

PEMODELAN PRODUK DOMESTIK BRUTO DI INDONESIA DENGAN PENDEKATAN SEMIPARAMETRIK POLINOMIAL LOKAL DILENGKAPI GUI-R

Muftia Lutfi Cahyani^{1*}, Suparti², Budi Warsito³

^{1,2,3} Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

*e-mail: muftialutficahyani@gmail.com

DOI: 10.14710/j.gauss.12.2.189-198

Article Info:

Received: 2022-09-19

Accepted: 2022-12-11

Available Online: 2023-07-28

Keywords:

GDP; Coal Export Volume; Oil Prices; Local Polynomial Semiparametric; GCV; GUI

Abstract: Gross domestic product is a measuring tool for a country's economy that needs to be known so that the country is able to consider decisions taken regarding future economic policies. The local polynomial semiparametric method that combines parametric regression and local polynomial nonparametric can be one way of predicting a country's GDP. This method is used because in GDP modeling there is one independent variable that has a linear relationship while the other variables have a pattern that tends to cluster. The modeling aims to obtain a semiparametric local polynomial model on GDP in Indonesia with the influence of coal export volume as a parametric independent variable and world oil prices as a nonparametric independent variable from the first quarter of 2005 to the second quarter of 2021 which is equipped with a GUI to simplify calculations. Based on experiments on several types of kernels, bandwidth and model degrees, the best model is local polynomial semiparametric model with Gaussian kernel weighting at degree 2 which has the smallest GCV. This model also has an R-Square value of 89.2% where the value of GDP is strongly influenced by world oil prices and coal export volumes together. The forecasting ability of this best model is said to be good because it has a MAPE of 17.127%.

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi suatu negara dapat dilihat berdasarkan Produk Domestik Bruto (PDB) dari tahun ke tahun. PDB memperhitungkan hasil produksi pabrik, panen petani, penjualan ritel dan belanja konstruksi. Besar kecilnya nilai PDB dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsumsi rumah tangga, investasi, pengeluaran pemerintah dan ekspor netto. Kualitas ekspor Indonesia sendiri terus terlihat dengan adanya ekspor sektor manufaktur yang terus tumbuh secara konsisten. Batubara menjadi salah satu komoditas ekspor yang terus ditingkatkan nilai tambahnya sehingga pengeksportan bisa dalam bentuk barang setengah jadi atau barang jadi (Larasati, 2022). Selain ekspor, Indonesia melakukan impor minyak bumi dari negara seperti Arab Saudi.

Dikutip dari Liputan6 (2022) pergerakan harga minyak mentah selama awal tahun 2022 hingga Mei 2022 cenderung selalu mengalami kenaikan. Menjelang pertengahan Juni 2022, harga minyak mengalami penurunan. Naik turunnya harga minyak mentah dipengaruhi oleh faktor politik (perang antar negara), resesi maupun persediaan minyak. Fluktuasi harga minyak akan mempengaruhi aktivitas produksi karena minyak digunakan sebagai energi dalam memproduksi barang maupun jasa.

Hubungan volume ekspor batubara dan harga minyak dunia terhadap PDB dapat ditunjukkan oleh model yang dibentuk menggunakan regresi semiparametrik polinomial lokal. Plot volume ekspor batubara dan PDB yang menunjukkan hubungan linier serta plot harga minyak dan PDB cenderung bergerombol sehingga pendekatan semiparametrik

dirasa cocok untuk memodelkan PDB. Untuk mempermudah perhitungan dan analisis, akan digunakan Graphical User Interface (GUI) menggunakan program R. GUI akan menjembatani antara pengguna program dan program berbasis web dimana pengguna diberikan menu interaktif dan tidak diwajibkan mampu dalam hal pemrograman (Tirta, 2014).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut BPS (2022) PDB diartikan sebagai nilai tambah dari setiap unit ekonomi dalam suatu negara. PDB dibedakan menjadi dua jenis yaitu PDB atas dasar harga berlaku dan PDB atas dasar harga konstan. PDB atas dasar harga berlaku menunjukkan PDB yang dihitung menggunakan harga yang berlaku pada setiap tahun. PDB atas dasar harga konstan menunjukkan PDB yang dihitung menggunakan harga yang berlaku pada satu tahun tertentu sebagai dasar. Terdapat tiga pendekatan dalam menghitung PDB sebagai berikut (Nursalam, 2019):

1. Pendekatan Produksi

Perhitungan PDB menurut pendekatan ini adalah menjumlahkan nilai tambah setiap sektor. Nilai tambah diperoleh dari selisih nilai output dan nilai input.

