

Pemodelan Produk Domestik Bruto (PDB) dengan Metode *Seemingly Unrelated Regression* (SUR) di Indonesia, Malaysia, Singapura, Filipina, dan Vietnam

Enu Ainun Isn^{*}, Teti Sofia Yanti

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*enuainuni@gmail.com, tetisofiaiyanti@gmail.com

Abstract. Seemingly Unrelated Regression (SUR) is a system consisting of two or more linear regression equations that can be used to address violations of assumptions in panel data regression, namely heteroskedasticity in the variance of residuals and the presence of correlation between residuals of different individuals, also known as contemporaneous correlation. The independent variables used are Foreign Direct Investment (FDI), inflation, and the labor force, while the dependent variable is the Gross Domestic Product (GDP) in Indonesia, Malaysia, Singapore, Philippines, and Vietnam from 2000 to 2022. In the assumption check for the best panel data regression model, the Random Effect Model (REM) with different intercepts and slopes for each country, heteroskedasticity and contemporaneous correlation were found. Therefore, an alternative method, SUR, was used. Based on the SUR model, it can be concluded that GDP in Indonesia and the Philippines is influenced by FDI and the labor force. GDP in Malaysia is only influenced by the labor force. Additionally, GDP in Singapore and Vietnam is influenced by all independent variables, namely FDI, inflation, and the labor force. The McElroy's coefficient of determination (R^2) for the SUR model is 97.68%, and the coefficient of determination for REM is 96.49%. This means that, because the R^2 value of the SUR model is closer to 100%, it can be said that the SUR model is better to apply than the REM.

Keywords: *Inflation, GDP, Panel Data Regression.*

Abstrak. *Seemingly Unrelated Regression* (SUR) adalah sistem yang terdiri dari dua atau lebih persamaan regresi linear yang bisa digunakan untuk mengatasi pelanggaran asumsi pada regresi data panel yaitu heteroskedastisitas pada ragam residual dan terdapat korelasi antar residual pada individu yang berbeda atau yang disebut korelasi kesebayaan (*contemporaneous correlation*). Variabel independen yang digunakan yaitu *Foreign Direct Investment* (FDI), inflasi, dan angkatan kerja, serta variabel dependen yaitu Produk Domestik Bruto (PDB) di Negara Indonesia, Malaysia, Singapura, Filipina, dan Vietnam tahun 2000-2022. Dalam pemeriksaan asumsi pada model regresi data panel terbaik, yaitu *Random Effect Model* (REM) dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap negara, ditemukan adanya heteroskedastisitas dan korelasi kesebayaan. Oleh karena itu, digunakan metode alternatif lain yaitu SUR. Berdasarkan model SUR, dapat disimpulkan bahwa PDB di Indonesia dan Filipina dipengaruhi oleh FDI dan angkatan kerja. PDB di Malaysia hanya dipengaruhi oleh angkatan kerja. Serta PDB di Singapura dan Vietnam dipengaruhi oleh semua variabel independen yaitu FDI, inflasi, dan angkatan kerja. Diperoleh juga koefisien determinasi (R^2) *McElroy's* untuk model SUR sebesar 97,68%, dan koefisien determinasi untuk REM sebesar 96,49%. Artinya karena nilai R^2 dari model SUR lebih mendekati 100%, maka dapat dikatakan bahwa model SUR lebih baik untuk diterapkan daripada REM.

Kata Kunci: *Inflasi, PDB, Regresi Data Panel.*

A. Pendahuluan

Setiap negara memiliki keragaman dalam kekayaan asetnya, termasuk Sumber Daya Alam (SDA) dan Sumber Daya Manusia (SDM). Penting untuk memanfaatkan semua sumber daya tersebut dengan tujuan meningkatkan pertumbuhan ekonominya yang tercermin melalui nilai Produk Domestik Bruto (PDB). Oleh karena itu, untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi suatu negara, penting untuk memahami berbagai faktor yang dapat mempengaruhi PDB. Analisis yang dapat digunakan untuk mengetahui faktor-faktor tersebut salah satunya adalah dengan analisis regresi.

Menurut Gujarati [1], analisis regresi merupakan penelitian mengenai hubungan antara satu variabel dependen dengan satu atau lebih variabel independen. Terdapat beberapa macam analisis regresi tergantung pada jenis data yang digunakan dalam penelitian, untuk jenis data yang terdiri dari data *cross-sectional* dan data *time-series* atau yang lebih dikenal sebagai data panel, salah satu analisis regresi yang biasa digunakan adalah analisis regresi panel (1).

Pendekatan yang biasa digunakan untuk mengestimasi model regresi data panel adalah *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM) [1]. Ketiga model tersebut mengasumsikan bahwa residual berdistribusi normal, memiliki ragam residual homogen, dan tidak terdapat korelasi antar residual pada individu yang berbeda (*contemporaneous correlation*). Apabila terjadi pelanggaran asumsi maka ketiga model tersebut sudah tidak tepat lagi untuk digunakan karena dapat menyebabkan estimasi koefisien menjadi tidak efisien atau tidak konsisten. Oleh karena itu, diperlukan metode pendugaan alternatif yang bisa digunakan untuk mengatasi pelanggaran asumsi tersebut (2).

