
PEMODELAN VECTOR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS (VARX) UNTUK MERAMALKAN DATA EKSPOR DAN IMPOR TOTAL DI INDONESIA

Nur Afifah Salsabila¹, Sri Wahyuningsih², Ika Purnamasari³

¹Laboratorium Statistika Ekonomi dan Bisnis, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

^{2,3}Program Studi Statistika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman

e-mail: nurafifahsalsabila21@gmail.com

Abstrak

Vector Autoregressive Exogenous (VARX) yaitu suatu model runtun waktu multivariat yang merupakan pengembangan dari model *Vector Autoregressive (VAR)*. Model VARX adalah model peramalan yang melibatkan variabel endogen dan variabel eksogen. Variabel endogen pada penelitian ini ialah ekspor dan impor total di Indonesia, kemudian variabel eksogennya yaitu indeks harga saham gabungan di Indonesia. Tujuan penelitian ini ialah melakukan pemodelan VARX pada data ekspor dan impor total di Indonesia periode Januari 2016 s.d. Desember 2021 dan meramalkannya untuk periode Januari 2022 hingga Desember 2022. Berdasarkan hasil analisis diperoleh model terbaik untuk meramalkan data ekspor dan impor total yaitu model VARX(2,2) dengan nilai MAPE untuk variabel ekspor total sebesar 5,938% dan variabel impor total sebesar 8,313%. Selanjutnya diperoleh hasil peramalan ekspor total mengalami peningkatan pada periode Januari 2022 hingga Desember 2022, dengan hasil peramalan bulan Januari 2022 sebesar US\$21.383,06 juta dan bulan Desember 2022 sebesar US\$23.569,50 juta. Hasil peramalan impor total mengalami peningkatan pada periode Januari 2022 hingga Desember 2022, dengan hasil peramalan pada bulan Januari 2022 sebesar US\$17.743,17 juta dan bulan Desember 2022 sebesar US\$20.269,07 juta.

Kata Kunci: Ekspor Total, Impor Total, VARX.

Abstract

Vector Autoregressive Exogenous (VARX) is a multivariate time series model which is a development of the *Vector Autoregressive (VAR)* model. VARX model is a forecasting model that involves endogenous variables and exogenous variables. The endogenous variables in this study are exports and total imports in Indonesia, then the exogenous variable in this study is the composite stock price index in Indonesia. The purpose of this study is to VARX model the export and total import data in Indonesia for the period January 2016 to December 2021 and predict it for the period January 2022 to December 2022. Based on the result of the analysis, the best model for forecasting export and total imports is the VARX(2.2) model with the MAPE value for the total export variable of 5.938% and the total import variable of 8.313%. Furthermore, the results of forecasting total exports have increased in the period January 2022 to December 2022, with forecasting results for January 2022 of US\$21,383.06 million and December 2022 of US\$23,569.50 million. The results of forecasting total imports have increased in the period January 2022 to December 2022, with forecasting results in January 2022 of US\$17,743.17 million and December 2022 of US\$20,269.07 million.

Keywords: Total export, total import, VARX.

1. PENDAHULUAN

Peramalan adalah proses perkiraan (pengukuran) besarnya atau jumlah sesuatu pada waktu yang akan datang berdasarkan pada masa lampau yang dianalisis secara ilmiah khususnya dengan menggunakan metode statistik (Sudjana 1989). Peramalan dibedakan menjadi kategori kualitatif dan kuantitatif. Peramalan kuantitatif menggunakan metode statistik dan matematis, sebagai lawan dari peramalan kualitatif yang mengandalkan pendapat ahli, dimana salah satu metodenya yaitu analisis runtun waktu (Awat 1990).

Menurut Wei (2006), analisis runtun waktu merupakan sekumpulan pengamatan terhadap variabel yang diambil secara berurutan dalam interval waktu yang tetap. Menurut Cahyani and Wachidah (2020), analisis runtun waktu terbagi dua bidang yakni analisis runtun waktu univariat dan multivariat. Analisis runtun waktu multivariat bertujuan untuk memodelkan variabel-variabel yang berkorelasi, sehingga bisa dipergunakan dalam meramalkan nilai di masa mendatang. Salah satu model analisis runtun waktu multivariat yaitu *Vector Autoregressive* (VAR).