2. Pendekatan Pendapatan

Berdasarkan pendekatan ini PDB diartikan sebagai nilai total pendapatan atas faktor produksi yang meliputi tenaga kerja, barang modal, uang serta kemampuan berwirausaha.

3. Pendekatan Pengeluaran

Menurut pendekatan pendapatan, PDB adalah nilai total pengeluaran dalam periode tertentu. Nilai PDB dirumuskan sebagai berikut:

$$PDB = C + G + I + (E - M) \quad (1)$$

dengan:

C : konsumsi rumah tangga

G : konsumsi pemerintah

I : PMTDB

E : ekspor

M : impor

Perdagangan internasional memungkinkan suatu negara untuk melakukan impor dan ekspor. Ekspor dan impor memiliki peran yang bertolak belakang. Ekspor dapat meningkatkan pendapatan nasional, sedangkan impor justru dapat menurunkan pendapatan nasional. Menurut Mankiw dalam Permadi (2018) besar kecilnya ekspor dapat dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain harga barang di luar dan dalam negeri, perubahan nilai kurs valuta asing serta pendapatan penduduk luar negeri. Barang yang diekspor Indonesia berupa migas dan non migas. Barang migas meliputi minyak bumi dan gas alam, sedangkan barang non migas meliputi hasil pertambangan, hasil industri dan hasil pertanian. Salah satu komoditas ekspor adalah batubara. Keberadaan batubara sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia antara lain sebagai pembangkit listrik, industri produk aluminium dan baja. Negara tujuan ekspor batubara dari Indonesia terbesar adalah China.

Minyak mentah adalah bahan bakar fosil yang terbentuk dari tumbuhan maupun hewan selama jutaan tahun lalu. Dalam perdagangan minyak secara global, pasar didominasi oleh minyak mentah Brent dan WTI (*West Texas Intermediate*) sehingga pengaruhnya sangat besar dalam harga setiap pasar. Ladang Brent yang terletak di lautan memiliki biaya transportasi yang lebih terjangkau daripada WTI yang terletak di daratan.

Apabila kondisi geopolitik global memburuk, harga minyak Brent akan naik lebih tinggi dibandingkan harga WTI (Ridhoi, 2022).

Analisis regresi biasa digunakan untuk mengetahui pola hubungan 1 atau lebih variabel prediktor terhadap variabel respon. Regresi parametrik diterapkan ketika kurva $f(T_i)$ diketahui bentuknya. Menurut Eubank (1999), umumnya persamaan model regresi parametrik adalah:

$$Y_i = f(T_i) + \varepsilon_i ; i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

dengan $f(T_i)$ sebagai kurva regresi dan ε_i sebagai *error* yang berasumsi identik, independen dan berdistribusi normal ($\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$). Persamaan regresi parametrik dengan 1 variabel prediktor dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 T_i + \varepsilon_i ; i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Untuk mengestimasi parameter regresi parametrik metode yang digunakan adalah *Ordinary Least Square* (OLS). Prosedur metode ini yaitu menentukan nilai jumlah kuadrat residual sekecil mungkin yang nilainya tidak diketahui. Persamaan *Residual Sum of Square* (RSS) dalam bentuk matriks adalah:

$$\mathbf{RSS} = (\mathbf{Y} - \mathbf{T}\boldsymbol{\alpha})^2 = (\mathbf{Y} - \mathbf{T}\boldsymbol{\alpha})^T (\mathbf{Y} - \mathbf{T}\boldsymbol{\alpha}) \quad (4)$$

Meminimumkan **RSS** dilakukan dengan menurunkan parsial terhadap matriks $\boldsymbol{\alpha}$ dan disama dengankan 0 hingga diperoleh estimasi parameter:

$$\hat{\boldsymbol{\alpha}} = (\mathbf{T}^T \mathbf{T})^{-1} \mathbf{T}^T \mathbf{Y} \quad (5)$$