Pada tahun 1962, Arnold Zellner memperkenalkan model *Seemingly Unrelated Regression* (SUR). Zellner menjelaskan bahwa SUR adalah model regresi multivariat (*multiple regression*) yang terdiri dari dua atau lebih persamaan regresi linear yang mungkin memiliki variabel independen yang berbeda. SUR merupakan salah satu metode pendugaan alternatif yang bisa digunakan untuk mengatasi ragam residual tidak sama dan terdapat korelasi antar residual pada individu yang berbeda [2]. Dalam analisis regresi data panel, SUR akan menghasilkan dua atau lebih persamaan regresi linear tergantung seberapa banyak individu yang digunakan (3). Zellner menekankan bahwa estimasi bersama-sama antar persamaan yang residualnya berkorelasi menghasilkan estimasi yang lebih akurat untuk koefisien dan prediksi nilai variabel dependen daripada estimasi persamaan secara terpisah. Setiap persamaan dalam model SUR terhubung satu sama lain dengan adanya korelasi antar residual pada persamaan yang berbeda, korelasi ini disebut korelasi kesebayaan (*contemporaneous correlation*).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis PDB pada beberapa negara di Asia Tenggara yaitu Indonesia, Malaysia, Singapura, Filipina, dan Vietnam di tahun 2000-2022 untuk mengetahui variabel-variabel apa saja yang mempengaruhi PDB menggunakan metode *Seemingly Unrelated Regression* (SUR) pada data panel.

Metodologi Penelitian
Peneliti menggunakan metode teknik analisis korelasional dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Populasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah siswa SMA Negeri 12 Bandung yang berjumlah 1.023 siswa.

Dengan teknik pengambilan sampel yaitu Proporsional Stratified Sampling diperoleh jumlah sampel penelitian sebanyak 91 siswa. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuesioner, wawancara, observasi, dan studi pustaka. Adapun teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknis analisis deskriptif dan teknik analisis inferensial.

B. Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *World Bank Open Data*. Variabel independen yang digunakan adalah *foreign direct investment* (X_1), nilai inflasi (X_2), dan angkatan kerja (X_3). Serta variabel dependennya adalah produk domestik bruto (Y). Penelitian ini menggunakan data panel dengan subjek atau unit penelitiannya adalah Negara Indonesia, Malaysia, Singapura, Filipina, dan Vietnam. Setiap negara diamati berdasarkan variabel yang diteliti selama kurun waktu 23 tahun yaitu dari tahun 2000 sampai

2022.

Regresi Data Panel

Menurut Baltagi [3], data panel merupakan sekumpulan data hasil dari pengamatan pada beberapa individu (unit *cross-sectional*) yang masing-masing diamati dalam beberapa periode waktu yang berurutan (unit waktu).

Common Effect Model (CEM)

CEM adalah pendugaan yang menggabungkan (*pooled*) seluruh data *time series* dan *cross section*, serta menggunakan metode estimasi OLS (*Ordinary Least Square*) untuk menduga parameternya [3]. CEM tidak memperhatikan pengaruh spesifik waktu maupun individu. Berikut adalah model regresi CEM dengan individu sebanyak N , periode waktu sebanyak T , dan variabel independen sebanyak K :

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad , i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T; k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

Fixed Effect Model (FEM)

Pendugaan parameter regresi panel dengan FEM dilakukan dengan menambahkan variabel *dummy*, disebut juga sebagai Model *Least Square Dummy Variable* (LSDV). FEM mengasumsikan bahwa dalam berbagai periode waktu, setiap individu memiliki karakteristik yang berbeda. Berikut adalah beberapa jenis model regresi FEM [1]:

1. FEM dengan *slope* konstan namun *intercept* bervariasi pada setiap individu:

$$Y_{it} = \beta_0 + \mu_1 D_{1i} + \dots + \mu_{N-1} D_{(N-1)i} + \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

2. FEM dengan *slope* konstan namun *intercept* bervariasi pada setiap waktu:

$$Y_{it} = \beta_0 + \lambda_1 D_{1t} + \dots + \lambda_{T-1} D_{(T-1)t} + \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

3. FEM dengan *slope* konstan namun *intercept* bervariasi pada setiap individu dan waktu:

$$Y_{it} = \beta_0 + \mu_1 D_{1i} + \dots + \mu_{N-1} D_{(N-1)i} + \lambda_1 D_{1t}^* + \dots + \lambda_{T-1} D_{(T-1)t}^* + \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

4. FEM dengan *intercept* dan *slope* bervariasi pada setiap individu:

$$Y_{it} = \beta_0 + \mu_1 D_{1i} + \dots + \mu_{N-1} D_{(N-1)i} + \beta_{11} X_{11t} + \dots + \beta_{k1} X_{k1t} + \beta_{12} X_{12t} + \dots + \beta_{k2} X_{k2t} + \dots + \beta_{ki} X_{kit} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

dimana $i = 1, 2, \dots, N, t = 1, 2, \dots, T, k = 1, 2, \dots, K$.