Menurut Widarjono (2016), model VAR yaitu pengembangan dari model *Autoregressive* (AR). Model VAR kali pertama dikemukakan oleh Christopher Albert Sims tahun 1980. Model VAR terdiri dari beberapa variabel dan seluruh variabel diasumsikan sebagai variabel endogen, sehingga tidak perlu membedakan antara variabel endogen dan variabel eksogen. Menurut Rosyidah *et al* (2017), VARX adalah model yang digunakan dalam menggambarkan banyak variabel terhubung, dengan variabel eksogen mempengaruhi variabel endogen, sehingga hasil peramalan akan lebih akurat karena dalam model mempertimbangkan variabel yang mempengaruhinya.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Rosyidah *et al* (2017) mengenai peramalan jumlah uang beredar di Indonesia menggunakan model VARX. Berdasarkan hasil peramalan diperoleh nilai MAPE dari variabel uang kuartal sebesar 7,5%, variabel uang kuasi sebesar 0,5%, dan surat berharga 9,6% dengan arti model VARX (1,1) mempunyai kemampuan peramalan yang sangat baik, serta terdapat peningkatan di setiap periode untuk jumlah uang kuartal, kuasi, dan jumlah surat berharga selain saham. Adapun penelitian lainnya yang dilakukan oleh Cahyani and Wachidah (2020), yang meramalkan impor ekspor migas dan nonmigas di Indonesia menggunakan model VARX. Berdasarkan hasil peramalan diperoleh nilai MAPE dari variabel impor yaitu 14,2% dan variabel ekspor 9,95% dengan artian model VARX (1,1) mempunyai kemampuan peramalan yang sangat baik dalam variabel ekspor dan impor, dan terdapat kenaikan di setiap periode untuk nilai impor dan nilai ekspor.

Tujuan dari penelitian ini ialah membentuk model VARX pada data ekspor total dan impor total di Indonesia periode Januari 2016 - Desember 2021 dan meramalkan data ekspor total dan impor total di Indonesia periode Januari 2022 - Desember 2022.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari *website* resmi BPS Indonesia. Data yang dipergunakan yaitu data ekspor total, impor total, indeks harga saham gabungan periode Januari 2016 - Desember 2021. Variabel penelitian ini terbagi menjadi dua, variabel endogen dan variabel eksogen. Variabel endogen yang dipergunakan adalah ekspor total (Z_1) dengan satuan Juta US\$ dan impor total (Z_2) dengan satuan Juta US\$, sedangkan variabel eksogen yang dipergunakan yaitu indeks harga saham gabungan (X) dengan satuan Rupiah.

Beberapa Langkah analisis pada penelitian ini yaitu:

1. Melakukan analisis statistika deskriptif pada masing-masing variabel.
2. Melakukan analisis korelasi. Menurut Tobias and Carlson (1969), analisis korelasi dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Bartlett of Sphericity* guna mengetahui korelasi

antara semua variabel pengamatan. Adapun hipotesis pengujian korelasi menggunakan uji *Bartlett of Sphericity* adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat korelasi antar semua variabel

H_1 : Terdapat korelasi antar semua variabel

Statistik uji *Bartlett of Sphericity* dituliskan pada persamaan berikut:

$$\chi_{hitung}^2 = - \left(n - 1 - \frac{2M-5}{6} \right) \ln|\mathbf{R}| \quad (1)$$

Kriteria pengujian yaitu H_0 ditolak jika $\chi_{hitung}^2 > \chi_{\alpha;1/2(M(M-1))}^2$ yang artinya terdapat korelasi antar variabel pengamatan. Dengan n adalah banyak data pengamatan, \mathbf{R} adalah matriks korelasi antar variabel, dan M adalah banyak variabel pengamatan.

