunbo melakukan penghitungan harga dari CAT *bond* dengan teori harga berisiko pada tahun 2009 [10]. Pada penelitian mereka, diasumsikan harga CAT *bond* mengikuti fungsi linier dengan parameter berupa zona dan tingkatan bahaya. Mereka berhasil mendapatkan kesimpulan berupa bentuk yang ringkas untuk menggambarkan harga pasar dari CAT *Bond* dan mengukur perbedaan harga pada berbagai tingkatan bahaya dan zona. Hasil lain yang juga diperoleh adalah dapat diukur perubahan fungsi harga dari waktu ke waktu. Penentuan harga bergantung pada dua faktor dimana faktor pertama adalah tingkat pengembalian modal risiko yang diperlukan dalam konteks portofolio dan faktor kedua adalah ketidakpastian estimasi.

Zong-Gang Ma memperoleh formula penetapan harga CAT *Bond* dengan asumsi zero-coupon dan suku bunga stokastik [5]. Hasil simulasi menunjukkan bagaimana risiko dari bencana alam dan risiko suku bunga mempengaruhi harga obligasi harga CAT *Bond* dengan asumsi zero-coupon. Jia Shao memodelkan risiko CAT *Bond* terhadap tiga obligasi (gempa bumi, risiko umum dan risiko nuklir) dengan mengestimasi parameter model. Estimasi dilakukan dengan menggunakan data yang ada dan memperoleh hasil numerik menggunakan simulasi Monte Carlo [11].

2.2 Metode Regresi

Metode regresi memodelkan hubungan antara suatu peubah bebas dengan suatu peubah terikat [12]. Pada umumnya, peubah bebas disebut sebagai *predictor* sedangkan peubah terikat disebut *target*. Beberapa model regresi yang sering kali digunakan adalah regresi linear, regresi polinomial, maupun regresi Gaussian.

2.2.1 Regresi Linear

Regresi linear atau *linear regression* adalah regresi yang paling mudah untuk diimplementasikan. Regresi linear paling sederhana hanya menggunakan *predictor* berupa satu variabel bebas X dengan menganggap bahwa besarnya perubahan *target* atau variabel terikat Y untuk setiap perubahan X adalah konstan. Apabila dinyatakan dalam suatu persamaan, dapat dituliskan sebagai

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (2.1)$$

dengan

β_0 : perpotongan atau nilai Y_i ketika $X_i = 0$

β_1 : kemiringan garis atau laju perubahan Y_i

Laju perubahan yang konstan tidak selalu menggambarkan relasi yang tepat antara *predictor* dengan *target*. Beberapa contoh laju perubahan yang tidak konstan adalah relasi antara nilai indeks inflasi dengan waktu atau kadar konsentrasi obat dalam aliran darah. Model paling sederhana hasil pengembangan dari model linear adalah dengan menambahkan suatu *predictor* lainnya berupa variabel bebas sehingga menjadi polinomial derajat dua atau kuadratik. Model regresi polinomial paling sederhana dapat dituliskan menjadi

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 \quad (2.2)$$

Model ini dapat dikembangkan menjadi derajat yang lebih tinggi yang dapat ditulis menjadi

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \cdots + \beta_p X^p \quad (2.3)$$

Model di atas disebut sebagai model polinomial derajat p . Pengembangan dengan menjadikan derajat lebih tinggi dilakukan dengan tujuan meningkatkan fleksibilitas relasi antara *predictor* dengan *target* [13].

2.2.2 Regresi Proses Gaussian

Regresi Proses Gaussian atau *Gaussian Process Regression* adalah salah satu regresi tanpa mengharuskan data terdistribusi normal. *Gaussian Process Regression* memanfaatkan pendekatan Bayesian dalam melakukan regresi. Dalam *Gaussian Process Regression* terdapat istilah distribusi prior dan distribusi posterior. Distribusi prior adalah peluang parameter berdasarkan data hasil observasi. Distribusi posterior adalah peluang bersyarat yang diperoleh dari informasi distribusi prior dan *dataset*. Untuk memudahkan pemahaman, dimisalkan $y = wx + \varepsilon$. Distribusi prior adalah $p(w)$ sedangkan distribusi prior diperoleh dengan persamaan

$$p(w|y, X) = \frac{p(y|X, w)p(w)}{p(y|X)} \quad (2.4)$$

dengan

w	: nilai parameter
X	: <i>dataset</i> atau himpunan <i>predictor</i>
y	: <i>target</i>
$p(w y, X)$: distribusi posterior
$p(y X, w)$: <i>likelihood</i>
$p(y X)$: <i>marginal likelihood</i>

Untuk mendapatkan prediksi pada titik x^* , digunakanlah distribusi prediktif yang dapat dihitung dengan memboboti semua kemungkinan hasil prediksi dengan distribusi posterior yang telah dihitung. Adapun apabila dituliskan, distribusi prediktif berupa

$$p(f^*|x^*, y, X) = \int_w p(f^*|x^*, w)p(w|y, X)dw \quad (2.5)$$

Prior dan *likelihood* sering kali diasumsikan terdistribusi normal (Gaussian) untuk memudahkan proses integrasi. Berdasarkan asumsi ini dan penyelesaian distribusi prediktif, diperoleh distribusi Gaussian dimana dapat diperoleh titik hasil prediksi dengan rata-rata dan varian yang diperoleh [14].

2.3 Estimasi Parameter

Untuk memudahkan mengenali karakteristik dari suatu data, sering kali data tersebut didekati dengan model tertentu disertai parameter tertentu. Untuk menentukan parameter-parameter yang belum diketahui ini, dilakukan estimasi parameter. Terdapat beberapa cara untuk melakukan estimasi parameter seperti secara statistik ataupun *machine learning*. Namun seiring berkembangnya teknologi, cara *machine learning* menjadi lebih sering digunakan. Dua algoritma yang populer dalam mencari parameter secara *machine learning* adalah algoritma *Grid Search* dan *Random Search*.

2.3.1 Algoritma *Grid Search*

Algoritma *Grid Search* juga dikenal dengan *hyperparameter optimization* secara tradisional. Secara umum, algoritma ini menggunakan sebuah matriks berdimensi d dimana d menyatakan banyaknya parameter. Elemen-elemen dari matriks ini adalah seluruh kemungkinan pasangan nilai-nilai parameter yang ada atau (x_1, x_2, \dots, x_d) dengan x_1 adalah salah satu kemungkinan nilai dari parameter pertama, x_2 adalah salah satu kemungkinan nilai dari parameter kedua, dan seterusnya. Tahapan-tahapan dari algoritma ini adalah

1. Tentukan batas bawah dan batas atas dari nilai setiap parameter untuk membentuk *grid*.
2. Untuk semua elemen pada *grid* lakukan langkah berikut.
 - (a). Hitung nilai berdasarkan *objective function*.
 - (b). Apabila nilai elemen ini lebih baik dari nilai pada elemen sebelumnya, catat nilai parameter pada elemen ini.

Oleh karena dilakukan uji untuk semua kemungkinan, algoritma *Grid Search* merupakan algoritma yang membutuhkan memori yang besar dan waktu komputasi yang lama. Namun dibalik kekurangannya, algoritma ini dapat menemukan parameter terbaik global

karena algoritma ini memeriksa semua kemungkinan yang ada. Sehingga, algoritma ini baik untuk data yang tidak terlalu banyak ataupun model yang tidak terlalu kompleks dalam hal ini parameter tidak terlalu banyak.

2.3.2 Algoritma *Random Search*

Algoritma *Random Search* adalah suatu teknik dimana kombinasi acak dari nilai parameter digunakan untuk mencari solusi terbaik terhadap model yang dibentuk. Penggunaan unsur acak menimbulkan keberagaman yang tinggi dari hasil yang diperoleh. Dari keacakan ini pula, algoritma *Random Search* dapat menemukan solusi optimum lebih cepat. Solusi optimum yang ditemukan bisa berupa solusi optimum global atau hanya solusi optimum lokal. Di balik kurangnya akurasi, algoritma ini dapat memangkas waktu komputasi yang diperlukan dengan sangat signifikan dan juga lebih mudah untuk diimplementasikan. Tahapan-tahapan dari algoritma ini adalah

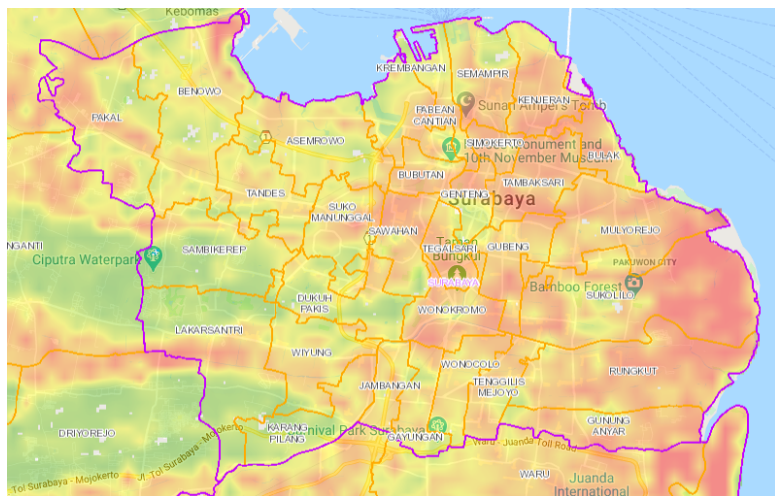
1. Tentukan batas bawah dan batas atas dari nilai setiap parameter untuk membentuk *grid*.
2. Tentukan banyak iterasi yang akan dilakukan.
3. Hingga banyak iterasi lakukan langkah berikut.
 - (a). Pilih secara acak elemen pada *grid*.
 - (b). Hitung nilai berdasarkan *objective function*.
 - (c). Apabila nilai elemen ini lebih baik dari nilai pada elemen sebelumnya, catat nilai parameter pada elemen ini.

2.4 Banjir

Banjir adalah suatu bencana alam berupa tergenangnya lahan yang biasanya kering seperti pemukiman penduduk, pusat kota, maupun seluruh jalur transportasi darat. Banjir terjadi apabila debit

air yang mengalir pada suatu saluran melebihi kapasitas debit air yang mampu dialirkan oleh saluran air pada wilayah tersebut [4]. Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan debit hidrologi dan debit hidrolika per kelurahan untuk menentukan terjadi atau tidaknya banjir pada kelurahan tersebut.

Banjir yang menerjang suatu wilayah dapat merusak bangunan-bangunan yang ada bahkan dapat menghanyutkannya pada beberapa kasus. Banjir juga dapat menimbulkan korban mulai dari korban luka-luka hingga korban jiwa. Upaya yang dapat dilakukan terhadap banjir meliputi upaya pencegahan banjir dan upaya penanggulangan kerugian akibat banjir. Upaya pencegahan yang dapat dilakukan adalah normalisasi sungai, pembangunan waduk, dan lain sebagainya. Sedangkan salah satu upaya penanggulangan yang dapat dilakukan adalah menerbitkan surat utang bencana atau *CAT Bond* untuk bencana banjir.



Gambar 2.1. Peta Bahaya Banjir Surabaya

Dari Gambar 2.1 terlihat bahwa tingkat bahaya banjir tertinggi di Kota Surabaya berada pada wilayah Timur. Semakin merah warna

pada wilayah menunjukkan bahwa wilayah tersebut semakin rentan terhadap banjir. Sebaliknya, semakin hijau warna pada wilayah menunjukkan bahwa wilayah tersebut semakin aman dari banjir.

2.5 Debit Hidrologi

Terdapat banyak kelompok metode untuk memperkirakan debit air yang akan melalui suatu saluran. Beberapa kelompok metode yang ada adalah metode analisis probabilitas frekuensi debit banjir, metode analisis regional, maupun metode empiris. Pada Tugas Akhir ini digunakan metode rasional yang termasuk kelompok metode empiris [15]. Metode rasional adalah suatu metode yang tertua dan terkenal dibandingkan metode empiris lainnya.

Metode rasional dapat digunakan apabila hujan yang terjadi memiliki intensitas yang merata di seluruh daerah pengaliran dengan durasi terjadinya hujan paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi. Syarat lainnya adalah koefisien pengaliran adalah tetap untuk periode waktu apapun. Secara umum, metode rasional dinyatakan sebagai [16]

$$Q_a = 0.278 \times C \times I_t \times A \quad (2.6)$$

dengan

Q_a : debit hidrologi

C : koefisien pengaliran

I : intensitas maksimum curah hujan (mm/jam)

A : luas daerah pengaliran (km²)

Pada persamaan di atas diperlukan adanya koefisien pengaliran. Nilai koefisien pengaliran berbeda-beda tergantung pada jenis saluran air, struktur susunan saluran air, dan lain sebagainya. Koefisien pengaliran pada suatu wilayah yang terdiri dari beberapa daerah dengan koefisien pengaliran yang berbeda-beda dapat didekati dengan menggunakan nilai koefisien pengaliran gabungan [17]. Koefisien pengaliran gabungan berupa rata-rata terbobot dari

koefisien pengaliran. Nilai koefisien pengaliran gabungan dapat diperoleh dengan rumus

$$\bar{C} = \frac{\sum_{j=1}^n C_j A_j}{\sum_{j=1}^n A_j} \quad (2.7)$$

dengan

- \bar{C} : nilai koefisien pengaliran gabungan
- C_j : koefisien pengaliran saluran jenis ke- j
- A_j : luas saluran jenis ke- j
- n : banyaknya jenis saluran

Untuk menggunakan rumus di atas, perlu terlebih dahulu mencari nilai mencari intensitas maksimum curah hujan. Untuk mencari nilai dari intensitas maksimum curah hujan (I) digunakanlah rumus Mononobe yang dituliskan sebagai [18]

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.8)$$

dengan

- I_t : intensitas maksimum (mm/jam) untuk hujan dengan waktu konsentrasi t
- R_{24} : curah hujan maksimum dalam 24 jam

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan saluran untuk mengalirkan air. Waktu konsentrasi dihitung sebagai waktu maksimum suatu saluran untuk mengalirkan air hingga keluar dari saluran tersebut. Waktu konsentrasi dihitung dengan menggunakan rumus Kerby. Rumus Kerby dituliskan sebagai [19]

$$t_c = 1.44 \left(n_k \times \frac{l}{\sqrt{s}} \right)^{0.467} \quad (2.9)$$

dengan

- t : waktu konsentrasi (menit)
 n_k : koefisien kekasaran
 l : panjang lintasan air terjauh
 s : kemiringan rata-rata saluran

Nilai dari koefisien kekasaran bergantung pada jenis bahan yang digunakan untuk membuat saluran air. Semakin kasar bahan yang digunakan untuk membuat saluran akan mengakibatkan saluran air akan semakin besar. Besarnya gaya gesek akan mempengaruhi lamanya air berada pada saluran.

2.6 Debit Hidrolika

Pada Tugas Akhir ini digunakan persamaan Manning untuk memperoleh debit hidrolika. Syarat yang diperlukan agar persamaan Manning dapat digunakan adalah kemiringan saluran sama dengan kemiringan permukaan air dalam saluran. Adapun rumus Manning dituliskan sebagai

$$Q_b = \frac{1}{n_m} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times s^{\frac{1}{2}} \times A_{cs} \quad (2.10)$$

dengan

- Q_b : debit hidrolika
 n_m : koefisien kekasaran Manning
 R_h : jari-jari hidrolika
 s : kemiringan saluran
 A_{cs} : luar penampang saluran

Nilai koefisien kekasaran Manning menyatakan kekasaran atau gesekan yang diberikan saluran kepada aliran. Jari-jari hidrolika adalah rasio dari luas penampang saluran dengan keliling penampang yang terkena air saat proses pengaliran air sehingga dapat ditulis sebagai [20]

$$R_h = \frac{A_{cs}}{P_w} \quad (2.11)$$

dengan

R_h : jari-jari hidrolika

A_{cs} : luas penampang saluran

P_w : keliling penampang yang terkena air

Dari pengertian di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai jari-jari hidrolika akan semakin efisien saluran tersebut dalam mengalirkan air. Nilai luas penampang saluran diperoleh dari disesuaikan dengan spesifikasi saluran yang digunakan.

2.7 Faktor Penentu Kerugian

Terdapat banyak faktor yang dapat diperhatikan untuk menentukan kerugian yang muncul akibat bencana banjir. Pada Tugas Akhir ini, faktor yang diperhatikan untuk menentukan kerugian yang ditimbulkan banjir adalah faktor wilayah, faktor jiwa, dan faktor pengali.

2.7.1 Faktor Wilayah

Dari suatu wilayah terendam banjir, tidak benar-benar seluruh wilayahnya terendam banjir. Hal ini mungkin terjadi dikarenakan faktor eksternal seperti perbedaan ketinggian di wilayah tersebut, lahan hijau, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, diberikanlah unsur keacakan untuk mengetahui luas wilayah yang terendam oleh banjir.

Untuk setiap wilayah yang diperkirakan akan terpapar banjir, luasan wilayah yang terendam banjir adalah luas wilayah tersebut dikalikan dengan suatu bilangan acak dengan nilai antara 0 dan 1. Apabila dituliskan dalam suatu persamaan menjadi

$$F_a = \alpha \times C_a \quad (2.12)$$

dengan

- F_a : *flooded area* atau luas wilayah terendam banjir
 α : faktor keacakan terdistribusi $U(0, 1)$
 C_a : *candidate area* atau luas wilayah yang diperkirakan akan terendam banjir

2.7.2 Faktor Jiwa

Tentunya semakin banyak individu yang terpapar banjir, akan semakin besar kerugian yang muncul dari segi kesehatan. Karena tidak semua area pada wilayah terpapar terendam banjir, maka tidak semua orang pula yang menjadi korban terendam banjir. Oleh karena itu, sama seperti besar area terendam, diperlukan faktor keacakan untuk menghitung banyaknya jiwa yang menjadi korban pada wilayah tersebut.

Untuk setiap wilayah yang terpapar banjir, banyaknya individu yang terpapar banjir adalah banyaknya jiwa pada wilayah tersebut dikalikan dengan suatu bilangan acak antara 0 dan 1 yang apabila dituliskan menjadi persamaan berikut.

$$F_p = \beta \times C_p \quad (2.13)$$

dengan

- F_p : *flooded people* atau banyaknya jiwa terpapar banjir
 β : faktor keacakan terdistribusi $U(0, 1)$
 C_p : *candidate people* atau banyaknya jiwa yang diperkirakan akan terpapar banjir

2.7.3 Faktor Pengali

Faktor pengali berupa perbandingan debit hidrologi dengan debit hidrolika. Hal ini dijadikan bahan menghitung kerugian dikarenakan semakin besar debit limpasan, semakin tinggi pula banjir yang ditimbulkan. Debit limpasan semakin besar bila debit

hidrologi semakin besar dan akan menjadi semakin kecil bila debit hidrolika semakin besar.

Berdasarkan penjelasan di atas diperoleh bahwa faktor pengali berbanding lurus dengan debit hidrologi dan berbanding terbalik dengan debit hidrolika. Adapun untuk menghitung faktor pengali atau *multiplier factor* per wilayah per waktu digunakanlah persamaan berikut.

$$M_f = \frac{Q_a}{Q_b} \quad (2.14)$$

dengan

M_f : *multiplier factor* atau faktor pengali

Q_a : debit hidrologi

Q_b : debit hidrolika

2.8 Model Kerugian Banjir

Semakin kuat banjir yang timbul, kerugian berupa kerusakan tembok dan pondasi rumah semakin besar akibat luasan tembok yang terendam banjir semakin besar dan tekanan yang dialami pondasi semakin besar. Selain itu, semakin dahsyat banjir yang terjadi akan mengakibatkan kerusakan pada jalan yang lebih signifikan. Untuk kerusakan ringan, jalanan menjadi berlubang maupun berge-lombang. Sedangkan untuk kerusakan berat, jalan menjadi retak bahkan dapat terjadi patahan pada badan jalan.

Faktor pengali dihitung per wilayah untuk setiap waktu. Apabila dituliskan dalam suatu persamaan, diperoleh rumus menghitung kerugian per wilayah seperti berikut.

$$L_w = (L_p \times F_p + L_a \times F_a) \times M_f \quad (2.15)$$

dengan

- L_w : *Loss per watersheds* atau kerugian per wilayah
 L_p : *Loss per people* atau kerugian per jiwa terpapar
 F_p : *Flooded people* atau banyaknya jiwa terpapar
 L_a : *Loss per area* atau kerugian per m²
 F_a : *Flooded area* atau luas daerah terendam
 M_f : *Multiplier factor* atau factor pengali

2.9 Algoritma Deteksi Lompatan

Terdapat banyak sekali penelitian terkait teknik untuk mendeteksi perubahan yang signifikan atau disebut juga sebagai lompatan pada suatu *time series*. Ada banyak wujud dari lompatan ini seperti *outlier* atau datum yang bernilai ekstrem dan ada juga perubahan varian data dengan karakteristik dan tren yang berbeda [21]. Beberapa dari teknik yang ada mengharuskan adanya sebuah model data dimana parameter harus ditentukan terlebih dahulu sementara metode lainnya bersifat non parametrik. Pada kasus suatu *time series* yang bersifat acak tentunya sulit untuk menentukan model dan parameter yang tepat untuk data *time series* tersebut. Oleh karena itu, banyak peneliti cenderung memilih untuk menggunakan metode non parametrik. Contoh dari metode non parametrik ini adalah algoritma *block average* dan algoritma *sequential average*

2.9.1 Algoritma Block Average

Algoritma *Block Average* atau algoritma rata-rata blok merupakan algoritma yang sangat intuitif. Algoritma ini membandingkan nilai rata-rata dari dua blok data. Apabila perbedaan kedua rata-rata ini melebihi batas atau *threshold* tertentu maka dikatakan terdapat suatu lompatan. Batas yang digunakan dapat berupa fraksional mutlak maupun standar deviasi. Tahapan-tahapan dari algoritma ini adalah

1. Tentukan panjang blok. Panjang blok yang biasanya digu-

nakan adalah sepersepuluh dari panjang keseluruhan data.

2. Tentukan batas yang akan digunakan. Batas yang biasanya digunakan adalah tiga kalinya standar deviasi.
3. Untuk semua blok data lakukan langkah berikut.
 - (a). Hitung nilai rata-rata dari masing-masing blok.
 - (b). Hitung perbedaan kedua nilai rata-rata.
 - (c). Apabila perbedaan kedua nilai rata-rata melebihi batas, catat bahwa telah ditemukan lompatan.

Pada langkah kedua disebutkan bahwa batas yang biasanya digunakan adalah tiga kalinya standar deviasi. Hal ini berdasarkan pada aturan empiris pada bidang statistika [22]. Algoritma ini memiliki beberapa kelebihan seperti algritma ini sederhana, mudah dipahami, dan dapat menunjukkan perubahan selain lompatan. Namun, algoritma ini tidak dapat menunjukkan secara langsung lokasi lompatan terjadi maupun besarnya lompatan yang terjadi [23].

2.9.2 Algoritma *Sequential Average*

Algoritma ini mirip dengan algoritma *Block Average*. Hanya saja bila algoritma *Block Average* mencari lompatan dengan membagi data menjadi blok-blok tertentu, algoritma *Sequential Average* mencari lompatan dari data secara berurutan. Tahapan-tahapan dari algoritma ini adalah

1. Tentukan panjang data pertama yang tidak terdapat lompatan.
2. Untuk semua datum yang dimulai dengan datum setelah datum terakhir pada langkah 1 lakukan langkah berikut.
 - (a). Hitung nilai rata-rata lokal hingga datum saat ini.
 - (b). Hitung standar deviasi lokal hingga datum saat ini.