RSS akan minimum apabila turunan keduanya berbentuk matriks definit positif. Turunan kedua dari Persamaan (4) adalah:

$$\left. \frac{\partial^2 \mathbf{RSS}}{\partial^2 \boldsymbol{\alpha}} \right|_{\hat{\boldsymbol{\alpha}} = (\mathbf{T}^T \mathbf{T})^{-1} \mathbf{T}^T \mathbf{Y}} = 2\mathbf{T}^T \mathbf{T} \quad (6)$$

Menurut Beck (2001), selama matriks \mathbf{T} memiliki *rank* penuh, maka Persamaan (6) merupakan matriks definit positif. Oleh karena itu **RSS** minimum, sehingga Persamaan (5) merupakan estimasi parameter $\hat{\boldsymbol{\alpha}}$.

Berbeda dari regresi parametrik, regresi nonparametrik diterapkan ketika kurva $f(x_i)$ tidak diketahui bentuknya. Beberapa model regresi nonparametrik yang biasa digunakan yaitu kernel, spline, polinomial lokal, deret fourier dan wavelets. Polinomial lokal merupakan salah satu metode yang kuat, mudah dipahami dan diimplementasikan (Schimek, 2000). Polinomial lokal mengadopsi dari ekspansi deret Taylor. Jika $f(X)$ memiliki $(m + 1)$ turunan dengan m derajat pada titik X_0 , maka perluasan dari deret Taylor untuk X di sekitar X_0 adalah:

$$f(X) \approx f(X_0) + f'(X_0)(X - X_0)^1 + \dots + f^{(m)}(X_0)(X - X_0)^m \frac{1}{m!} \quad (7)$$

Model regresi polinomial lokal dengan orde $m + 1$ adalah:

$$Y_i = f(X_i) + \varepsilon_i \quad (8)$$

dengan $f(X_i) = \sum_{j=0}^m \beta_j (X_i - X_0)^j$ dan $\beta_j = \frac{f^{(j)}(X_0)}{j!}$ untuk $j = 0, 1, \dots, m$.

Persamaan (8) dapat ditulis dalam bentuk matriks yaitu:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (9)$$

dengan,

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 - X_0 & (X_1 - X_0)^2 & \dots & (X_1 - X_0)^m \\ 1 & X_2 - X_0 & (X_2 - X_0)^2 & \dots & (X_2 - X_0)^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_n - X_0 & (X_n - X_0)^2 & \dots & (X_n - X_0)^m \end{bmatrix}; \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}; \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_m \end{bmatrix}; \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Estimasi model regresi polinomial lokal menggunakan WLS (*Weighted Least Squares*). Metode WLS merupakan pengembangan metode OLS yang perlu menambahkan pembobotan untuk memperoleh estimasi polinomial lokal, salah satu pembobotnya adalah fungsi kernel (Eubank, 1988). Fungsi kernel diberikan sebagai berikut:

$$K_h(X) = \frac{1}{h} K\left(\frac{X}{h}\right), \text{ untuk } -\infty < X < \infty, h > 0 \quad (10)$$

$K(X)$ merupakan fungsi kernel dan h menyatakan *bandwidth* (parameter pemulus). *Bandwidth* yang terlalu besar akan menyebabkan bias yang besar dan keragaman kecil sehingga plot estimasi menjadi sangat halus (*oversmoothing*) dan begitu juga sebaliknya (Suparti & Prahutama, 2016). Jenis-jenis fungsi kernel antara lain (Hardle et al., 2004):

Tabel 1. Fungsi Kernel

Kernel	$K(X)$
Uniform	$\frac{1}{2} I(X \leq 1)$
Segitiga	$(1 - X) I(X \leq 1)$
Epanechnikov	$\frac{3}{4} (1 - X^2) I(X \leq 1)$
Biweight/kuartik	$\frac{15}{16} (1 - X^2)^2 I(X \leq 1)$
Triweight	$\frac{35}{32} (1 - X^2)^3 I(X \leq 1)$
Gauss	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} X^2\right)$
Kosinus	$\frac{\pi}{4} \cos\left(\frac{\pi}{2} X\right) I(X \leq 1)$

