

## Model Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) Pada Persamaan Regresi Nonparametrik (Studi Kasus: Pertumbuhan Ekonomi di Sumatera Utara)

**Jesica Anju Rosita Hutabarat**

Program Studi Sarjana Matematika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara

Email : [jesica.hutabarat23@gmail.com](mailto:jesica.hutabarat23@gmail.com)

**Suryati Sitepu**

Program Studi Sarjana Matematika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara

Email : [suryati.sitepu@usu.ac.id](mailto:suryati.sitepu@usu.ac.id)

Korespondensi : [jesica.hutabarat23@gmail.com](mailto:jesica.hutabarat23@gmail.com)

**Abstract.** Economic growth is one of the benchmarks for the success of development or increasing welfare in the government of a region in the economic sector as measured by the Gross Regional Domestic Product (GRDP). It has time series data that often fluctuates so that the appropriate method is nonparametric regression. This study also aims to determine the most influential factors for economic growth in North Sumatra in 2019-2021 using the MARS model, using secondary data published by BPS for 2019-2021. The MARS model is obtained by obtaining a combination of BF, MI, and MO values that have a minimum Generalized Cross Validation (GCV) value. The results of this study indicate that the best MARS model is a combination of BF=28, MI=1, and MO=1 with a GCV value of  $8.42E+06$ . Therefore there are five of the seven variables that have a significant effect on economic growth in North Sumatra, namely population ( $X_7$ ) with an interest rate of 100%, domestic investment ( $X_5$ ) of 76.86%, local revenue ( $X_1$ ) of 31.14%, allocated funds special ( $X_3$ ) of 28.89%, general allocation funds ( $X_2$ ) of 23.14%.

**Keywords:** Nonparametric Regression, MARS, GCV, Economic Growth, GRDP.

**Abstrak.** Pertumbuhan Ekonomi merupakan salah satu tolak ukur keberhasilan pembangunan atau meningkatkan kesejahteraan pada pemerintahan suatu daerah dibidang ekonomi yang diukur dengan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), memiliki data runtun waktu yang sering mengalami *fluktuatif* sehingga metode yang tepat adalah regresi *nonparametrik*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara tahun 2019-2021 dengan model MARS, menggunakan data sekunder yang dipublikasi oleh BPS tahun 2019-2021. Model MARS didapatkan dengan perolehan kombinasi nilai BF, MI, dan MO yang memiliki nilai *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model MARS terbaik adalah kombinasi BF=28, MI=1, dan MO=1 dengan nilai GCV sebesar  $8.42E+06$ . Maka ada lima dari tujuh variabel yang berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara yaitu jumlah penduduk ( $X_7$ ) dengan tingkat kepentingan sebesar 100%, penanaman modal dalam negeri ( $X_5$ ) sebesar 76.86 %, pendapatan asli daerah ( $X_1$ ) sebesar 31.14%, dana alokasi khusus ( $X_3$ ) sebesar 28.89% , dana alokasi umum ( $X_2$ ) sebesar 23.14% .

**Kata Kunci:** Regresi Nonparametrik, MARS, GCV, Pertumbuhan Ekonomi, PDRB.

### PENDAHULUAN

Matematika adalah ilmu pengetahuan yang digunakan sebagai alat bantu untuk menyelesaikan suatu masalah dalam berbagai bidang baik dalam bidang sosial, bahkan ekonomi bahkan kesehatan ataupun bidang lainnya. Dalam penyelesaian masalah tersebut pasti diperlukan sebuah solusi yaitu dengan pemodelan.

Salah satu model tersebut adalah model *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS), MARS adalah metode regresi nonparametrik dan regresi semiparametrik yang melihat pertimbangan kovariat dari variabel-variabel prediktor yang ada (Friedman, 1991), sehingga model MARS tidak bergantung pada asumsi tertentu. Model MARS bertujuan untuk mengatasi permasalahan data yang berdimensi tinggi sehingga hasil prediksi yang didapat variabel respon yang lebih akurat. Dalam model MARS, *Generalized Cross Validation* (GCV) minimum adalah kriteria yang paling baik untuk seleksi model terbaik, (Friedman, 1991).

