

MULTIVARIATE ADAPTIVE REGRESSION SPLINE (MARS)
DALAM MENENTUKAN FAKTOR-FAKTOR
KECELAKAAN LALU LINTAS DI KOTA YOGYAKARTA

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Sebagian Persyarat

Mencapai Derajat Sarjana S-1

Program Studi Matematika



Diajukan oleh

NUR FITRIYANTI RAHMADHANI

15610009



PROGRAM STUDI MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2019



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Nur Fitriyanti Rahmadhani
NIM : 15610009
Judul Skripsi : *Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)* dalam Menentukan faktor-faktor Kecelakaan Lalu Lintas Di Kota Yogyakarta

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Matematika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 30 Agustus 2019
Pembimbing

Dr. Epha Diana Supandi, M.Sc
NIP: 197509122008012015



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-3989/Un.02/DST/PP.00.9/09/2019

Tugas Akhir dengan judul : MULTIVARIATE ADAPTIVE REGRESSION SPLINE (MARS) DALAM
MENENTUKAN FAKTOR-FAKTOR KECELAKAAN LALU LINTAS DI KOTA
YOGYAKARTA

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NUR FITRIYANTI RAHMADHANI
Nomor Induk Mahasiswa : 15610009
Telah diujikan pada : Kamis, 05 September 2019
Nilai ujian Tugas Akhir : A-

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Dr. Epha Diana Supandi, S.Si., M.Sc.
NIP. 19750912 200801 2 015

Penguji I

Penguji II

Mohammad Farhan Qudratullah, S.Si., M.Si
NIP. 19790922 200801 1 011

Malahayati, S.Si., M.Sc
NIP. 19840412 201101 2 010

Yogyakarta, 05 September 2019

UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Muntono, M.Si.
NIP. 19691212 200003 1 001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Nur Fitriyanti Rahmadhani

NIM : 15610009

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi dan sesungguhnya skripsi ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri sepanjang pengetahuan penulis, bukan duplikasi atau saduran dari karya orang lain kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 30 Agustus 2019



Yang Menyatakan

Nur Fitriyanti Rahmadhani

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Fitriyanti Rahmadhani
Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 27 Januari 1998
NIM : 15610009
Jurusan/Program Studi : Matematika
Alamat : Jl. Warung Boto UH 4 rt28 rw07 no.718 Umbul
Harjo, Kota Yogyakarta, DIY.

Dengan ini menyatakan bahwa pasphoto yang disertakan pada ijazah saya memakai **Kerudung/Jilbab** adalah atas kemauan saya sendiri dan segala konsekuensi/risiko yang dapat timbul di kemudian hari adalah tanggung jawab saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, untuk melengkapi salah satu prasyarat dalam mengikuti Ujian Tugas Akhir pada Fakultas Sains dan Teknologi Sunan Kalijaga Yogyakarta, dan agar yang berkepentingan maklum.

Yogyakarta, 30 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



(Nur Fitriyanti Rahmadhani)

MOTTO

والى ربك فارغب

“Berdoalah (mintalah) kepadaKu (Allah SWT), hendaknya kamu berharap”

(Qs Al-Insyirah: 8)

“Ya Allah make it easy and don't make it difficult, o Allah make it end well”

“Sebab Tindakan Hari Ini, Menentukan Masa Depan Kita”



PERSEMBAHAN

Rangkaian kata karya ini adalah cinta

Untuk Keluarga

serta

Orang-orang terbaik dalam kehidupanku

yang selalu mendoakan, menyemangati

serta mendukung setiap langkah yang kutempuh

Almameterku

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr,Wb

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) dapat terselesaikan guna memenuhi syarat memperoleh derajat Sarjana di Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, pembawa cahaya kesuksesan dalam menempuh hidup di dunia dan akhirat.

Penulis menyadari skripsi ini tidak akan selesai tanpa motivasi, bantuan, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak baik moril maupun materiil. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati izinkan penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. **Bapak Prof. Drs. Yudian Wahyudi, M.A., Ph.D.**, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. **Bapak Dr. Murtono, M.Si.**, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. **Bapak Dr. Muhammad Wahid Musthofa, M.Si.**, selaku Ketua Program Studi Matematika sekaligus pembimbing akademik yang telah memberikan pelayanan dan kelancaran akademik.
4. **Ibu Dr. Epha Diana Supandi, M. Si.**, selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman serta waktu yang

berharga kepada penulis, sehingga dapat memudahkan dalam penulisan skripsi ini.

5. **Bapak/Ibu Dosen dan Staff** Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga atas ilmu dan bimbingannya selama ini, serta pelayanan selama perkuliahan hingga selesainya skripsi ini.
6. Terimakasih penulis ucapkan kepada **Satuan Lalu Lintas Polresta Kota Yogyakarta** yang sudah membantu dan memberikan data dengan sebaik-baiknya serta menjawab beberapa pertanyaan yang diajukan penulis.
7. **Kedua orang tua** penulis Abdullah dan Zulaeha yang selalu memberikan semangat, kasih sayang dan do'a yang selalu mengiringi disetiap langkah penulis, pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
8. **Keluarga tercinta** Bapak, Mami, Adikku Maulana, Om Edi, Tante Aria, Yumna dan Raziq yang selama ini selalu memberikan semangat do'a dan dukungan agar penulis lekas cepat menyelesaikan skripsi.
9. **Keluarga Kontrakan** di Yogyakarta Istianah, Amelia, one yang selalu memberikan semangat, motivasi, do'a serta pertolongan saat pengambilan data di Polresta Kota Yogyakarta sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
10. **Anak Rantau** Rani, Teteh, Papung, Alya, Ma'rifah, Chika yang selalu memberikan semangat saling mendorong agar penulis cepat dalam mengerjakan skripsi.

11. **Sedulur Bimbingan Skripsi**, terimakasih banyak kita pernah berjuang bersama saat saling menunggu untuk bimbingan.
12. Segenap teman-teman “**Matematika 2015**” yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih sudah bertahan bersama dari awal masuk hingga saatnya keluar kalian memberikan banyak warna dalam hidup.
13. **Semua pihak** yang memberikan dukungan dan doa kepada penulis, serta pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan dan pahala yang berlipat atas kebaikan yang diberikan selama ini dan dapat memberikan manfaat kepada penulis. Aamiin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Atas koreksi dan saran guna sempurnanya skripsi ini penulis sampaikan terimakasih yang sedalam-dalamnya.