(c). Apabila selisih datum saat ini dengan rata-rata lokal dibagi dengan standar deviasi lokal bernilai lebih dari 3, catat bahwa lompatan terjadi pada datum ini.

Pada langkah 2.(c) terdapat suatu nilai batas yaitu 3 yang juga berdasarkan aturan empiris. Beberapa kelebihan dari algoritma ini adalah dapat menentukan dengan pasti datum mana dimana lompatan terjadi dan dapat diketahui besar lompatan yang terjadi [24]. Namun, algoritma ini juga memiliki beberapa kekurangan seperti algoritma ini lebih kompleks pada versi lainnya, tidak dapat menunjukkan perubahan selain lompatan, dan lebih lambat walau tidak terlalu signifikan.

2.10 Model *Jump Diffusion Process*

Jump Diffusion Process adalah suatu proses stokastik yang melibatkan proses lompatan dan proses difusi. Proses lompatan adalah salah satu jenis proses stokastik yang bergerak secara diskrit. Proses lompatan biasanya dimodelkan berupa proses Poisson sederhana maupun gabungan. Proses difusi adalah sebuah solusi untuk suatu persamaan diferensial stokastik berupa proses Markov waktu kontinu. Contoh dari proses difusi adalah gerak Brown.

Model *Jump Diffusion Process* dipopulerkan oleh Merton dengan menggunakannya untuk melakukan prediksi harga opsi pada 1976. Yang membedakan antara *Jump Diffusion Process* Merton dengan *Jump Diffusion Process* lainnya adalah besarnya lompatan yang terjadi. Merton mengasumsikan besarnya lompatan mengikuti distribusi normal. Model *Jump Diffusion Process* oleh Merton dapat dituliskan sebagai [25]

$$\begin{aligned}\frac{dS_t}{S_t} &= \mu dt + \sigma dW_t + (Y - 1)dN_t \\ d\ln(S_t) &= \mu dt + \sigma dW_t + (Y - 1)dN_t\end{aligned}\tag{2.16}$$

Apabila aspek lompatan pada persamaan di atas dihilangkan atau diberi nilai sama dengan nol, model di atas akan berubah menjadi

model *Diffusion Process*.

2.11 *Catastrophe Bond (CAT Bond)*

CAT Bond adalah suatu sekuritas penting yang mengelola kerugian akibat terjadinya bencana alam. *CAT Bond* mentransfer risiko kerugian akibat bencana alam kepada pihak lain dengan tingkat suku bunga yang besar. Perantara keuangan (*financial intermediary*) seperti perusahaan reasuransi atau bank investasi akan menerbitkan obligasi (*CAT bond*) untuk peristiwa bencana tertentu yang dapat diasuransikan seperti gempa bumi [26]. Jika tidak terjadi gempa bumi, investor dibayar dengan tingkat suku bunga investasi yang besar, tetapi jika gempa bumi terjadi dan klaim melebihi jumlah yang ditentukan, investor harus merelakan sepenuhnya atau sebagian dari investasi dan bunga yang dihasilkan.

2.11.1 Prinsip Kerja *CAT Bond*

Fitur obligasi *CAT Bond* adalah pembayaran pokok pinjaman tergantung pada kerugian dari peristiwa yang diasuransikan. Struktur *CAT Bond* dapat diringkas sebagai berikut [27]:

1. Sponsor menetapkan tujuan penerbitan obligasi dan sebagai sumber perlindungan reasuransi serta berkewajiban membayar premi atas kontrak reasuransi.
2. Issuer menerbitkan dan menjual obligasi kepada investor. Dana dari Investor diinvestasikan dalam akun jaminan.
3. Bunga dari hasil investasi Issuer dibayarkan kepada investor.
4. Jika terjadi bencana tertentu, dana akan ditarik dari akun jaminan dan dibayarkan kepada Sponsor. Namun, jika tidak ada terjadi bencana sampai saat jatuh tempo, 100% investasi pokok dibayarkan kepada Investor.

Terdapat tiga jenis pemicu (*trigger*) dalam *Insurance Linked Securities* (ILS) yaitu: *indemnity*, *index*, dan *parametric*. *Trigger indemnity* melibatkan kerugian aktual dari perusahaan asuransi penerbit obligasi. Sebagai contoh, peristiwa yang mengakibatkan kerugian dari perusahaan asuransi akibat gempa bumi di daerah tertentu di suatu negara selama periode obligasi. Kemudian, *trigger index* adalah nilai yang dibuat dari taksiran kerugian oleh *Property Claim Service* (PCS). *Trigger parametric* didasarkan pada parameter bencana alam yang dapat diukur misalnya skala Richter yang menyatakan kekuatan guncangan gempa bumi. Dalam Tugas Akhir ini, trigger yang digunakan adalah indeks resiko banjir berdasarkan perhitungan hidrologi dan hidrolika.

2.11.2 Ukuran *Forward Martingale*

Dalam ilmu keuangan, ukuran *forward* adalah ukuran penentuan harga untuk obligasi (*bond*) dengan waktu akhir kontrak T . Terdapat dua faktor yang diperhatikan pada ukuran *forward* yaitu faktor *accumulate* dan faktor *discount* [28]. Faktor *accumulate* atau yang dinotasikan dengan A_t menyatakan nilai terakumulasi dari 1 satuan uang setelah t waktu. Faktor *accumulate* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$A(0, t) = \exp \left(\int_0^t r_s ds \right) \quad (2.17)$$

Pada persamaan di atas terdapat r_s yang menyatakan nilai suku bunga yang bergantung pada waktu. Berkebalikan dengan faktor *accumulate*, faktor *discount* menyatakan nilai yang setara dengan 1 satuan uang sebelum t waktu. Faktor *discount* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$D(0, t) = \exp \left(- \int_0^t r_s ds \right) \quad (2.18)$$

Pada teori peluang, *martingale* adalah kondisi dimana ekspektasi bersyarat dari nilai yang akan datang dari sebuah proses stokastik

sama dengan nilai sekarang. Untuk x_1, x_2, x_3, \dots merupakan barisan peubah acak dari proses stokastik waktu diskrit, proses stokastik dikatakan *martingale* apabila memenuhi persamaan berikut.

$$E(x_{n+1} | x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = x_n \quad (2.19)$$

Selain persamaan di atas, *martingale* juga memenuhi pertidaksamaan berikut.

$$E(|x_n|) < \infty \quad (2.20)$$

Penggunaan istilah *forward martingale* didasarkan pada harga *forward* yang bersifat *martingale*. Hal ini dibuktikan pertama kali oleh Geman pada tahun 1989. Ukuran *forward martingale* atau yang dinotasikan dengan Q_T didefinisikan sebagai ukuran ekuivalen untuk *zero coupon bond* bebas resiko dengan nilai \$1 pada saat T . Pada tahun 1995, Geman beserta tim berhasil membuktikan sifat fundamental dari ukuran *forward martingale* yang dapat dinyatakan sebagai

$$\mathbb{E}_Q \left[D(t, T) \middle| \mathcal{F}_t \right] = D(t, T) \quad (2.21)$$

dimana \mathcal{F}_t merupakan filtrasi dalam *martingale* yang menyatakan informasi pasar [29].

2.11.3 Valuasi CAT Bond

Terdapat banyak pilihan cara memperoleh solusi dalam melakukan valuasi CAT Bond. Ada yang mencari solusi secara analitik dan ada pula yang mencari solusi secara numerik. Solusi analitik adalah solusi dengan cara mengubah kerugian yang bersifat stokastik menjadi deterministik dengan cara tertentu, sedangkan solusi numerik bekerja dengan cara membuat simulasi kerugian yang mungkin ditimbulkan. Salah satu solusi yang ada adalah hasil penelitian Parcollet beserta tim pada tahun 2012.

Parcollet beserta tim mengusulkan bahwa harga dari CAT Bond dapat didekati dengan ekspektasi nilai hasil *discount* dari

arus kas yang terjadi. Apabila dituliskan dalam bentuk persamaan diperoleh persamaan

$$P(t, T) = \mathbb{E}_Q \left[D(t, T) \cdot \Psi \middle| \mathcal{F}_t \right] \quad (2.22)$$

dimana $P(t, T)$ menyatakan harga *CAT Bond* pada waktu t dengan waktu akhir kontrak T dan Ψ menyatakan arus kas [8].

2.12 Pembangkitan Bilangan Acak

Terdapat dua jenis bilangan acak yang dapat dibangkitkan yaitu bilangan acak semu dan bilangan acak kuasi. Bilangan acak semu adalah bilangan acak yang dibangkitkan berdasarkan prinsip matematika tertentu. Pada Tugas Akhir ini, dibangkitkan bilangan acak terdistribusi normal dengan rata-rata dan varian tertentu pada MATLAB.

Bilangan acak kuasi merupakan suku-suku pada suatu barisan deterministik yang pembangkitannya menggunakan algoritma khusus [30]. Barisan bilangan acak kuasi merupakan salah satu bentuk barisan *low discrepancy*. *Low discrepancy* adalah suatu kondisi dimana selisih antar bilang terdekat relatif sama. Prinsip dasar konstruksi barisan bilangan acak kuasi adalah dengan mempartisi interval $[0, 1]$ yang kemudian diambil titik tengah dari tiap-tiap partisi tersebut. Ada beberapa jenis barisan bilangan acak kuasi *low discrepancy* seperti barisan van der Corput, Halton, Sobol, dan Faure. Perbedaan antar barisan acak ini adalah cara pembangkitannya.

2.13 Pendekatan Monte Carlo

Algoritma Monte Carlo digunakan dengan istilah sampling statistik. Salah satu keuntungan dari algoritma Monte Carlo sendiri adalah tidak perlukannya solusi analitik dari suatu permasalahan sebab solusi yang dihasilkan adalah solusi numerik optimum global [31]. Selain itu, algoritma Monte Carlo berbentuk iterasi/re-kursif,

sehingga perlu dilakukan diskretisasi untuk beberapa fungsi yang kontinu.

Prinsip algoritma Monte Carlo adalah merata-rata N kemungkinan percobaan yang dibangkitkan secara acak, sehingga ketika dirata-rata akan mendekati jawaban aslinya. Secara matematis, bisa dituliskan sebagai [32]

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(x_i) \rightarrow \int_0^1 f(x) dx = E(f(x)) \quad (2.23)$$

untuk $N \rightarrow \infty$ dan $x_i \sim U(a, b)$.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang digunakan dalam penyelesaian masalah Tugas Akhir ini. Adapun langkah-langkah sistematis berupa *flowchart* di bawah ini.



Gambar 3.1. *Flowchart* Proses Pengerjaan Tugas Akhir

Adapun penjelasan dari masing-masing tahapan dari *flowchart* diatas adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur

Tahap pertama adalah melakukan studi referensi mengenai curah hujan, metode regresi, banjir, debit hidrologi, debit hidrolika, CAT *bond* dan kajian algoritma Monte Carlo. Diperlukan pula studi referensi mengenai metode regresi yang paling tepat untuk melakukan prediksi curah hujan maksimum harian pada data yang ada. Studi literatur yang dilakukan bersumber pada *e-book*, journal, dan paper internasional.

2. Preprocessing Data

Data yang dijadikan acuan berupa jenis-jenis saluran yang ada di Surabaya dan curah hujan maksimum harian pada kelurahan-kelurahan yang ada di Surabaya. Data yang diperoleh perlu diproses terlebih dahulu. Data curah hujan maksimum dibersihkan dengan menghapus data kelurahan yang terdapat bagian yang hilang karena tidak dapat dijadikan acuan. Adapun data jenis saluran perlu dibersihkan dari data-data yang kurang relevan. Selain itu, dilakukan pula perhitungan jari-jari hidrolika untuk setiap spesifikasi saluran U-Ditch menggunakan Persamaan 2.11.

3. Perhitungan Risiko Banjir

a. Prediksi Curah Hujan Maksimum

Curah hujan maksimum diprediksi dengan menggunakan metode regresi. Metode Regresi yang digunakan adalah *Linear Regression* dan *Gaussian Process Regression* seperti pada Bab 2.2. Adapun yang diprediksi bukanlah curah hujan maksimum harian melainkan curah hujan maksimum kumulatif. Hal ini dilakukan untuk mencegah banyaknya data yang bernilai nol yang menyulitkan dalam menghitung *error* yang terbentuk.

Proses implementasi memanfaatkan *toolbox* bernama *Regression Learner* pada Matlab.

b. Perhitungan Debit Hidrologi

Hasil prediksi curah hujan maksimum diproses untuk memperoleh intensitas curah hujan menggunakan rumus Mononobe pada Persamaan 2.8. Waktu konsentrasi diperoleh dengan menggunakan rumus Kerby sesuai Persamaan 2.9 dimana dilakukan pengacakan distribusi jenis saluran sebelumnya. Selanjutnya, dilakukan perhitungan debit hidrologi berdasarkan metode rasional berdasarkan Persamaan 2.6.

c. Perhitungan Debit Hidrolika

Hasil pengacakan distribusi jenis saluran pada tahap sebelumnya digunakan untuk memperkirakan kemampuan pengaliran saluran air di kelurahan tersebut. Pada setiap jenis saluran, dilakukan perhitungan jari-jari hidrolika yang untuk selanjutnya digunakan untuk memperoleh kecepatan pengaliran berdasarkan rumus Manning.

d. Perhitungan Kerugian Banjir

Debit hidrologi dan debit hidrolika digunakan untuk melakukan prediksi terkait kelurahan mana saja yang akan terpapar banjir. Dari setiap kelurahan yang terpapar, dicari banyaknya penduduk yang terpapar dan luas dari setiap kelurahan. Dikarenakan tidak adanya data jumlah penduduk per kelurahan, jumlah penduduk dari suatu kelurahan dicari dengan menggunakan proporsi luas kelurahan dengan luas kecamatan. Hal ini bisa dilakukan dengan asumsi kepadatan penduduk bersifat seragam untuk setiap kecamatan yang diamati.

e. Pemodelan Kerugian Banjir

Kerugian banjir yang diperoleh digunakan untuk membentuk model kerugian banjir. Kerugian banjir dimo-

delkan dengan mengikuti *Jump Diffusion Process*. Agar dapat memodelkannya, perlu terlebih dahulu mencari parameter seperti *drift* dan volatilitas dari kerugian banjir. Selanjutnya dilakukan deteksi lompatan untuk memperoleh frekuensi lompatan, rata-rata besar lompatan, dan standar deviasi lompatan.

4. Penentuan Harga CAT Bond

a. Pembentukan Model CAT Bond

Sebelum membentuk model CAT bond, perlu dibuat terlebih dahulu struktur arus kas. Model CAT bond dapat diperoleh dengan mencari ekspektasi dari struktur arus kas yang terbentuk. Ekspektasi ini diperoleh dengan melakukan simulasi berdasarkan struktur arus kas dan model kerugian banjir yang telah diperoleh dari tahap sebelumnya.

b. Simulasi

Setelah mendapatkan model yang diperlukan, dilakukan simulasi dengan menggunakan MATLAB R2019b. Simulasi Metode Monte Carlo dimulai dengan melakukan pembangkitan bilangan acak semu yang terdistribusi normal. Setelah itu, dikonstruksi algoritma Monte Carlo untuk mendapatkan validasi model.

5. Penarikan Kesimpulan dan Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Sebagai tahap terakhir, setelah didapatkan hasil yang bagus, dilakukan analisis hasil yang dikaitkan dengan prinsip-prinsip yang ada pada CAT bond. Pada bagian ini dipaparkan kesimpulan dari model yang terbentuk serta beberapa saran rencana penelitian untuk periode selanjutnya.

BAB IV

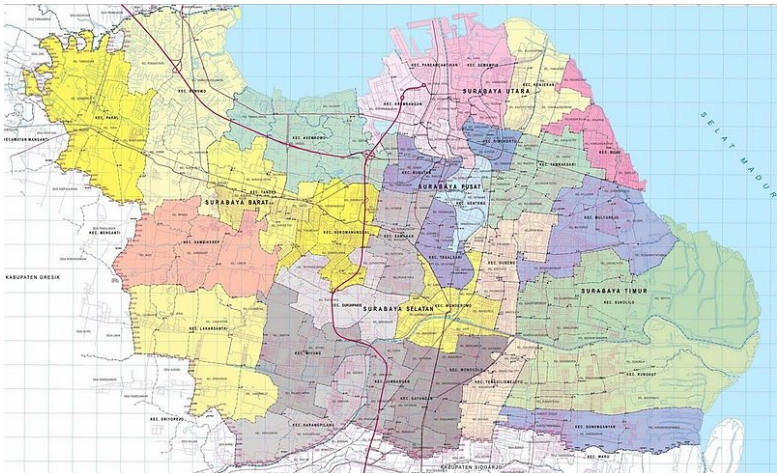
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Praproses Data

Sebagai tahap pertama, terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam proses utama. Beberapa hal yang perlu dilakukan ini adalah mempersiapkan data curah hujan maksimum harian dan data spesifikasi saluran U-Ditch. Data curah hujan maksimum harian digunakan pada proses menghitung debit hidrologi, sedangkan data spesifikasi saluran U-Ditch digunakan pada proses menghitung debit hidrolika.

4.1.1 Seleksi Data

Data curah hujan maksimum harian di Surabaya dipersiapkan sebagai bahan dalam melakukan prediksi curah hujan maksimum harian. Peta Kota Surabaya ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Peta Kota Surabaya

Setelah diperiksa, ditemukan adanya *missing value* pada data yang diperoleh. Hal ini dapat terjadi karena tidak tercatatnya data pada beberapa kelurahan dan pada waktu tertentu ataupun rusaknya alat pengukur curah hujan. Oleh karena itu, data dari setiap kelurahan yang terdapat *missing value* tidak akan dijadikan data acuan untuk Tugas Akhir ini. Langkah yang dilakukan adalah mengeliminasi data kelurahan yang tidak tercatat dengan baik. Kelurahan yang tidak tereliminasi setelah proses seleksi data disertai dengan luas kelurahan dan jumlah penduduk ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Tabel Data Kelurahan Hasil Seleksi Data

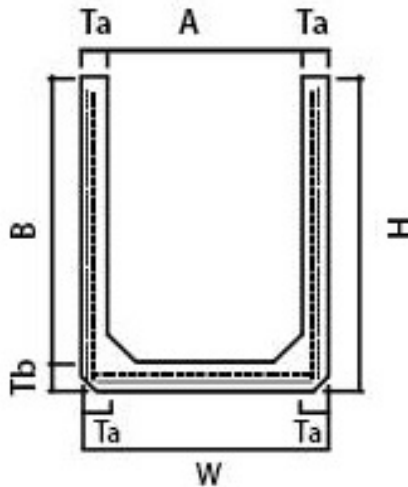
Nama Kelurahan	Luas Kelurahan	Jumlah Penduduk
Keputih	14.400.000 m ²	69.521 jiwa
Kedung Cowek	1.130.000 m ²	7.611 jiwa
Gubeng	1.100.000 m ²	19.510 jiwa
Wonorejo	6.480.000 m ²	36.152 jiwa
Wonokromo	1.000.000 m ²	19.785 jiwa
Gunung Sari	1.630.000 m ²	10.246 jiwa

Dari keenam kelurahan yang terpilih, empat di antaranya adalah kelurahan yang termasuk daerah rawan banjir. Keempat kelurahan ini adalah Kelurahan Keputih, Kelurahan Gubeng, Kelurahan Wonokromo, dan Kelurahan Gunung Sari. Adapun Kelurahan Kedung Cowek dan Kelurahan Wonorejo termasuk kelurahan yang tidak rawan banjir. Dengan keberagaman tingkat kerawanan banjir pada keenam kelurahan ini diharapkan hasil simulasi dapat mendekati keberagaman tingkat kerawanan banjir di Surabaya.

4.1.2 Perhitungan Jari-Jari Hidrolika

Data spesifikasi saluran U-Ditch diperoleh dari suatu perusahaan industri bahan konstruksi yang menyediakan produk berbahan

beton [33]. Data yang diperoleh berupa catatan lebar dan tinggi saluran untuk semua jenis saluran U-Ditch. Berikut ditampilkan diagram penampang U-Ditch.



Gambar 4.2. Diagram Penampang U-Ditch

Data lebar dan tinggi saluran U-Ditch ini tidak digunakan secara langsung karena yang dibutuhkan pada tahap-tahap selanjutnya adalah jari-jari hidrolika. Dari data ini, dilakukan perhitungan jari-jari hidrolika per spesifikasi saluran U-Ditch dengan menggunakan Persamaan 2.11. Karena U-Ditch berbentuk menyerupai persegi panjang, maka luas penampang didekati dengan menggunakan luas persegi panjang dengan panjang berupa lebar dari U-Ditch dan lebar berupa tinggi dari U-Ditch. Keliling dari penampang U-Ditch tidak dihitung secara persis dengan rumus keliling persegi panjang. Ini dikarenakan keliling yang dibutuhkan adalah keliling yang terendam air dimana sisi yang terendam air adalah sisi samping dan alas penampang U-Ditch. Sehingga keliling penampang U-Ditch dihitung dengan dua kali tinggi dari U-Ditch ditambah dengan lebar

dari U-Ditch. Adapun jari-jari hidrolika bukanlah suatu karakteristik atau suatu ukuran yang dapat diukur secara langsung melainkan berdasarkan perhitungan sesuai rumus pada Persamaan 2.11. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Jari-Jari Hidrolika

Lebar	Tinggi	Luas	Keliling	Jari-Jari Hidrolika
0.3	0.2	0.06	0.7	0.0857
0.3	0.3	0.09	0.9	0.1
0.3	0.4	0.12	1.1	0.1091
0.3	0.5	0.15	1.3	0.1154
0.4	0.4	0.16	1.2	0.1333
0.4	0.5	0.2	1.4	0.1429
0.4	0.6	0.24	1.6	0.15
0.5	0.5	0.25	1.5	0.1667
0.5	0.6	0.3	1.7	0.1765
0.5	0.7	0.35	1.9	0.1842
0.6	0.6	0.36	1.8	0.2
0.6	0.7	0.42	2	0.21
0.6	0.8	0.48	2.2	0.2182
0.6	1	0.6	2.6	0.2308
0.7	0.7	0.49	2.1	0.2333
0.8	0.8	0.64	2.4	0.2667
0.8	0.9	0.72	2.6	0.2769
0.8	1	0.8	2.8	0.2857
0.8	1.2	0.96	3.2	0.3
0.9	0.9	0.81	2.7	0.3
0.9	1	0.9	2.9	0.3103

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Jari-Jari Hidrolika (lanjutan)

Lebar	Tinggi	Luas	Keliling	Jari-Jari Hidrolika
1	1	1	3	0.3333
1	1.2	1.2	3.4	0.3529
1	1.5	1.5	4	0.375
1.2	1	1.2	3.2	0.375
1.2	1.2	1.44	3.6	0.4
1.2	1.5	1.8	4.2	0.4286

Parameter-parameter yang tercatat pada Tabel 4.2 adalah lebar saluran dalam satuan meter, tinggi saluran dalam satuan meter, luas penampang saluran dalam satuan meter persegi, dan keliling penampang saluran dalam satuan meter. Satuan dari jari-jari hidrolika yang diperoleh dari hasil perhitungan ini adalah dalam satuan meter.