Selain model MARS tersebut, model *Geographically Weighted Regression* (GWR) juga diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan yang tersebut dengan memperoleh model terbaiknya berdasarkan nilai CV dan MSE yang paling kecil serta nilai *R-Square* yang paling besar. Model GWR hanya memodelkan kasus tiap wilayah secara spasial saja. Sedangkan pada Model *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) mampu memodelkan kasusnya tanpa mempertimbangkan pola hubungan antara variabel prediktor dengan variabel respon untuk menyelesaikan permasalahan pada data berdimensi tinggi yang menggunakan variabel prediktor lebih dari 3 (Kartini & Ummah, 2022). Sehingga model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS).

Pertumbuhan ekonomi merupakan makro ekonomi dalam jangka panjang. Salah satu alat yang digunakan dalam mengukur keberhasilan pembangunan pada pemerintahan suatu daerah dibidang ekonomi adalah pertumbuhan ekonomi, (Windasari *et al.*, 2021). Memodelkan pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara bisa menggunakan metode regresi biasa, akan tetapi model ini hanya menghasilkan gambaran kondisi secara umum saja. Maka, persoalan ekonomi tersebut biasanya akan memiliki fleksibilitas yang tinggi sehingga harus dilakukan analisis regresi *nonparametrik* (Hardle,1990).

Pemakaian regresi nonparametrik akan digunakan dalam beberapa jenis data,salah satunya data runtun waktu,yaitu data runtun waktusering *fluktuatif* dan mempunyai *error* yang berkorelasi sehingga tidak terpenuhinya asumsi autokorelasi maka dengan begitu tidak bisa di analisis dengan regresi parametrik sehingga metode yang tepat adalah regresi *nonparametrik* (Wuleng *et al.*, 2014). Data pertumbuhan ekonomi merupakan salah satu data runtun waktu yang selalu mengalami fluktuasi. Fluktuasi adalah perubahan naik dan turunnya nilai dalam jumlah yang tidak teratur (Anis *et al.*, 2021).

Data yang akan digunakan berasal dari beberapa variabel mikro yang memiliki keterkaitan erat dengan pertumbuhan ekonomi secara konseptual yaitu pendapatan asli daerah, dana alokasi umum, dana alokasi khusus, penanaman modal asing, penanaman modal dalam

negeri, angkatan kerja dan jumlah penduduk dengan terdapat pula metode tersebut dalam mengetahui pengaruh variabel mikro sebagai variabel prediktor terhadap variabel respon berupa pertumbuhan ekonomi yang dilihat dari PDRB.

Dari data Badan Pusat Statistika (2019), Pulau Sumatera Utara adalah penunjang PDRB terbesar kedua selama tiga tahun berturut-turut setelah Pulau Jawa. Dengan kata lain, jika dilihat dari segi kontribusinya persentase perekonomian regional Sumatera Utara terhadap perekonomian di Indonesia telah menurun selama tiga tahun terakhir ini.

Adapun kontribusi PDRB Sumatera Utara terhadap PDB Indonesia pada tahun 2021 mengalami pertumbuhan sebesar 2,61 % sedangkan ditahun 2020 nilai persentase kontribusi mengalami penurunan sebesar 1,07% , namun jika dibandingkan dengan sebelumnya masih lebih rendah di tahun 2019 dimana sebelum terjadinya Covid-19 mampu tumbuh diatas 5%. Akibat dari menurunnya persentase kontribusi PDRB, laju pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara 2019–2021 berada di bawah pertumbuhan ekonomi nasional. Hal tersebut menjadi sebuah ketertarikan untuk dilakukannya kajian interpretasi terkait faktor-faktor yang dapat mempengaruhi PDRB di Sumatera Utara (BPS, 2019).