Random Effect Model (REM)

REM mengasumsikan bahwa efek dari individu dan waktu atau koefisien regresinya bersifat acak atau *random*. Pada REM untuk data panel, variasi karakteristik individu dan waktu disertakan dalam komponen *error* dari model tersebut [1]. Model regresi REM [4]:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \dots + \beta_k X_{kit} + w_{it} \quad , i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T; k = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

Komponen *error* untuk efek individu:

$$w_{it} = \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

Komponen *error* untuk efek waktu:

$$w_{it} = \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

Komponen *error* untuk efek individu dan waktu:

$$w_{it} = \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Uji Chow

Uji Chow atau uji *restricted F-statistic* digunakan untuk memilih model yang paling sesuai dalam mengestimasi data panel antara *Common Effect Model* dan *Fixed Effect Model*.

1. Hipotesis uji
 H_0 : *Common Effect Model* (CEM)
 H_1 : *Fixed Effect Model* (FEM)
2. Statistik uji [5]:

$$F = \frac{(SSE_{common} - SSE_{fixed})/(N - 1)}{SSE_{fixed}/(NT - N - K)} \quad (10)$$

3. Kriteria uji
Tolak H_0 jika $F > F_{(\alpha, (N-1), (NT-N-K))}$. Jika H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa model yang paling sesuai dalam mengestimasi data panel adalah FEM.

Uji Hausman

Uji Hausman digunakan untuk memilih model yang paling sesuai dalam mengestimasi data panel antara *Fixed Effect Model* dan *Random Effect Model*.

1. Hipotesis uji
 H_0 : *Random Effect Model* (REM)
 H_1 : *Fixed Effect Model* (FEM)
2. Statistik uji [5]:
$$\chi^2 = (\hat{\beta}_{REM} - \hat{\beta}_{FEM})' [Var(\hat{\beta}_{REM}) - Var(\hat{\beta}_{FEM})]^{-1} (\hat{\beta}_{REM} - \hat{\beta}_{FEM}) \quad (11)$$
3. Kriteria uji
Tolak H_0 jika $\chi^2 > \chi^2_{(\alpha, K)}$. Jika H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa model yang paling sesuai dalam mengestimasi data panel adalah FEM.

Uji Heteroskedastisitas

Homoskedastisitas adalah kondisi di mana terdapat varian atau ragam yang sama dari setiap residualnya, sedangkan heteroskedastisitas adalah kondisi di mana ragam dari setiap residual tidak sama. Metode yang dapat digunakan salah satunya adalah uji *Breusch-Pagan*.

1. Hipotesis uji
 H_0 : $\sigma_i^2 = \sigma^2$, untuk $i = 1, 2, \dots, N$ (Ragam residual sama untuk setiap individu atau homoskedastisitas)
 H_1 : Minimal ada satu $\sigma_i^2 \neq \sigma^2$ (Ragam residual berbeda untuk setiap individu atau heteroskedastisitas)
2. Statistik uji
Statistik uji *Breusch-Pagan*:
$$BP = \frac{(SSR^*/2)}{(SSE/n)^2} = \frac{[(\hat{\beta}_k' X_{kit}' y_{it} - T_i(\bar{y}_{it}^2))/2]}{[(\hat{\varepsilon}_{it}' \hat{\varepsilon}_{it})/T_i]^2} \quad (12)$$
3. Kriteria uji
Tolak H_0 jika $BP > \chi^2_{(\alpha, m-1)}$, dimana m = banyaknya variabel penelitian (parameter). Apabila hasil uji heteroskedastisitas adalah tolak H_0 atau ragam residual berbeda untuk setiap i , maka selanjutnya dilakukan terlebih dahulu pengujian korelasi kesebayaan.

Uji Korelasi Kesebayaan (*Contemporaneous Correlation*)

Menurut Dufour & Khalaf [6], korelasi kesebayaan (*contemporaneous correlation*) merupakan ukuran hubungan antara residual dari N persamaan yang berbeda pada waktu yang sama. Dengan kata lain, korelasi kesebayaan mengukur sejauh mana residual pada waktu yang sama berkorelasi antara satu sama lain pada unit-unit individu. Salah satu metode yang digunakan untuk menguji korelasi kesebayaan adalah uji *Breusch-Pagan Lagrange Multiplier*.