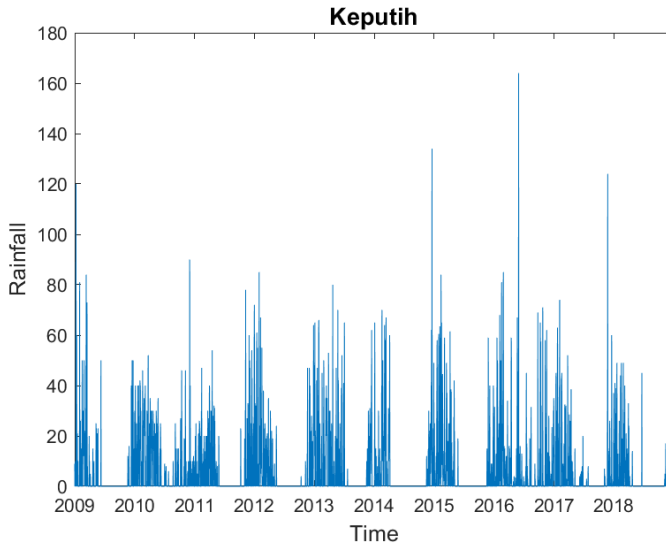
4.2 Perhitungan Debit Hidrologi

Sebagai salah satu proses utama pada Tugas Akhir ini terdapat beberapa tahapan yang meliputi prediksi curah hujan, menghitung koefisien pengaliran, pengacakan jenis saluran, perhitungan waktu konsentrasi, serta implementasi metode rasional. Debit hidrologi ini menjadi faktor penentu terjadi atau tidaknya banjir pada suatu wilayah pada suatu waktu.

4.2.1 Prediksi Curah Hujan Maksimum

Prediksi curah hujan maksimum dilakukan untuk curah hujan maksimum harian pada setiap kelurahan hasil tahap seleksi data. Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.2 bahwa metode regresi memodelkan hubungan antara *predictor* dengan *target*. Pada proses prediksi ini, waktu atau tanggal menjadi *predictor*, sedangkan curah hujan maksimum harian menjadi *target*. Adapun beberapa metode

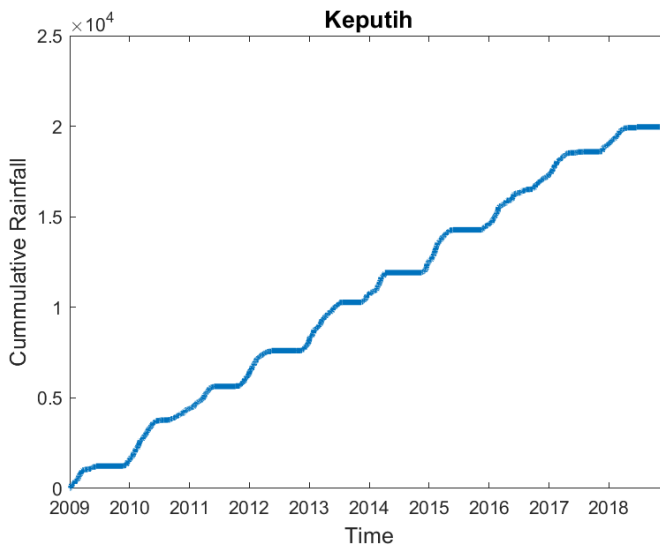
yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *Linear Regression* sesuai Persamaan 2.1 dan *Gaussian Process Regression*.



Gambar 4.3. Curah Hujan Kelurahan Keputih

Gambar 4.3 adalah contoh data curah hujan harian di kelurahan Keputih dimulai pada 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2018. Data curah hujan maksimum harian pada kelurahan lainnya dapat dilihat pada Lampiran A. Data curah hujan hanya ditampilkan berupa *plot* dikarenakan data curah hujan per kelurahan yang digunakan merupakan bagian dari *joint research* dimana dibutuhkan izin khusus untuk memperoleh data tersebut. Terlihat pada Gambar 4.3 bahwa curah hujan sangatlah tidak menentu. Curah hujan tertinggi biasanya terjadi pada musim hujan dan curah hujan yang sangat jarang terjadi pada musim kemarau. Namun, ada juga data terjadinya curah hujan yang tinggi pada musim kemarau sehingga tidak dapat dilakukan prediksi curah hujan hanya dengan memperhatikan data pada musim hujan. Untuk memudahkan proses prediksi dan

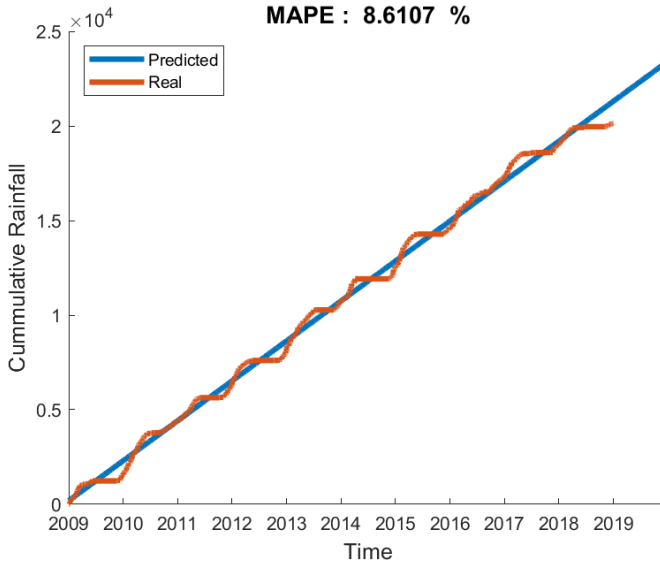
memudahkan untuk mengetahui perbedaan hasil prediksi dengan data aktual, data curah hujan maksimum harian perlu dijumlahkan secara kumulatif. Curah hujan kumulatif pada waktu t merupakan hasil jumlahan curah hujan dari waktu pertama hingga waktu t . Kurva curah hujan kumulatif di Kelurahan Keputih ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Keputih

Hasil kumulatif untuk curah hujan pada kelurahan lainnya dapat dilihat pada Lampiran A. Data kumulatif membuat data tidak mengandung banyak nilai nol selain pada beberapa data awal saja. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 bahwa curah hujan kumulatif cenderung memiliki *drift* berupa garis linear sehingga dilakukan uji coba prediksi curah hujan maksimum dengan Regresi Linear. Proses implementasi Regresi Linear memanfaatkan *toolbox* Matlab yang bernama *Regression Learner*. *Toolbox Regression Learner* ini mampu melakukan *training* dan *testing* untuk model

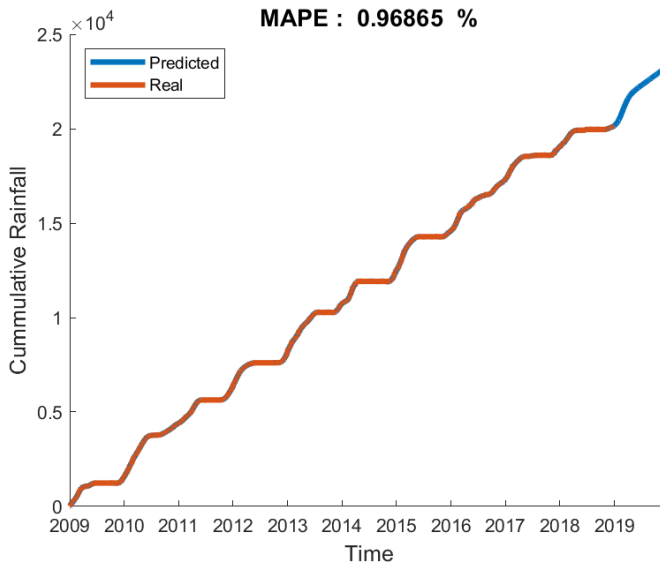
yang dipilih oleh *user*. Pada Gambar 4.5 ditampilkan hasil Regresi Linear untuk curah hujan kumulatif pada Kelurahan Keputih.



Gambar 4.5. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Keputih

Kelebihan dari memanfaatkan *toolbox* ini adalah Matlab dapat menentukan parameter terbaik dengan sendirinya. Beberapa metode yang dapat dipilih untuk melakukan optimasi *hyperparameter* adalah pendekatan Bayes, *Grid Search*, ataupun *Random Search*. Pada Tugas Akhir ini, optimasi *hyperparameter* dilakukan dengan menggunakan algoritma *Grid Search*. Ini dikarenakan seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.3 bahwa *Grid Search* lebih akurat dalam mencari parameter optimum global untuk model regresi yang digunakan. Selain itu, juga dikarenakan tidak banyak parameter yang perlu diestimasi sehingga waktu komputasi tidak akan terlalu lama. Hasil Regresi Linear untuk curah hujan pada kelurahan lainnya dapat dilihat di Lampiran C. Pada gambar di atas ditunjukkan bahwa hasil yang cukup baik dimana MAPE yang di-

hasilkan hanyalah sebesar 8.6107%. Namun, tentu saja perlu tetap dilakukan Regresi Proses Gaussian dengan harapan bahwa Regresi Proses Gaussian mampu memberikan hasil yang lebih akurat lagi. Hasil dari Regresi Proses Gaussian untuk curah hujan maksimum harian pada Kelurahan Keputih dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Hasil Regresi Proses Gaussian Curah Hujan Keputih

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 bahwa ketepatan Regresi Proses Gaussian dalam melakukan prediksi terhadap curah hujan maksimum harian sangatlah tinggi. Kurva hasil regresi yang terbentuk bahkan dapat dikatakan sangat berhimpit dengan kurva sesungguhnya. Oleh karena itu, tidak heran bila hasil Regresi Proses Gaussian hanya memiliki nilai MAPE sebesar 0.96865% saja. Apabila dibandingkan dengan Regresi Linear, tentunya dipilih hasil dari Regresi Proses Gaussian ini karena perbedaan nilai MAPE yang sangat signifikan. Hasil Regresi Proses Gaussian untuk curah hujan pada kelurahan lainnya dapat dilihat di Lampiran C.

4.2.2 Perhitungan Koefisien Pengaliran Gabungan

Koefisien pengaliran atau sering dilambangkan dengan C didefinisikan sebagai kemampuan saluran untuk mengalirkan air. Nilai dari koefisien pengaliran berada di antara 0 dan 1. Nilai nol menandakan bahwa saluran tidak mengalirkan air yang masuk. Air yang masuk akan hilang dari saluran dengan cara menguap ataupun terserap seperti pada tanah. Nilai satu menandakan bahwa semua air yang masuk akan dialirkan menuju ujung saluran.

Sangatlah sulit untuk menentukan atau memilih nilai koefisien pengaliran secara tepat. Hal ini dikarenakan nilai koefisien pengaliran bergantung pada hilangnya air akibat menyerapnya air ke saluran, penguapan, maupun genangan atau kubangan air yang terbentuk. Faktor lain yang menentukan nilai koefisien pengaliran adalah intensitas dan lama hujan. Oleh karena faktor-faktor tersebut, penentuan nilai koefisien pengaliran dilakukan dengan pendekatan berdasarkan karakteristik dan permukaan saluran.

Banyak penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan untuk menentukan nilai dari koefisien saluran sehingga diperlukan adanya suatu acuan. Nilai koefisien pengaliran pada Tugas Akhir ini mengacu pada nilai yang digunakan *American Society of Civil Engineers* (ASCE) dan *Water Environment Federation* (WEF) dimana ASCE adalah persatuan tertua dari para ahli teknik sipil dengan cakupan global dan WEF adalah suatu asosiasi non profit yang menyediakan pelatihan dan edukasi teknis kepada para ahli yang berkecimpung pada sistem pengaliran dan lingkungan.

Tabel 4.3. Nilai Koefisien Pengaliran

Jenis Permukaan	Batas Bawah	Batas Atas
Aspal	0.70	0.95
Batu-bata	0.70	0.85
Atap	0.75	0.95

Tabel 4.3. Nilai Koefisien Pengaliran (lanjutan)

Jenis Permukaan	Batas Bawah	Batas Atas
Beton	0.90	0.95
Jalan setapak	0.75	0.95
Jalan berkerikil	0.30	0.70
Tanah berlumpur	0.13	0.35
Halaman tanah datar	0.13	0.17
Halaman tanah curam	0.18	0.22
Halaman berpasir datar	0.05	0.10
Halaman berpasir curam	0.15	0.20
Rel	0.30	0.40
Perkebunan	0.10	0.30
Hutan datar	0.10	0.40
Hutan bergelombang	0.25	0.50
Hutan berbukit	0.30	0.60

Pada Tabel 4.3 ditampilkan contoh koefisien pengaliran berdasarkan *American Society of Civil Engineers* dan *Water Environment Federation* berdasarkan karakteristik permukaan. Pada kenyataannya, sangat jarang ditemui daerah yang bersifat homogen dalam koefisien pengalirannya. Oleh karena itu, digunakan rata-rata berbobot seperti yang terlihat pada Persamaan 2.7.

4.2.3 Pengacakan Saluran

Terjadi atau tidaknya banjir juga ditentukan oleh faktor selain curah hujan yakni kemampuan saluran yang ada untuk mengalirkan seluruh air hujan pada wilayah tersebut. Saluran yang dimaksud di sini bukanlah hanya berupa saluran air atau saluran drainase seperti parit maupun gorong-gorong, melainkan semua wadah tem-

pat mengalirnya air hujan seperti atap rumah, taman, jalan dan lain sebagainya. Untuk selanjutnya, saluran tersebut dikelompokkan menjadi beberapa jenis saluran dengan kesamaan proporsi luas atap, luas taman dan luas jalan tertentu. Tabel 4.4 adalah data jenis saluran yang digunakan pada Tugas Akhir ini.

Tabel 4.4. Data Jenis Saluran

Saluran	Tipe	Luas Atap	Luas Taman	Luas Jalan
A1-2	A	560	168	100
B1-4	A	1008	624	300
B2-3	C	392	80	100
B3-5	A	1008	624	600
B4-5	C	392	80	90
C1-4	A	1120	624	600
C2-3	C	392	80	90
C3-5	A	1120	624	600
C4-5	C	392	80	90
D1-4	A	896	640	620
D2-3	C	196	240	300
D3-5	A	672	600	400
D4-5	C	392	240	300
K1-4	X	0	700	350
K2-3	X	0	600	300
K2-3	X	0	600	300
K3-4	X	0	700	350
E1-4	B	756	480	500
E2-3	C	756	480	500
E3-5	B	392	160	180

Tabel 4.4. Data Jenis Saluran (lanjutan)

Saluran	Tipe	Luas Atap	Luas Taman	Luas Jalan
F1-4	B	756	480	500
F2-3	C	756	480	500
F3-5	A	392	160	180
G1-4	A	868	480	500
G2-3	C	868	480	500
G3-5	A	392	160	180
H1-4	D	2160	1200	750
H2-3	C	392	1120	500
H3-5	D	2160	1200	750
H4-5	E	800	0	650
I1-4	D	2160	1200	750
I2-3	C	392	1120	500
I3-5	D	2160	1200	750
I4-5	E	800	0	650
J1-4	D	2160	1200	750
J2-3	C	392	1120	500
J3-5	D	2160	1200	750
J4-5	E	800	0	650
J5-6	X	0	1200	1200

Seluruh daerah pada kelurahan yang dijadikan objek penelitian dikelompokkan menjadi kelompok-kelompok saluran pada data di atas. Namun, dikarenakan tidak adanya data mengenai tipikal saluran yang ada, maka dilakukan pengacakan dengan menggunakan algoritma pengacakan bilangan diskrit pada Matlab. Untuk setiap kelurahan, dilakukan pengacakan jenis saluran hingga luas-

nya mencapai luas kelurahan. Objek pengacakan yang dilakukan adalah nomor jenis saluran. Algoritma pengacakan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

Untuk setiap kelurahan lakukan langkah berikut

- (a). Bangkitkan bilangan acak diskrit antara 1 sampai banyaknya jenis saluran
- (b). Hitung jumlah luas dari semua jenis saluran yang terpilih per kelurahan
- (c). Apabila jumlah luas belum mencapai luas kelurahan, ulangi langkah dari (a).

Algoritma ini dapat dituliskan dalam bentuk *pseudocode* seperti yang dapat dilihat di bawah ini.

Input

```
1 Data luas kelurahan
2 Data jenis saluran
```

Proses

```
1 FOR EACH kelurahan
2   SET luas_sementara TO 0
3   WHILE luas_sementara < luas kelurahan
4     CREATE index_acak FROM 1 ↔ LENGTH data saluran
5     ADD luas[index_acak] TO luas_sementara
6   END WHILE
7 END FOR
```

Implementasi dari *pseudocode* di atas ke dalam Matlab 2019b dapat dilihat pada Lampiran B. Setelah dijalankan, diperoleh salah satu hasil pengacakan dari saluran pada kelurahan Keputih seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.5. Hasil pengacakan dari saluran pada kelurahan lainnya dapat dilihat di Lampiran D.

Tabel 4.5. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	35	25	4	11	21	37	37
Luas kumulatif	2012	2744	5076	5812	7548	8998	10448

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	6	37	37	19	31	6	17
Luas kumulatif	12792	14242	15692	16424	18436	20780	22516

Pengacakan ke	15	16	17	18	19	20	21
Hasil pengacakan	35	31	37	25	2	33	36
Luas kumulatif	24528	26540	27990	28722	30654	32104	36214

Pengacakan ke	22	23	24	25	26	27	28
Hasil pengacakan	26	29	29	15	25	7	27
Luas kumulatif	40324	41774	43224	44124	44856	45418	47430

Tabel 4.5. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	29	30	31	32	33	34	35
Hasil pengacakan	2	11	2	4	32	27	13
Luas kumulatif	49362	50098	52030	54262	58372	60384	61316

Pengacakan ke	36	37	38	39	40	41	42
Hasil pengacakan	37	2	17	15	30	31	8
Luas kumulatif	62766	64698	66434	67334	71444	73456	75800

Pengacakan ke	43	44	45	46	47	48	49
Hasil pengacakan	19	17	25	27	29	11	26
Luas kumulatif	76532	78268	79000	81012	82462	83198	87308

Pengacakan ke	50	51	52	53	54	55	56
Hasil pengacakan	25	7	5	19	37	13	23
Luas kumulatif	88040	88602	89164	89896	91346	92278	94126

Tabel 4.5. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	57	58	59	60	61	62	63
Hasil pengacakan	9	29	10	20	27	34	37
Luas kumulatif	94688	96138	98294	100030	102042	106152	107602

Pengacakan ke	64	65	66	67	68	69	70
Hasil pengacakan	21	6	6	10	32	10	31
Luas kumulatif	109338	111682	114026	116182	120292	122448	124460

Pengacakan ke	71	72	73	74	75	76	77
Hasil pengacakan	10	36	14	8	10	24	18
Luas kumulatif	126616	130726	131776	134120	136276	138124	139860

Pengacakan ke	78	79	80	81	82	83	84
Hasil pengacakan	14	32	-	-	-	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

4.2.4 Perhitungan Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi atau disebut juga *time of concentration* adalah waktu lamanya air berada di saluran. Waktu konsentrasi dihitung dengan rumus Kerby. Karena asumsi jenis dan keadaan saluran pada setiap wilayah adalah tetap untuk waktu kapanpun, maka cukup dilakukan perhitungan berdasarkan jenis saluran tanpa memerhatikan waktu. Pada tahap sebelumnya, telah disebutkan bahwa komponen yang diperhatikan pada jenis saluran adalah atap, taman, dan jalan sehingga perlu dicari waktu konsentrasi pada atap, taman, dan jalan. Untuk menghitung waktu konsentrasi digunakanlah Rumus Kerby yang dapat dilihat pada Persamaan 2.9. Waktu yang diperoleh dari hasil perhitungan ini adalah dalam satuan menit.

Input

```
1 Data wilayah hasil pengacakan saluran
2 Rata-rata tinggi bangunan
3 Rata-rata kecepatan tetesan
```

Proses

```
1 FOR EACH saluran
2   SET luas_sementara TO 0
3   WHILE luas_sementara < luas_kelurahan
4     CREATE index_acak FROM 1 ↔ LENGTH data_saluran
5     SAVE index_acak
6     ADD luas[index_acak] TO luas_sementara
7   END WHILE
8 END FOR
```

Implementasi *pseudocode* di atas dapat dilihat pada Lampiran B. Pada *pseudocode* di atas terdapat unsur keacakan pada variabel *to.Jatuh* atau waktu jatuh air. Ini merupakan salah satu pendekatan agar lebih mendekati realita dikarenakan waktu jatuh air bergantung pada ketinggian bangunan dan pengaruh angin pada saluran tersebut. Namun, dikarenakan tidak adanya data eksak mengenai tinggi bangunan di Surabaya, digunakan unsur acak untuk mengestimasi tinggi atap pada saluran. Pengacakan tinggi bangunan

dilakukan dengan menggunakan formula

$$H_s = \text{Max}(H_r, \bar{H}) \quad (4.1)$$

dengan

H_s : tinggi bangunan yang dipilih

H_r : tinggi bangunan hasil pengacakan

dengan diasumsikan tinggi bangunan acak terdistribusi normal atau lebih tepatnya

$$H_r \sim N(\bar{H}, 5)$$

Adapun tata cara pengacakan di atas didapatkan setelah beberapa proses penyesuaian. Nilai rata-rata tinggi bangunan yang digunakan adalah 20 kaki atau 6.096 meter [34]. Adanya operator Max adalah dengan tujuan mencegah bilangan acak yang terlalu kecil digunakan pada program. Di sini digunakan asumsi bahwa tinggi rumah terpendek adalah 6.096 meter. Ada juga kecepatan jatuh tetesan air yang digunakan adalah sekitar 10 m/s [35].

4.2.5 Implementasi Metode Rasional

Dicari terlebih dahulu intensitas curah hujan per hari yang dapat diperoleh berdasarkan data curah hujan maksimum harian dengan menggunakan rumus Mononobe pada Persamaan 2.8. Setelah semua data yang dibutuhkan didapatkan, perhitungan debit hidrologi dapat dilakukan. Perhitungan debit hidrologi dilakukan untuk setiap hari dan setiap kelurahan. Debit ini dihitung dengan metode rasional. Perhitungan debit hidrologi dilakukan dengan mengimplementasikan *pseudocode* berikut.

Input

```
1 Data saluran hasil pengacakan
2 Data koefisien pengaliran
3 Data intensitas curah hujan
4 Data luas saluran
```

Proses

```
1 FOR EACH waktu
2   FOR EACH saluran
3     SAVE rasional(koefisien pengaliran, intensitas
4       curah hujan, luas saluran)
5   END FOR
6 END FOR
```

Debit hidrologi dihitung berdasarkan jenis saluran hasil pengacakan pada setiap wilayah dalam setiap kelurahan dan untuk setiap harinya. Fungsi *rasional*(...) pada *pseudocode* di atas dibuat berdasarkan rumus pada metode rasional yang dapat dilihat pada Persamaan 2.6. Implementasi *pseudocode* ini dapat dilihat pada Lampiran B.

4.3 Perhitungan Debit Hidrolika

Proses utama selanjutnya adalah perhitungan debit hidrolika. Proses ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengacakan saluran drainase dan implementasi rumus Manning.