Penelitian sebelumnya (Eta dan Bambang,2014) judul “Pendekatan *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) pada pemodelan penduduk miskin di Indonesia tahun 2008-2012”, dengan penelitian terdahulu ini pastinya akan mempengaruhi laju pertumbuhan ekonomi , kemudian (Windsari *et al.*, 2021) judul “ Pendekatan data panel untuk Pemodelan Pertumbuhan Ekonomi Sumatra” serta (Helma *et al.*, 2021) dengan judul “*Bootstrap Aggregating Multivariate Adaptive Regression Splines (Bagging MARS)* dan Penerapannya pada Pemodelan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di Provinsi Sumatera Barat” penelitian terdahulu tersebut dasar penentuan dalam mempertimbangkan variable penelitian yang mempengaruhi pertumbuhan ekonomi.

Maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui susunan model *Multivariat Adaptive Regression Spline* (MARS) dalam kasus pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara dengan melakukan pemodelan tersebut dan mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh secara signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara.

## **METODE PENELITIAN**

Data yang diperoleh merupakan data sekunder yang bersumber basis web pada web resmi Badan Pusat Statistika (BPS) Sumatera Utara: [www.sumut.bps.go.id](http://www.sumut.bps.go.id) dan [www.sumutprov.go.id](http://www.sumutprov.go.id). Adapun data yang diambil adalah data publikasi dengan objek peneliti adalah nilai dari Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) atas dasar harga konstan di

Sumatera Utara dalam waktu 3 tahun yaitu 2019-2021. Data yang digunakan untuk variabel tersebut adalah data *cross section* dan *time series*. Data *cross section* dalam penelitian ini merupakan 33 kabupaten/kota dalam Provinsi Sumatera Utara dan *data time series* merupakan data dari 3 tahun terakhir ditahun 2019-2021.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Statistika Deskriptif

**Tabel 1 Statistika Deskriptif Variabel Data Pertumbuhan Ekonomi di Sumatera Utara Tahun 2019-2021**

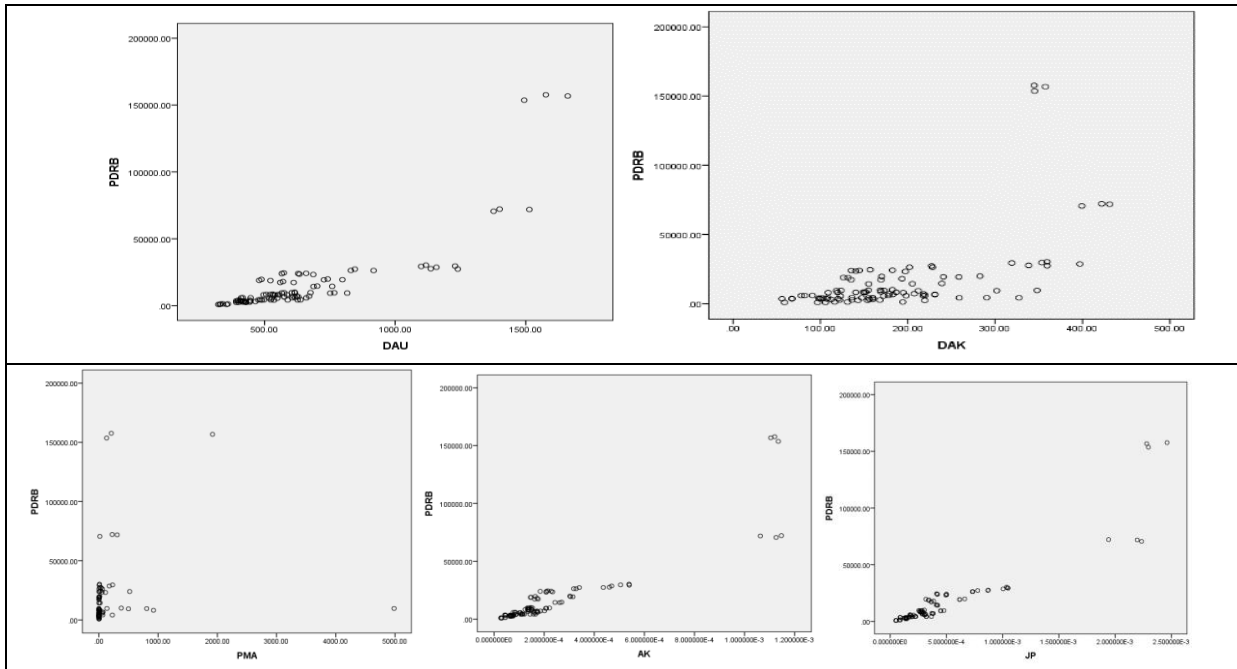
Variabel	Rata-rata	Std.Dev.	Minimum	Maksimum
Y	16614.1200	28170.65078	850.79	157689.19
X <sub>1</sub>	194.0438	393.85247	12.54	2338.28
X <sub>2</sub>	643.3552	292.86823	323.37	1660.24
X <sub>3</sub>	189.3831	548.92446	56.05	431.04
X <sub>4</sub>	125.6190	125629.91991	.00	4984.91
X <sub>5</sub>	13071.7772	.000253523	.00	1250253.83
X <sub>6</sub>	.00022146	.000509953	.000027	.00022146
X <sub>7</sub>	.00044649	28170.65078	.000049	.00044649