- Menggunakan transformasi *Box-Cox* untuk melakukan uji stasioneritas data pada varians. Apabila varians data tidak stasioner, transformasi dilakukan. Menurut Wei (2006), nilai lambda (λ) atau nilai pembulatan dari transformasi *Box Cox* dapat mengungkapkan apakah data stasioner dalam varians. Jika $\lambda = 1$, maka dapat dikatakan bahwa data telah stasioner dalam varians. Apabila varians data tidak stasioner, transformasi *Box-Cox* dapat dilakukan. Jika $T(Z_t)$ adalah fungsi transformasi dari Z_t , maka rumus berikut dapat diterapkan:

$$T(Z_t) = \begin{cases} \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda} = \ln Z_t, & \lambda = 0 \end{cases} \quad (2)$$

dimana Z_t adalah data pengamatan pada waktu ke- t dan λ yaitu nilai parameter transformasi.

- Dengan menggunakan uji ADF, dapat dilakukan uji stasioneritas data terhadap rata-rata. Apabila data tidak stasioner di sekitar rata-rata, *differencing* dilakukan. Menurut Wei (2006) digunakan uji akar unit *Augmented Dickey Fuller* (ADF) untuk menentukan apakah data rata-rata stasioner. Apabila data tidak stasioner di sekitar mean, dimungkinkan untuk melakukan *differencing*. Adapun pengujian hipotesis menggunakan uji ADF yaitu:

H_0 : $\phi = 0$ (terdapat akar unit atau data tidak stasioner)

H_1 : $\phi < 0$ (tidak terdapat akar unit atau data stasioner)

Statistik uji ADF dituliskan pada persamaan berikut:

$$ADF_{hitung} = \frac{\hat{\phi}}{SE(\hat{\phi})} \quad (3)$$

dimana $SE(\hat{\phi})$ merupakan standar *error* dari $\hat{\phi}$, dan n adalah banyak data pengamatan. Kriteria pengujian yaitu H_0 ditolak jika nilai $|ADF_{hitung}| > |t_{(a,n)}|$ atau nilai *p value* $< \alpha$, sehingga kesimpulannya yaitu data telah stasioner.

- Melakukan identifikasi model VAR. Pemodelan VAR dilakukan dengan menentukan orde dari model VAR (p) dan VAR(s) yang akan dipergunakan. Kemudian melakukan estimasi parameter model VAR. Menurut Ocampo and Rodrigues (2012), salah satu estimasi parameter dapat menggunakan metode *least square* dengan meminimumkan jumlah kuadrat sisaan (residual) agar mendapatkan residual yang minimum. Rumus *least square* dapat dituliskan pada persamaan berikut:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{Y} \quad (4)$$

dimana \mathbf{Y} berukuran ($y \times 1$), \mathbf{A} berukuran ($y \times (p + q + 1)$), β berukuran ($(p + q + 1) \times 1$). Dengan p merupakan orde dari AR dan q orde dari X.

- Melakukan identifikasi orde model VARX melalui plot MPACF dan nilai AIC minimum. Menurut Rosyidah *et al* (2017), untuk menentukan orde p dalam model VARX(p,s) dapat menggunakan plot MPACF dan nilai AIC minimum dari model VAR yang terdiri dari variabel endogen. Kemudian menentukan orde s dalam model

VARX(p,s) dapat menggunakan plot MPACF dan nilai AIC minimum dari model VAR yang meliputi variabel endogen dan variabel eksogen. Wei (2006) menyatakan, perhitungan AIC menggunakan rumus berikut:

$$AIC(p) = \ln(|\hat{\Gamma}_p|) + \frac{2y^2p}{n} \quad (5)$$

dimana $|\hat{\Gamma}_p| = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \boldsymbol{\varepsilon}_t [\boldsymbol{\varepsilon}_t]^T$ adalah determinan matriks kovarian residual dari model VAR(p), $\boldsymbol{\varepsilon}_t$ ialah residual pada waktu ke- t , n adalah banyak data pengamatan, p adalah orde dari AR, dan y ialah banyaknya variabel endogen dalam model.