4.3.1 Pengacakan Saluran Drainase

Faktor lain yang perlu diperhatikan adalah kemampuan pengaliran oleh saluran drainase. Dikarenakan tidak adanya data mengenai jenis maupun spesifikasi saluran drainase yang ada di wilayah-wilayah pada setiap kelurahan, dilakukanlah pendekatan pengacakan spesifikasi saluran drainase dengan diasumsikan Kota Surabaya hanya menggunakan U-Ditch. Data spesifikasi diperoleh dari suatu perusahaan industri produk berbahan beton [33].

Tabel 4.6. Data Spesifikasi Saluran U-Ditch

Tipe	Lebar (m)	Tinggi (m)
1	0.3	0.2
2	0.3	0.3

Tabel 4.6. Data Spesifikasi Saluran U-Ditch (lanjutan)

Tipe	Lebar (m)	Tinggi (m)
3	0.3	0.4
4	0.3	0.5
5	0.4	0.4
6	0.4	0.5
7	0.4	0.6
8	0.5	0.5
9	0.5	0.6
10	0.5	0.7
11	0.6	0.6
12	0.6	0.7
13	0.6	0.8
14	0.6	1
15	0.7	0.7
16	0.8	0.8
17	0.8	0.9
18	0.8	1
19	0.8	1.2
20	0.9	0.9
21	0.9	1
22	1	1
23	1	1.2
24	1	1.5
25	1.2	1
26	1.2	1.2
27	1.2	1.5

Tabel 4.6 adalah data spesifikasi U-Ditch yang diproduksi oleh perusahaan tersebut. Saluran drainase dari setiap daerah yang berapada pada kelurahan yang dijadikan objek penelitian dikategorikan ke dalam kelompok spesifikasi di atas. Namun, sekali lagi karena tidak adanya data mengenai spesifikasi slurang yang ada, maka dilakukan pengacakan dengan algoritma pengacakan bilangan diskrit yang ada pada Matlab.

Banyaknya pengacakan disesuaikan dengan banyaknya hasil pengacakan saluran pada langkah sebelumnya. Hal ini dapat dilakukan dengan asumsi jenis ataupun spesifikasi saluran drainase adalah homogen untuk setiap wilayah hasil pengacakan. Algoritma yang digunakan untuk melakukan pengacakan saluran drainase adalah untuk setiap wilayah hasil pengacakan saluran lakukan pembangkitan bilangan diskrit acak antara 1 sampai banyaknya jenis spesifikasi U-Ditch. Adapun hasil implementasi dari algoritma ini adalah sebagai berikut.

Input

```
1 Data saluran U-Ditch
```

Proses

```
1 FOR EACH kelurahan
2   FOR EACH saluran
3     CREATE index_acak FROM 1 ↔ LENGTH data u-ditch
4     SAVE index_acak
5   END FOR
6 END FOR
```

Implementasi dari *pseudocode* di atas ke dalam Matlab 2019b dapat dilihat pada Lampiran B. Setelah dijalankan, contoh hasil pengacakan untuk saluran drainase pada kelurahan Keputih dapat dilihat pada Tabel 4.7. Hasil pengacakan untuk saluran drainase pada kelurahan lainnya dapat dilihat pada Lampiran E.

Tabel 4.7. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	35	25	4	11	21	37	37

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	6	37	37	19	31	6	17

Pengacakan ke	15	16	17	18	19	20	21
Hasil pengacakan	35	31	37	25	2	33	36

Pengacakan ke	22	23	24	25	26	27	28
Hasil pengacakan	26	29	29	15	25	7	27

Pengacakan ke	29	30	31	32	33	34	35
Hasil pengacakan	2	11	2	4	32	27	13

Tabel 4.7. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	36	37	38	39	40	41	42
Hasil pengacakan	37	2	17	15	30	31	8

Pengacakan ke	43	44	45	46	47	48	49
Hasil pengacakan	19	17	25	27	29	11	26

Pengacakan ke	50	51	52	53	54	55	56
Hasil pengacakan	25	7	5	19	37	13	23

Pengacakan ke	57	58	59	60	61	62	63
Hasil pengacakan	9	29	10	20	27	34	37

Pengacakan ke	64	65	66	67	68	69	70
Hasil pengacakan	21	6	6	10	32	10	31

Tabel 4.7. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	71	72	73	74	75	76	77
Hasil pengacakan	10	36	14	8	10	24	18

Pengacakan ke	78	79	80	81	82	83	84
Hasil pengacakan	14	32	-	-	-	-	-

4.3.2 Implementasi Rumus Manning

Setelah melakukan pengacakan saluran drainase, dapat dilakukan perhitungan debit hidrolika. Debit hidrolika dihitung menggunakan persamaan Manning. Debit hidrolika dihitung untuk setiap wilayah. Pada persamaan Manning, diperlukan adanya nilai n_m yaitu koefisien kekasaran Manning. Karena telah diasumsikan saluran drainase dibangun dengan menggunakan U-Ditch, maka koefisien kekasaran Manning yang digunakan adalah koefisien kekasaran beton. Ini diperoleh berdasarkan bahan utama dalam membuat U-Ditch adalah beton. Adapun nilai koefisien kekasaran dari beton adalah 0.015 [36]. Proses perhitungan dilakukan dengan menjalankan hasil implementasi *pseudocode* berikut.

Input

```
1 Nilai koefisien kekasaran Manning
2 Data jari-jari hidrolika
3 Kemiringan saluran U-Ditch
4 Data spesifikasi saluran U-Ditch
```

Proses

```
1 FOR EACH saluran
2   SAVE manning(koefisien kekasaran, jari-jari
3     hidrolika, kemiringan saluran, luas penampang
4     saluran)
5 END FOR
```

Hasil ini selanjutnya digunakan untuk mengetahui besarnya debit limpasan yang terjadi. Implementasi dari *pseudocode* ini dapat dilihat pada Lampiran B.

4.4 Perhitungan Kerugian

Sebelum melakukan perhitungan kerugian akibat banjir, perlu terlebih dahulu dilakukan pengecekan wilayah mana saja yang akan terlanda banjir. Suatu wilayah akan terpapar banjir jika debit hidrolika lebih kecil dibandingkan debit hidrologi atau dengan kata

lain saluran drainase tidak mampu mengalirkan air hujan yang datang. Seperti yang telah disebutkan pada Subbab 2.7 bahwa pada Tugas Akhir ini, kerugian akibat banjir diperoleh dengan menggunakan tiga faktor yaitu faktor wilayah terpapar, faktor jiwa terpapar, dan faktor pengali. Ketiga faktor ini dihitung untuk setiap waktunya pada setiap kelurahan.

Faktor wilayah dijadikan salah satu faktor karena semakin besar wilayah terpapar banjir akan memperbesar kerugian yang muncul. Faktor wilayah terpapar diperoleh dari besarnya wilayah yang diperkirakan akan terpapar banjir dengan menggunakan Persamaan 2.12. Sebagai contoh, apabila luas wilayah yang diperkirakan akan terpapar banjir atau C_a adalah 1.000 m^2 dan bilangan acak yang terbangkitkan atau α adalah 0.82, maka diperoleh perhitungan

$$\begin{aligned} F_a &= \alpha \times C_a \\ &= 0.82 \times 1000 \text{ m}^2 \\ &= 820 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan contoh dapat dikatakan bahwa dari 1.000 m^2 wilayah yang diperkirakan terpapar banjir, 820 m^2 dari wilayah tersebut benar-benar terendam banjir.

Faktor kedua yang diperhitungkan adalah faktor jiwa. Faktor jiwa terpapar diperoleh dari banyaknya individu yang tinggal di wilayah yang diperkirakan akan terpapar banjir dengan menggunakan Persamaan 2.13. Sebagai contoh, apabila banyaknya individu yang tinggal di wilayah yang diperkirakan akan terpapar banjir atau C_p adalah 500 jiwa dan bilangan acak yang terbangkitkan atau α adalah 0.13, maka diperoleh perhitungan

$$\begin{aligned} F_p &= \beta \times C_p \\ &= 0.13 \times 500 \text{ jiwa} \\ &= 65 \text{ jiwa} \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan contoh dapat dikatakan bahwa dari 500 jiwa yang diperkirakan terpapar banjir, hanya 65 jiwa dari wilayah tersebut yang benar-benar terpapar banjir.

Faktor terakhir untuk mendapatkan kerugian akibat banjir adalah faktor pengali. Faktor pengali di sini berupa persentase debit limpasan atau besarnya kelebihan debit hidrologi dibandingkan debit hidrolika. Perhitungan faktor pengali memanfaatkan Persamaan 2.14 pada Bab 2. Di antara faktor jiwa dan faktor wilayah, faktor jiwalah yang dianggap memiliki nilai tertinggi atau dengan kata lain kerugian yang diterima oleh seorang jiwa terpapar banjir lebih besar nilainya dibandingkan kerugian akibat suatu area dengan luas 1 m^2 terendam banjir. Pada Tugas Akhir ini, dianggap per jiwa adalah 25.000 rupiah dan kerugian per 1 m^2 adalah 10.000 rupiah.

Untuk selanjutnya, kerugian per wilayah dalam suatu kelurahan pada suatu waktu dijumlahkan agar diperoleh kerugian per kelurahan dalam suatu waktu. *Pseudocode* yang digunakan untuk menghitung kerugian sesuai persamaan-persamaan di atas adalah sebagai berikut.

Input

```
1 Data debit hidrologi
2 Data debit hidrolika
```

Proses

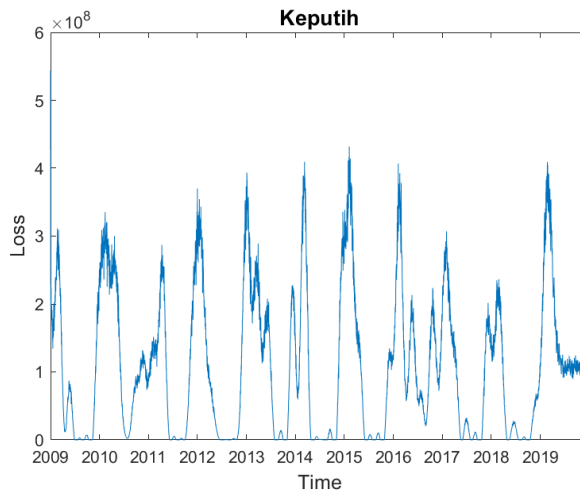
```
1 FOR EACH kelurahan
2   CREATE flood_loss
3   FOR EACH wilayah
4     CREATE flooded_area
5     CREATE flooded_people
6     IF debit_hidrologi[wilayah] > debit_hidrolika
7       ...[wilayah]
8       SET random*luas[wilayah] TO flooded_area
9       SET random*people[wilayah] TO flooded_people
10      ADD flooded_area*loss_per_area TO flood_loss
11      ADD flooded_people*loss_per_people TO
12      ...flood_loss
```

```

13     END IF
14     END FOR
15     SAVE flood_loss
16 END FOR

```

Pseudocode di atas kemudian diimplementasikan pada Matlab. Implementasi dari *pseudocode* di atas ke dalam Matlab 2019b dapat dilihat pada Lampiran B. Setelah dijalankan, diperoleh kurva kerugian pada kelurahan Keputih seperti Gambar 4.7.



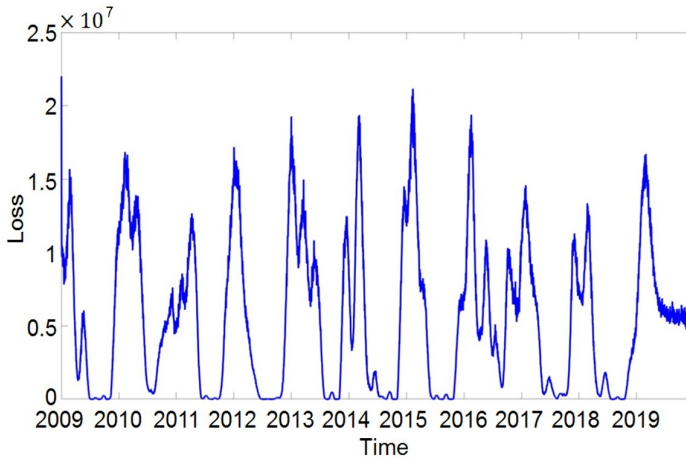
Gambar 4.7. Kerugian Kelurahan Keputih

Dari Gambar 4.7 terlihat banyak perubahan nilai yang ekstrem dimana kerugian yang muncul dapat menjadi sangat tinggi sewaktu-waktu.

4.5 Pencocokan Kurva Kerugian

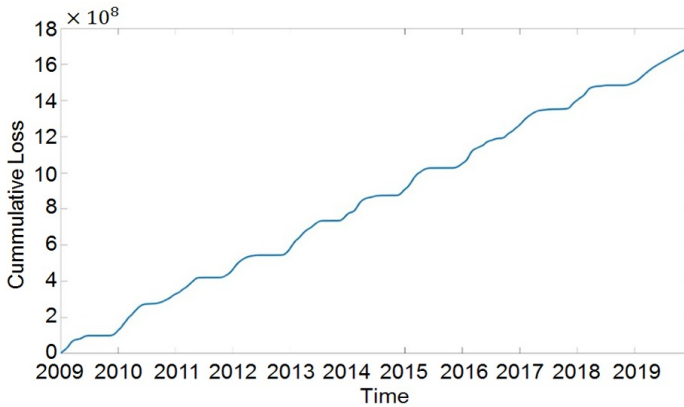
Setelah diperoleh kurva kerugian dari langkah sebelumnya, berikutnya dilakukan prediksi kerugian pada tahun selanjutnya berdasarkan hasil sebelumnya. Namun, karena yang ingin dilakukan adalah prediksi kerugian Surabaya, maka kerugian dari keenam

kelurahan dijumlahkan dengan harapan dapat mewakili kerugian yang dialami Surabaya. Hasil jumlahan kerugian keenam kelurahan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Kerugian Hasil Jumlahan Seluruh Kelurahan

Prediksi kerugian dilakukan dengan menggunakan kurva Jump Diffusion Process yang paling cocok dengan kurva kerugian yang ada. Untuk mengetahui seberapa cocok kurva yang terbentuk dengan kurva kerugian yang ada adalah dengan menghitung nilai MAPE. Penggunaan nilai MAPE dikarenakan MAPE lebih mudah diinterpretasikan maksud dari nilai tersebut. Namun, pada kurva kerugian yang seperti terlihat pada Gambar 4.8 mengandung banyak nilai nol yang mengakibatkan tidak bisa dilakukannya MAPE. Oleh karena itu, dilakukanlah akumulasi kerugian untuk menghindari banyaknya angka nol. Kurva hasil kumulatif kerugian dari hasil jumlahan keenam kelurahan dapat dilihat pada Gambar 4.9. Dapat dilihat pada Gambar 4.9 bahwa sudah tidak terdapat nilai nol yang membuat pencarian MAPE dapat dilakukan nantinya.



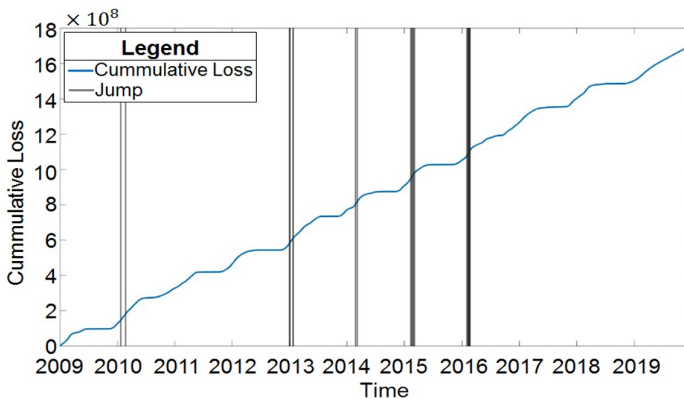
Gambar 4.9. Kerugian Kumulatif Surabaya

Seperti yang juga telah dituliskan sebelumnya, prediksi dilakukan dengan menggunakan model *Jump Diffusion Process*. Pemilihan *Jump Diffusion Process* untuk memodelkan indeks kerugian dikarenakan sesuai dengan pergerakan kerugian itu sendiri. Sepanjang tahun pastilah terjadi bencana yang mengakibatkan kerugian kecil maupun besar. Pada bencana banjir umumnya yang sering terjadi adalah kerugian yang kecil. Namun, ketika memasuki musim hujan akan terjadi banjir yang semakin intens yang mengakibatkan kerugian besar. Kerugian besar inilah yang dianggap sebagai lompatan. Pada persamaan *Jump Diffusion Process* terdapat beberapa nilai parameter yang perlu dicari terlebih dahulu. Parameter-parameter ini adalah μ , σ , λ , μ_J , dan σ_J . Nilai μ berguna sebagai *drift* atau tren dari laju kurva *Jump Diffusion Process* dan nilai σ merepresentasikan tingkat keacakan dari laju kurva *Jump Diffusion Process*. Nilai yang digunakan sebagai μ adalah rata-rata dari kerugian kumulatif Surabaya. Ada juga nilai yang digunakan sebagai σ adalah standar deviasi dari kerugian kumulatif Surabaya. Selanjutnya dibahas mengenai λ , μ_J , dan σ_J . Nilai λ adalah peluang terjadinya lompatan atau juga dapat disebut sebagai frekuensi lompatan, μ_J adalah rata-rata besarnya lompatan, dan σ_J adalah

standar deviasi lompatan. Ketiga parameter ini dapat dicari dengan mengetahui titik mana saja yang merupakan lompatan. Oleh karena itu, dilakukanlah deteksi lompatan.

4.5.1 Proses Deteksi Lompatan

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2.9 bahwa terdapat dua contoh algoritma non parametrik untuk melakukan deteksi lompatan yaitu algoritma *Block Average* dan algoritma *Sequential Average*. Perbedaan kedua algoritma ini adalah pada akurasi deteksi lompatan. Pada *Block Average* dapat dikenali terjadi atau tidaknya lompatan, sedangkan pada *Sequential Average* dapat dikenali hingga pada titik mana terjadinya lompatan. Oleh karena itu, pada Tugas Akhir ini digunakan algoritma *Sequential Average*. Berikut ditampilkan hasil deteksi lompatan dari kurva kerugian kumulatif yang diperoleh dari tahap sebelumnya.



Gambar 4.10. Hasil Deteksi Lompatan

Seperti yang telah disebutkan pada Subbab 2.9.2 bahwa suatu titik dikatakan lompatan apabila memiliki nilai *Z Score* lebih dari 3. Berikut ini adalah *pseudocode* yang digunakan untuk mendapatkan hasil di atas.

Input

```
1 Data kerugian kumulatif
```

Proses

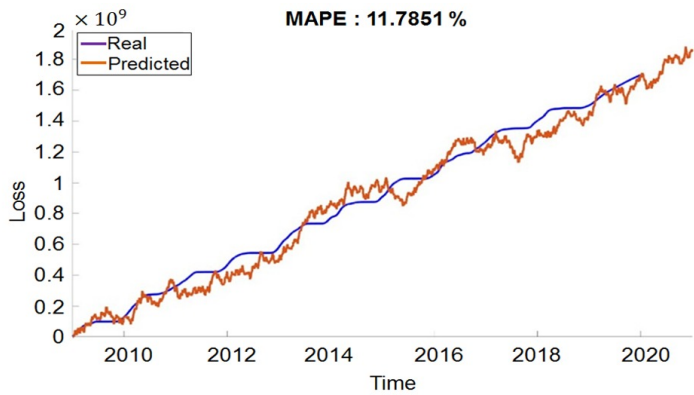
```
1 FOR EACH waktu
2   SET temp TO data_kerugian UNTIL waktu
3   CALCULATE temp_mean
4   CALCULATE temp_std
5   SET z_score TO data[waktu]-temp_mean
6   SET z_score TO z_score/temp_std
7   IF z_score > 3
8     SAVE data[waktu] TO jump
9   END IF
10 END FOR
```

Implementasi dari *pseudocode* di atas pada Matlab dapat dilihat pada Lampiran B. Dari seluruh data yang tercatat sebagai lompatan, dicari rata-rata yang untuk selanjutnya digunakan sebagai nilai dari μ_J dan dicari pula standar deviasinya yang selanjutnya digunakan sebagai nilai dari σ_J .

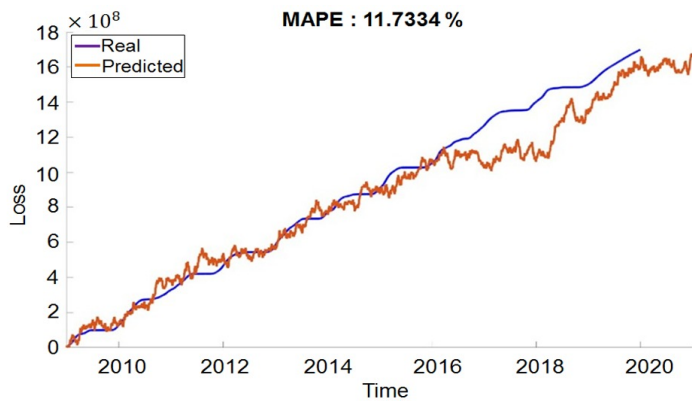
4.5.2 Model *Jump Diffusion Process*

Dari tahap sebelumnya telah diperoleh semua nilai parameter yang dibutuhkan untuk model *Jump Diffusion Process*. Maka dari itu, pada tahap ini dibentuk kurva-kurva sesuai model *Jump Diffusion Process*. Karena memiliki sifat *random walk*, kurva yang dihasilkan pun beragam sehingga perlu dipilih kurva mana yang paling sesuai dengan kurva kerugian kumulatif Surabaya. Pada Tugas Akhir ini, dibangkitkan 10.000 kurva model *Jump Diffusion Process*. Untuk mengetahui seberapa pengaruhnya parameter *jump*, dipilihlah kurva terbaik hasil *Jump Diffusion Process* dan kurva terbaik *Diffusion Process* untuk dibandingkan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, kecocokan kurva diukur dengan mencari nilai MAPE. Kurva dengan MAPE terkecil akan dipilih untuk

dibandingkan antar model *Jump Diffusion Process* dengan model *Diffusion Process*. Kurva yang terpilih dari hasil model *Diffusion Process* dan model *Jump Diffusion Process* adalah sebagai berikut.