Tabel 1 dapat dilihat bahwasannya variabel yang memiliki nilai simpangan baku tertinggi terdapat pada variabel X<sub>4</sub> yaitu 125629.91991 menunjukkan bahwa sebaran data antar kabupaten/kota di Sumatera Utara tahun 2019-2021 terletak di variabel penanaman modal asing (X<sub>4</sub>) cukup besar dibanding dengan variabel lainnya. Menurut data BPS tahun 2019-2021 tingkat kabupaten/kota di Sumatera Utara juga menunjukkan bahwa penanaman modal asing, secara rata-rata sebesar 125.6190 dengan nilai maksimum dan minimumnya adalah 0 dan 4984.91 yang terletak di Kabupaten Tapanuli selatan tahun 2020 namun, untuk ditahun berikutnya mengalami penurunan. Sedangkan variabel respon produk domestik regional bruto (Y) nilai maksimum dan minimum secara berurut adalah 157689.10 dan 850.7 dimana rata-ratanya 16614.1200 sementara standar deviasinya adalah 28170.65078.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa ada variabel yang memiliki nilai maksimum terbesar adalah penanaman modal dalam negeri (X<sub>5</sub>) terletak di Kota Medan pada tahun 2021. Sementara itu, beberapa variabel lainnya memiliki nilai minimum 0 yaitu penanaman modal asing (X<sub>4</sub>), penanaman modal dalam negeri (X<sub>5</sub>), angkatan kerja (X<sub>6</sub>) dan jumlah penduduk (X<sub>7</sub>).

### Plot Data

Plot data antara variabel respon dengan tujuan variabel prediktor dengan tujuan mengetahui pola hubungan antara pola tiap variabelnya kemudian menjadi beberapa segmen membentuk *piecewise* seperti plot data, sebagai berikut



**Gambar 1** Scatter plot variabel respon dan prediktor pada data PDRB berdasarkan tingkat pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara

Gambar 1 identifikasi plot tidak menunjukkan kecenderungan plot data yang jelas dan memiliki perubahan karakter pada suatu interval tertentu. Kemudian, adanya keterbatasan terhadap informasi bentuk pola maupun perubahan karakteristik pada kurva regresi dalam variabel yang akan diteliti. Hal ini akan mempertimbangkan menggunakan pendekatan regresi nonparametrik untuk melakukan model pola data dan memberi alasan dalam penggunaan analisis regresi nonparametrik dengan metode Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS).

**Estimasi Parameter Model MARS**

Pemodelan MARS dapat dibentuk dan dihasilkan dari kombinasi Basis Fungsi (BF), Maksimum Iterasi (MI) dan Minimum Observasi (MO) digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel prediktor dengan variabel respon dan memperoleh nilai GCV minimum.