Parameter β pada Persamaan (8) diestimasi menggunakan WLS dengan meminimumkan jumlah kuadrat error (RSS) yaitu:

$$RSS = (Y - X\beta)^T W (Y - X\beta) \quad (11)$$

dengan W adalah matriks diagonal bobot yang berukuran $n \times n$:

$$W = \text{diag} \left\{ K\left(\frac{X_i - X_0}{h}\right) \right\} \quad (12)$$

Persamaan (11) diturunkan secara parsial terhadap matriks β dan disamadengankan 0 untuk mengestimasi β , sehingga diperoleh penyelesaian sebagai berikut:

$$\hat{\beta} = (X^T W X)^{-1} X^T W Y \quad (13)$$

Estimasi model regresi polinomial lokal adalah:

$$\hat{Y} = X\hat{\beta} = X(X^T W X)^{-1} X^T W Y \quad (14)$$

Regresi semiparametrik merupakan perpaduan antara regresi parametrik dan regresi nonparametrik dimana variabel prediktor yang satu memiliki bentuk yang diketahui sedangkan variabel yang lain tidak diketahui bentuknya terhadap variabel respon. Model regresi semiparametrik dengan satu variabel prediktor yang diasumsikan linier (T) dan satu variabel prediktor nonparametrik (X) adalah sebagai berikut (Utami, 2013):

$$Y = T\alpha + \eta(X) + \varepsilon \quad (15)$$

dengan $Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}$; $T = \begin{bmatrix} 1 & T_1 \\ 1 & T_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & T_n \end{bmatrix}$; $\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \end{bmatrix}$; $\eta(X) = \begin{bmatrix} \eta(X_1) \\ \eta(X_2) \\ \vdots \\ \eta(X_n) \end{bmatrix}$.

Fungsi $\eta(X)$ yang tidak diketahui apabila diestimasi menggunakan estimator polinomial lokal dengan $\eta(X_i)$ adalah:

$$\eta(X_i) = \sum_{j=0}^m \beta_j (X_i - X_0)^j \quad (16)$$

Asumsikan bahwa α telah diketahui, Persamaan (15) dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned}
Y &= T\alpha + \eta(X) + \varepsilon \\
Y - T\alpha &= \eta(X) + \varepsilon \\
Y^* &= \eta(X) + \varepsilon
\end{aligned}
\tag{17}$$

dengan $Y^* = Y - T\alpha$.

Estimasi parameter β pada komponen nonparametrik polinomial lokal menggunakan *Weighted Least Square* dengan menentukan:

$$\min(RSS) = \min \sum_{i=1}^n (Y_i^* - \sum_{j=0}^m \beta_j (X_i - X_0)^j)^2 K\left(\frac{X_i - X_0}{h}\right) \tag{18}$$

Weighted Least Square Persamaan (18) dalam bentuk matriks adalah:

$$\min(RSS) = \min(Y^* - X\beta)^T W(Y^* - X\beta) \tag{19}$$

Setelah Persamaan diturunkan secara parsial terhadap matriks β dan disamadengankan 0, diperoleh penyelesaian sebagai berikut:

$$\hat{\beta} = (X^T W X)^{-1} X^T W Y^* \tag{20}$$

Estimasi model regresi komponen nonparametrik polinomial lokal adalah:

$$\begin{aligned}
\widehat{\eta(X)} &= X\hat{\beta} \\
\widehat{\eta(X)} &= X(X^T W X)^{-1} X^T W Y^* = AY^*
\end{aligned}
\tag{21}$$

dengan $A = X(X^T W X)^{-1} X^T W$ dan $Y^* = Y - T\alpha$.