7. Melakukan estimasi parameter model VARX menggunakan metode *least square* menggunakan persamaan (4).
8. Melakukan pengujian signifikansi parameter model VARX. Menurut Rosyidah *et al* (2017), uji signifikansi parameter bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang mempengaruhi model. Uji Signifikansi parameter bisa menggunakan uji t dengan pengujian hipotesis berikut:

H_0 : Parameter tidak signifikan berpengaruh terhadap model

H_1 : Parameter signifikan berpengaruh terhadap model

Statistik uji t variabel endogen dituliskan pada persamaan berikut:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\phi}_i}{SE(\hat{\phi}_i)} \quad (6)$$

Statistik uji t variabel eksogen dituliskan pada persamaan berikut:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\theta}_j}{SE(\hat{\theta}_j)} \quad (7)$$

Kriteria pengujian yaitu H_0 ditolak jika nilai $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2, (n-b)}$ artinya parameter berpengaruh pada model. Dengan n yaitu banyak data pengamatan dan b banyak parameter endogen dan eksogen.

9. Melakukan uji kausalitas Granger. Menurut Alfirman and Sutriyono (2015), uji kausalitas Granger dilakukan untuk mengetahui apakah variabel endogen dapat dianggap sebagai variabel eksogen, begitupun sebaliknya. Kausalitas Granger ditentukan dengan ketidaktahuan pengaruh antar variabel. Menurut Satria (2015), uji kausalitas Granger ini dapat diuji menggunakan uji F dengan statistik uji berikut:

$$F_{hitung} = \frac{(RSS_R - RSS_{UR})/p}{(RSS_{UR})/(n-c)} \quad (8)$$

Kriteria pengujian yaitu H_0 ditolak jika $F_{hitung} > F_{(p, n-c)}$ atau p value $< \alpha$ sehingga kesimpulannya yaitu variabel satu mempengaruhi variabel lain. Dengan p ialah orde optimum dari AR, n ialah banyak data pengamatan, dan c adalah banyak parameter yang diestimasi dalam regresi *unrestricted*.

10. Melakukan uji asumsi residual dari model VARX menggunakan uji *white noise*. Menurut Wei (2006), untuk melihat asumsi non korelasi pada residual bisa dilakukan dengan uji Portmanteau dalam pengujian hipotesis berikut:

H_0 : Tidak terdapat korelasi residual antar variabel endogen

H_1 : Terdapat korelasi residual antar variabel endogen

Statistik uji uji Portmanteau dituliskan pada persamaan berikut:

$$Q_h = n^2 \sum_{h=1}^k \frac{1}{(n-h)} \text{tr}[\hat{\Gamma}(h)^T \hat{\Gamma}^{-1}(0) \hat{\Gamma}(h) \hat{\Gamma}^{-1}(0)] \quad (9)$$

dimana $\hat{\Gamma} = \frac{1}{n} \sum_{t=h+1}^n \boldsymbol{\varepsilon}_t^T \boldsymbol{\varepsilon}_{t-h}$ adalah matriks kovariansi residual, h adalah panjang *lag*, dan n adalah banyak data pengamatan. Kriteria pengujian yaitu H_0 gagal ditolak jika $Q_h < \chi_{\alpha; 4h}^2$ atau p value $> \alpha$ yang artinya tidak terdapat korelasi dari residual.

11. Melakukan uji asumsi residual dari model VARX menggunakan uji normal multivariat. Menurut Rosadi (2010), Uji asumsi residual normal multivariat dapat ditampilkan secara

grafis menggunakan grafik plot Q-Q, dan uji koefisien plot Q-Q dapat digunakan. Menurut Hanurowati *et al* (2016), pengujian hipotesis koefisien Q-Q plot adalah:

H_0 : Residual berdistribusi normal multivariat

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji koefisien Q-Q plot dituliskan pada persamaan berikut:

$$r_Q = \frac{\sum_{t=1}^n (m_t^2 - \bar{m}^2)(q_t - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (m_t^2 - \bar{m}^2)^2 \sum_{t=1}^n (q_t - \bar{q})^2}} \quad (10)$$

Kriteria pengujian yaitu H_0 gagal ditolak jika $r_Q > r_{Q(\alpha, n)}$ atau $p \text{ value} < \alpha$ yang artinya residual berdistribusi normal multivariat. Dimana r_Q merupakan nilai korelasi antara nilai *quantile chi square* (q_t) dan jarak mahalnobis dari tiap variabel (m_t^2).