Yogyakarta, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
INTISARI.....	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Batasan Masalah	9
1.4 Tujuan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian	10
1.6 Tinjauan Pustaka.....	11
1.7 Sistematika Penulisan	15

BAB II LANDASAN TEORI.....	17
2.1 Matriks	17
2.1.1 Jenis Matriks	18
2.1.2 Operasi Matriks	20
2.1.3 Transpose Matriks	22
2.1.4 Invers Matriks	22
2.1.5 Trace Mariks	23
2.2 Data.....	23
2.3 Skala Pengukuran	24
2.4 Fungsi Polinomial.....	27
2.5 Analisis <i>Multivariate</i>	27
2.6 Analisis Multivariabel.....	28
2.7 Statistika Nonparametrik.....	28
2.8 Model Analisis Regresi	30
2.9 Analisis Regresi	32
2.10 Model Regresi Linear Sederhana	32
2.10.1 Asumsi Model Regresi Linear Sederhana	33
2.10.2 Estimasi Regresi Linear Sederhana dengan MKT	34
2.10.3 Sifat-sifat Estimator Regresi Linear Sederhana	38
2.10.4 Pengujian Parameter Model.....	44
2.10.5 Asumsi Model Regresi	48
2.11 Model Regresi Linear Berganda.....	53
2.12 Analisis Regresi <i>Spline</i>	54
2.13 Pengertian Lalu Lintas	56
2.14 Kecelakaan Lalu Lintas.....	58
2.15 Jenis Dan Dampak Kecelakaan Lalu Lintas.....	59
2.16 Penyebab Kecelakaan Lalu Lintas.....	61
2.18.1 Type Jalan	62
2.18.2 Batas Kecepatan	65
2.18.3 Fungsi Jalan.....	66

2.18.4 Kondisi Permukaan.....	67
2.17 Upaya Pencegahan Dalam Kecelakaan Lalu Lintas	67
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	69
3.1 Studi Pustaka	69
3.2 Jenis Dan Sumber Data.....	70
3.3 Variabel Data.....	70
3.4 Metode Analisis Data.....	72
3.5 Tahap Penelitian	73
3.6 Flowchart	75
BAB IV PEMBAHASAN.....	77
4.1 Analisis Regresi Nonparametrik.....	77
4.2 <i>Recursif Partitioning Regression</i> (RPR).....	78
4.3 Regresi Nonparametrik <i>Spline</i>	80
4.4 <i>Multivariate Adaptive Regression Spline</i> (MARS)	83
4.5 Estimasi Parameter dengan OLS	90
4.6 Pemilihan Model Dengan GCV	92
4.7 Algoritma MARS	94
4.8 Pemilihan Model MARS.....	96
4.9 Pengujian Signifikan Model MARS	98
BAB V STUDI KASUS	101
5.1 Analisis Deskriptif	101
5.1.1 Statistika Deskriptif Type Kecelakaan	101
5.1.2 Statistika Deskriptif Type Jalan	103
5.1.3 Statistika Deskriptif Batas Kecepatan	104
5.1.4 Statistika Deskriptif Fungsi Jalan.....	105
5.1.5 Statistika Deskriptif Kondisi Permukaan.....	107
5.1.6 Statistika Deskriptif Waktu Kejadian	108
5.2 Uji Parameter Model Kelayakan Model	109
5.2.1 Pengujian Serentak (Uji F).....	109

5.2.2	Pengujian Individu (Uji t)	110
5.3	Uji Asumsi Model Regresi Linear	111
5.3.1	Uji Normalitas	111
5.3.2	Uji Heterokedastisitas	113
5.3.3	Uji Autokorelasi	114
5.3.4	Uji Multikolinearitas	115
5.4	Pembentukan Model Regresi	116
5.5	Model MARS Terbaik	117
5.6	Estimasi Model MARS	118
5.7	Pengujian Signifikan Model MARS	120
5.7.1	Uji Simultan	120
5.7.2	Uji Parsial	121
5.8	Interpretasi Model MARS	122
5.9	Pembahasan	125
BAB VI PENUTUP		129
6.1	Kesimpulan	129
6.2	Saran dan Kritik	130
DAFTAR PUSTAKA		131
LAMPIRAN		137
CURRICULUM VITAE (CV)		174

DAFTAR SIMBOL

y	: data Type Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Yogyakarta
x_1	: data Type Jalan di Kota Yogyakarta
x_2	: data Batas Kecepatan di Kota Yogyakarta
x_3	: data Fungsi Jalan di Kota Yogyakarta
x_4	: data Kondisi Permukaan
x_5	: data Waktu Kejadian
BF	: fungsi Basis (<i>Basis Function</i>)
MI	: maksimum Interaksi
MO	: minimum Observasi
n	: jumlah sample
y_i	: variabel respon pada amatan ke- i
β_0, β_1	: parameter koefisien regresi
$f(x_i)$: fungsi smooth yang tidak diketahui
a_0	: fungsi basis induk
M	: maksimum fungsi basis ke m
a_m	: koefisien dari fungsi basis ke m
k_m	: derajat interaksi ke m
S_{km}	: nilai 1 atau -1 jika data berada disebelah kanan atau kiri knot
ε_i	: error ke i yang paling bebas
$Z_{P_n(k,m)}$: variabel prediktor dari p dengan observasi ke- n
Z_{km}	: nilai knots dari variabel prediktor $Z_{P_n(k,m)}$