Gambar 4.11. Kurva Hasil Pencocokan Tanpa *Jump*



Gambar 4.12. Kurva Hasil Pencocokan Dengan *Jump*

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa kurva terbaik hasil model *Jump Diffusion Process* memiliki nilai MAPE yang

lebih kecil dibandingkan dengan kurva terbaik hasil model *Diffusion Process*. Dengan kata lain, kurva hasil model *Jump Diffusion Process* lebih mampu merepresentasikan data kerugian walaupun perbedaan keduanya tidak terlalu signifikan. Namun, terlihat bahwa kurva hasil *Jump Diffusion Process* bergerak acak naik dan turun. Ini tidaklah sesuai dengan karakteristik kurva yang akan diprediksi yaitu kerugian kumulatif. Kurva kerugian kumulatif adalah kurva monoton naik dimana nilai kerugian pada waktu selanjutnya adalah sama atau lebih besar dibandingkan kerugian pada waktu saat ini. Ini dikarenakan tidaklah mungkin ada kerugian yang bernilai negatif. Oleh karena itu, diperlukan adanya suatu tata cara penyesuaian terhadap kurva yang dihasilkan dari model *Jump Diffusion Process*. Pada Tugas Akhir ini, digunakan tata cara berdasarkan definisi dari monoton naik yaitu kerugian kumulatif pada waktu selanjutnya haruslah sama atau lebih besar dengan kerugian kumulatif pada waktu saat ini. Apabila muncul nilai kerugian kumulatif yang lebih kecil dibandingkan kerugian kumulatif sebelumnya, maka nilai yang digunakan adalah kerugian kumulatif sebelumnya. Adapun untuk mempermudah pemahaman, tata cara di atas dapat dituliskan dengan persamaan berikut

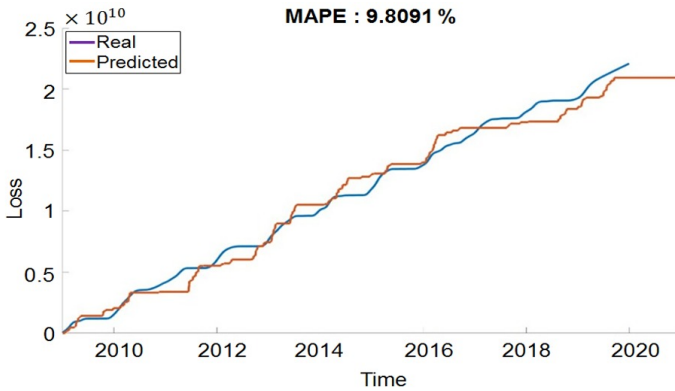
$$L(t) = \text{Max} \left\{ \hat{L}(t), L(t-1) \right\} \quad (4.2)$$

dengan

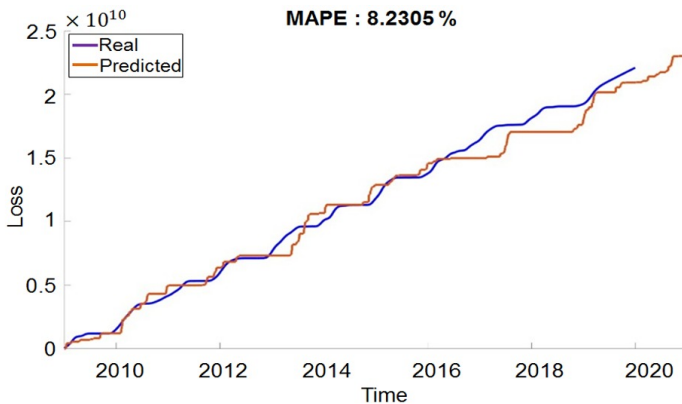
$L(t)$: *cummulative loss* atau kerugian kumulatif pada waktu t

$\hat{L}(t)$: kerugian kumulatif acak hasil *Jump Diffusion Process*

Penyesuaian ini dilakukan untuk setiap kurva baik hasil model *Jump Diffusion Process* maupun hasil model *Diffusion Process*. Dari 10.000 kurva yang terbentuk, sekali lagi dicari kurva terbaik yang memiliki nilai MAPE terkecil. Adapun kurva terbaik hasil penyesuaian dari kedua model dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.



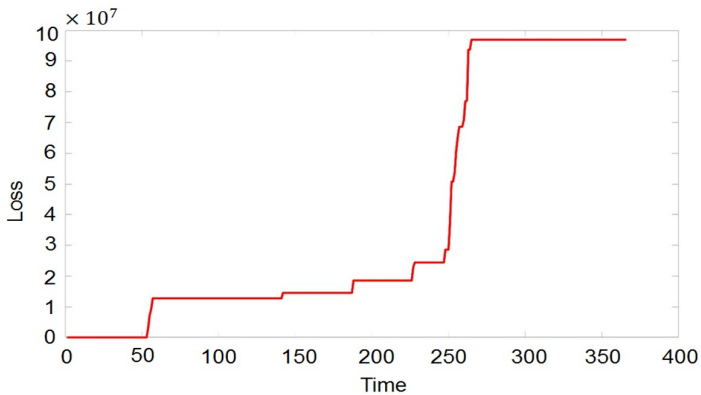
Gambar 4.13. Kurva Hasil Penyesuaian Tanpa *Jump*



Gambar 4.14. Kurva Hasil Penyesuaian Dengan *Jump*

Seperti yang terlihat pada Gambar 4.13, kurva hasil prediksi dengan model *Diffusion Process* sudah sesuai dengan karakteristik kurva kerugian kumulatif yaitu monoton naik. Selain itu, dengan dilakukannya penyesuaian nilai MAPE ikut menurun dari yang semula 11.7851% menjadi 9.8091%. Dari Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa kurva hasil model *Jump Diffusion Process* juga sudah

memenuhi karakteristik kurva kerugian kumulatif dan juga penyesuaian yang dilakukan dapat menurunkan nilai MAPE yang semula 11.7334% menjadi 8.2305%. Dengan kata lain, kedua kurva hasil prediksi sudah semakin mendekati kurva kerugian kumulatif sesungguhnya. Dari kedua kurva ini, kurva model *Jump Diffusion Process* menunjukkan hasil yang lebih baik karena nilai MAPE yang paling kecil. Oleh karena itu, hasil prediksi dengan model *Jump Diffusion Process* yang digunakan untuk tahap selanjutnya. Hasil prediksi yang diberikan berdasarkan kurva *Jump Diffusion Process* di atas dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15. Prediksi Kerugian Kumulatif

Terlihat pada Gambar 4.15 bahwa terjadi peningkatan yang signifikan antara waktu ke 240 hingga waktu ke 270 yang berarti kerugian diperkirakan banyak muncul di antara bulan September dan Oktober. Untuk selanjutnya, kerugian kumulatif yang diperoleh diubah menjadi kerugian non kumulatif atau kerugian harian. Kerugian pada suatu waktu t dapat diperoleh dengan persamaan

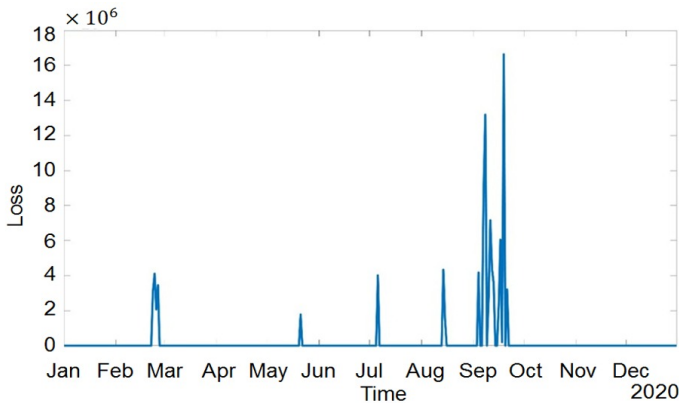
$$l_t = L_t - L_{t-1} \quad (4.3)$$

dengan

l_t : kerugian yang terjadi pada waktu t

L_t : kerugian kumulatif hingga waktu t

Setelah diubah menjadi kurva kerugian non kumulatif berdasarkan persamaan di atas, diperoleh kurva kerugian harian seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Prediksi Kerugian Non Kumulatif

4.6 Penentuan Harga CAT Bond

Setelah diperoleh kurva kerugian, tahap terakhir yang dilakukan adalah melakukan penentuan harga CAT Bond yang sesuai. Harga dikatakan sesuai bukan karena memberikan keuntungan yang maksimal, melainkan karena menimbulkan kerugian yang minimal. Sebagai bentuk *win-win solution*, meminimalkan kerugian untuk kedua belah pihak adalah hal terbaik. Pada Tugas Akhir ini, model bond yang digunakan adalah model *zero coupon bond*. Nilai obligasi pada awal kontrak yang dilambangkan dengan $P(0, T)$ digunakan untuk menentukan harga dari bond. Pada CAT Bond, apabila terjadi bencana alam selama kontrak CAT Bond berlangsung

dan kerugian akibat bencana alam yang diterima sponsor melebihi *threshold* H yang telah ditetapkan pada kontrak, maka kerugian atas bencana tersebut akan dibayarkan oleh *issuer* kepada sponsor. Sebaliknya, bila tidak terjadi bencana yang memicu *CAT Bond*, seluruh uang yang disimpan oleh *issuer* sebagai bagian dari *CAT Bond* akan dikembalikan kepada pihak investor.

Untuk mengetahui bagaimana pembayaran pada *CAT Bond*, terlebih dahulu perlu dibuat struktur dari arus kas. Pada arus kas, terdapat waktu terpicunya *CAT Bond* yang untuk selanjutnya dinotasikan dengan η . Nilai η adalah waktu pertama kalinya nilai kerugian mencapai *threshold* H atau dengan kata lain η adalah minimum t dimana kerugian kumulatif pada waktu t atau L_t lebih besar atau sama dengan H . Nilai dari η dapat dituliskan sebagai persamaan berikut.

$$\eta = \min_{t \geq 0} L_t \geq H \quad (4.4)$$

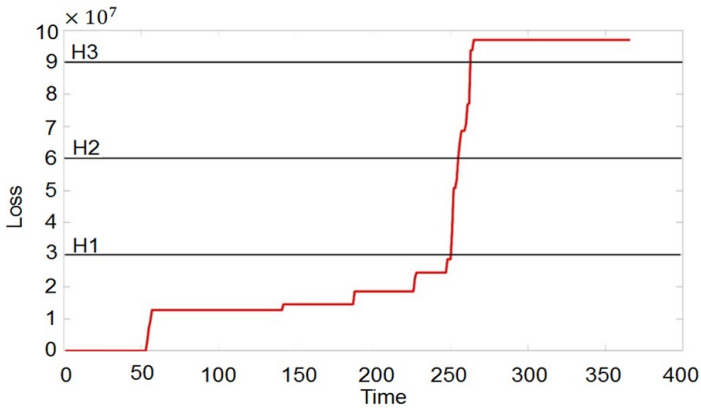
Karena harga *CAT Bond* diperuntukkan investor, maka penentuan harga *CAT Bond* perlu dilakukan dari segi investor. Arus kas yang pasti terjadi pada waktu akhir kontrak T adalah investor akan mendapat kembali seluruh uangnya apabila bencana alam terjadi setelah kontrak berakhir. Apabila bencana alam terjadi sebelum masa kontrak *CAT Bond* berakhir, investor akan mendapat kembali uangnya setelah dikurangi dengan proporsi sebesar ω dimana potongan ini adalah sejumlah uang yang diberikan *issuer* bagian dari ganti rugi kepada pihak sponsor. Nilai ω berada di antara 0 dan 1 bergantung pada besarnya kerugian yang ditimbulkan. Arus kas demikian dapat ditulis sebagai persamaan berikut.

$$\Psi = V - \omega V 1_{\eta < T} = V \cdot (1 - \omega 1_{\eta < T}) \quad (4.5)$$

Pada Persamaan 4.5, terdapat fungsi indikator $1_{\eta < T}$ yang didefinisikan sebagai berikut.

$$1_{\eta < T} = \begin{cases} 1 & , \eta < T \\ 0 & , \eta \geq T \end{cases} \quad (4.6)$$

Dari penjelasan di atas, dibuatlah ilustrasi berikut agar lebih mudah memahami mengenai *threshold* sebagai pemicu kontrak CAT *Bond*. Kurva kerugian yang digunakan adalah kurva kerugian yang diperoleh dari tahap sebelumnya. Sebagai contoh, dibuatlah tiga *threshold* yaitu H_1 , H_2 , dan H_3 dimana masing-masing bernilai 3×10^7 , 6×10^7 , dan 9×10^7 .



Gambar 4.17. Prediksi Kerugian Kumulatif dengan *Threshold*

Dari nilai H_1 , H_2 , dan H_3 yang telah ditentukan serta kurva kerugian kumulatif dari tahap sebelumnya diperoleh η_1 , η_2 , dan η_3 dimana η_1 memiliki nilai berkisar 250, η_2 dengan nilai berkisar pada 260, dan η_3 dengan nilai berkisar pada 270. Untuk selanjutnya, dibahas mengenai persamaan yang digunakan untuk menentukan harga CAT *Bond*. Seperti yang telah dijelaskan pada Subbab 2.11.3 bahwa harga CAT *Bond* dapat didekati dengan ekspektasi nilai hasil *discount* dari arus kas yang terjadi sehingga persamaan sebagai model perhitungan harga CAT *Bond* yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah Persamaan 2.22. Dilakukan substitusi Ψ pada Persamaan 2.22 dengan Ψ pada Persamaan 4.5 dan mengatur nilai t

sama dengan nol sehingga diperoleh persamaan berikut.

$$P(0, T) = \mathbb{E}_Q \left[D(0, T) \cdot V \cdot (1 - \omega 1_{\eta < T}) \middle| \mathcal{F}_T \right] \quad (4.7)$$

Dengan memanfaatkan sifat ekspektasi terhadap operasi perkalian dan dikarenakan V adalah suatu konstanta, Persamaan 4.7 dapat ditulis menjadi

$$P(0, T) = \mathbb{E}_Q \left[D(0, T) \middle| \mathcal{F}_t \right] \cdot V \cdot \mathbb{E}_Q \left[(1 - \omega 1_{\eta < T}) \middle| \mathcal{F}_t \right] \quad (4.8)$$

Berdasarkan sifat fundamental dari ukuran *forward martingale* seperti pada Persamaan 2.21, persamaan di atas dapat ditulis menjadi

$$P(0, T) = D(0, T) \cdot V \cdot \mathbb{E}_Q \left[(1 - \omega 1_{\eta < T}) \middle| \mathcal{F}_t \right] \quad (4.9)$$

Untuk mendapatkan nilai dari $\mathbb{E}_Q [(1 - \omega 1_{\eta < T}) | \mathcal{F}_t]$ dilakukanlah simulasi Monte Carlo. Karena masa kontrak CAT *Bond* pada umumnya adalah tahunan maka pada Tugas Akhir ini digunakan T sama dengan satu tahun penuh. Simulasi dilakukan berdasarkan *pseudocode* berikut ini.

Input

```
1 Banyaknya iterasi
2 Parameter model Jump Diffusion Process
3 Nilai threshold
4 Suku bunga
```

Proses

```
1 CREATE num OF kurva
2 FOR EACH kurva
3   IF MAX kurva > threshold
4     ADD 1 to indikator
5   END IF
6 END FOR
```

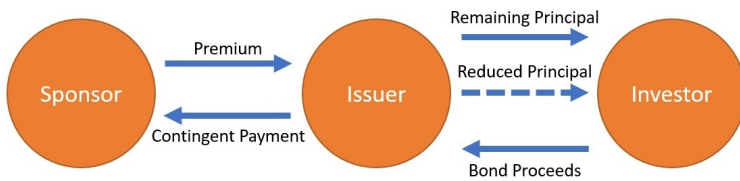
Pada *pseudocode* di atas, dibutuhkan *input* berupa parameter untuk model *Jump Diffusion Process*. Nilai ini diperoleh dari hasil pada Subbab 4.5.2. Untuk nilai lainnya merupakan inputan yang bergantung pada kebijakan pada kontrak *CAT Bond*. Sebagai contoh, digunakan nilai parameter sesuai dengan Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Tabel Nilai Parameter

Parameter	Nilai
T	1
V	10×10^9
μ	8.5802×10^6
μ_J	1.8201×10^7
λ	0.0055
σ	4.8758×10^6
σ_J	3.3335×10^6

Selain parameter yang terdapat pada Tabel 4.8, terdapat juga parameter banyaknya iterasi atau N yang merupakan *input* dari pihak yang menjalankan simulasi. Ada juga parameter *threshold* atau H , parameter proporsi atau ω dan parameter suku bunga atau r . Nilai H dan ω pada *CAT Bond* akan ditetapkan pada awal pembuatan kontrak, sedangkan nilai r diperoleh berdasarkan kondisi keuangan negara yang terlibat dalam kontrak *CAT Bond*. Pada Tugas Akhir ini juga dicari relasi antara harga *CAT Bond* dengan N , nilai H , nilai ω , dan r . Apabila dimungkinkan untuk memperoleh nilai dari keempat parameter ini pada suatu *CAT Bond*, maka dapat dicari secara langsung harga *CAT Bond* tersebut berdasarkan simulasi dan model yang ada. Sebagai contoh, diatur nilai N sama dengan 10.000 dan diketahui nilai H sama dengan 6×10^8 , ω sama dengan 0.8, serta r sama dengan 0.05. Nilai r sama dengan 0.05 merupakan nilai suku bunga yang paling sering digunakan dalam melakukan analisa

dalam matematika keuangan, sedangkan nilai parameter lainnya hanyalah sebuah contoh. Pengaruh dari nilai parameter-parameter ini akan diuji pada simulasi berikutnya. Dari hasil simulasi dengan menggunakan nilai keempat parameter ini akan diperoleh bahwa harga *CAT Bond* yang sesuai adalah 3.709×10^9 . Adapun maksud dari harga *CAT Bond* ini dijelaskan berdasarkan ilustrasi berikut.



Gambar 4.18. Diagram Model *CAT Bond*

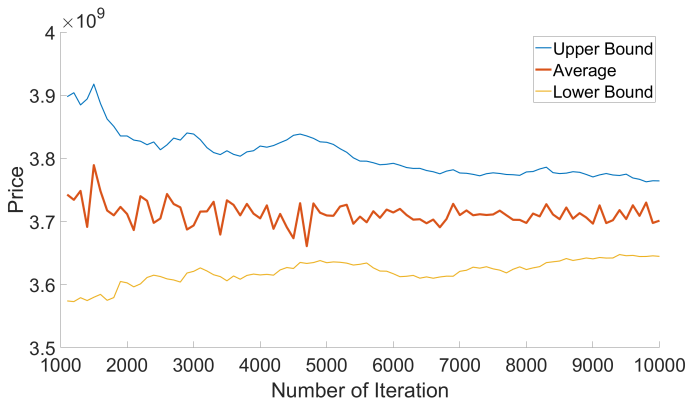
Issuer menerbitkan *CAT Bond* yang ditujukan kepada pihak sponsor dan pihak investor. Pada kontrak *CAT Bond* akan ditetapkan besarnya nilai penanggungan dan batas minimum *threshold* yang menyebabkan terpicunya kontrak *CAT Bond* tersebut. Pada simulasi di atas diasumsikan besar nilai penanggungan adalah 10×10^9 . Pihak investor membeli kontrak *CAT Bond* seharga 3.709×10^9 dan membayarkannya kepada pihak *issuer* (*Bond Proceeds*). Selanjutnya, pihak sponsor harus membayarkan sejumlah premi kepada pihak *issuer* untuk mendapatkan jaminan bantuan (*Premium*). Besar premi tidak dibahas pada Tugas Akhir ini. Pada simulasi di atas, diasumsikan *threshold* pada kontrak adalah 6×10^8 . Apabila selama masa kontrak *CAT Bond* terjadi bencana banjir yang menimbulkan kerugian melebihi *threshold* yang telah ditetapkan, pihak *issuer* akan memberikan dana bantuan kepada pihak sponsor sesuai kerugian yang dialami pihak sponsor (*Contingent Payment*). Dana bantuan yang diberikan tidak melebihi nilai penanggungan pada kontrak *CAT Bond*. Pada simulasi di atas, diasumsikan kerugian yang timbul adalah 0.8 atau 80% dari nilai penanggungan. Sisa nilai

penanggungan diberikan kepada pihak investor (*Remaining Principal*). Namun, apabila tidak terjadi kerugian yang melebihi *threshold*, pihak investor akan mendapatkan dana sebesar nilai penanggungan. Dengan kata lain, pihak investor tidak hanya mendapatkan sisa nilai penanggungan namun keseluruhan nilai penanggungan tanpa pengurangan sedikitpun (*Reduced Principal*).

Selanjutnya dilakukan simulasi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh nilai keempat parameter terhadap harga *CAT Bond*. Pada simulasi-simulasi berikut juga ditampilkan interval maksimum dan minimum yang diperoleh. Sebagai langkah pertama dalam simulasi, dilakukan uji relasi antara harga *CAT Bond* dengan N . Pada simulasi ini, digunakan nilai N mulai dari 1100 hingga 10000 dengan *step* sebesar 100 atau apabila dituliskan secara matematik berupa

$$N \in \{1100, 1200, 1300, \dots, 10000\}$$

Untuk melakukan simulasi ini diperlukan nilai H , ω , dan r sehingga pada simulasi ini nilai H diatur pada nilai 6×10^8 , nilai ω diatur pada nilai 0.8, dan nilai r diatur pada nilai 0.05. Hasil simulasi dengan perubahan nilai N disajikan dalam Gambar 4.19.



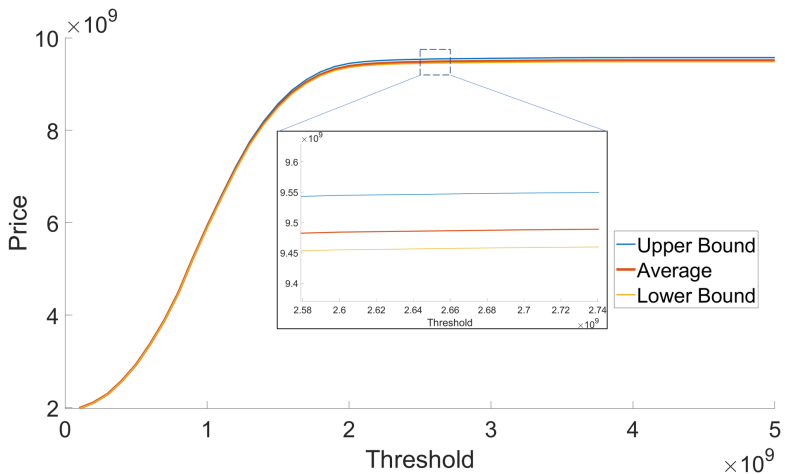
Gambar 4.19. Kurva Harga menurut Jumlah Iterasi

Dari Gambar 4.19, terlihat bahwa harga *CAT Bond* sudah cukup konvergen untuk nilai N yang berbeda. Harga *CAT Bond* yang terbentuk berkisar antara 3×10^9 hingga 4×10^9 . Oleh karena itu, dapat dikatakan jika N tidak terlalu mempengaruhi harga *CAT Bond*. Adapun detail harga *CAT Bond* hasil simulasi di atas dapat dilihat pada Lampiran G.

Untuk selanjutnya, akan dicari pengaruh nilai *threshold* H terhadap harga *CAT Bond*. Pada simulasi kali ini digunakan nilai H mulai dari 1×10^8 hingga 50×10^8 dengan *step* sebesar 10^8 atau secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$H \in \{1 \times 10^8, 2 \times 10^8, 3 \times 10^8, \dots, 50 \times 10^8\}$$

Untuk melakukan simulasi ini diperlukan nilai N , ω , dan r sehingga pada simulasi ini nilai N diatur pada nilai 1000, nilai ω diatur pada nilai 0.8, dan nilai r diatur pada nilai 0.05. Hasil simulasi ini disajikan dalam Gambar 4.20.