12. Melakukan peramalan data menggunakan model yang terpilih.

13. Mengukur akurasi peramalan dengan menghitung nilai MAPE. Menurut Makridakis *et al* (1999), salah satu ukuran yang dipergunakan dalam mengukur akurasi peramalan ialah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Rumus nilai MAPE yaitu:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |z_t - \hat{z}_t|}{z_t} \times 100 \quad (11)$$

dimana Z_t adalah data pada waktu ke- t , \hat{Z}_t adalah nilai hasil data peramalan pada waktu ke- t , dan n adalah banyak data pengamatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Statistika Deskriptif

Hasil pengolahan statistika deskriptif dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Statistika Deskriptif

Variabel	Min	Maks	Rata-rata	Variansi
Ekspor (Z_1)	9.650	22.844	14.672	7.288.716
Impor (Z_2)	8.439	21.352	13.748	6.269.299
IHSG (X)	4.539	6.606	5.786	322.649

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa variabel ekspor memiliki nilai minimum sebesar US\$9.650 juta dan nilai maksimum sebesar US\$22.844 juta. Rata-rata nilai ekspor di Indonesia sebesar US\$14.672 juta. Nilai variansi sebesar US\$7.288.716 juta yang artinya data menyebar jauh dari nilai rata-rata. Variabel impor memiliki nilai minimum sebesar US\$8.439 juta dan nilai maksimum sebesar US\$21.352 juta. Rata-rata nilai ekspor di Indonesia sebesar US\$13.748 juta. Nilai variansi sebesar US\$6.269.299 juta yang artinya data menyebar jauh dari nilai rata-rata. Variabel IHSG memiliki nilai minimum sebesar Rp4.539,00 dan nilai maksimum sebesar Rp 6.606,00. Rata-rata nilai ekspor di Indonesia sebesar Rp5.786,00. Nilai variansi sebesar Rp 322.649,00 yang artinya data menyebar jauh dari nilai rata-rata.

3.2 Analisis Korelasi

Dalam analisis runtun waktu multivariat perlu dilakukan analisis hubungan antar variabel, yaitu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh antar variabel ekspor, impor, dan IHSG. Analisis korelasi bisa dilakukan menggunakan uji *Bartlett of Sphericity* untuk membuktikan apakah antar variabel memiliki keterkaitan satu sama lain atau tidak. Adapun hipotesis pengujian *Bartlett of Sphericity* adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat korelasi antar variabel ekspor, impor, dan IHSG.

H_1 : Terdapat korelasi antar variabel ekspor, impor, dan IHSG.

Berdasarkan perhitungan koefisien korelasi, maka diperoleh matriks koefisien korelasi pada Persamaan (12) berikut:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{z_1z_1} & r_{z_1z_2} & r_{z_1x} \\ r_{z_2z_1} & r_{z_2z_2} & r_{z_2x} \\ r_{xz_1} & r_{xz_2} & r_{xx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0,809 & 0,668 \\ 0,809 & 1 & 0,563 \\ 0,668 & 0,563 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien korelasi diatas, diperoleh nilai koefisien korelasi antara ekspor total dan impor total sebesar 0,809 di mana termasuk korelasi yang sangat kuat, koefisien korelasi antara ekspor total dan IHSG sebesar 0,668 di mana termasuk korelasi yang kuat, dan koefisien korelasi antara impor total dan IHSG di mana termasuk korelasi yang sedang. Statistik pengujian *Bartlett of Sphericity* ditunjukkan pada Persamaan (13) berikut:

$$\begin{aligned} \chi_{hitung}^2 &= -\left(n - 1 - \frac{2m-5}{6}\right) \ln|\mathbf{R}| \\ &= -\left(72 - 1 - \frac{2(3)-5}{6}\right) \ln(0,190) \\ &= 117,388 \end{aligned} \quad (13)$$

Berdasarkan hasil perhitungan pada Persamaan (13) diperoleh nilai $\chi_{hitung}^2 = 117,388$ lebih besar dari $\chi_{0,05;3}^2 = 7,815$ yang artinya H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa antara ekspor, impor, dan IHSG memiliki korelasi. Selanjutnya dapat dilakukan analisis model runtun waktu multivariat antara variabel ekspor, impor, dan IHSG.