1. Hipotesis uji
 H_0 : $E(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) = 0$ (Residual tidak berkorelasi antar individu/Tidak terdapat korelasi kesebayaan)
 H_1 : $E(\varepsilon_{it}, \varepsilon_{jt}) \neq 0$ (Residual berkorelasi antar individu/Terdapat korelasi kesebayaan)
2. Statistik uji [7]:

$$BP_{LM} = T \left[\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left(\frac{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it} \hat{\varepsilon}_{jt}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{it}^2 \times \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_{jt}^2}} \right)^2 \right] \quad (13)$$

3. Kriteria uji

Tolak H_0 jika $BP_{LM} > \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}N(N-1))}$. Jika H_0 ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi kesebayaan (*contemporaneous correlation*).

Seemingly Unrelated Regression (SUR)

Pada tahun 1962, Arnold Zellner memperkenalkan model *Seemingly Unrelated Regression* (SUR). SUR merupakan model regresi multivariat (*multiple regression*) yang terdiri dari dua atau lebih persamaan regresi linear yang mungkin memiliki variabel independen berbeda [2].

SUR juga merupakan salah satu metode pendugaan alternatif yang bisa digunakan untuk mengatasi ragam residual tidak sama dan terdapat korelasi antar residual pada individu yang berbeda. Zellner menekankan bahwa estimasi bersama-sama antar persamaan yang residualnya berkorelasi menghasilkan estimasi yang lebih akurat untuk koefisien dan prediksi nilai variabel dependen daripada estimasi persamaan secara terpisah.

Dalam model SUR, jumlah variabel independen untuk masing-masing persamaan boleh berbeda, namun jumlah observasi untuk setiap variabel harus sama. Setiap persamaan terhubung satu sama lain dengan adanya korelasi kesebayaan (*contemporaneous correlation*). Oleh karena itu, SUR dapat mengakomodasi korelasi antar residual pada persamaan yang berbeda. Misalkan terdapat data panel yang terdiri dari N individu dengan observasi sejumlah T periode waktu dan K_i variabel independen untuk setiap individu, maka model SUR untuk N buah persamaan adalah sebagai berikut [3]:

$$\begin{aligned} \underline{y}_1 &= \underline{X}_1 \underline{\beta}_1 + \underline{\varepsilon}_1 \\ \underline{y}_2 &= \underline{X}_2 \underline{\beta}_2 + \underline{\varepsilon}_2 \\ &\vdots \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \underline{y}_N &= \underline{X}_N \underline{\beta}_N + \underline{\varepsilon}_N \\ &\text{atau} \\ \underline{y}_i &= \underline{X}_i \underline{\beta}_i + \underline{\varepsilon}_i \end{aligned} \quad (15)$$

Feasible Generalized Least Square (FGLS)

Apabila matriks kovarian dari residual (Σ) tidak diketahui maka menggunakan estimator FGLS. FGLS dikembangkan dari estimator *Generalized Least Square* (GLS) sehingga bisa disebut juga estimator dua tahap (*two-step*) GLS, dimana FGLS melibatkan dua tahap estimasi yaitu OLS dan GLS. Model regresi untuk masing-masing individu akan diduga terlebih dahulu menggunakan OLS, lalu dari nilai residual model tersebut, dapat digunakan untuk menduga matriks varians-kovarians Σ berdimensi $(N \times N)$ dengan rumus [8]:

$$\hat{\Sigma} = E(\underline{\varepsilon}_i \underline{\varepsilon}_j') = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1N} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{N1} & s_{N2} & \cdots & s_{NN} \end{bmatrix}, i, j = 1, 2, \dots, N \quad (16)$$

dimana

$$s_{ij} = \frac{\underline{\varepsilon}_i' \underline{\varepsilon}_j}{T} \quad (17)$$

Sehingga diperoleh struktur matriks varians-kovarians ($\hat{\Omega}$) berdimensi $(NT \times NT)$:

$$\hat{\Omega} = \hat{\Sigma} \otimes \mathbf{I}_T \quad (18)$$

Maka estimasi parameter regresi ($\hat{\beta}$) berdimensi $(\sum_{i=1}^N (K_i + 1) \times 1)$ [8]:

$$\hat{\beta}^{FGLS} = [\mathbf{X}' \hat{\Omega}^{-1} \mathbf{X}]^{-1} [\mathbf{X}' \hat{\Omega}^{-1} \underline{y}] \quad (19)$$

Pengujian Parameter SUR Secara Parsial

Pengujian parameter SUR secara parsial menggunakan uji t yang bertujuan untuk melihat signifikansi dari pengaruh variabel independen secara individu terhadap variabel dependen dengan menganggap variabel lain bersifat konstan [9].

1. Hipotesis uji

$H_0 : \beta_k = 0$, untuk $k = 1, 2, \dots, K$ (Variabel independen ke- k (X_k) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen (Y))

$H_1 : \beta_k \neq 0$ (Variabel independen ke- k (X_k) berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen (Y))

2. Statistik uji

$$t = \frac{\hat{\beta}_k}{se(\hat{\beta}_k)} \quad (20)$$

3. Kriteria uji

Tolak H_0 jika $|t| > t_{(\frac{\alpha}{2}, T-K-1)}$.