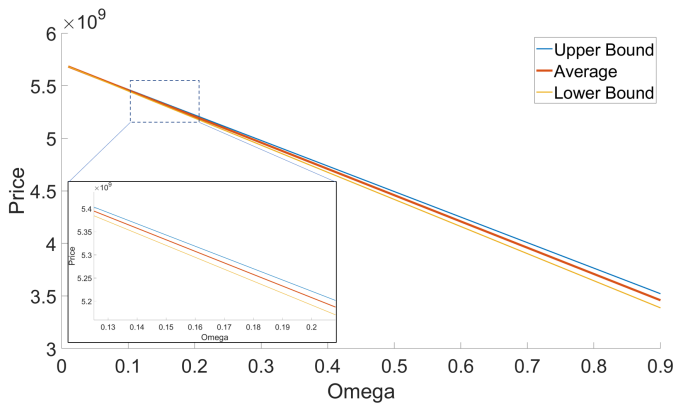
Gambar 4.20. Kurva Harga menurut *Threshold*

Dari Gambar 4.20, terlihat bahwa harga CAT *Bond* berubah secara signifikan untuk nilai H yang berbeda. Oleh karena itu, dapat dikatakan jika H sangat mempengaruhi harga CAT *Bond* terutama pada H antara 1×10^8 hingga 20×10^8 , sedangkan untuk H lebih dari 2×10^8 harga CAT *Bond* tetap meningkat walau tidak signifikan. Selain itu, harga CAT *Bond* juga meningkat pesat pada rentang *threshold* 10×10^8 hingga 15×10^8 .

Untuk selanjutnya, akan dicari pengaruh nilai proporsi ω terhadap harga CAT *Bond*. Pada simulasi kali ini digunakan nilai ω mulai dari 0.01 hingga 0.9 dengan *step* sebesar 0.01 atau secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$\omega \in \{0.01, 0.02, 0.03, \dots, 0.9\}$$

Untuk melakukan simulasi ini diperlukan nilai N , H , dan r sehingga pada simulasi ini nilai N diatur pada nilai 1000, nilai H diatur pada nilai 6×10^8 , dan nilai r diatur pada nilai 0.05. Hasil simulasi ini disajikan dalam Gambar 4.21.



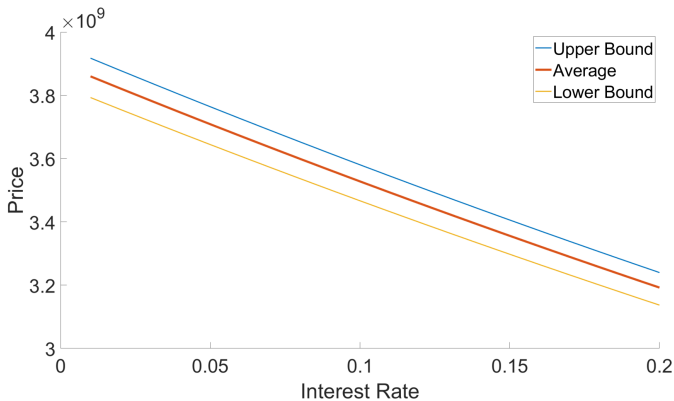
Gambar 4.21. Kurva Harga menurut Proporsi

Dari Gambar 4.21, terlihat bahwa harga *CAT Bond* berubah secara signifikan untuk nilai ω yang berbeda. Nilai ω yang semakin besar mengakibatkan penurunan harga pada *CAT Bond*.

Untuk selanjutnya, akan dicari pengaruh r terhadap harga *CAT Bond*. Pada simulasi ini digunakan nilai r mulai dari 0.01 hingga 0.2 dengan *step* sebesar 0.01 atau secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$r \in \{0.01, 0.02, 0.03, \dots, 0.2\}$$

Untuk melakukan simulasi ini diperlukan nilai N dan H sehingga pada simulasi ini nilai N diatur pada nilai 1000, sedangkan nilai H diatur pada nilai 6×10^8 . Hasil simulasi ini disajikan dalam Gambar 4.22.



Gambar 4.22. Kurva Harga menurut Suku Bunga

Dari Gambar 4.22, terlihat bahwa harga *CAT Bond* berubah tidak terlalu signifikan untuk nilai r yang berbeda. Harga yang terbentuk masih berkisar pada 3×10^9 . Oleh karena itu, dapat dikatakan jika r cukup mempengaruhi harga *CAT Bond* dimana untuk r yang semakin meningkat akan mengakibatkan harga *CAT Bond* terus menurun.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini, diberikan kesimpulan yang berdasarkan hasil simulasi pada bab IV. Selain itu, juga diberikan kesimpulan dari analisis lanjut, serta saran untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi, simulasi, dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal terkait perhitungan harga CAT *Bond* sebagai berikut.

1. Model yang digunakan untuk menghitung kerugian per wilayah adalah banyaknya individu yang menjadi korban dikalikan dengan besar kerugian per jiwa, ditambah dengan luas wilayah yang terendam dikalikan dengan besar kerugian per meter persegi, hasil jumlahan tersebut dikalikan dengan faktor pengali.
2. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan indeks kerugian banjir akibat curah hujan yang diperoleh dengan metode regresi adalah

$$dL_t = 8.5802 \times 10^6 dt + 4.8758 \times 10^6 dW_t + (Y - 1)dN_t$$

dengan

W_t : gerak Brown

Y : faktor lompatan berdistribusi normal

$$N(1.8201 \times 10^7, 3.3335 \times 10^6)$$

N_t : proses Poisson standar dengan $\lambda = 0.0055$

3. Model yang digunakan untuk menentukan harga CAT *Bond* untuk bencana banjir adalah ekspekasi dari hasil perkalian faktor *discount* dengan arus kas.

4. Besarnya *threshold* memengaruhi harga dari CAT *Bond* secara signifikan sedangkan proporsi reduksi, suku bunga, dan jumlah iterasi tidak memengaruhi harga CAT *Bond* secara signifikan.

5.2 Saran

Berdasarkan dari kesimpulan diatas, ada beberapa hal yang masih menjadi kekurangan pada Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, disarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Kondisi keuangan negara tidaklah monoton sehingga diperlukan kajian lebih lanjut apabila tingkat suku bunga berubah untuk setiap waktunya.
2. Diperlukan kajian lebih lanjut untuk kepadatan penduduk yang heterogen.
3. Dalam memodelkan debit hidrologi diperlukan kajian lebih lanjut untuk metode selain metode rasional.

DAFTAR PUSTAKA

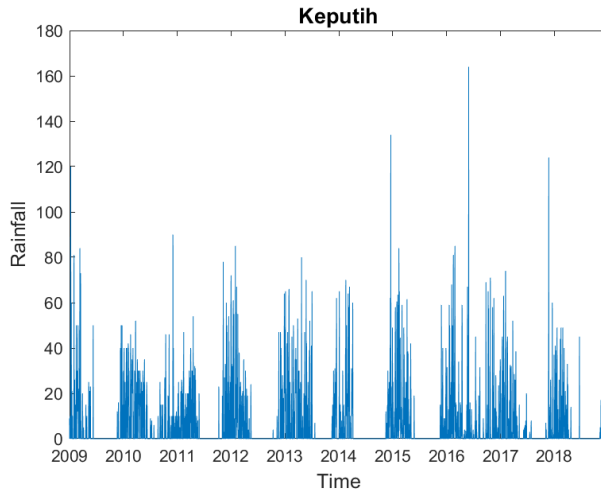
- [1] Preston B Cline. Re-examining the risk paradox. In *Wilderness Risk Managers Conference, NOLS*, 2003.
- [2] BNPB. Data informasi bencana indonesia. <http://bnpb.cloud/dibi/beranda>, 2019.
- [3] Universitas Pendidikan Indonesia. Pusat pendidikan mitigasi bencana. http://p2mb.geografi.upi.edu/Mitigasi_Bencana.html, 2010.
- [4] Arief Rosyidie. Banjir: fakta dan dampaknya, serta pengaruh dari perubahan guna lahan. *Journal of Regional and City Planning*, 24(3):241–249, 2013.
- [5] Zong-Gang Ma and Chao-Qun Ma. Pricing catastrophe risk bonds: A mixed approximation method. *Insurance: Mathematics and Economics*, 52(2):243–254, 2013.
- [6] Samuel H Cox and Hal W Pedersen. Catastrophe risk bonds. *North American Actuarial Journal*, 4(4):56–82, 2000.
- [7] Paul Glasserman. *Monte Carlo methods in financial engineering*, volume 53. Springer Science & Business Media, 2013.
- [8] Mathieu Parcollet, Bernard F Lamond, et al. The valuation of catastrophe bonds with exposure to currency exchange risk. *International Review of Financial Analysis*, 33:243–252, 2014.
- [9] Imroatus Siyamah. Analisis perbandingan valuasi cat bond dengan metode monte carlo dan kuasi monte carlo, 2019.
- [10] Neil M Bodoff and Yunbo Gan. An analysis of the market price of cat bonds. In *CAS E-Forum*, 2009.

- [11] Jia Shao. *Modelling catastrophe risk bonds*. PhD thesis, University of Liverpool, 2015.
- [12] Jim Frost. Regression analysis: How do i interpret r-squared and assess the goodness-of-fit. *The Minitab Blog*, 30, 2013.
- [13] John O Rawlings, Sastry G Pantula, and David A Dickey. *Applied regression analysis: a research tool*. Springer Science & Business Media, 2001.
- [14] Christopher KI Williams and Carl Edward Rasmussen. *Gaussian processes for machine learning*, volume 2. MIT press Cambridge, MA, 2006.
- [15] I Made Kamiana. Teknik perhitungan debit rencana bangunan air. *Graha Ilmu, Yogyakarta*, 2011.
- [16] David B Thompson. The rational method. *David B. Thompson Civil Engineering Department Texas Tech University*. pp, pages 1–7, 2006.
- [17] Suripin. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi, 2004.
- [18] Kensaku Takeda and Suyono Sosrodarsono. Hidrologi untuk pengairan. *Editor Sosrodarsono, S. PT Pradnya Paramita: Jakarta*, 2003.
- [19] WS Kerby. Time of concentration for overland flow. *Civil Engineering*, 29:60, 1959.
- [20] Daniel J Findley, Bastian Schroeder, Christopher Cunningham, and Tom Brown. *Highway engineering: planning, design, and operations*. Butterworth-Heinemann, 2015.
- [21] Michèle Basseville, Igor V Nikiforov, et al. *Detection of abrupt changes: theory and application*, volume 104. prentice Hall Englewood Cliffs, 1993.

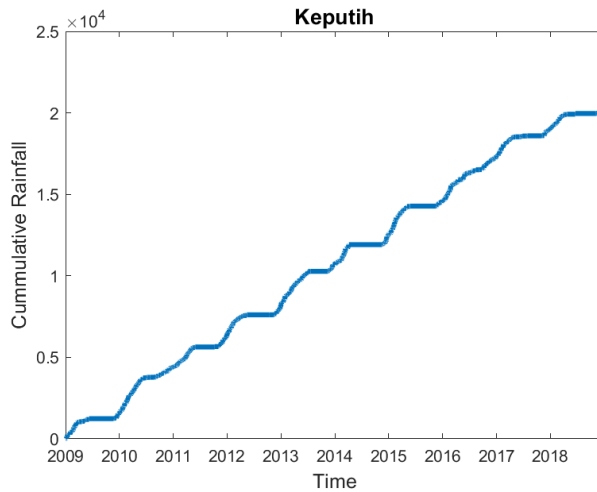
- [22] Erik W Grafarend. *Linear and nonlinear models: fixed effects, random effects, and mixed models*. de Gruyter, 2006.
- [23] WJ Riley. Algorithms for frequency jump detection. *Metrologia*, 45(6):S154, 2008.
- [24] Sergei N Rodionov. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters*, 31(9), 2004.
- [25] Mathieu Parcollet, Bernard F Lamond, et al. The valuation of catastrophe bonds with exposure to currency exchange risk. *International Review of Financial Analysis*, 33:243–252, 2014.
- [26] Krzysztof Burnecki, Grzegorz Kukla, and David Taylor. Pricing of catastrophe bonds. In *Statistical tools for finance and insurance*, pages 371–391. Springer, 2011.
- [27] Morton Lane. The viability and likely pricing of “cat bonds” for developing countries. *Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective*. Risk Books, London, pages 239–268, 2004.
- [28] Nicolas Privault. *Stochastic finance: an introduction with market examples*. CRC Press, 2013.
- [29] Hélyette Geman, Nicole El Karoui, and Jean-Charles Rochet. Changes of numeraire, changes of probability measure and option pricing. *Journal of Applied probability*, 32(2):443–458, 1995.
- [30] Corwin Joy, Phelim P Boyle, and Ken Seng Tan. Quasi-monte carlo methods in numerical finance. *Management Science*, 42(6):926–938, 1996.
- [31] PP Boyle. A monte carlo approach to options. *Journal of Financial Economics*, 4:323–338, 1977.

- [32] Ahmet Göncü. Monte carlo and quasi-monte carlo methods in financial derivative pricing. 2009.
- [33] PT Calvary Abadi. U-ditch. <https://www.calvaryabadi.com/products/u-ditch>, 2017.
- [34] Reference. What is the average height of a two-story house? <https://www.reference.com/world-view/average-height-two-story-house-77c4bc58-91e34944>.
- [35] Encyclopedia Britannica. Climate. <https://www.britannica.com/science/climate-meteorology>.
- [36] FishXing. Manning's n values. http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/FX3_Help.html#8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm.

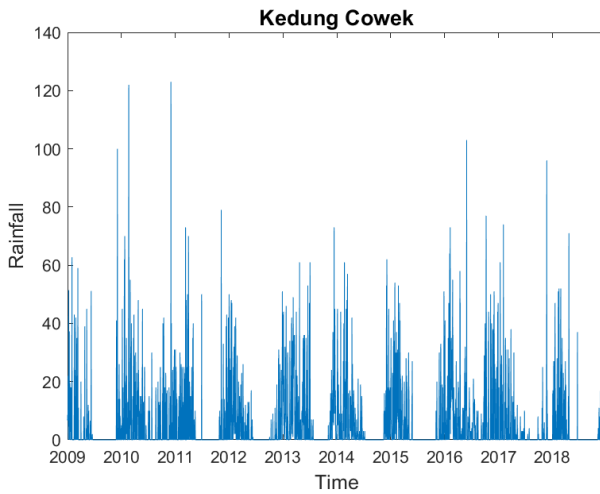
Lampiran A
Data Curah Hujan Maksimum Harian Surabaya



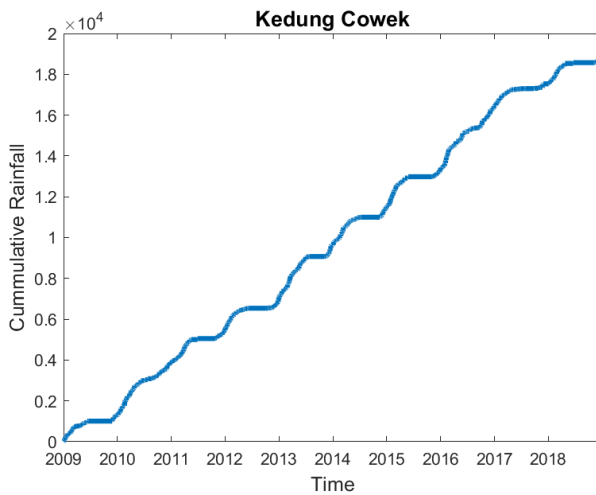
Gambar A-1. Curah Hujan Kelurahan Keputih



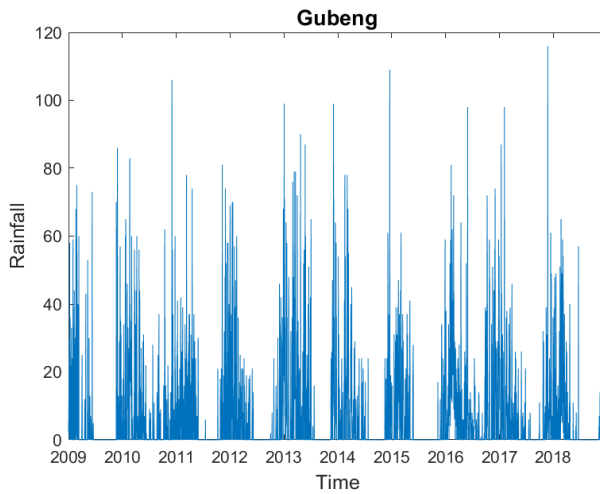
Gambar A-2. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Keputih



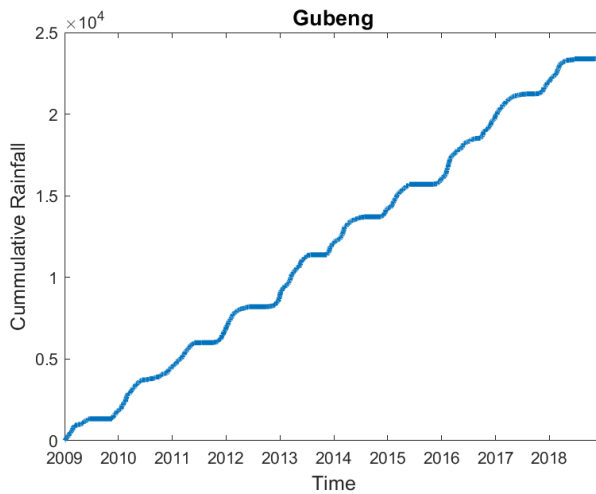
Gambar A-3. Curah Hujan Kelurahan Kedung Cowek



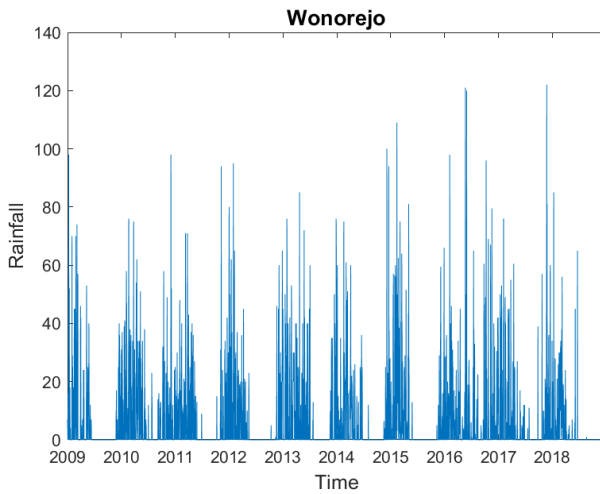
Gambar A-4. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Kedung Cowek



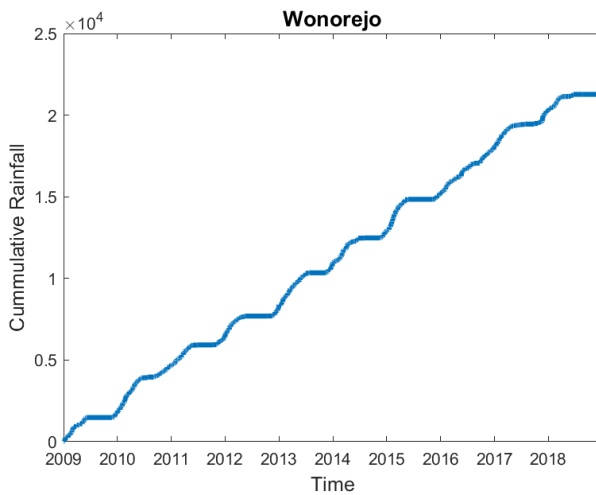
Gambar A-5. Curah Hujan Kelurahan Gubeng



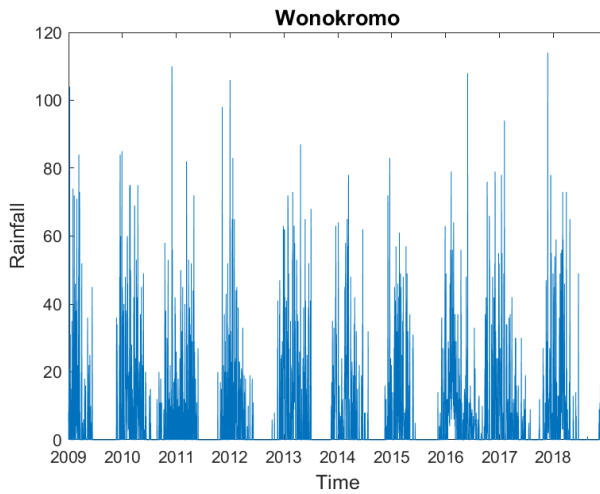
Gambar A-6. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Gubeng



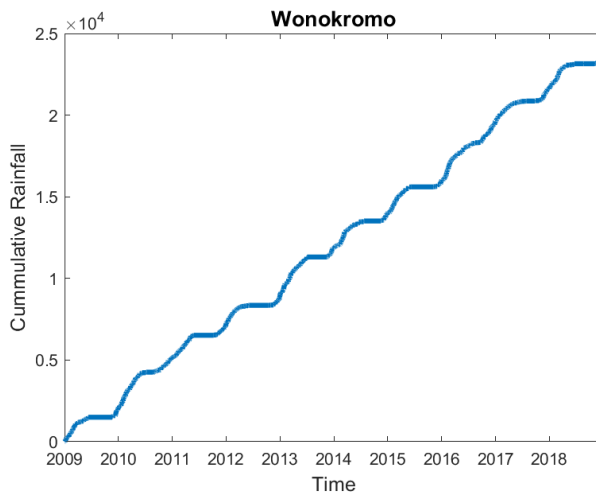
Gambar A-7. Curah Hujan Kelurahan Wonorejo



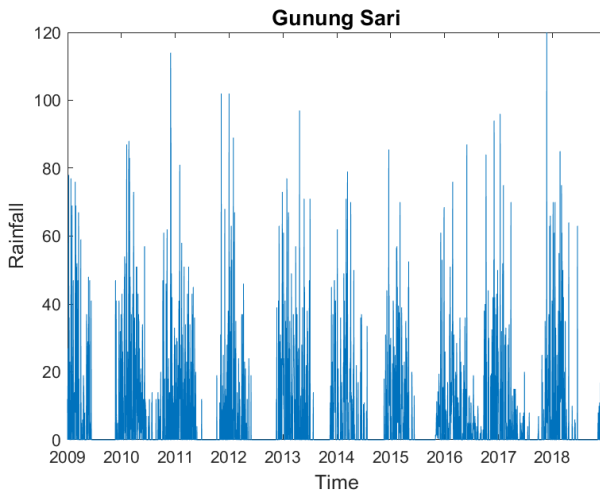
Gambar A-8. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Wonorejo



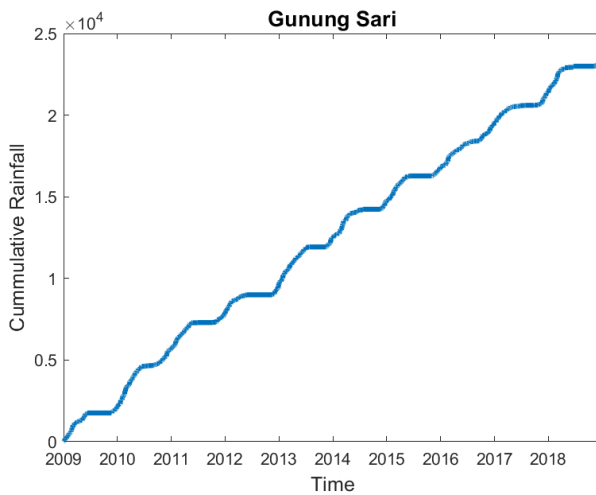
Gambar A-9. Curah Hujan Kelurahan Wonokromo