3.3 Uji Stasioneritas

Uji stasioneritas dalam variansi dapat dilakukan menggunakan metode *Box-Cox* pada masing-masing variabel. Diperoleh hasil nilai λ yang berbeda dan tidak sama atau mendekati 1 pada masing-masing variabel. Akan tetapi dalam analisis multivariat perlakuan terhadap semua variabel harus sama. Menurut Shofiyah *et al* (2009) dalam Nisa (2010), transformasi tidak perlu dilakukan, jika transformasinya berbeda untuk setiap variabel-variabel yang akan digunakan dan dapat diasumsikan telah stasioner terhadap variansi. Kemudian dilakukan uji stasioneritas pada masing-masing variabel dengan menggunakan uji ADF dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Uji ADF Data Pengamatan

Variabel	ADF_{hitung}	$t_{(0,05;72)}$	p value	Keputusan
Z_1	1,619	-1,666	0,973	H_0 gagal ditolak
Z_2	0,740	-1,666	0,847	H_0 gagal ditolak
X	0,624	-1,666	0,810	H_0 gagal ditolak

Dari hasil uji ADF yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai $|ADF_{hitung}| < |t_{(0,05;72)}|$ dan p value $> 0,05$ dari variabel ekspor, impor, dan IHSG yang artinya H_0 gagal ditolak. Maka kesimpulannya yaitu variabel ekspor, impor, dan IHSG belum stasioner terhadap rata-rata. Maka diperlukan untuk melakukan *differencing* orde pertama. Kemudian dilakukan uji ADF pada data *differencing* orde pertama dan didapatkan hasil berikut:

Tabel 3. Uji ADF Data *Differencing* Orde Pertama

Variabel	ADF_{hitung}	$t_{(0,05;71)}$	p value	Keputusan
Z_1	-8,065	-1,667	0,01	H_0 ditolak
Z_2	-20,680	-1,667	0,01	H_0 ditolak
X	-6,079	-1,667	0,01	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 3, hasil uji stasioneritas terhadap rata-rata menggunakan uji ADF menunjukkan bahwa nilai $|ADF_{hitung}| > |t_{(0,05;71)}|$ dan p value $< 0,05$ yang artinya H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa variabel ekspor, impor, dan IHSG data *differencing* orde pertama telah stasioner terhadap rata-rata.

3.4 Identifikasi dan Estimasi Parameter Model VAR

Model VAR(p) terdiri dari variabel endogen yaitu ekspor (Z_1) dan impor (Z_2). Dalam penelitian ini orde yang akan digunakan dibatasi hingga orde 10, sehingga model VAR(p) sementara yang akan digunakan yaitu model VAR(1) hingga VAR(10). Model VAR(p) untuk $p = 1$ dapat dilihat pada Persamaan (14).

$$\Delta \vec{Z}_t = \vec{W} + \phi_1 \Delta \vec{Z}_{t-1} + \vec{\varepsilon}_t \quad (14)$$

Berdasarkan Persamaan (14), model VAR(p) untuk $p = 1$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t} \\ \Delta Z_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t-1} \\ \Delta Z_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Tahapan selanjutnya adalah melakukan estimasi parameter model VAR(p) sementara menggunakan metode *least square*. Hasil estimasi parameter model VAR(1) dapat dilihat pada persamaan (16).

$$\begin{aligned} \Delta \hat{Z}_{1,t} &= 253,194 - 0,582\Delta Z_{1,t-1} + 0,052\Delta Z_{2,t-1} \\ \Delta \hat{Z}_{2,t} &= 249,526 - 0,253\Delta Z_{1,t-1} - 0,360\Delta Z_{2,t-1} \end{aligned} \quad (16)$$

Estimasi parameter pada model VAR(p) dilanjutkan hingga orde ke-10. Selanjutnya model VAR(s) terdiri dari variabel endogen dan variabel eksogen yaitu IHSG (X). Orde model VAR(s) dibatasi hingga orde ke-10. Model VAR(1) untuk $s = 1$ dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t} \\ \Delta Z_{2,t} \\ \Delta X_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t-1} \\ \Delta Z_{2,t-1} \\ \Delta X_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{3,t} \end{bmatrix} \quad (17)$$