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Angka Kecelakaan Lalu Lintas Tahun 2018	6
Gambar 2.1 Jalur dua lajur dua arah tak terbagi (2/2 UD)	63
Gambar 2.2 Jalur empat lajur dua arah tak terbagi (4/2 UD)	63
Gambar 2.3 Jalur empat lajur dua arah terbagi (4/2 D).....	63
Gambar 2.4 Jalur enam lajur dua arah terbagi (6/2 D).....	64
Gambar 2.5 Jalur satu arah	64
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> penelitian	75
Gambar 5.1 Banyaknya kecelakaan berdasarkan Type Kecelakaan	102
Gambar 5.2 Banyaknya kecelakaan berdasarkan Type Jalan	103
Gambar 5.3 Banyaknya kecelakaan berdasarkan Batas Kecepatan	104
Gambar 5.4 Banyaknya kecelakaan berdasarkan Fungsi Jalan	106
Gambar 5.5 Banyaknya kecelakaan berdasarkan Kondisi Permukaan	107
Gambar 5.6 Banyaknya kecelakaan berdasarkan Waktu Kejadian.....	108
Gambar 5.7 Normal P-P Plot	112

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Tinjauan Pustaka.....	11
Tabel 2.1 ANOVA untuk Uji serentak.....	45
Tabel 3.1 Variabel Dependen Penelitian	71
Table 3.2 Variabel Independen Penelitian.....	72
Tabel 5.1 Pengujian serentak dengan uji F.....	109
Tabel 5.2 Pengujian Individu dengan uji t.....	110
Tabel 5.3 Uji Normalitas	113
Tabel 5.4 Uji Heterokedastisitas	114
Tabel 5.5 Uji Autokorelasi	115
Tabel 5.6 Uji Multikolinearitas.....	116
Tabel 5.7 <i>Trial and error</i> Estimasi model MARS	119
Tabel 5.8 Hasil pengujian secara Simultan	120
Tabel 5.9 Hasil pengujian secara Parsial.....	122

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kecelakaan Lalu Lintas di Yogyakarta	137
Lampiran 2. Pengujian Normalitas	144
Lampiran 3. Pengujian Heterokedastisitas	145
Lampiran 4. Pengujian Autokorelasi.....	145
Lampiran 5. Pengujian Multikolinearitas	146
Lampiran 6. Pengujian Serentak	146
Lampiran 7. Pengujian Individu	147
Lampiran 8. Script Software R untuk MI=1	147
Lampiran 9. Script Software R untuk MI=2.....	149
Lampiran 10. Script Software R Estimasi Model MARS	151
Lampiran 11. Script Software R Pemilihan Model.....	151
Lampiran 12. Script Software R Pengujian Simultan	152
Lampiran 13. Script Software R Pengujian Parsial.....	152
Lampiran 14. Output untuk BF=1, MI=1, MO=0.....	152
Lampiran 15. Output untuk BF=2, MI=1, MO=0.....	154
Lampiran 16. Output untuk BF=3, MI=1, MO=0.....	155
Lampiran 17. Output untuk BF=4, MI=1, MO=0.....	157
Lampiran 18. Output untuk BF=5, MI=1, MO=0.....	159
Lampiran 19. Output untuk BF=6, MI=1, MO=0.....	161
Lampiran 20. Output untuk BF=1, MI=2, MO=0.....	163
Lampiran 21. Output untuk BF=2, MI=2, MO=0.....	165
Lampiran 22. Output untuk BF=3, MI=2, MO=0.....	166
Lampiran 23. Hasil Perhitungan GCV untuk BF=1	168
Lampiran 24. Hasil Perhitungan GCV untuk BF=2.....	170

**MULTIVARIATE ADAPTIVE REGRESSION SPLINE (MARS) DALAM
MENENTUKKAN FAKTOR KECELAKAAN LALU LINTAS KOTA
YOGYAKARTA**

Oleh :
Nur Fitriyanti Rahmadhani

INTISARI

Analisis regresi nonparametrik dapat digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variabel dependen dan variabel independen yang tidak diketahui bentuk kurva regresinya. Kecelakaan lalu lintas merupakan suatu kejadian yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan kerugian baik nyawa maupun materi. Dapat dikatakan bahwa kejadian ini terjadi karena beberapa faktor diantaranya, type jalan, batas kecepatan seorang pengemudi, fungsi jalan, kondisi permukaan dan waktu saat kejadian. Metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) adalah salah satu metode yang menggunakan suatu pendekatan regresi nonparametrik yaitu suatu kombinasi antara *Recursive Partitioning Regression* (RPR) dan metode *spline*, sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan kompleks dan berdimensi tinggi yaitu data yang memiliki jumlah variabel prediktor $3 \leq p \leq 20$ dan sample data yang berukuran $50 \leq n \leq 1000$. MARS sangat cocok digunakan sebagai metode untuk menganalisis faktor kecelakaan lalu lintas karena memiliki data yang berdimensi tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengestimasi model menggunakan *Ordinary Least Square* (OLS); (2) pemilihan model terbaik yang diperoleh dari MARS menggunakan *Generalized Cross Validation* (GCV). Friedman (1991) menunjukkan bahwa pemilihan model terbaik dengan MARS dilakukan dengan membandingkan semua nilai GCV yang dihasilkan tiap model kombinasi dari *knots* (MO), *basis function* (BF) dan Interaksi (MI). Hasil penelitian estimasi MARS terbaik pada model adalah BF=3, MI=2, MO=0 dengan nilai GCV sebesar 0,4517.

Kata kunci : Regresi Nonparametrik, MARS, GCV, Kecelakaan Lalu Lintas

**MULTIVARIATE ADAPTIVE REGRESSION SPLINE (MARS)
IN DETERMINING THE FACTORS OF TRAFFIC ACCIDENT IN THE
CITY OF YOGYAKARTA**

By :
Nur Fitriyanti Rahmadhani

ABSTRACT

Nonparametric regression analysis can be used to determine the pattern of the relationship between the dependent variable and the independent variable that does not recognize the shape of the regression curve. A traffic accident is an unwanted event because it can cause both life and material losses. Can answer that this incident is caused by several factors, the type of road, a driver's speed limit, road configuration, and the time of the incident. The Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) method is one of the methods that uses nonparametric regression, which is a combination of Recursive Partitioning Regression (RPR) and spline method, which can be used to explain complex and high-dimensional data relationships that correspond to predictor variables $3 \leq p \leq 20$ and Data samples collected $50 \leq n \leq 000$. MARS is very suitable to be used as a method for analyzing traffic accident factors because it has high-dimensional data.