Selanjutnya melakukan estimasi parameter α menggunakan *Ordinary Least Square* dengan meminimumkan :

$$RSS = (Y - T\alpha - \eta(X))^T (Y - T\alpha - \eta(X)) \tag{22}$$

Permisalan $\tilde{Y} = Y - AY$ dan $\tilde{T} = T - AT$, maka Persamaan (22) menjadi:

$$RSS = (\tilde{Y} - \tilde{T}\alpha)^T (\tilde{Y} - \tilde{T}\alpha) \tag{23}$$

Estimasi parameter komponen parametrik diperoleh penyelesaian sebagai berikut:

$$\hat{\alpha} = (\tilde{T}^T \tilde{T})^{-1} \tilde{T}^T \tilde{Y}$$

Estimasi model regresi komponen parametrik adalah:

$$T\hat{\alpha} = T(\tilde{T}^T \tilde{T})^{-1} \tilde{T}^T \tilde{Y} = P\tilde{Y} \tag{24}$$

dengan $P = T(\tilde{T}^T \tilde{T})^{-1} \tilde{T}^T$. Maka model regresi semiparametrik polinomial lokal adalah:

$$\begin{aligned}
\hat{Y} &= T\hat{\alpha} + \widehat{\eta(X)} \\
&= P\tilde{Y} + AY^* \\
&= (A + (I - A)P(I - A))Y
\end{aligned}
\tag{25}$$

Dengan $(A + (I - A)P(I - A))$ disebut matriks A^* .

Cara menentukan *bandwidth* optimal dapat dilakukan dengan metode *Generalized Cross Validation* (GCV). Metode GCV merupakan bentuk modifikasi (hasil generalisasi) dari metode CV (*Cross Validation*) yang telah diberi bobot. Nilai GCV yang terkecil menghasilkan *bandwidth* yang optimal. Persamaan GCV dapat ditulis sebagai berikut:

$$GCV(h) = \frac{\frac{1}{n}(Y - \hat{Y})^T (Y - \hat{Y})}{\left(\frac{1}{n} \text{trace}[I - A^*]\right)^2} \tag{26}$$

Koefisien determinasi (R^2) berguna dalam mengukur kemampuan model menjelaskan variabel dependen. Semakin tinggi nilai R^2 (mendekati 1) maka semakin baik persamaan modelnya. Kriteria nilai R^2 yaitu sangat lemah jika $R^2 < 19\%$, lemah jika $19\% \leq R^2 < 33\%$, moderat jika $33\% \leq R^2 < 67\%$ dan kuat jika $R^2 \geq 67\%$ (Chin, 1998). Koefisien determinasi dirumuskan sebagai berikut :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \tag{27}$$

MAPE adalah ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil peramalan (Sungkawa & Megasari, 2011). Perhitungan MAPE sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \right| \times 100\% \quad (27)$$

Hasil peramalan terbaik ditentukan berdasarkan nilai MAPE terkecil. Kriteria model dengan nilai MAPE yaitu sangat baik jika $MAPE < 10\%$, baik jika $10\% \leq MAPE < 20\%$, cukup jika $20\% \leq MAPE < 50\%$ dan buruk jika $MAPE \geq 50\%$ (Chang *et al.*, 2007).

Open Source Software (OSS)-R merupakan *software* yang semakin populer dan digunakan oleh para statistikawan seluruh dunia. Melalui R-*Shiny*, disuguhkan menu-menu ramah dan interaktif berbasis web. Paket *Shiny* sangat berperan dalam membangun web apps yang interaktif. *Shiny* menggabungkan komputasi statistika R dan interaksinya dengan web modern. Umumnya, program *Shiny* memiliki dua kelompok komponen besar (Tirta, 2014) yaitu *user interface* (UI), meliputi panel kontrol, pemasukan permintaan nilai input dan penyajian output serta *server* yang bertugas melakukan simulasi berbagai analisis data sesuai pilihan pengguna dan mengirim hasilnya ke bagian output.

3. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Produk Domestik Bruto (miliar rupiah), volume ekspor batubara (ton), dan harga minyak dunia Brent (dolar). Seluruh data tersebut merupakan data sekunder *time series* yang diambil dari kuartal I tahun 2005 hingga kuartal II tahun 2021. Data dibagi menjadi data *in sample* dari kuartal I tahun 2005 sampai kuartal I tahun 2018 dan *out sample* dari kuartal II tahun 2018 sampai kuartal II tahun 2021.