Kemudian melakukan estimasi parameter model VAR(s) sementara menggunakan metode *least square*. Hasil estimasi parameter model VAR(1) dapat dilihat pada Persamaan (18).

$$\begin{aligned} \Delta \hat{Z}_{1,t} &= 242,185 - 0,579\Delta Z_{1,t-1} + 0,049\Delta Z_{2,t-1} + 0,387\Delta X_{t-1} \\ \Delta \hat{Z}_{2,t} &= 239,797 - 0,250\Delta Z_{1,t-1} - 0,361\Delta Z_{2,t-1} + 0,342\Delta X_{t-1} \\ \Delta \hat{X}_t &= 27,472 + 0,002\Delta Z_{1,t-1} + 0,005\Delta Z_{2,t-1} - 0,099\Delta X_{t-1} \end{aligned} \quad (18)$$

Estimasi parameter model VAR(s) dilanjutkan hingga orde ke-10. Dari model VAR(p) dan model VAR(s) akan diperoleh nilai residual dari setiap variabel. Nilai residual tersebut selanjutnya akan digunakan dalam identifikasi model VARX.

3.5 Identifikasi Model VARX

Dalam penelitian ini identifikasi model VARX menggunakan plot MPACF dan kriteria kebaikan model, yaitu *Akaike Information Function* (AIC). Dalam menentukan orde dari model VARX(p,s) dapat menggunakan plot MPACF dan nilai AIC minimum. Untuk menentukan orde p dari model VARX dapat menggunakan plot MPACF dan nilai AIC dari model VAR(p). Kemudian untuk menentukan orde s dapat menggunakan plot MPACF dan nilai AIC dari model VAR(s). Plot MPACF model VAR(p) dan VAR(s) dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Schematic Representation of Partial Autocorrelations										
Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z1	-	-
z2	..	+-

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

Gambar 1. Plot MPACF model VAR (p)

Schematic Representation of Partial Autocorrelations										
Name/Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
z1	-..	-.
z2	+..+
x-

+ is > 2*std error, - is < -2*std error, . is between

Gambar 2. Plot MPACF model VAR (s)

Berdasarkan plot MPACF pada Gambar 1 terlihat bahwa lag pada model VAR(p) yang muncul melebihi +2 kali standar error dengan simbol (+) dan kurang dari -2 kali standar error dengan simbol (-) terdapat pada lag 1 dan dan lag 2. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa lag pada model VAR(s) yang muncul melebihi +2 kali standar error dengan simbol (+) dan kurang dari -2 kali standar error dengan simbol (-) terdapat pada lag 1, 2, 4, dan 5. Kemudian dilakukan pengecekan kembali dengan menghitung nilai AIC dari masing-masing model untuk lag 1 hingga 10. Lalu nilai AIC terkecil akan terpilih menjadi orde model VARX(p,s). Diperoleh nilai AIC pada untuk model VAR(p) dan VAR(s) dengan orde 1 sampai orde 10 yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai AIC Model VAR(p) dan VAR(s)

p	VAR(p)		s	VAR(s)	
	AIC			AIC	
1	28,837		1	40,400	
2	28,560		2	40,217	
3	28,662		3	40,428	
4	28,671		4	40,521	
5	28,645		5	40,336	
6	28,684		6	40,322	
7	28,642		7	40,462	
8	28,660		8	40,470	
9	28,682		9	40,536	
10	28,731		10	40,626	

Berdasarkan Tabel 4 dapat dibuat $10 \times 10 = 100$ model VARX. Namun dalam penelitian ini dibatasi model VARX dengan nilai AIC minimum. Sehingga diperoleh nilai AIC minimum model VAR(p) yang terdapat pada orde $p = 2$, yaitu sebesar 28,560. Nilai AIC minimum model VAR(s) yang terdapat pada orde $s = 2$, yaitu sebesar 40,217. Dengan demikian diperoleh model VARX terbaik yang terbentuk yaitu model VARX(2,2). Model VARX(2,2) dapat dilihat pada Persamaan (19).