This study aims to (1) Estimate the model using Ordinary Least Square (OLS); (2) the selection of the best model obtained from MARS using Generalized Cross Validation (GCV). Friedman (1991) shows the best selection model with MARS is done by comparing all GCV values generated by each model of the combination of knots (MO), basic functions (BF) and interactions (MI). The best MARS estimation results on the model are BF = 3, MI = 2, MO = 0 with GCV values of 0.4517.

Keywords: Nonparametric Regression, MARS, GCV, Traffic Accidents

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu statistika mempunyai sejarah yang sangat panjang seiring peradapan manusia. Statistika pertama kali dikemukakan oleh Aristoteles dalam bukunya berjudul "*politeia*" dalam bukunya menjelaskan data tentang keadaan 158 negara yang disebut sebagai statistika. Statistika merupakan salah satu cabang dari ilmu matematika terapan. Statistika berasal dari bahasa latin "*status*" atau "*statista*" yang berarti negara. Pada awalnya statistika diartikan sebagai keterangan-keterangan berupa penyajian fakta-fakta yang dibutuhkan dan berguna bagi negara, seperti fakta-fakta tentang perekonomian, kependudukan dan politik suatu negara. Statistik dalam pengertian yang paling sederhana adalah data (Qudratullah, M. F., 2012).

Gujarati (2006) mendefinisikan analisis regresi adalah sebuah kajian terhadap hubungan satu variabel yang disebut sebagai variabel yang diterangkan (variabel dependen) dengan satu atau lebih variabel yang menerangkan (variabel independen). Analisis regresi merupakan suatu hubungan yang didapatkan dan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematika yang menyatakan hubungan fungsional antar variabel-variabel. Analisis ini dapat berguna untuk memodelkan fungsi hubungan diantara variabel, dalam hal ini adalah variabel dependen dan variabel independen. Variabel dependen adalah variabel terikat atau variabel yang dijelaskan oleh variabel lainnya. Variabel independen adalah variabel bebas. Dalam hal ini, variabel independen merupakan variabel penjelas, variabel yang

memengaruhi atau variabel prediksi bagi variabel dependen. Ada tiga pendekatan dalam metode analisis regresi untuk mengestimasi kurva regresi yaitu pendekatan parametrik, semiparametrik dan nonparametrik. Dalam analisis regresi terbagi menjadi dua metode yaitu Regresi parametrik dan nonparametrik. Regresi nonparametrik merupakan salah satu metode statistika yang digunakan untuk mengetahui pola hubungan antara variabel dependen dengan variabel independen yang tidak diketahui bentuk kurva regresinya.

Beberapa model regresi nonparametrik yang banyak digunakan diantaranya: *Spline*, MARS, Kernel, Deret Fourier, Deret Orthogonal, *Neural Network* (NN), Polinomial Lokal, Histogram, *Wavelets*, *k-NN*, dan yang lainnya. Diantara model-model regresi nonparametrik yang disebutkan, *Spline* merupakan model yang mempunyai interpretasi statistik dan interpretasi visual yang sangat khusus dan sangat baik (Sita, 2014). *Spline* merupakan *polynomial truncated*, yaitu bentuk kurva yang terpotong-potong sehingga *spline* mampu mengatasi perubahan data pada sub interval tertentu. Selain itu juga salah satu jenis *piecewise* polinomial, yaitu polinomial yang memiliki sifat tersegmen yaitu memberikan fleksibilitas yang lebih baik dari polinomial biasa, sehingga dapat mampu menyesuaikan diri lebih efektif terhadap karakteristik suatu data atau fungsi (Respita, 2017).

Wahba (1990) menunjukkan bahwa *spline* mempunyai sifat-sifat statistik yang berguna untuk menganalisis hubungan dalam regresi. Namun *spline* memiliki kelemahan pada saat orde *spline* tinggi, knots yang banyak dan knot yang terlalu dekat akan membentuk matrik dalam perhitungan yang hampir singular, sehingga persamaan normal tidak dapat diselesaikan. *Spline* dalam

regresi nonparametrik terus berkembang sampai pada model *adaptive* dan multivariate respon.

Recursive Partitioning Regression (RPR) merupakan suatu metode nonparametrik yang dapat dipandang sebagai suatu prosedur regresi *stepwise* untuk mengaproksimasi (pendekatan hasil pengukuran) fungsi yang tidak diketahui $f(x)$. Penentuan *knots* pada regresi *dummy* atau regresi kategori dilakukan secara manual, karena memiliki dimensi data yang rendah dan hal ini tidak akan mengalami kesulitan, sedangkan untuk data yang berdimensi tinggi terdapat kesulitan. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan model RPR karena penentuan *knots* tergantung (otomatis) dari data. Namun demikian model ini masih terdapat kelemahan yaitu model yang dihasilkan tidak kontinue pada *knots*, dan untuk mengatasinya digunakan model MARS.

Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) merupakan model nonparametrik sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan kompleks dari beberapa variabel prediktor terhadap variabel respon (Tehupuring, 2014). MARS merupakan salah satu metode yang diperkenalkan oleh Friedman pada tahun 1991. Metode ini adalah implementasi teknik-teknik untuk menyelesaikan masalah regresi dan klasifikasi, dengan tujuan untuk memprediksi variabel respon.