Friedman (1991), menyarankan BF sebesar 2-4 kali jumlah variabel prediktor, MI sebesar 1,2,3 dan MO sebesar 0,1,2,3. Jumlah variabel prediktor (*X*) yang diteliti adalah 7 sehingga BF menjadi 14, 21, dan 28. GCV minimum dipilih dengan pebgujian signifikan pada estimasi parameter model MARS, dapat menjadi model MARS terbaik.

**Tabel 2** Hasil GCV pada kombinasi BF, MI, dan MO untuk seluruh model

N0	BF	MI	MO	GCV	MSE
----	----	----	----	-----	-----

1	14	1	0	2.08E+07	1.22E+07
2			1	8.74E+06	5.95E+06
3			2	1.50E+07	9.84E+06
4			3	2.18E+07	1.63E+07
5		2	0	1.53E+07	8.47E+06
6			1	9.62E+06	5.98E+06
7			2	9.98E+06	6.20E+06
8		3	3	1.62E+07	8.30E+06
9			0	1.55E+07	9.20E+06
10			1	9.53E+06	5.93E+06
11			2	9.98E+06	6.20E+06
12			3	1.62E+07	8.30E+06
13	21	1	0	2.03E+07	1.18E+07
14			1	9.07E+06	5.44E+06
15			2	1.01E+07	5.43E+06
16			3	2.18E+07	1.63E+07
17		2	0	1.24E+07	6.36E+06
18			1	1.00E+07	4.85E+06
19			2	9.63E+06	6.20E+06
20		3	3	1.07E+07	4.57E+06
21			0	1.29E+07	5.18E+06
22			1	9.20E+06	5.93E+06
23			2	9.63E+06	6.20E+06
24			3	1.40E+07	6.26E+06
25	28	1	0	1.97E+07	9.44E+06
26			1	8.42E+06	4.90E+06
27			2	1.04E+07	4.93E+06
28			3	2.11E+07	1.26E+07
29		2	0	1.19E+07	6.30E+06
30			1	1.01E+07	4.85E+06
31			2	1.10E+07	5.92E+06
32		3	3	1.07E+07	6.07E+06
33			0	1.19E+07	5.62E+06
34			1	9.02E+06	5.04E+06
35			2	8.61E+06	4.47E+06
36			3	1.27E+07	4.75E+06

Tabel 2 dilihat bahwa nilai GCV sangat beragam untuk seluruh hasil nilai kombinasi BF, MI dan MO yang berbeda-beda. Diperoleh nilai GCV minimum pada BF= 28 dengan MO=1 dan MI=1 yaitu sebesar 8.42E+06, berarti model ini terbaik dalam menentukan pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara yang dilihat dari PDRB dan menjelaskan hubungan antar PDRB dengan variabel-variabel prediktornya.

### Pembentukan Model MARS

Penelitian menggunakan *software* SPM 8.3.0 dengan estimasi parameter OLS yang akan membangun model MARS berdasarkan BF,MI dan MO yang sudah ditentukan. Maka *trial and error* menghasilkan model GCV minimum dari tabel 4.2 dengan MARS terbaik yaitu kombinasi BF= 28, MI=2dan MO=1. Sehingga pemodelan pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara tahun 2019-2021 pada model MARS memiliki GCV minimum yaitu 8.42E+06 adalah sebagai berikut :

$$Y = 51646.1 - 2.34424e + 07 * BF_2 - 0.156152 * BF_3 + 1.12487e + 09 * BF_4 - 61.3062 * BF_6 - 6.5496e + 07 * BF_{10} + 62.1727 * BF_{12} + 20.2611 * BF_{14} + 5.89008e + 07 * BF_{24} - 38.2593 * BF_{26};$$

dengan,

$$\begin{aligned} BF_2 &= \max(0, 0.00219571 - X_7); \\ BF_3 &= \max(0, X_5 - 0); \\ BF_4 &= \max(0, X_7 - 0.00223432); \\ BF_6 &= \max(0, X_3 - 169.41); \\ BF_{10} &= \max(0, X_7 - 0.000499982); \\ BF_{12} &= \max(0, X_2 - 751.403); \\ BF_{14} &= \max(0, X_1 - 113.788); \\ BF_{24} &= \max(0, X_7 - 0.000224483); \\ BF_{26} &= \max(0, X_2 - 560.374); \end{aligned}$$

Sehingga, variabel prediktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kasus pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara adalah jumlah penduduk ( $X_7$ ), penanaman modal dalam negeri ( $X_5$ ), pendapatan asli daerah ( $X_1$ ), dana alokasi khusus ( $X_3$ ), dana alokasi umum ( $X_2$ ).