Koefisien Determinasi

Menurut Gujarati [1], R^2 atau koefisien determinasi adalah ukuran yang paling umum digunakan untuk menilai seberapa baik garis regresi cocok dengan data yang sesungguhnya. Koefisien determinasi mengukur proporsi atau persentase dari total keragaman dalam Y yang dijelaskan oleh model regresi. Koefisien determinasi untuk masing-masing model individu:

$$R^2 = 1 - \frac{\hat{\varepsilon}_i' \hat{\varepsilon}_i}{(\underline{y}_i - \bar{y}_i)' (\underline{y}_i - \bar{y}_i)} \quad (21)$$

Koefisien determinasi untuk SUR menggunakan *McElroy's R-square* [10]:

$$R_{ME}^2 = 1 - \frac{\hat{\varepsilon}' (\hat{\Sigma}^{-1} \otimes I_T) \hat{\varepsilon}}{\underline{y}' \left(\hat{\Sigma}^{-1} \otimes \left(I_T - \frac{u' u}{T} \right) \right) \underline{y}} \quad (22)$$

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis Regresi Panel

Model regresi panel: *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM). Berikut adalah model regresi yang diperoleh:

Common Effect Model (CEM): $\hat{Y}_{it} = 67,346 + 3,952X_{1it} - 21,899X_{2it} + 0,000006X_{3it}$

Fixed Effect Model (FEM):

1. FEM dengan *slope* sama, tetapi *intercept* berbeda untuk setiap individu dengan MSE = 2.453,942:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{it} = & -2.824,810 + 2.114,937\text{Malaysia} + 2.236,607\text{Singapura} \\ & + 1.496,343\text{Filipina} + 1.172,306\text{Vietnam} + 2,643X_{1it} - 3,455X_{2it} \\ & + 0,000024X_{3it} + 0,310\text{Tahun} \end{aligned}$$

2. FEM dengan *intercept* sama, tetapi *slope* berbeda untuk setiap individu dengan MSE = 2.741,137:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{it} = & -37.412,239 + 18,479X_{1it} - 12,647X_{2it} + 0,000003X_{3it} + 18,700\text{Tahun} \\ & - 21,629X_{12t}\text{Malaysia} - 18,219X_{13t}\text{Singapura} - 27,593X_{14t}\text{Filipina} \\ & - 29,314X_{15t}\text{Vietnam} + 31,286X_{22t}\text{Malaysia} + 23,259X_{23t}\text{Singapura} \\ & + 4,729X_{24t}\text{Filipina} + 5,227X_{25t}\text{Vietnam} \end{aligned}$$

3. FEM dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap individu dengan MSE = 1.362,552:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{it} = & -19.905,322 + 1.060,184\text{Malaysia} + 1.152,242\text{Singapura} + 739,438\text{Filipina} \\ & + 560,001\text{Vietnam} + 11,343X_{1it} - 10,746X_{2it} + 0,000014X_{3it} + 9,394\text{Tahun} \\ & - 10,132X_{12t}\text{Malaysia} - 10,239X_{13t}\text{Singapura} - 16,448X_{14t}\text{Filipina} \\ & - 14,851X_{15t}\text{Vietnam} + 16,358X_{22t}\text{Malaysia} + 15,961X_{23t}\text{Singapura} \end{aligned}$$

$$+9,922X_{24t}\text{Filipina} + 7,234X_{25t}\text{Vietnam}$$

Berdasarkan ketiga model FEM tersebut, model yang memiliki nilai MSE terkecil adalah model ketiga, sehingga model FEM dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap negara merupakan model FEM terbaik.

Random Effect Model (REM):

1. REM dengan *slope* sama, tetapi *intercept* berbeda untuk setiap individu dengan AIC = 1.226,424:

$$\hat{Y}_{it} = -2.824,810 + 2.114,937\text{Malaysia} + 2.236,607\text{Singapura} \\ + 1.496,343\text{Filipina} + 1.172,306\text{Vietnam} + 2,643X_{1it} - 3,455X_{2it} \\ + 0,000024X_{3it} + 0,310\text{Tahun}$$

2. REM dengan *intercept* sama, tetapi *slope* berbeda untuk setiap individu dengan AIC = 1.248,26:

$$\hat{Y}_{it} = -37.412,239 + 18,479X_{1it} - 12,647X_{2it} + 0,000003X_{3it} + 18,700\text{Tahun} \\ - 21,629X_{12t}\text{Malaysia} - 18,219X_{13t}\text{Singapura} - 27,593X_{14t}\text{Filipina} \\ - 29,314X_{15t}\text{Vietnam} + 31,286X_{22t}\text{Malaysia} + 23,259X_{23t}\text{Singapura} \\ + 4,729X_{24t}\text{Filipina} + 5,227X_{25t}\text{Vietnam}$$