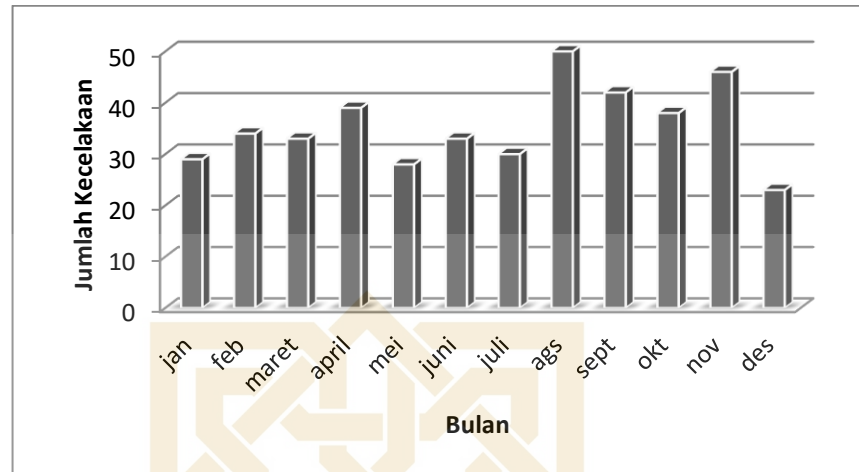
MARS merupakan pengembangan dari pendekatan *Recursive Partisi Regression* (RPR) yang dikombinasikan dengan metode *spline* sehingga model yang dihasilkan kontinue pada *knots* yaitu garis regresi selalu menyambung, dimana tiap *knots* selalu menyambung dengan fungsi basisnya. Selain itu model

MARS berguna untuk mengatasi permasalahan data berdimensi tinggi dikenal *Curse of Dimensionality* dan dapat menghasilkan prediksi variabel respon yang akurat, serta untuk mengatasi kelemahan *Recursive Partisi Regression* (RPR) yang menghasilkan model kontinu pada *knot* yang didasarkan pada nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum (Otok, 2010). Metode MARS merupakan salah satu metode yang menggunakan pendekatan regresi nonparametrik dan data yang berdimensi tinggi yaitu data yang memiliki jumlah variabel prediktor $3 \leq p \leq 20$ dan sample data yang berukuran $50 \leq n \leq 1000$.

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu daerah yang padat penduduk. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah penduduk Yogyakarta terakhir yaitu pada tahun 2017 mencapai 3.631.015 jiwa. Kota Yogyakarta merupakan kota pelajar dan kota tujuan wisata yang menyebabkan bertambah jumlah pendatang, sehingga jumlah pemilik kendaraan semakin meningkat. Hal tersebut terlihat dari banyaknya jumlah pendatang yang bermigrasi ke Yogyakarta. Pertumbuhan Ekonomi dan jumlah penduduk yang besar menyebabkan meningkatnya aktivitas pemenuhan kebutuhan yang tentunya meningkatkan pula kebutuhan akan alat transportasi, baik itu pribadi maupun umum. Selain itu, fasilitas angkutan umum yang kurang memadai seperti contoh adanya bus transjogja yang belum memiliki lajur jalan sendiri sehingga menyebabkan jumlah kendaraan pribadi meningkat.

Angka kecelakaan lalu lintas pada dua tahun terakhir menurut Kepala Unit Laka Lalu Lintas Polresta Yogyakarta pada umumnya Indonesia yaitu angka tertinggi pada faktor human error dengan persentase yang sangat mengejutkan

yaitu sebesar 93% diantaranya 60% adalah kaum millennial yang terdiri dari pelajar/mahasiswa dan pegawai. Setelah itu diikuti dengan angka 4% faktor dari teknis kendaraan dan sisanya adalah faktor jalan.



Gambar 1.1
Grafik Angka Kecelakaan Lalu lintas Tahun 2018

Angka kecelakaan lalu lintas di kota Yogyakarta pada tahun 2018 bulan Agustus memiliki angka yang cukup tinggi dari bulan lainnya. Peningkatan kendaraan pribadi yang terus meningkat di Yogyakarta menimbulkan kemacetan, pelanggaran lalu lintas dan kecelakaan lalu lintas. Permasalahan yang saling berkaitan adalah kemacetan lalu dikaitkan dengan pelanggaran didominasi oleh pengemudi dengan kecepatan yang terlalu tinggi kemudian berkaitan dengan terjadinya Kecelakaan Lalu Lintas.

Salah satu hal yang dihadapi dalam berlalu lintas adalah kecelakaan. Kecelakaan lalu lintas dapat diartikan yaitu suatu kejadian yang terjadi secara tidak sengaja, tidak direncanakan yang terjadi di jalan raya atau dapat dikatakan sebagai akibat ulah manusia yang lalai dalam berkendara. Kecelakaan umumnya berkonotasi negatif yang mungkin telah dihindari atau dicegah.

Menurut Satlantas Polresta Yogyakarta penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti faktor pengemudi (*Human Error*), faktor kendaraan, faktor kondisi jalan, faktor lingkungan dan cuaca serta faktor teknologi. Upaya perbaikan dalam pencegahan kecelakaan lalu lintas dengan cara yakni *preemptif*, *preventif*, penegakan hukum dan kemitraan. Kecelakaan lalu lintas akhir-akhir ini sangat sering terjadi dan banyak menimbulkan kerugian. Akibat dari kecelakaan lalu lintas berupa kerusakan terhadap fasilitas-fasilitas umum dan timbulnya korban yang meninggal dunia.

Oleh sebab itu, berdasarkan penelitian sebelumnya maka model MARS juga cocok untuk digunakan dalam data kecelakaan lalu lintas dan faktor-faktor yang mempengaruhinya dengan pendekatan regresi nonparametrik dan data berdimensi tinggi mampu mengolah data dengan variabel respon berbentuk kontinu ataupun biner. Berbagai masalah ini perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui akar masalahnya. Melihat fakta-fakta diatas, dapat diindikasikan bahwa banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan lalu lintas. Sehingga perlu dilakukan identifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh, agar dapat dipergunakan sebagai perencanaan untuk pengemudi sehingga dapat mengurangi angka kecelakaan lalu lintas.

Type kecelakaan dalam penelitian ini adalah variabel respon dan variabel prediktornya adalah faktor-faktor berupa type jalan, batas kecepatan, fungsi jalan, kondisi permukaan dan waktu saat kejadian. Berdasarkan uraian tersebut penulis mengambil judul "*Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)* dalam menentukan faktor-faktor Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Yogyakarta".