Gambar A-10. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Wonokromo



Gambar A-11. Curah Hujan Kelurahan Gunung Sari



Gambar A-12. Curah Hujan Kumulatif Kelurahan Gunung Sari

Lampiran B

Source Code Matlab

1. Pengacakan Saluran

```
1 randomized_Watersheds = [];  
2 for i=1:length(data_Nama_Kelurahan)  
3     luas_Temporary = 0;  
4     j = 1;  
5     while luas_Temporary < data_Luas_Kelurahan(i)  
6         dump = randi(length(data_Saluran));  
7         randomized_Watersheds(i,j) = dump;  
8         j = j+1;  
9         luas_Temporary = luas_Temporary+  
            data_Luas_Total(dump);  
10    end  
11 end
```

2. Perhitungan Waktu Konsentrasi

```
1 ukuran = size(randomized_Watersheds);  
2 for i=1:ukuran(1)  
3     for j=1:ukuran(2)  
4         index = randomized_Watersheds(i,j);  
5         if(index ~= 0)  
6             to_Jatuh = 0;  
7             if(data_Luas_Atap(index) ~= 0)  
8                 to_Jatuh = max(abs(normrnd(  
                    average_Tinggi_Bangunan, 25)),...  
                    average_Tinggi_Bangunan)/(normrnd(  
                    average_Speed_Tetesan, 0.1)*60);  
9                 end  
10                to(i,j) = max([to_Atap(index)+to_Jatuh+  
                    to_Jalan(index); to_Atap(index)+...  
                    to_Jatuh+to_Taman(index); to_Jalan(  
                    index); to_Taman(index)]);% minutes  
11            end  
12        end  
13    end  
14 end  
15 end
```

3. Perhitungan Debit Hidrologi

```
1 hydrology_Discharge = [];  
2 for i=1:length(new_data_Curah_Hujan)  
3     for j=1:ukuran(1)  
4         for k=1:ukuran(2)  
5             index = randomized_Watersheds(j,k);  
6             if(index ~= 0)  
7                 hydrology_Discharge(i,j,k) = 0.278*  
                    c_Gabungan(index)*rainfall_Intensity(i,j,k)*  
                    data_Luas_Total(index);  
8             end  
9         end  
10    end  
11 end
```

4. Pengacakan Saluran Drainase

```
1 randomized_Drainage = [];  
2 for i=1:ukuran(1)  
3     for j=1:ukuran(2)  
4         randomized_Drainage(i,j) = randi(length(  
            data_UDitch));  
5     end  
6 end
```

5. Perhitungan Debit Hidrolika

```
1 hydraulic_Discharge = [];  
2 for i=1:ukuran(1)  
3     for j=1:ukuran(2)  
4         index = randomized_Drainage(i,j);  
5         hydraulic_Discharge(i,j) = (1/n_Concrete)  
            *(hydrolic_Radius(index)^(2/3))*sqrt(  
            s_UDitch)*cross_Area_UDitch(index);  
6     end  
7 end
```

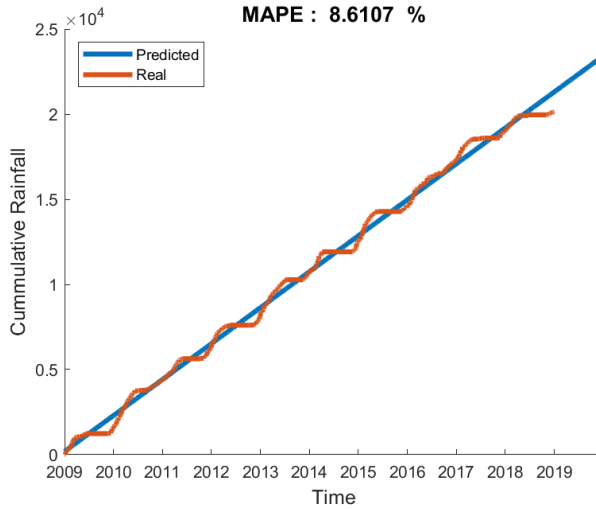
6. Perhitungan Kerugian

```
1 flooded_Area = [];  
2 flooded_People = [];  
3 loss_Area = 10000;% per m^2  
4 loss_People = 25000;% individual  
5 for i=1:length(new_data_Curah_Hujan)  
6     for j=1:ukuran(1)  
7         flooded_Area(j,i) = 0;  
8         flooded_People(j,i) = 0;  
9         total_Loss(j,i) = 0;  
10        for k=1:ukuran(2)  
11            if(hydrology_Discharge(i,j,k)>  
hydraulic_Discharge(j,k))  
12                flooded_Area(j,i) = rand()*  
data_Luas_Total(randomized_Watersheds(j,k));  
13                flooded_People(j,i) = round((  
data_Luas_Total(randomized_Watersheds(j,k))  
./...  
14                data_Luas_Kelurahan(j)).*abs(normrnd  
(data_Jumlah_Penduduk(j),23050)));  
15                total_Loss(j,i) = total_Loss(j,i)+(  
loss_Area.*flooded_Area(j,i)+loss_People.*  
flooded_People(j,i))*(hydrology_Discharge(i,  
j,k)-hydraulic_Discharge(j,k))/  
hydraulic_Discharge(j,k);  
16            end  
17        end  
18    end  
19 end
```

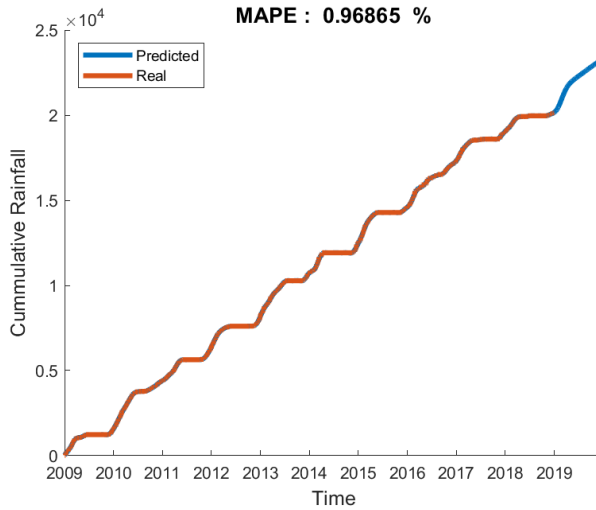
7. Deteksi Lompatan

```
1 jump = [];  
2 for i = 2:length(all_Loss)  
3     temp = all_Loss(1:i);  
4     temp_mu = mean(temp);  
5     temp_sigma = std(temp);  
6     z_score = (temp(i)-temp_mu)/temp_sigma;  
7     if(abs(z_score)>3)  
8         jump = [jump;i];  
9     end  
10 end
```

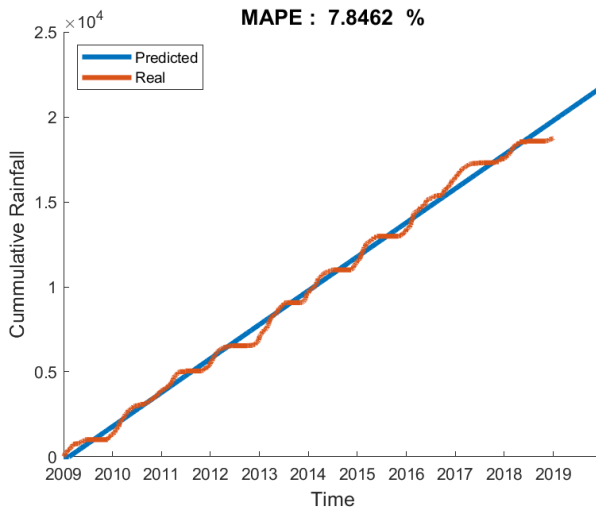

Lampiran C Hasil Regresi Curah Hujan



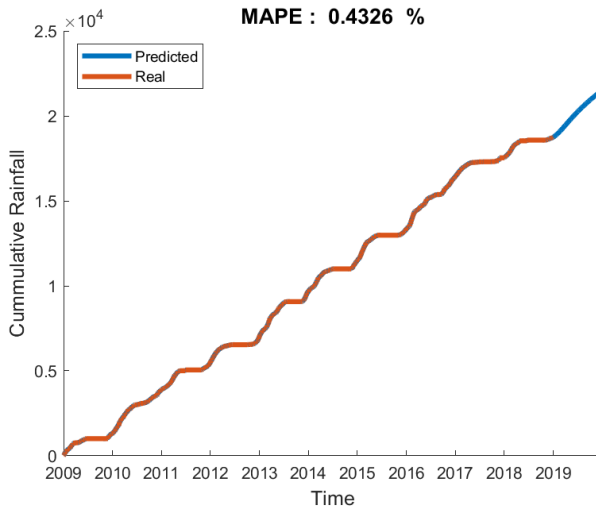
Gambar C-1. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Keputih



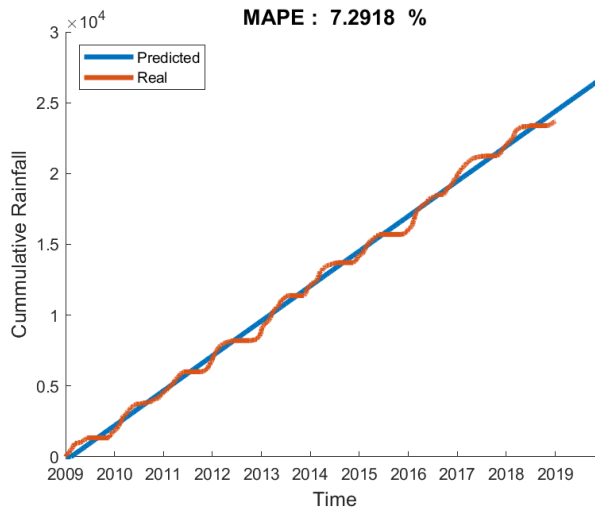
Gambar C-2. Hasil Regresi Gaussian Curah Hujan Keputih



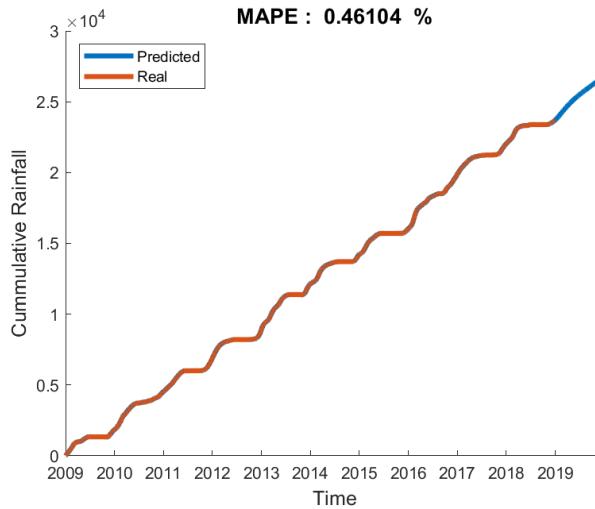
Gambar C-3. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Kedung Cowek



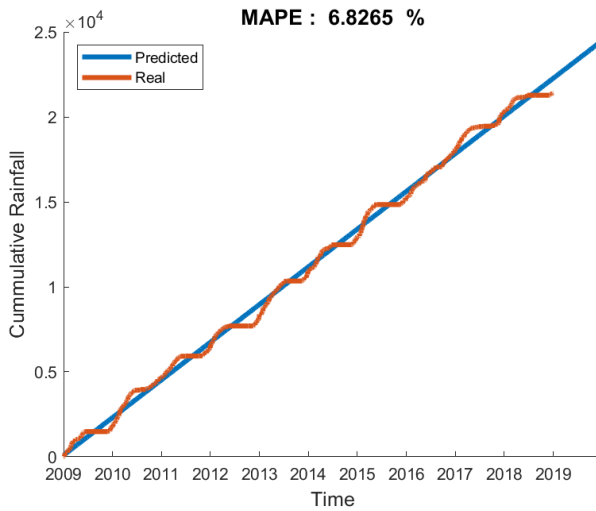
Gambar C-4. Hasil Regresi Gaussian Curah Hujan Kedung Cowek



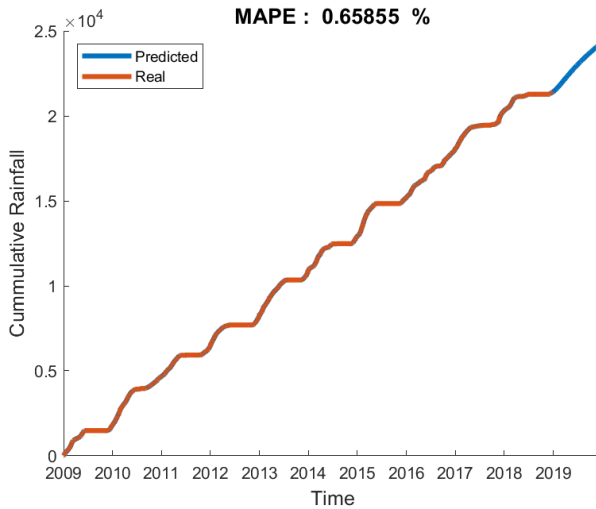
Gambar C-5. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Gubeng



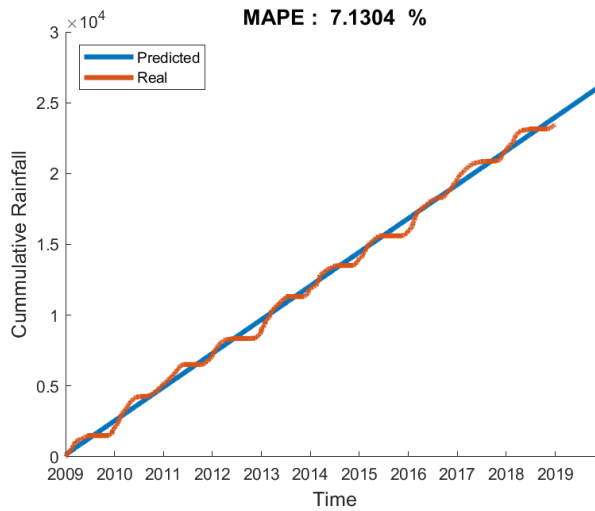
Gambar C-6. Hasil Regresi Gaussian Curah Hujan Gubeng



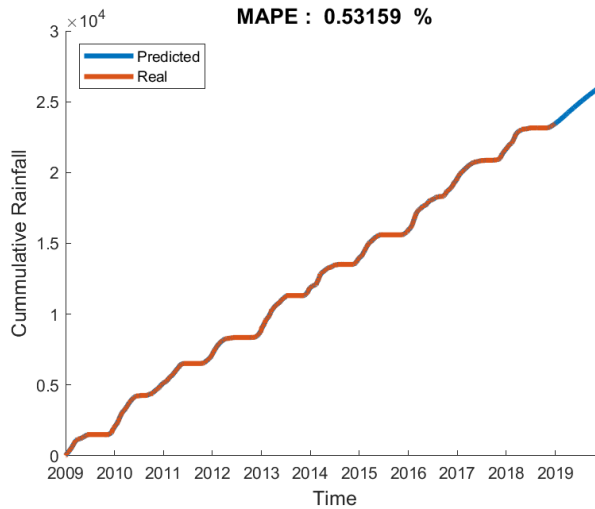
Gambar C-7. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Wonorejo



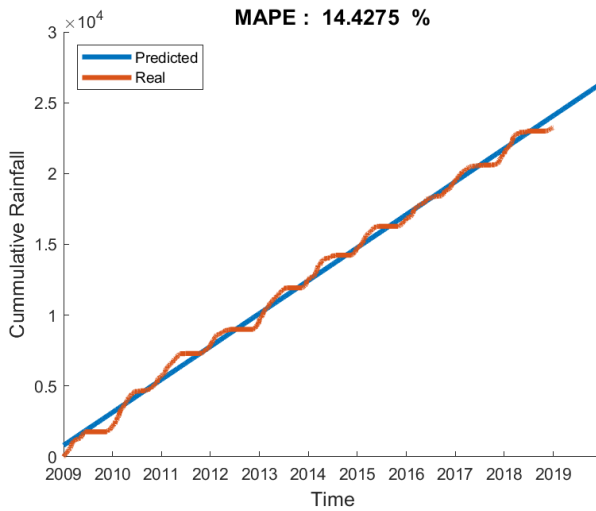
Gambar C-8. Hasil Regresi Gaussian Curah Hujan Wonorejo



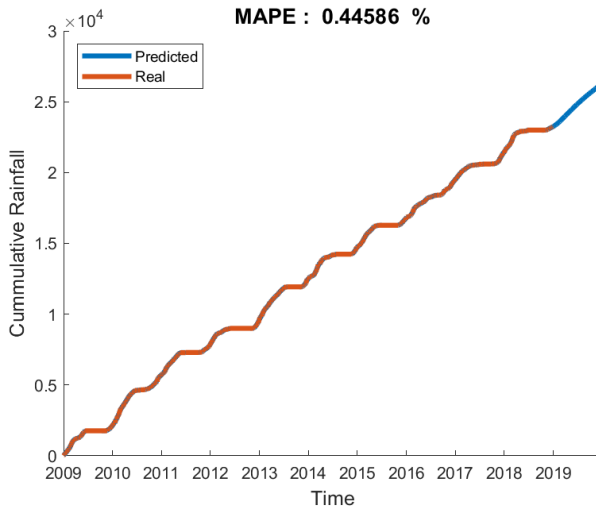
Gambar C-9. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Wonokromo



Gambar C-10. Hasil Regresi Gaussian Curah Hujan Wonokromo



Gambar C-11. Hasil Regresi Linear Curah Hujan Gunung Sari



Gambar C-12. Hasil Regresi Gaussian Curah Hujan Gunung Sari

Lampiran D
Hasil Pengacakan Saluran (*Watersheds*)

Tabel D-1. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	35	25	4	11	21	37	37
Luas kumulatif	2012	2744	5076	5812	7548	8998	10448

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	6	37	37	19	31	6	17
Luas kumulatif	12792	14242	15692	16424	18436	20780	22516

Pengacakan ke	15	16	17	18	19	20	21
Hasil pengacakan	35	31	37	25	2	33	36
Luas kumulatif	24528	26540	27990	28722	30654	32104	36214

Tabel D-1. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	22	23	24	25	26	27	28
Hasil pengacakan	26	29	29	15	25	7	27
Luas kumulatif	40324	41774	43224	44124	44856	45418	47430

Pengacakan ke	29	30	31	32	33	34	35
Hasil pengacakan	2	11	2	4	32	27	13
Luas kumulatif	49362	50098	52030	54262	58372	60384	61316

Pengacakan ke	36	37	38	39	40	41	42
Hasil pengacakan	37	2	17	15	30	31	8
Luas kumulatif	62766	64698	66434	67334	71444	73456	75800

Pengacakan ke	43	44	45	46	47	48	49
Hasil pengacakan	19	17	25	27	29	11	26
Luas kumulatif	76532	78268	79000	81012	82462	83198	87308

Tabel D-1. Hasil Pengacakan Saluran Keluaran Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	50	51	52	53	54	55	56
Hasil pengacakan	25	7	5	19	37	13	23
Luas kumulatif	88040	88602	89164	89896	91346	92278	94126

Pengacakan ke	57	58	59	60	61	62	63
Hasil pengacakan	9	29	10	20	27	34	37
Luas kumulatif	94688	96138	98294	100030	102042	106152	107602

Pengacakan ke	64	65	66	67	68	69	70
Hasil pengacakan	21	6	6	10	32	10	31
Luas kumulatif	109338	111682	114026	116182	120292	122448	124460

Pengacakan ke	71	72	73	74	75	76	77
Hasil pengacakan	10	36	14	8	10	24	18
Luas kumulatif	126616	130726	131776	134120	136276	138124	139860

Tabel D-1. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	78	79	80	81	82	83	84
Hasil pengacakan	14	32	-	-	-	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

Tabel D-2. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Kedung Cowek

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	23	21	35	11	29	29	15
Luas kumulatif	2012	2744	5076	5812	7548	8998	10448

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	22	3	-	-	-	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

Tabel D-3. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Gubeng

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	3	21	30	36	5	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

Tabel D-4. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Wonorejo

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	22	18	1	13	7	31	12
Luas kumulatif	2012	2744	5076	5812	7548	8998	10448

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	21	7	23	10	25	27	29
Luas kumulatif	12792	14242	15692	16424	18436	20780	22516

Pengacakan ke	15	16	17	18	19	20	21
Hasil pengacakan	18	4	9	35	6	32	21
Luas kumulatif	24528	26540	27990	28722	30654	32104	36214

Pengacakan ke	22	23	24	25	26	27	28
Hasil pengacakan	38	3	17	5	37	1	30
Luas kumulatif	40324	41774	43224	44124	44856	45418	47430

Tabel D-4. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Wonorejo (lanjutan)

Pengacakan ke	29	30	31	32	33	34	35
Hasil pengacakan	32	34	4	16	10	31	17
Luas kumulatif	49362	50098	52030	54262	58372	60384	61316

Pengacakan ke	36	37	38	39	40	41	42
Hasil pengacakan	35	7	-	-	-	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

Tabel D-5. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Wonokromo

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	11	6	6	34	23	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

Tabel D-6. Hasil Pengacakan Saluran Kelurahan Gunung Sari

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	21	6	33	24	14	20	16
Luas kumulatif	2012	2744	5076	5812	7548	8998	10448

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	3	10	5	7	10	-	-
Luas kumulatif	140910	145020	-	-	-	-	-

Lampiran E
Hasil Pengacakan Saluran Drainase

Tabel E-1. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	35	25	4	11	21	37	37

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	6	37	37	19	31	6	17

Pengacakan ke	15	16	17	18	19	20	21
Hasil pengacakan	35	31	37	25	2	33	36

Pengacakan ke	22	23	24	25	26	27	28
Hasil pengacakan	26	29	29	15	25	7	27

Tabel E-1. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	29	30	31	32	33	34	35
Hasil pengacakan	2	11	2	4	32	27	13

Pengacakan ke	36	37	38	39	40	41	42
Hasil pengacakan	37	2	17	15	30	31	8

Pengacakan ke	43	44	45	46	47	48	49
Hasil pengacakan	19	17	25	27	29	11	26

Pengacakan ke	50	51	52	53	54	55	56
Hasil pengacakan	25	7	5	19	37	13	23

Pengacakan ke	57	58	59	60	61	62	63
Hasil pengacakan	9	29	10	20	27	34	37

Tabel E-1. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Keputih (lanjutan)

Pengacakan ke	64	65	66	67	68	69	70
Hasil pengacakan	21	6	6	10	32	10	31

Pengacakan ke	71	72	73	74	75	76	77
Hasil pengacakan	10	36	14	8	10	24	18

Pengacakan ke	78	79	80	81	82	83	84
Hasil pengacakan	14	32	-	-	-	-	-

Tabel E-2. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Kedung Cowek

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	18	13	18	15	18	15	20

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	15	27	-	-	-	-	-

Tabel E-3. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Gubeng

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	21	23	22	9	15	-	-

Tabel E-4. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Wonorejo

Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	6	16	18	12	6	26	3

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	3	4	5	17	16	2	26

Pengacakan ke	15	16	17	18	19	20	21
Hasil pengacakan	20	20	2	24	26	27	24

Pengacakan ke	22	23	24	25	26	27	28
Hasil pengacakan	22	14	5	11	4	1	26

Pengacakan ke	29	30	31	32	33	34	35
Hasil pengacakan	9	8	9	13	18	1	23

Tabel E-4. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Wonorejo (lanjutan)