3. REM dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap individu dengan AIC = 1.150,153:

$$\hat{Y}_{it} = -19.905,322 + 1.060,184\text{Malaysia} + 1.152,242\text{Singapura} + 739,438\text{Filipina} \\ + 560,001\text{Vietnam} + 11,343X_{1it} - 10,746X_{2it} + 0,000014X_{3it} + 9,394\text{Tahun} \\ - 10,132X_{12t}\text{Malaysia} - 10,239X_{13t}\text{Singapura} - 16,448X_{14t}\text{Filipina} \\ - 14,851X_{15t}\text{Vietnam} + 16,358X_{22t}\text{Malaysia} + 15,961X_{23t}\text{Singapura} \\ + 9,922X_{24t}\text{Filipina} + 7,234X_{25t}\text{Vietnam}$$

Berdasarkan ketiga model REM tersebut, model yang memiliki nilai AIC terkecil adalah model ketiga, sehingga REM dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap negara merupakan model REM terbaik.

Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik dilakukan untuk menentukan model yang paling sesuai dalam mengestimasi parameter dari CEM, FEM, dan REM. Berikut adalah hasil pengujiannya:

Tabel 1. Uji Chow dan Uji Hausman

Uji	Statistik Uji	df	Nilai Kritis	Keputusan	Kesimpulan
Chow	$F = 393,561$	4,98	2,465	Tolak H_0	FEM
Hausman	$\chi^2 = 0,00000000000000000003$	3	7,815	Terima H_0	REM

Berdasarkan Tabel 1., dengan kriteria tolak H_0 jika nilai statistik uji lebih besar dari nilai kritisnya, dapat disimpulkan bahwa, pada taraf signifikansi 5% model yang paling sesuai dalam mengestimasi parameter regresi data panel adalah REM dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap individu (Negara).

Uji Asumsi Regresi Panel

Berdasarkan pemilihan model regresi data panel terbaik, diperoleh model yang paling sesuai yaitu REM. Selanjutnya dari model tersebut dilakukan uji asumsi klasik untuk memastikan kecocokan dan keakuratan hasil analisis regresi panel. Berikut adalah hasil dari uji asumsi regresi panel:

Tabel 2. Uji Asumsi Klasik pada Regresi Panel

Asumsi	χ^2	df	$\chi^2_{0,05}$	Keputusan	Kesimpulan
Normalitas	58,655	2	5,991	Tolak H_0	Tidak terpenuhi
Autokorelasi	57,331	23	35,172	Tolak H_0	Tidak terpenuhi

Heteroskedastisitas	117,837	16	26,296	Tolak H_0	Tidak terpenuhi
Korelasi Kesebayaan	19,069	10	18,307	Tolak H_0	Tidak terpenuhi

Berdasarkan Tabel 2., dengan nilai kritis $\chi^2_{(0,05;2)} = 5,991$ untuk uji normalitas menggunakan Uji *Jarque-Bera*, $\chi^2_{(0,05;23)} = 35,172$ untuk uji autokorelasi menggunakan Uji *Breusch-Godfrey*, $\chi^2_{(0,05;16)} = 26,296$ untuk uji heteroskedastisitas, dan $\chi^2_{(0,05;10)} = 18,307$ untuk uji korelasi kesebayaan, dapat disimpulkan bahwa semua asumsi tidak terpenuhi. Artinya residual dari REM tidak berdistribusi normal, terdapat autokorelasi, memiliki ragam residual heterogen (heteroskedastisitas), dan terdapat korelasi kesebayaan.

Tabel 3. Pemeriksaan Multikolinearitas

Variabel	VIF
<i>Foreign Direct Investment</i> (X_1)	10,13
Inflasi (X_2)	5,19
Angkatan Kerja (X_3)	56,42

Berdasarkan Tabel 3., karena terdapat nilai VIF > 10 , maka dapat disimpulkan bahwa terjadi multikolinearitas untuk variabel *foreign direct investment* (X_1) dan angkatan kerja (X_3).

Model *Seemingly Unrelated Regression* (SUR)

Dari hasil uji heteroskedastisitas serta uji korelasi kesebayaan, terbukti bahwa asumsi tidak terpenuhi, maka REM dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap individu (Negara) sudah tidak tepat lagi untuk digunakan. Sehingga metode alternatif yang bisa digunakan adalah *Seemingly Unrelated Regression* (SUR) dengan metode estimasi *Feasible Generalized Least Square* (FGLS). Model regresi yang diperoleh untuk Negara Indonesia:

$$\hat{Y}_1 = -2.225,744 + 5,636X_{11} - 4,437X_{21} + 0,000024X_{31}$$

Model regresi yang diperoleh untuk Negara Malaysia:

$$\hat{Y}_2 = -247,664 + 2,187X_{12} + 5,120X_{22} + 0,000035X_{32}$$

Model regresi yang diperoleh untuk Negara Singapura:

$$\hat{Y}_3 = -226,318 + 1,194X_{13} + 5,035X_{23} + 0,000136X_{33}$$

Model regresi yang diperoleh untuk Negara Filipina:

$$\hat{Y}_4 = -468,970 + 5,486X_{14} - 1,635X_{24} + 0,000018X_{34}$$

Model regresi yang diperoleh untuk Negara Vietnam:

$$\hat{Y}_5 = -337,002 + 11,854X_{15} - 3,551X_{25} + 0,000009X_{35}$$

Pengujian Parameter Model SUR Secara Parsial

Dari masing-masing model regresi setiap negara, selanjutnya dilakukan pengujian parameter regresi secara parsial untuk melihat pengaruh masing-masing dari variabel independen terhadap variabel dependen menggunakan uji *t*. Berikut adalah hasil dari pengujiannya:

Tabel 4. Hasil Pengujian Parameter Model SUR Secara Parsial

Model	Indonesia	Malaysia	Singapura	Filipina	Vietnam	$t_{0,05}$
	t	t	t	t	t	
<i>Intercept</i>	-7,730*	-6,967*	-10,190*	-9,974*	-3,031*	2,093
X_1	2,243*	1,318	9,557*	2,897*	4,362*	2,093
X_2	-0,810	1,112	3,785*	-0,793	-3,635*	2,093
X_3	9,942*	11,917*	14,754*	13,120*	3,274*	2,093

*) Signifikan pada $\alpha = 0,05$

Berdasarkan Tabel 4. dengan nilai kritis $t_{(0,05/2;19)} = 2,093$, dapat disimpulkan bahwa Produk Domestik Bruto (PDB) di Indonesia dan Filipina dipengaruhi oleh *foreign direct investment* (X_1) dan angkatan kerja (X_3). PDB di Malaysia hanya dipengaruhi oleh angkatan kerja (X_3). Serta PDB di Singapura dan Vietnam dipengaruhi oleh *foreign direct investment* (X_1),

inflasi (X_2), dan angkatan kerja (X_3).

Uji Asumsi Model SUR

Setelah dilakukan pengujian parameter model SUR, selanjutnya dilakukan uji asumsi untuk melihat apakah model SUR yang diperoleh dapat mengatasi heteroskedastisitas dan korelasi kesebayaan atau tidak. Berikut adalah hasil uji heteroskedastisitas untuk masing-masing model regresi setiap negara:

Tabel 5. Uji Heteroskedastisitas pada Model SUR

Negara	$BP_i(\chi^2)$	$\chi^2_{0,05}$	Keputusan
Indonesia	0,193	7,815	Terima H_0
Malaysia	4,915	7,815	Terima H_0
Singapura	0,971	7,815	Terima H_0
Filipina	3,466	7,815	Terima H_0
Vietnam	1,959	7,815	Terima H_0

Berdasarkan Tabel 5. dengan nilai kritis $\chi^2_{(0,05;3)} = 7,815$, dapat disimpulkan bahwa ragam residual dari model SUR sama (homogen) untuk masing-masing negara. Kemudian untuk hasil uji korelasi kesebayaan, sebagai berikut:

Tabel 6. Uji Korelasi Kesebayaan pada Model SUR

$BP_{LM}(\chi^2)$	df	$\chi^2_{0,05}$	Keputusan
15,654	10	18,307	Terima H_0

Berdasarkan Tabel 6., dengan nilai kritis $\chi^2_{(0,05;10)} = 18,307$, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat korelasi kesebayaan atau tidak terdapat korelasi pada residual model SUR antarnegara yang berbeda di tahun yang sama.

Koefisien Determinasi

Berikut adalah hasil nilai koefisien determinasi atau R^2 dari masing-masing negara, model SUR dengan *McElroy's* R^2 , dan R^2 untuk REM:

Tabel 7. Koefisien Determinasi SUR dan REM

Model	R^2	Persen
Indonesia	0,972	97,23%
Malaysia	0,949	94,90%
Singapura	0,988	98,81%
Filipina	0,978	97,77%
Vietnam	0,951	95,11%
<i>McElroy's</i> R^2	0,977	97,68%
<i>Random Effect Model (REM)</i> R^2	0,965	96,49%

Dari Tabel 7., diperoleh R^2 untuk model SUR secara keseluruhan dengan *McElroy's* R^2 sebesar 0,977 atau 97,68%. Artinya proporsi keragaman dari variabel PDB (Y) dapat dijelaskan oleh variabel FDI (X_1), inflasi (X_2), dan angkatan kerja (X_3) secara bersama-sama sebesar 97,68%. Serta diperoleh R^2 untuk REM sebesar 0,965 atau 96,49%. Artinya proporsi keragaman dari variabel PDB (Y) dapat dijelaskan oleh variabel FDI (X_1), inflasi (X_2), dan angkatan kerja (X_3) secara bersama-sama sebesar 96,49%. Karena nilai R^2 dari model SUR lebih mendekati 100%, maka dapat dikatakan bahwa model SUR lebih baik untuk diterapkan daripada REM.

D. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan metode *Seemingly Unrelated Regression* (SUR), peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Model SUR sudah dapat mempresentasikan pengaruh dari masing-masing variabel independen terhadap PDB dengan rinci untuk masing-masing negara di tahun 2000-2022, dimana PDB di Indonesia dan Filipina dipengaruhi oleh FDI dan angkatan kerja. PDB di Malaysia hanya dipengaruhi oleh angkatan kerja. Serta PDB di Singapura dan Vietnam dipengaruhi oleh semua variabel independen yaitu FDI, inflasi, dan angkatan kerja.
2. Koefisien determinasi (R^2) *McElroy's* untuk model SUR diperoleh sebesar 97,68%, sedangkan untuk *Random Effect Model* (REM) dengan *intercept* dan *slope* berbeda untuk setiap negara diperoleh sebesar 96,49%. Artinya karena nilai R^2 dari model SUR lebih mendekati 100%, maka dapat dikatakan bahwa model SUR lebih baik untuk diterapkan daripada REM.

Acknowledge

Alhamdulillah, dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat, kasih dan berkah dari-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Serta pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih yang mendalam atas semua berkat, doa, dukungan, motivasi, bimbingan dan kesempatan yang telah penulis terima kepada keluarga, sahabat, dosen pembimbing, serta semua pihak yang berkontribusi dalam mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Gujarati, D.N. (2003). *Basic Econometrics. (Fourth Edition)*. New York: McGraw-Hill.
- [2] Zellner, Arnold. (2006). *Seemingly Unrelated Regression [Internet]*, H.G.B. Alexander Research Foundation, University of Chicago. Available from: https://www.researchgate.net/publication/226411188_Seemingly_Unrelated_Regression_s
- [3] Baltagi, B.H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data. (Third Edition)*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [4] Savitri, C., S.P. Faddila, Irmawartini, H.R. Iswari, C. Anam, S. Syah, S.R. Mulyani, P.R. Sihombing, E.R. Kismawadi, A. Pujiyanto, A. Mulyati, Y. Astuti, W.C. Adinugroho, R. Imanuddin, Kristia, A. Nuraini, and M.T. Siregar. (2021). *Statistik Multivariat dalam Riset*. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- [5] Jannah, W., I.D. Sulvianti, Indahwati, P. Silvianti, & A. Kurnia. (2020). Analysis of Credit Bank Distribution with Seemingly Unrelated Regression Method on Panel Data. *Journal of Physics: Conference Series*, 1863. DOI: 10.1088/1742-6596/1863/1/012057.
- [6] Dufour, J.M. & L. Khalaf. (2002). Exact Tests for Contemporaneous Correlation of Disturbances in Seemingly Unrelated Regressions. *Journal of Econometrics*, 106(1). [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00093-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00093-8)
- [7] Halunga, A.G., C.D. Orme, & T. Yamagata. (2017). A Heteroskedasticity Robust Breusch–Pagan Test for Contemporaneous Correlation in Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics*, 198(2). <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2016.12.005>
- [8] Greene, W.H. (2002). *Econometric Analysis. (Fifth Edition)*. New York: Macmillan Publishing Company.
- [9] Srihardianti, M., M. Mustafid, & A. Prahutama. (2016). Metode Regresi Data Panel untuk Peramalan Konsumsi Energi di Indonesia. *Jurnal Gaussian*, 5(3). <https://doi.org/10.14710/j.gauss.5.3.475-485>
- [10] McElroy, M.B. (1977). Goodness of fit for seemingly unrelated regressions. *Journal of Econometrics*, 6. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90008-2)
- [11] Andini, F.N., & Wachidah, L. (2023). Penerapan Regresi Spasial Panel Random Effect pada Kasus Kemiskinan di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2011-2020. *Jurnal Riset Statistika*, 3(1). <https://doi.org/10.29313/jrs.v3i1.1885>
- [12] Agustin Nuriani Sirodj D, Made Sumertajaya I, Kurnia A. Analisis Clustering Time Series untuk Pengelompokan Provinsi di Indonesia Berdasarkan Indeks Pembangunan

- Manusia Jenis Kelamin Perempuan [Internet]. Vol. 23. 2023. Available from: <https://www.bps.go.id/indicator/40/462/1/indeks-pembangunan-manusia-ipm-menurut->
- [13] Yulianti NA, Cahyawati D, Susanti E, Jurusan), Fakultas M. Penggunaan Metode Double Exponential Smoothing Tipe Holt pada Peramalan Kasus Covid-19 di Provinsi Sumatera Selatan [Internet]. Vol. 23. Available from: <http://corona.sumselprov.go.id/>.
- [14] Esra R, Nohe DA, Fathurahman M, Program), Fakultas SS. Pemilihan Model Terbaik pada Generalized Poisson Regression Menggunakan Akaike Information Criterion. Vol. 23. 2023.