Tujuannya dengan adanya penelitian ini dapat menekan faktor terjadinya penyebab kecelakaan lalu lintas oleh pengemudi agar lebih berhati-hati dalam mengendarai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, masalah yang akan dirumuskan dalam penelitian ini adalah:

1. Apa yang dimaksud dengan *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) ?
2. Bagaimana mengestimasi *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) menggunakan estimasi parameter *Ordinary Least Square* (OLS)?
3. Bagaimana hasil pemilihan model terbaik yang diperoleh dari metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) menggunakan *Generalized Cross Validation* (GCV)?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian kali ini berdasarkan dengan rumusan masalah diatas yaitu :

1. Memahami dan mempelajari tentang *Multivariate Adaptive Regression Spline*.
2. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya kecelakaan dalam berlalu lintas pada di Kota Yogyakarta.
3. Analisis klasifikasi menggunakan data kecelakaan lalu lintas yang diperoleh dari Polres Yogyakarta pada bulan Juni - Desember 2018 .

4. Program komputer yang digunakan adalah program R, SPSS dan Microsoft Excel.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan Rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS).
2. Mengestimasi parameter model MARS menggunakan estimasi OLS.
3. Untuk mengetahui hasil pemilihan model terbaik yang diperoleh dari MARS menggunakan GCV.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dalam rangka memperluas dan memperdalam wawasan dalam bidang matematika, dan dapat bermanfaat dalam beberapa aspek diantaranya :

1. Manfaat Teoritis

Manfaat teoritis yang diharapkan dari penelitian ini diharapkan dapat menambah dan memperkaya wawasan mengenai metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS), dapat memberikan suatu metode alternatif untuk melakukan pemodelan regresi nonparametrik menggunakan model MARS.

2. Manfaat Praktis

Manfaat praktis dari penelitian ini yaitu dapat memahami penerapan metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) pada bidang

hukum sehingga dapat membantu representasi tingkat kecelakaan lalu lintas dan variabel prediktor yang mempengaruhinya. Dapat dijadikan acuan dan informasi kepada pengemudi agar lebih berhati-hati dalam berkendara.

1.6 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang berkaitan dengan *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) sebagai berikut :

1. Peneliti Mardiah Annur, dkk. Pendidikan Matematika FPMIPA UPI Vol. 3 tahun 2015 dengan judul “*Penerapan Metode Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) untuk menentukan faktor yang mempengaruhi masa studi mahasiswa FPMIPA UPI.*” Pada penelitian ini penulis menggunakan aplikasi *Salford Predictive Modeler* (SPM) versi 7.0. Keterlambatan lulus program S1 menjadi salah satu permasalahan yang terjadi disebagian besar perguruan tinggi. Metode ini mampu mengola data berdimensi tinggi dan berukuran besar sehingga sesuai dengan permasalahan klasifikasi alumni FPMIPA UPI. Ditarik kesimpulan bahwa variabel prediktor yang paling berpengaruh adalah variabel jalur masuk.
2. Peneliti oleh Millatur Rodiyah, dkk. Jurusan Statistik ITS Surabaya, Vol.3 tahun 2014 tentang “*Pemodelan Kemiskinan dikabupaten Jombang dengan Pendekatan Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS).*” Kabupaten jombang memiliki laju pertumbuhan ekonomi dengan penurunan angka kemiskinan sehingga diperoleh faktor-faktor yang mempengaruhi kemiskinan dikabupaten Jombang dengan

menggunakan metode MARS. Dapat ditarik kesimpulan dari penelitian tersebut bahwa diperoleh nilai R^2 sebesar 76,3 (persen) yang menghasilkan nilai GCV terkecil yakni 26,835.

3. Peneliti oleh Aufa Praba Raditya Jurusan Statistika UII tahun 2018 tentang “*Penerapan metode Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) dengan Estimator Nadaraya-Watson Fungsi Kernel Gaussian.*” Pada penelitian ini penulis menggunakan aplikasi *Salford Predictive Modeler (SPM)* versi 8.2. Metode analisis MARS pada Kurs Rupiah terhadap *US Dollar* dengan melakukan pengujian parameter model regresi nonparametrik. Metode estimasi dengan estimator Nadaraya-Watson pada Kurs Rupiah terhadap *US Dollar* dengan nilai RMSE yang paling kecil diperoleh menggunakan metode *Bandwidth “Complete Cross Validation”*. Hasil estimasi menunjukkan bahwa pada nilai parameter *Bandwidth “Complete Cross Validation”* menghasilkan kurva yang tidak cukup mulus tetapi nilai hasil estimasinya dekat dengan titik dan aktual.
4. Peneliti oleh Elisa Desi Asriani Jurusan Matematika UNNES tahun 2016 tentang “*Estimasi Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) pada Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG).*” Pada penelitian ini penulis menggunakan aplikasi *Salford Predictive Modeler (SPM)* versi 7.0. Krisis ekonomi yang dimulai tahun 1998 merupakan awal runtuhnya pilar-pilar perekonomian nasional Indonesia. Harga-harga saham menurun secara tajam sehingga

menimbulkan kerugian yang cukup signifikan bagi investor. Salah satu indikator yang menunjukkan pergerakan harga saham adalah Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) menggunakan model *Multivariate Adaptive Regression Splines* (MARS), karena dengan pendekatan kurva regresi nonparametrik data tersebut berdimensi tinggi, memodelkan variabel-variabel prediktor yang mempengaruhi IHSG, dan pemilihan model terbaik pada Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) model MARS menggunakan kriteria *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum.

Table 1.1 Tinjauan Pustaka

No	Peneliti	Estimasi	Objek
1.	Mardiah Annur, Jarnawi Afgani Dahlan, Fitriani Agustina (2015)	<i>Maximum Likelihood Estimation</i> (MLE)	Masa Studi Mahasiswa FPMIPA UPI
2.	Millatur Rodliyah, Santi Wulan Purnami, Bambang Widjanarko Otok (2014)	Estimasi <i>Penalized Least Square</i> (PLS)	Kemiskinan kabupaten Jombang
3.	Aufa Praba Raditya (2018)	Estimasi Nadaraya-Watson Kernel Gaussian	Nilai Tukar (KURS) rupiah terhadap <i>US Dollar</i>
4.	Elisa Desi Asriani (2016)	Estimasi <i>Penalized Least Square</i> (PLS)	Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG)

5.	Nur Fitriyanti Rahmadhani (2019)	Estimasi <i>Ordinary Least Square</i> (OLS)	Angka kecelakaan lalu lintas di Kota Yogyakarta
----	-------------------------------------	---	---

1.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terbagi atas beberapa bab yang menjelaskan tentang bagaimana jalannya peneliti dalam menjalankannya adapun sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan, pada bab ini meliputi latar belakang masalah, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan serta Manfaat penelitian, Tinjauan pustaka yang diambil dari beberapa peneliti sebelumnya serta sistematika penulisan. Dalam bab ini peneliti menjelaskan bagaimana gambaran dari objek peneliti yang akan diteliti seperti menjelaskan dan memaparkan beberapa faktor yang menimbulkan terjadinya kecelakaan.