Variabel yang digunakan terbagi menjadi variabel dependen dan variabel independen dengan rincian sebagai berikut:

- Y : variabel dependen, produk domestik bruto (miliar rupiah)
- T : variabel independen parametrik, volume ekspor batubara (ton)
- X : variabel independen nonparametrik, harga minyak dunia Brent (dolar)

Penelitian ini menggunakan *software* R dengan bantuan GUI R dari paket *Shiny*. Tahapan analisis data yang dilakukan sebagai berikut:

1. Memasukkan data serta melakukan analisis deskriptif.
2. Menentukan variabel parametrik dan nonparametrik dengan membuat plot masing-masing variabel prediktor terhadap variabel respon.
3. Membagi data ke dalam data *in sample* dan *out sample*.
4. Mencobakan beberapa pembobot kernel dan nilai *bandwidth* yang ditentukan dengan derajat 1-5.
5. Mengestimasi parameter regresi komponen parametrik ($\hat{\alpha}$) dan komponen nonparametrik ($\hat{\beta}$) serta membuat plot asli dan plot hasil estimasi.
6. Menghitung GCV (untuk memperoleh *bandwidth* optimal) pada data *in sample*.
7. Memilih model terbaik berdasarkan GCV terkecil dan plot estimasi yang paling mendekati data aktual.
8. Menghitung koefisien determinasi.
9. Menghitung nilai prediksi data *out sample* menggunakan model terbaik yang diperoleh.
10. Mengevaluasi model terbaik pada data *out sample* dengan menghitung nilai MAPE.

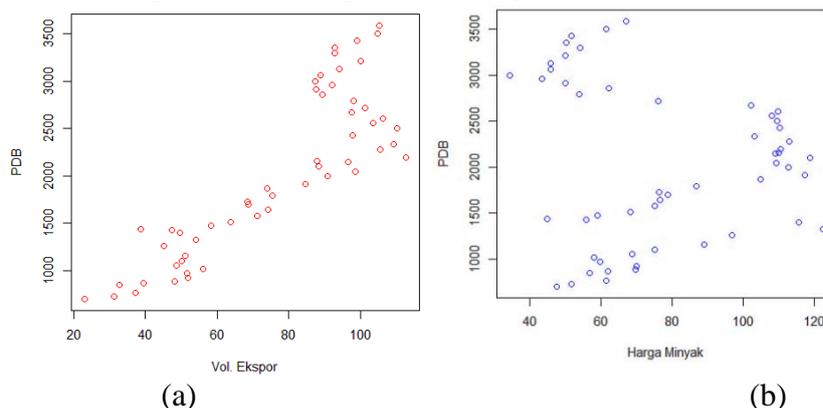
Tahapan penyusunan GUI adalah sebagai berikut:

1. Meng-*instal* dan memanggil paket *Shiny*.
2. Membuat desain tampilan GUI untuk input data dengan fungsi pada UI.
3. Membuat desain tampilan GUI untuk semiparametrik polinomial lokal dengan fungsi pada UI.

4. Menyusun perintah pengolahan data dalam GUI dengan fungsi pada *Server*.
5. Menjalankan *ShinyApp* yang telah dibuat dan selesai.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dibagi menjadi 2 bagian yaitu data *in sample* dan *out sample*. Data *in sample* digunakan untuk membentuk model regresi semiparametrik polinomial lokal, sedangkan data *out sample* digunakan untuk mengevaluasi kinerja model. Berikut merupakan plot data setiap variabel independen terhadap variabel dependen.



(a) Plot Data PDB dan Volume Ekspor Batubara
 (b) Plot Data PDB dan Harga Minyak Dunia

Berdasarkan Gambar 1(a) terlihat bahwa secara visual hubungan antara volume ekspor batubara dan PDB adalah linier. Pada Gambar 1(b) plot antara harga minyak dunia dan PDB menunjukkan data memiliki pola bergerombol. Pola-pola tersebut dapat didekati menggunakan regresi semiparametrik polinomial lokal.