### Uji signifikansi Model MARS

#### Uji Serentak

**Tabel 3 Uji serentak Model MARS**

<b>F-Statistik</b>	<b>1576.10673</b>
<b>P-value</b>	0.00000
<b>[MDN,NDF]</b>	[9,89]
<b>Standar Error</b>	2334.19785
<b>Residual Sum Of Squares</b>	4.85E+08
<b>Regression Sum Of Squares</b>	7.73E+10

Dari uji tabel 3, parameter terbaik tercakup dalam  $p - value = 0.0000$ , dan nilai  $F_{hitung}$  sebesar 1576.10673 dengan menggunakan  $\alpha = 0.05$  diperoleh  $F_{0.05(9,89)} = 1.99$  (nilai berdasarkan F-tabel yang dapat dilihat dari di lampiran) dengan P-value  $0.0000 < \alpha = 0.005$ , maka  $F_{hitung} > F_{0.05(9,89)}$  sehingga keputusan yang dihasilkan menolak  $H_0$  yang dapat dinyatakan bahwa ada minimal terdapat satu fungsi basis  $\alpha$  yang mencakup minimal satu fungsi basis  $\alpha$  pada variabel prediktor yang berpengaruh dengan variabel respon.

#### Uji Parsial

**Tabel 4 Uji parsial model MARS**

<b>Parameter</b>	<b>Estimasi</b>	<b>P-Value</b>
<b>Constant</b>	51643.36523	0.00008
<b>Basis Function 2</b>	-2.34E+07	0.00024
<b>Basis Function 3</b>	-0.15615	0.00000
<b>Basis Function 4</b>	1.12E+09	0.00000
<b>Basis Function 6</b>	-61.30574	0.00000
<b>Basis Funtion 10</b>	-6.55E+07	0.00000

<b>Basis Function 12</b>	62.17533	0.00000
<b>Basis Function 14</b>	20.26105	0.00000
<b>Basis Function 24</b>	5.89E+07	0.00000
<b>Basis Function 26</b>	-38.2617	0.00001

Hasil uji dilihat berdasarkan tabel 4, parameter terbaik pada tiap basis fungsi yang didapatkan pada model MARS memiliki  $p - value < \alpha$ , sehingga keputusan yang dihasilkan menolak  $H_0$  berarti setia koefisien pada  $a_m \forall m = 2,3,4,6,10,12,14,24,26$  akan berpengaruh pada bentuk model dari masing-masing variabelnya.

### Interpretasi Model

1.  $BF_2 = \max(0, 0.00219571 - X_7)$  dengan koefisien  $-2.34424E+07$ .  
artinya menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu satuan  $BF_2$  akan menurunkan tingkat pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara sebesar  $2.34424E+07$  dengan basis fungsi lain dianggap konstan. Jika nilai jumlah penduduk lebih kecil dari  $0.00219571$  akan meningkatkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $2.34424E+07$ .
2.  $BF_3 = \max(0, X_5 - 0)$  dengan koefisien  $-0.156152$ .  
artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel penanaman modal dalam negeri ( $X_5$ ) lebih besar dari  $0$  akan menurunkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $0.156152$ .
3.  $BF_4 = \max(0, X_7 - 0.00223422)$  dengan koefisien  $1.12487E+09$   
artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel jumlah penduduk ( $X_7$ ) lebih besar dari  $0.00223422$  akan menaikkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $1.12487E+09$ .
4.  $BF_6 = \max(0, X_3 - 169.41)$  dengan koefisien  $-61.3061$  artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel dana alokasi khusus ( $X_3$ ) lebih besar dari  $169.41$  akan menurunkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $61.3061$ .
5.  $BF_{10} = \max(0, X_7 - 0.000499982)$  dengan koefisien  $-6.5496E+07$   
artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel jumlah penduduk ( $X_7$ ) lebih besar dari  $0.000499982$  akan menurunkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $6.5496E+07$ .
6.  $BF_{12} = \max(0, X_2 - 751.403)$  dengan koefisien  $62.1727$   
artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel dana alokasi umum ( $X_2$ ) lebih besar dari  $751.403$  akan menaikkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $62.1727$ .
7.  $BF_{14} = \max(0, X_1 - 113.788)$  dengan koefisien  $20.2611$   
artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel pendapatan asli daerah ( $X_1$ ) lebih besar dari  $113.788$  akan menurunkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $20.2611$ .
8.  $BF_{24} = \max(0, X_7 - 0.000224483)$  dengan koefisien  $5.89008E+07$   
artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel jumlah penduduk ( $X_7$ ) lebih besar dari  $0.000224483$  akan menaikkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar  $5.89008E+07$ .
9.  $BF_{26} = \max(0, X_2 - 560.374)$  dengan koefisien  $-38.2591$