Bab II Landasan Teori, pada meliputi penjelasan tentang teori teori yang digunakan dalam penelitian yang berkaitan dengan permasalahan tersebut. Berikut adalah isi dari landasan teori yaitu matriks, data, skala pengukuran, fungsi polinomial, analisis multivariate, analisis multivariabel, statistik nonparametrik, analisis regresi, regresi nonparametrik, regresi *spline*, pengujian parameter model regresi, *Recursive Partitioning Regression* (RPR),

Bab III Metodologi Penelitian, dalam bab ini peneliti akan menjelaskan tentang metode penelitian yang digunakan dalam melaksanakannya. Adapun metode yang digunakan meliputi studi pustaka,

jenis dan sumber data, variabel data, metode analisis data, tahap penelitian dan flowchart.

Bab IV Pembahasan, pada bab ini peneliti akan membahas terkait dengan *Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)*, *Generalized Cross Validation (GCV)*, Algoritma *Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)*, pemilihan Model MARS terbaik, pengujian signifikan model MARS. Dalam bab ini maka peneliti akan membahas terkait dengan landasan teori yang digunakannya.

Bab V Studi Kasus, dalam bab ini terdiri dari analisis deskriptive dari data kecelakaan lalu lintas dan variabel prediktornya, pembentukkan model MARS, pemilihan model terbaik dengan kriteria GCV dan intepretasi model MARS terbaik.

Bab VI Kesimpulan, dalam bab ini berisikan penutup yang berupa kesimpulan atas jawaban dalam rumusan masalah serta terdapat kritik dan saran terhadap peneliti tersebut.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari analisis dan pembahasan di atas maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) merupakan suatu pendekatan regresi nonparametrik yang dikembangkan oleh Friedman (1991) yang dihasilkan dari kombinasi antara *Rekursif Partitioning Regression* (RPR) dan regresi *spline* untuk menghasilkan estimasi fungsi regresi yang kontinu, dan dapat digunakan untuk klasifikasi. Metode MARS merupakan salah satu metode yang menggunakan pendekatan regresi nonparametrik dan data yang berdimensi tinggi yaitu data yang memiliki jumlah variabel prediktor $3 \leq p \leq 20$ dan sample data yang berukuran $50 \leq n \leq 1000$.
2. Estimasi parameter model MARS yang diterapkan pada data untuk pemodelan type kecelakaan tingkat kabupaten/kota di Yogyakarta adalah dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*Ordinary Least Square*), sehingga didapatkan estimator sebagai berikut :

$$\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y}$$

3. Hasil pemilihan model MARS menggunakan GCV yaitu :

$$Y = 2,0113 + 0,0181(BF_1)(BF_2) + 0,383(BF_3)(BF_4) - 0,2336 (BF_3)(BF_5)$$

Dengan :

$$BF_1 = \max (0, x_3 - 1); BF_2 = \max (0, x_3 - 2);$$

$$BF_3 = \max (0, x_1 - 3); BF_4 = \max (0, x_2 - 1);$$

$$BF_5 = \max (0, x_3 - 3)$$

6.2 Saran

Dari hasil penelitian ini dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini memiliki keterbatasan, maka untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan studi literatur dan referensi yang lebih luas dan mendalam sehingga penerapan model MARS menjadi lebih rinci.
2. Untuk mengestimasi sendiri masih banyak pilihan yang dapat digunakan seperti estimasi menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), Estimasi Nadaraya Watson Kernel Gaussian dan yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Annur, Mardiah., dkk. 2015. Penerapan Metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) Untuk Menentukan Faktor Yang Mempengaruhi Masa Studi Mahasiswa FPMIPA UPI dalam *Jurnal EureMatika* Departemen Pendidikan Matematika FMIPA UPI.
- Anton, H. 1991. *Aljabar Linear Elementer* Edisi Kelima. Jakarta : Erlangga.
- Asriani, Elisa Desi. 2016. Estimasi *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) pada Indeks Harga Saham Gabungan dalam *Skripsi* Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Astuti, Purbayu Budi Santoso. 2015. *Analisis Statistic dengan Microsoft Excel dan SPSS*. Yogyakarta.
- Awat, N. J. 1995. *Metode Statistik dan Ekonometri*. Liberty, Yogyakarta.
- Baskoro, A'as Ased. 2019. *Model Regresi Nonparametrik Spline Kuadrat* dalam *Skripsi* Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Basri, H. 2008. Estimasi kurva regresi nonparametrik dengan pendekatan *spline* dalam *Jurnal* kependidikan (Vol.3) Jakarta.
- Budiantara, I.N. 2009. *Spline Dalam Regresi Nonparametrik Dan Semiparametrik: Sebuah Pemodelan Statistika Masa Kini Dan Mendatang*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Cahaya, Eka P. 2014. Analisis Karakteristik Kecelakaan dan Faktor Penyebab Kecelakaan pada Lokasi *Blockspot* di Kota Kayu Agung dalam *Jurnal* Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
- Ditjen Perhubungan Darat. 2013. *Perhubungan Darat Dalam Angka*. Jakarta : Kementerian Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat RI.
- Djarwanto. 2011. *STATISTIK NONPARAMETRIK*. Edisi ke4. Yogyakarta : BPF.
- Eubank, R.L. 1988. *Spline Smoothing and Nonparametrik Regression*. New York : Marcel Dekker.
- Friedman, J.H. 1991. *Multivariate Adaptive Regression Spline*. *The Annals Of Statistics*. Vol. 19 No.1 (Mar, 1991) 1-141. Institute of Mathematical Statistics.