Fungsi kernel yang akan dicobakan meliputi Gaussian, Uniform, Segitiga dan Epanechnikov dengan bandwidth berkisar antara 0,05 sampai 2 pada derajat 1 sampai derajat 5. Penentuan model terbaik ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Model Optimal setiap Jenis Pembobot Kernel

Fungsi Kernel	Titik Lokal	Bandwidth Optimal	GCV
Gaussian derajat 2	45,36	0,05	90501,99
Uniform derajat 2	45,36	0,55	90501,99
Segitiga derajat 2	45,36	0,55	90501,99
Epanechnikov derajat 2	45,36	0,55	90501,99

Berdasarkan Tabel 4, model semiparametrik polinomial lokal terbaik dengan 4 pembobot kernel yang berbeda menghasilkan titik lokal dan nilai GCV yang sama. Pada pembobot kernel Gaussian dipeoleh *bandwidth* yang lebih kecil daripada kernel lain sehingga peneliti memilih model terbaik dengan pembobot Gaussian derajat 2. Model ini juga memiliki nilai R-Square sebesar 89,2% yang artinya 89,2% nilai PDB dipengaruhi oleh harga minyak dunia dan volume ekspor batubara secara bersama-sama.

Estimasi parameter model semiparametrik polinomial lokal dengan pembobot kernel Gaussian derajat 3 diperoleh sebagai berikut:

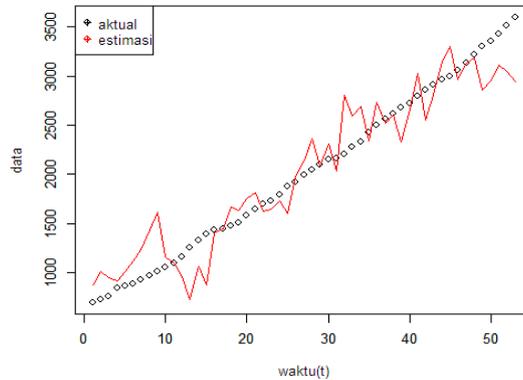
Tabel 3. Estimasi Parameter Model Terbaik

	Parameter	Estimasi
Komponen Parametrik	$\hat{\alpha}_0$	221,158
	$\hat{\alpha}_1$	30,931
Komponen Nonparametrik	$\hat{\beta}_0$	12,598
	$\hat{\beta}_1$	-30,812
	$\hat{\beta}_2$	0,258

Berdasarkan Tabel 5, maka model semiparametrik polinomial terbaik yang terbentuk adalah:

$$\hat{Y}_i = 221,158 + 30,931T_i + 12,598 - 30,812(X_i - 45,36) - 0,258(X_i - 45,36)^2 \quad (28)$$

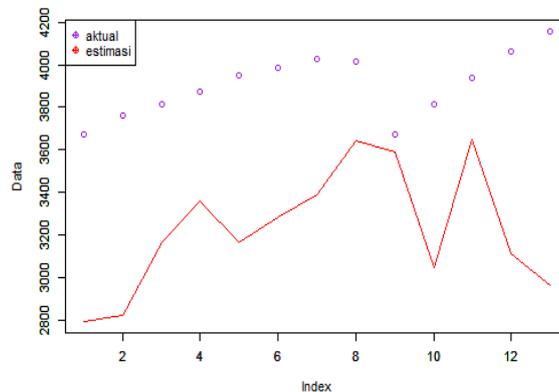
Plot data aktual Y terhadap data estimasinya ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Plot Data Aktual dan Estimasi Data *In Sample*

Gambar 2. menunjukkan bahwa secara visual pemodelan semiparametrik polinomial lokal dengan pembobot kernel Gaussian derajat 2 memberikan hasil yang tidak terlalu halus. Hal ini dikarenakan beberapa data estimasi berbeda cukup jauh dari data aktualnya.

Berdasarkan hasil pengolahan pada GUI diperoleh MAPE sebesar 17,127% berada pada interval $10\% \leq \text{MAPE} < 20\%$. Secara visual, plot data aktual pada Gambar 3. cukup dapat didekati oleh data estimasi meskipun terdapat beberapa nilai yang menjauhi data aktualnya. MAPE yang diperoleh membuktikan bahwa model semiparametrik polinomial lokal dengan pembobot kernel Gaussian pada derajat 2 mampu meramalkan data dengan baik.