artinya menunjukkan bahwa jika nilai variabel dana alokasi umum ( $X_2$ ) lebih besar dari 560.374 akan menurunkan angka pertumbuhan ekonomi sebesar 38.2591.

### **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perumbuhan Ekonomi di Sumatera Utara dengan MARS**

Model MARS tahun 2019-2021 memperlihatkan bahwa semua faktor-faktor adalah berjumlah tujuh variabel prediktor berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi tingkat kab/kota di Sumatera Utara dengan model terbaik adalah GCV minimum dan merupakan  $BF=28, MI=1$  dan  $MO=1$ , masing masing faktor atau variabel saling berinteraksi sehingga bisa dilihat dengan *relative variable importance* pada *output software* SPM 8.3.1 yang memuat variabel dengan faktor yang paling berpengaruh dan penting dalam memengaruhi pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara. Dari hasil tersebut langkah berikutnya yaitu melihat seberapa pentingnya pengaruh dari masing-masing variable yang terwakilkan oleh basis fungsi dalam pembentukan model MARS yang ditunjukkan pada tabel 5 berikut:

**Tabel 5 Faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam model MARS terhadap pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara Tahun 2019-2021**

<b>Variabel yang berpengaruh</b>	<b>Tingkat kepentingan</b>
<b>Jumlah penduduk (<math>X_7</math>)</b>	100
<b>Penanaman modal dalam negeri (<math>X_5</math>)</b>	76.86
<b>Pendapatan asli daerah (<math>X_1</math>)</b>	31.14
<b>Dana alokasi khusus (<math>X_3</math>)</b>	28.89
<b>Dana alokasi umum (<math>X_2</math>)</b>	23.14
<b>Angkatan kerja (<math>X_6</math>)</b>	0.00
<b>Penanaman modal asing (<math>X_4</math>)</b>	0.00

Tabel 5 menunjukkan faktor-faktor dari variabel prediktor yang memiliki pengaruh penting terhadap pertumbuhan ekonomi tingkat kabupaten/kota di Sumatera Utara pada tahun 2019-2021. Dalam pembentukan model terdapat lima variabel yang memiliki pengaruh cukup besar.