- Gujarati, dan Damodar. 1995. *Basic Econometrics. Third Edition*. Singapura: McGraw-Hill.
- Hardle, W.1990. *Applied nonparametric Regression*. Cambridge University.
- Harini, S., dan Turmudi. 2008. *Metode Statistika*. Malang: UIN Malang Press.
- Hasan, M.I. 2002. *Pokok-Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Aplikasinya*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Hidayatik, dkk. 2017. *Epistimologi Kecelakaan Lalu Lintas*. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan.
- http://bappeda.jogjaprovo.go.id/dataku/data_dasar/index/548-data-kecelakaan-dan-pelanggaran-lalu-lintas?id_skpd=39 Diakses pada 3 desember 2018
- <http://digilib.unila.ac.id/3504/16/BAB%20II.pdf> Diakses pada 26 April 2019
- <http://dosensosiologi.com/pengertian-penelitian-kuantitatif-ciri-dan-jenisnya-lengkap/> Diakses pada 28 November 2018
- http://eprints.unsri.ac.id/3998/1/PENGGUNAAN_STATISTIK_NON-PARAMETRIK_DALAM_PENELITIAN.pdf Diakses pada 12 Desember 2018
- <http://sdm.data.kemdikbud.go.id/upload/files/15Arus%20Siswa%20Revisi.pdf> Diakses pada 08 April 2019
- <https://www.gridoto.com/read/221030654/4-faktor-utama-penyebab-kecelakaan-di-jalan-raya#!%2F> Diakses pada 14 Desember 2019
- <https://www.hukumonline.com/klinik/detail/lt5129ad1637c27/apakah-perdamaian-dalam-kasus-kecelakaan-lalu-lintas-menggugurkan-tuntutan> Diakses pada 29 November 2018
- Imrona, M. 2009. *Aljabar Linear Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Kutner, M.H., C.J. Nachtsheim dan J. Neter. (2004). *Applied Linear Regression Models*. New York : Mc. Graw-Hill Companies, Inc.
- Malau, R.A. 2007. *METODE STATISTIK NONPARAMETRIK*. Jakarta : Universitas Terbuka.
- Meliala, Baskamim. 2017. Regresi Spline Multivariate Adaptif dalam *Skripsi* Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Gajah Mada.

- Mursaid, dkk. 2013. Faktor Yang Berhubungan Dengan Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas Pada Pengendara Sepeda Motor Diwilayah Polres Kabupaten Malang dalam *Jurnal* Fakultas Kedokteran UB : Malang.
- Neter J., Wasserman W., dan Kutner M. H. 1997. Analisis Regresi Linear Sederhana, Alih Bahasa Bambang Sumantri. Bogor : FMIPA IPB.
- Otok, Bambang Widjanarko. 2010. Pendekatan *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) pada Pengelompokan Zona Musim Suatu Wilayah dalam *Jurnal* Statistik ITS Surabaya.
- Prahutama, A., dkk. 2014. Pemodelan inflasi berdasarkan harga-harga pangan menggunakan *Spline Multivariate* dalam *jurnal* Media Statistika, Vol. 7, No. 2.
- Pratama, dkk. 2017. Analisis Faktor-Faktor Dan Peluang Yang Berpengaruh Terhadap Tingkat Keparahan Korban Kecelakaan Lalu Lintas Di Sleman Yogyakarta Menggunakan Regresi Logistik Ordinal dalam *Jurnal* Fakultas MIPA UII.
- Qudratullah M.F, dkk. 2012. *STATISTIKA*. Yogyakarta : suka-press UIN Sunan Kalijaga.
- Qudratullah M.F. 2013. *Analisis Regresi Terapan Teori, Contoh Kasus dan Aplikasi dengan SPSS*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
- Raditya, Aufa Praba. 2018. Penerapan metode *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) dengan estimator nadaraya-watson fungsi kernel gaussian dalam skripsi fakultas MIPA UII: Yogyakarta.
- Respita, Rochima Dita. 2017. Perbandingan Model Regresi *Spline* dan *Multivariate Adaptive Regression Spline* untuk Analisis *Survival* pada Pasien Kanker Serviks di RSUD Dr. Soetomo Surabaya. Tesis FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Maret.
- Rodliyah, M., dkk. 2014. *Pemodelan Kemiskinan di kabupaten Jombang dengan Pendekatan Multivariate Adaptive Regression Spline* dalam *Jurnal* Sains dan Seni Pomits FMIPA : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Santoso, Noviyanti. 2009. *Klasifikasi Kabupaten/Kota Di Jawa Timur Berdasarkan Tingkat Pengangguran Terbuka dengan Pendekatan Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)*. Tugas Akhir. Surabaya: FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Sita, Eta D.A dan Bambang W.O. 2014. *Pendekatan Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) pada Pemodelan Penduduk Miskin di Indonesia Tahun 2008-2012* dalam *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Matematika*. Universitas Jember.
- Sita, Eta Dian Ayu. 2015. *Pendekatan Multivariate Adaptive Regression SPLINES (MARS) pada Pemodelan Penduduk Miskin di Indonesia Tahun 2008-2012* dalam Tesis Jurusan Statistika, FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sukirman, Silvia. 1994. *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung : Penerbit NOVA.
- Suliyanto. 2014. *STATISTIK NON PARAMETRIK dalam Aplikasi Penelitian*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- Supandi, Epha Diana. 2011. *Handout Analisis Multivariate Terapan*. Yogyakarta : UIN Sunan Kalijaga.
- Wahba, G., 1990. *Spline Models for Observational Data*. Society for industrial and Applied Mathematics, Pennsylvania.
- Wicaksono, dkk. 2014. Analisis Kecelakaan Lalu Lintas (Studi Kasus Jalan Raya Unggaran-Bawen) dalam *Jurnal Fakultas teknik UNDIP*.
- Widarjono. 2005. *Analisis Statistika Multivariate Terapan*. Yogyakarta : UPP STIM YPKN.
- Yamin, Sofyan., dkk. 2011. *Regresi Dan Korelasi Dalam Genggaman Anda*. Jakarta : Salemba Empat.