Gambar 3. Plot Data Aktual *Out Sample* Terhadap Estimasi

Selain data *in sample* dan *out sample*, terdapat data peramalan di luar data tersebut. Data peramalan meliputi data T dan X dari kuartal III tahun 2021 sampai kuartal II tahun 2022. Berdasarkan koefisien pada Tabel 3 yang disubstitusikan pada Persamaan (28) diperoleh hasil peramalan selama 4 periode ke depan adalah:

Tabel 4. Hasil Peramalan PDB

Periode	Volume Ekspor Batubara	Harga Minyak Dunia	PDB (miliar rupiah)
Kuartal III 2021	113.33	73.00	3084.395
Kuartal IV 2021	106.61	79.58	2778.675
Kuartal I 2022	88.48	98.96	2059.298
Kuartal II 2022	119.42	112.74	3021.285

Square sebesar 89,2% dimana nilai PDB dipengaruhi kuat oleh harga minyak dunia dan volume ekspor batubara secara bersama-sama. Nilai MAPE *out sample* yang dihasilkan sebesar 17,127% artinya model yang terpilih memiliki kemampuan peramalan baik karena nilai MAPE berada pada interval $10\% \leq \text{MAPE} < 20\%$.

Penelitian ini mengkaji permasalahan yang terbatas dimana masih ada faktor lain dalam PDB yang tidak diujikan. Oleh karena itu perlu adanya pengembangan dari peneliti selanjutnya untuk faktor yang lain dalam pemodelan PDB. Peningkatan volume ekspor batubara memang mampu meningkatkan PDB, akan tetapi negara perlu mempertimbangkan ketersediaan batubara untuk kebutuhan di dalam negeri sehingga pemerataan energi dapat tercapai. Selain itu sikap negara terkait kenaikan harga minyak juga diperlukan untuk mengantisipasi dampak yang timbul mengingat fluktuasi harga minyak bukan hanya disebabkan oleh penawaran dan permintaan, tetapi juga dikarenakan adanya masalah geopolitik.

DAFTAR PUSTAKA

- Beck, N. 2001. *OLS in Matrix Form*. Lecture Notes 1(2):1–14.
- Chang, P. C., Yen W. W., and Chen H. L. 2007. The Development of a Weighted Evolving Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting. *Expert Systems with Applications* 32(1):86–96.
- Chin, W. W. 1998. *The Partial Least Squares Approach for Structural Equation Modeling*. Modern Methods for Business Research (April):295–336.
- Eubank, R. L. 1988. *Spline Smoothing and Nonparametric Regression*. New York: M. Dekker.
- Eubank, R. L. 1999. *Nonparametric Regression and Spline Smoothing, Second Edition*. Swiss: Taylor & Francis.
- Härdle, W., Axel W., Marlene M., dan Stefan S. 2004. *Nonparametric and Semiparametric Models*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Larasati, E. 2022. *Ekspor dan Impor Tumbuh Tinggi dan Semakin Berkualitas*. Diakses pada 10 Oktober 2022, dari <https://fiskal.kemenkeu.go.id/publikasi/siaran-pers-detil/392>.
- Nursalam. 2019. *Buku Ajar Makroekonomi*. Sleman: Deepublish
- Permadi, A. A. 2018. Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Ekspor komoditas Kopi Indonesia ke Australia 1989-2016. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa FEB Universitas Brawijaya* 6(2).
- Schimek, M. G. 2000. *Smoothing and Regression: Approaches, Computation and Application*. New York: Wiley.
- Sungkawa, I., dan Ries T. M. 2011. Penerapan Ukuran Ketepatan Nilai Ramalan Data Deret Waktu dalam Seleksi Model Peramalan Volume Penjualan PT Satriamandiri Citramulia. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications* 2(2):636.
- Suparti dan Alan P. 2017. Pemodelan Regresi Nonparametrik Menggunakan Pendekatan Polinomial Lokal pada Beban Listrik di Kota Semarang. *Jurnal Media Statistika* 9(2):85.
- Tirta, I. M. 2014. Pengembangan E-Modul Statistika Terintegrasi dan Dinamik dengan R-Shiny dan mathJax. *Prosiding Seminar Nasional Matematika*, Universitas Jember:223–32.
- Utami, T. 2013. Estimasi Kurva Regresi Semiparametrik pada Data Longitudinal Berdasarkan Estimator. *Jurnal Statistika* 1(1):30–36.