Pengacakan ke	36	37	38	39	40	41	42
Hasil pengacakan	16	24	-	-	-	-	-

Tabel E-5. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Wonokromo

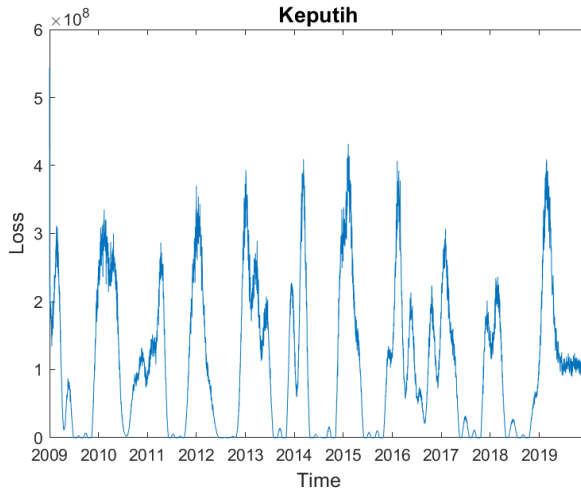
Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	12	1	25	6	3	-	-

Tabel E-6. Hasil Pengacakan Saluran Drainase Kelurahan Gunung Sari

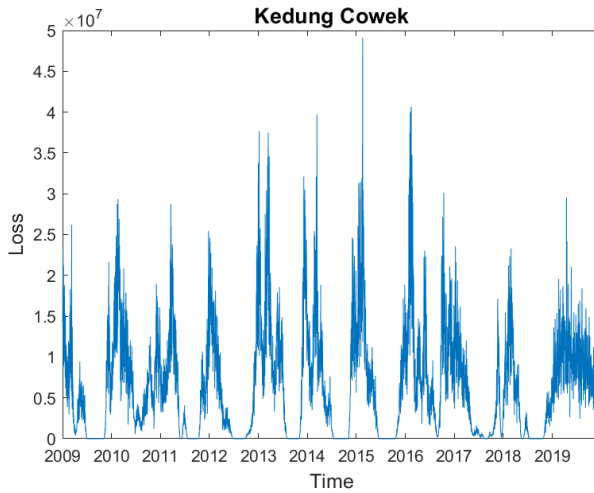
Pengacakan ke	1	2	3	4	5	6	7
Hasil pengacakan	3	21	6	11	15	7	18

Pengacakan ke	8	9	10	11	12	13	14
Hasil pengacakan	14	5	22	3	8	-	-

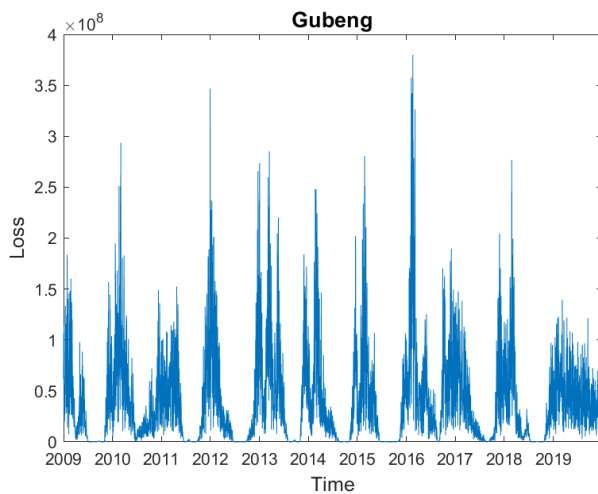
Lampiran F Kurva Kerugian



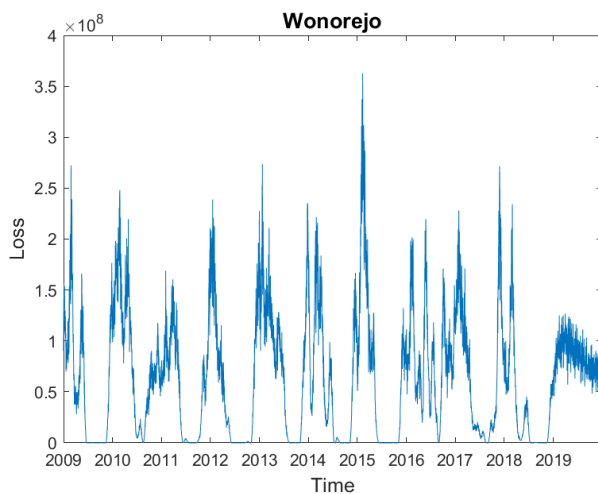
Gambar F-1. Kurva Kerugian Kelurahan Keputih



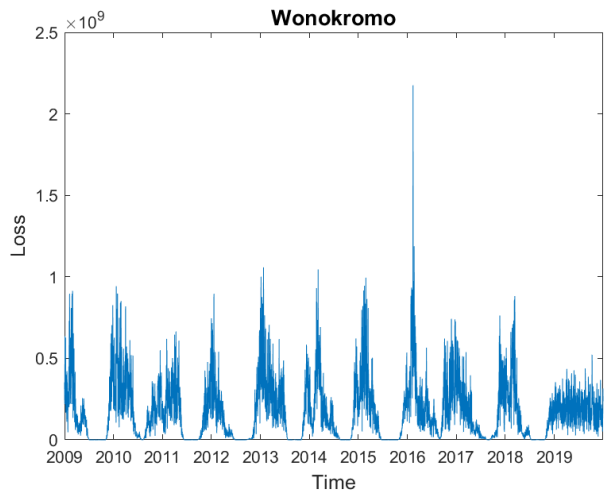
Gambar F-2. Kurva Kerugian Kelurahan Kedung Cowek



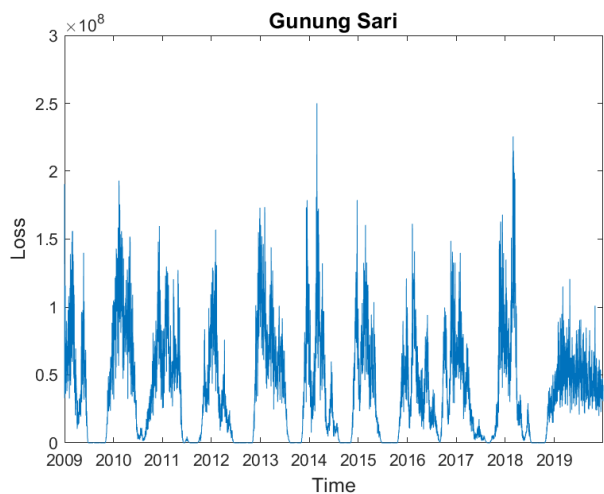
Gambar F-3. Kurva Kerugian Kelurahan Gubeng



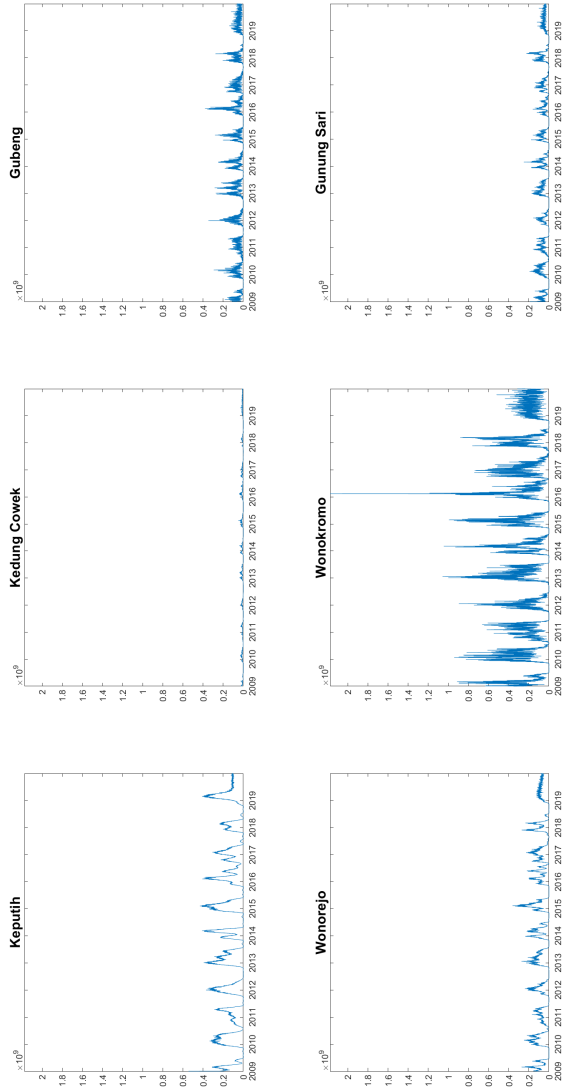
Gambar F-4. Kurva Kerugian Kelurahan Wonorejo



Gambar F-5. Kurva Kerugian Kelurahan Wonokromo



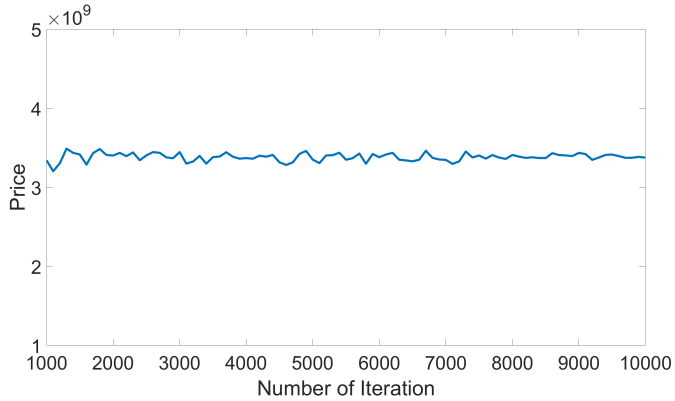
Gambar F-6. Kurva Kerugian Kelurahan Gunung Sari



Gambar F-7. Perbandingan Kerugian Semua Kelurahan

Lampiran G

Relasi Harga dengan Parameter Input



Gambar G-1. Kurva Harga menurut Jumlah Iterasi

Tabel G-1. Harga CAT *Bond* sesuai Jumlah Iterasi

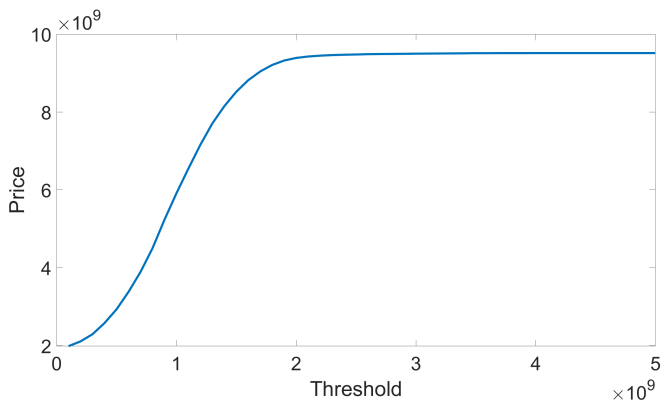
N	Harga	N	Harga
1100	3.20305×10^9	2100	3.43530×10^9
1200	3.30394×10^9	2200	3.39329×10^9
1300	3.48882×10^9	2300	3.44097×10^9
1400	3.43530×10^9	2400	3.34199×10^9
1500	3.41428×10^9	2500	3.40312×10^9
1600	3.28650×10^9	2600	3.44491×10^9
1700	3.43338×10^9	2700	3.43570×10^9
1800	3.48361×10^9	2800	3.37822×10^9
1900	3.40841×10^9	2900	3.36670×10^9
2000	3.40160×10^9	3000	3.44472×10^9

Tabel G-1. Harga CAT *Bond* sesuai Jumlah Iterasi (lanjutan)

N	Harga	N	Harga
3100	3.29923×10^9	5600	3.36735×10^9
3200	3.32455×10^9	5700	3.42710×10^9
3300	3.39675×10^9	5800	3.29716×10^9
3400	3.29909×10^9	5900	3.42056×10^9
3500	3.38094×10^9	6000	3.38004×10^9
3600	3.38849×10^9	6100	3.41445×10^9
3700	3.44294×10^9	6200	3.43547×10^9
3800	3.38638×10^9	6300	3.34833×10^9
3900	3.36199×10^9	6400	3.34000×10^9
4000	3.36925×10^9	6500	3.32842×10^9
4100	3.36132×10^9	6600	3.34833×10^9
4200	3.39906×10^9	6700	3.46191×10^9
4300	3.38726×10^9	6800	3.37183×10^9
4400	3.40886×10^9	6900	3.35164×10^9
4500	3.31620×10^9	7000	3.34615×10^9
4600	3.28216×10^9	7100	3.29581×10^9
4700	3.31433×10^9	7200	3.32719×10^9
4800	3.42126×10^9	7300	3.45257×10^9
4900	3.46015×10^9	7400	3.37712×10^9
5000	3.34985×10^9	7500	3.40210×10^9
5100	3.30506×10^9	7600	3.36235×10^9
5200	3.40247×10^9	7700	3.40762×10^9
5300	3.40576×10^9	7800	3.37564×10^9
5400	3.43711×10^9	7900	3.35892×10^9
5500	3.34833×10^9	8000	3.40921×10^9

Tabel G-1. Harga CAT *Bond* sesuai Jumlah Iterasi (lanjutan)

N	Harga
8100	3.38779×10^9
8200	3.37153×10^9
8300	3.37950×10^9
8400	3.37007×10^9
8500	3.36892×10^9
8600	3.43150×10^9
8700	3.40781×10^9
8800	3.40281×10^9
8900	3.39450×10^9
9000	3.43542×10^9
9100	3.41941×10^9
9200	3.34667×10^9
9300	3.37697×10^9
9400	3.40904×10^9
9500	3.41401×10^9
9600	3.39430×10^9
9700	3.37265×10^9
9800	3.37318×10^9
9900	3.38522×10^9
10000	3.37420×10^9



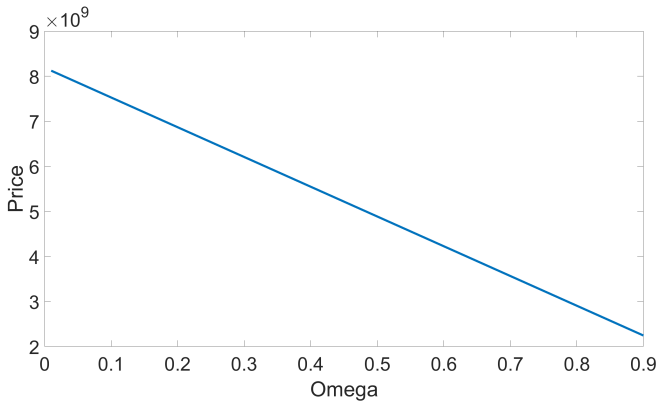
Gambar G-2. Kurva Harga menurut *Threshold*

Tabel G-2. Harga CAT Bond sesuai *Threshold*

H	Harga	H	Harga
1×10^8	1.98388×10^9	11×10^8	6.54065×10^9
2×10^8	2.10640×10^9	12×10^8	7.15248×10^9
3×10^8	2.29056×10^9	13×10^8	7.70191×10^9
4×10^8	2.57593×10^9	14×10^8	8.14557×10^9
5×10^8	2.92674×10^9	15×10^8	8.51693×10^9
6×10^8	3.37420×10^9	16×10^8	8.81523×10^9
7×10^8	3.88482×10^9	17×10^8	9.03896×10^9
8×10^8	4.49132×10^9	18×10^8	9.20638×10^9
9×10^8	5.22415×10^9	19×10^8	9.32053×10^9
10×10^8	5.90523×10^9	20×10^8	9.38749×10^9

Tabel G-2. Harga CAT *Bond* sesuai *Threshold* (lanjutan)

H	Harga	H	Harga
21×10^8	9.42402×10^9	36×10^8	9.51001×10^9
22×10^8	9.44609×10^9	37×10^8	9.51153×10^9
23×10^8	9.46055×10^9	38×10^8	9.51153×10^9
24×10^8	9.46968×10^9	39×10^8	9.51153×10^9
25×10^8	9.47577×10^9	40×10^8	9.51229×10^9
26×10^8	9.48414×10^9	41×10^8	9.51229×10^9
27×10^8	9.48794×10^9	42×10^8	9.51229×10^9
28×10^8	9.49023×10^9	43×10^8	9.51229×10^9
29×10^8	9.49327×10^9	44×10^8	9.51229×10^9
30×10^8	9.49707×10^9	45×10^8	9.51229×10^9
31×10^8	9.49936×10^9	46×10^8	9.51229×10^9
32×10^8	9.50164×10^9	47×10^8	9.51229×10^9
33×10^8	9.50392×10^9	48×10^8	9.51229×10^9
34×10^8	9.50621×10^9	49×10^8	9.51229×10^9
35×10^8	9.51001×10^9	50×10^8	9.51229×10^9



Gambar G-3. Kurva Harga menurut Proporsi

Tabel G-3. Harga CAT *Bond* sesuai Proporsi

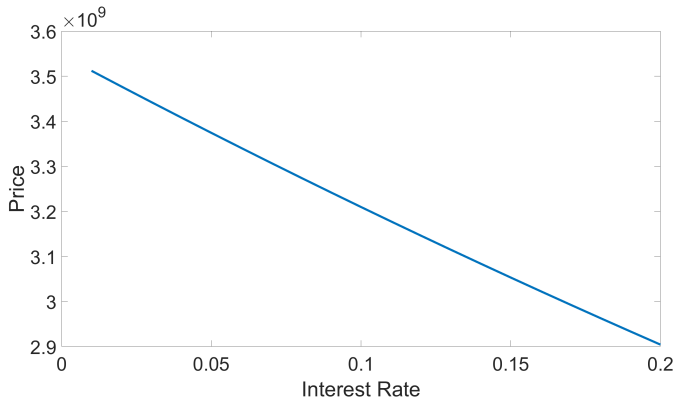
ω	Harga	ω	Harga
0.01	8.12127×10^9	0.11	7.46088×10^9
0.02	8.05523×10^9	0.12	7.39484×10^9
0.03	7.98919×10^9	0.13	7.32880×10^9
0.04	7.92315×10^9	0.14	7.26276×10^9
0.05	7.85711×10^9	0.15	7.19673×10^9
0.06	7.79107×10^9	0.16	7.13069×10^9
0.07	7.72504×10^9	0.17	7.06465×10^9
0.08	7.65900×10^9	0.18	6.99861×10^9
0.09	7.59296×10^9	0.19	6.93257×10^9
0.10	7.52692×10^9	0.20	6.86653×10^9

Tabel G-3. Harga CAT *Bond* sesuai Proporsi (lanjutan)

ω	Harga	ω	Harga
0.21	6.80049×10^9	0.46	5.14952×10^9
0.22	6.73445×10^9	0.47	5.08348×10^9
0.23	6.66841×10^9	0.48	5.01744×10^9
0.24	6.60238×10^9	0.49	4.95141×10^9
0.25	6.53634×10^9	0.50	4.88537×10^9
0.26	6.47030×10^9	0.51	4.81933×10^9
0.27	6.40426×10^9	0.52	4.75329×10^9
0.28	6.33822×10^9	0.53	4.68725×10^9
0.29	6.27218×10^9	0.54	4.62121×10^9
0.30	6.20614×10^9	0.55	4.55517×10^9
0.31	6.14010×10^9	0.56	4.48913×10^9
0.32	6.07407×10^9	0.57	4.42309×10^9
0.33	6.00803×10^9	0.58	4.35706×10^9
0.34	5.94199×10^9	0.59	4.29102×10^9
0.35	5.87595×10^9	0.60	4.22498×10^9
0.36	5.80991×10^9	0.61	4.15894×10^9
0.37	5.74387×10^9	0.62	4.09290×10^9
0.38	5.67783×10^9	0.63	4.02686×10^9
0.39	5.61179×10^9	0.64	3.96082×10^9
0.40	5.54575×10^9	0.65	3.89478×10^9
0.41	5.47972×10^9	0.66	3.82875×10^9
0.42	5.41368×10^9	0.67	3.76271×10^9
0.43	5.34764×10^9	0.68	3.69667×10^9
0.44	5.28160×10^9	0.69	3.63063×10^9
0.45	5.21556×10^9	0.70	3.56459×10^9

Tabel G-3. Harga CAT *Bond* sesuai Proporsi (lanjutan)

ω	Harga
0.71	3.49855×10^9
0.72	3.43251×10^9
0.73	3.36647×10^9
0.74	3.30043×10^9
0.75	3.23440×10^9
0.76	3.16836×10^9
0.77	3.10232×10^9
0.78	3.03628×10^9
0.79	2.97024×10^9
0.80	2.90420×10^9
0.81	2.83816×10^9
0.82	2.77212×10^9
0.83	2.70609×10^9
0.84	2.64005×10^9
0.85	2.57401×10^9
0.86	2.50797×10^9
0.87	2.44193×10^9
0.88	2.37589×10^9
0.89	2.30985×10^9
0.90	2.24381×10^9



Gambar G-4. Kurva Harga menurut Suku Bunga

Tabel G-4. Harga CAT *Bond* sesuai Suku Bunga

R	Harga	R	Harga
0.01	3.51190×10^9	0.11	3.17770×10^9
0.02	3.47696×10^9	0.12	3.14608×10^9
0.03	3.44236×10^9	0.13	3.11478×10^9
0.04	3.40811×10^9	0.14	3.08379×10^9
0.05	3.37420×10^9	0.15	3.05310×10^9
0.06	3.34063×10^9	0.16	3.02272×10^9
0.07	3.30739×10^9	0.17	2.99265×10^9
0.08	3.27448×10^9	0.18	2.96287×10^9
0.09	3.24190×10^9	0.19	2.93339×10^9
0.10	3.20964×10^9	0.20	2.90420×10^9

BIODATA PENULIS

Penulis adalah seorang *actuarial geeks* yang lahir di Jakarta pada 1 April 1998. Pendidikan penulis dimulai dengan SD Bhin-neka Tunggal Ika Jakarta yang dilanjutkan dengan SD Sinar Dharma Jakarta, SMP Sinar Dharma, SMP YPPI 1 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya. Setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis mengenyam kehidupan perkuliahan di Departemen Matematika Fakultas Sains



dan Analitika Data (FSAD) ITS melalui jalur SNMPTN. Selama proses perkuliahan, penulis menekuni bidang minat Matematika Terapan khususnya *Mathematical Finance* dan *Computer Science*. Selain berkuliah, penulis juga aktif mengikuti kegiatan olimpiade, seperti Calculus Cup UNJ, MagDay ITB, dan ONMIPA-PT. Dibalik kesibukan di dunia akademik, penulis juga mengikuti beberapa organisasi intra kampus. Penulis pernah menjabat pada beberapa organisasi kampus, seperti Sekretaris TPKB ITS 2018/2019, Penanggung Jawab Soal SD OMITS 13th, dan Kepala Departemen Sosial BEM FMKSD ITS 2019/2020. Sekarang, penulis sedang fokus belajar intensif untuk ujian Sertifikasi PAI (Persatuan Aktuaris Indonesia). Apabila ada pertanyaan dan saran dapat menghubungi penulis via email hengky16@mhs.matematika.its.ac.id atau LINE @hengky0104.