Adapun variabel urutan pertama yang harus diperhatikan dalam bentuk model MARS pada kasus pertumbuhan ekonomi tingkat kabupaten/kota di Sumatera Utara dengan kepentingan sebesar 100% adalah jumlah penduduk ( $X_7$ ) sangat berpengaruh pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara, kemudian dilanjut pada penanaman modal dalam negeri ( $X_5$ ) dengan besar tingkat kepentingan yaitu 76.86 %, pendapatan asli daerah ( $X_1$ ) dengan besar tingkat kepentingan yaitu 31.14%, dana alokasi khusus ( $X_3$ ) dengan besar tingkat kepentingan yaitu 28.89%, dana alokasi umum ( $X_2$ ) dengan besar tingkat kepentingan yaitu 23.14%. Semua variabel pada model berperan sebagai faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab 4, maka akan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini ada 5 variabel yang menjadi faktor-faktor yang berpengaruh pada pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara yaitu pendapatan asli daerah ( $X_1$ ), dana alokasi umum ( $X_2$ ), dana alokasi khusus ( $X_3$ ), penanaman modal dalam negeri ( $X_5$ ), dan jumlah penduduk ( $X_7$ ) .
2. Estimasi parameter pada model MARS untuk pemodelan kasus pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara adalah menggunakan parameter kuadrat terkecil (*Ordinary Least Square/OLS*) dengan dilakukan uji signifikansi terhadap parameter.
3. Model terbaik MARS dalam pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara yang dilihat dari nilai PDRB menurut kabupaten/kota di tahun 2019-2021 dengan *Multivariate Adaptive Regression Spline* (MARS) dengan nilai GCV minimum sebesar  $8.42E+06$  dan bentuk model MARS dalam persamaan regresi nonparametrik sebagai berikut :

$$Y = 51646.1 - 2.34424e + 07 * \max(0, 0.00219571 - X_7) \\ - 0.156152 * \max(0, X_5 - 0) + 1.12487e + 09 * \max(0, X_7 \\ - 0.00223432) - 61.3062 * \max(0, X_3 - 169.41) - 6.5 + 07 * \\ \max(0, X_7 - 0.000499982) + 62.1727 * \max(0, X_7 - 0.000499982) + \\ 20.2611 * \max(0, X_1 - 113.788) + 5.89008e + 07 * \max(0, X_7 - \\ 0.000224483) - 38.2593 * \max(0, X_2 - 560.374)$$

4. Faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan pada pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara adalah jumlah penduduk ( $X_7$ ) sebesar 100%, selain itu penanaman modal dalam negeri ( $X_5$ ) = 76.86 %, pendapatan asli daerah ( $X_1$ ) = 31.14%, dana alokasi khusus ( $X_3$ ) = 28.89% , dana alokasi umum ( $X_2$ ) = 23.14%. Semua variabel pada model berperan sebagai faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi di Sumatera Utara.

### Saran

Hasil penelitian dapat memuat saran sebagai berikut :

1. Dari hasil yang didapatkan masih ada keterbatasan dalam penelitian ini, maka selanjutnya diperlukan referensi lebih dalam lagi dalam pengakajia dan penerapan model MARS ini agar sempurna.
2. Bagi pemerintahan perlu lebih mengevaluasi variabel berdasarkan tingkat kepentingan atau yang paling berpengaruh untuk perbaikan pertumbuhan ekonomi dimasa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anis setyiningrym, Sri Surbakti., & Isnandar Slamet. (2021). *Pendekatan regresi Nonparametrik Dengan Estimator Kernel Pada Data Pertumbuhan Ekonomi Di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*
- Friedman, J. H. (1991). *Multivariate Adaptive Regression Splines*. The Annals of Statistics, 19(1)
- Hardle, W.(1990). *Applied Nonparametric Regression*. Cambridge University Press: New York.
- Helma., & Tika, M. (2021) *Bootstrap Aggregating Multivariate Adaptive Regression Splines (Bagging MARS) dan Penerapannya pada Pemodelan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) di Provinsi Sumatera Barat*, 6(4), 38-43.
- Kartini, A. Y. K., & Ummah, L. N. (2022). *Pemodelan Kejadian Balita Stunting di Kabupaten Bojonegoro dengan Metode Geographically Weighted Regression dan Multivariate Adaptive Regression Splines*. *J Statistika: Jurnal Ilmiah Teori dan Aplikasi Statistika*, 15(1).
- Windasari, W., & Khasanah, N. (2021). *Pendekatan Data Panel Untuk Pemodelan Pertumbuhan Ekonomi Sumatra*. *Ekonomi Dan Bisnis*, 8(1), 42–49.
- Wuleng, A. T., Islamiyati, A., & Herdiani, E. T. (2014). *Pemodelan Data Time Series dengan Penalized Spline Filter*.