$$\Delta \vec{Z}_t = \vec{W} + \phi_1 \Delta \vec{Z}_{t-1} + \phi_2 \Delta \vec{Z}_{t-2} + \theta_1 \Delta \vec{X}_{t-1} + \theta_2 \Delta \vec{X}_{t-2} + \vec{\epsilon}_t \quad (19)$$

Berdasarkan Persamaan (19), model VARX(2,2) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t} \\ \Delta Z_{2,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11(1)} & \phi_{12(1)} \\ \phi_{21(1)} & \phi_{22(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t-1} \\ \Delta Z_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11(2)} & \phi_{12(2)} \\ \phi_{21(2)} & \phi_{22(2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t-2} \\ \Delta Z_{2,t-2} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} \theta_{11(1)} \\ \theta_{12(1)} \end{bmatrix} [\Delta X_{t-1}] \\ &+ \begin{bmatrix} \theta_{11(2)} \\ \theta_{12(2)} \end{bmatrix} [\Delta X_{t-2}] + \begin{bmatrix} \epsilon_{1,t} \\ \epsilon_{2,t} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (20)$$

3.6 Estimasi Parameter Model VARX

Dalam penelitian ini menggunakan metode *least square* untuk menghitung nilai estimasi parameter pada model VARX(2,2). Adapun hasil estimasi menggunakan metode *least square* dapat dilihat pada Persamaan (21).

$$\begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t} \\ \Delta Z_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 192,729 \\ 116,948 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0,440 & -0,157 \\ 0,170 & -0,789 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t-1} \\ \Delta Z_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,279 & -0,419 \\ 0,826 & -0,895 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z_{1,t-2} \\ \Delta Z_{2,t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,574 \\ 0,597 \end{bmatrix}$$

$$[\Delta X_{t-1}] + \begin{bmatrix} 0,834 \\ 0,556 \end{bmatrix} [\Delta X_{t-2}] \quad (21)$$

3.7 Pengujian Signifikansi Parameter

Uji signifikansi parameter digunakan untuk mengetahui parameter apa saja yang berpengaruh signifikan terhadap model. Uji signifikansi parameter dapat menggunakan uji t dengan hipotesis pengujian sebagai berikut:

H_0 : Parameter tidak signifikan berpengaruh terhadap model

H_1 : Parameter signifikan berpengaruh terhadap model

dengan kriteria pengujian yaitu H_0 ditolak jika nilai $|t_{hitung}| > |t_{\alpha/2,(n-b)}|$ artinya parameter berpengaruh pada model. Hasil uji signifikansi parameter disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Uji Signifikansi Parameter

Parameter	t_{hitung}	$t_{(0,025;59)}$	Keputusan
W_1	0,907	2,001	H_0 gagal ditolak
$\phi_{11(1)}$	-1,741	2,001	H_0 gagal ditolak
$\phi_{12(1)}$	-2,496	2,001	H_0 ditolak
$\phi_{11(2)}$	2,597	2,001	H_0 ditolak
$\phi_{12(2)}$	-3,468	2,001	H_0 ditolak
$\theta_{11(1)}$	1,327	2,001	H_0 gagal ditolak
$\theta_{11(2)}$	2,475	2,001	H_0 ditolak
W_2	-0,241	2,001	H_0 gagal ditolak
$\phi_{21(1)}$	1,862	2,001	H_0 gagal ditolak
$\phi_{22(1)}$	-5,218	2,001	H_0 ditolak
$\phi_{21(2)}$	4,665	2,001	H_0 ditolak
$\phi_{22(2)}$	-5,667	2,001	H_0 ditolak
$\theta_{12(1)}$	0,793	2,001	H_0 gagal ditolak
$\theta_{12(2)}$	1,768	2,001	H_0 gagal ditolak

Berdasarkan Tabel 5 menunjukkan bahwa $|t_{hitung}| > t_{(0,025;59)}$ yang artinya H_0 ditolak. Dapat disimpulkan bahwa pada model VARX(2,2) terdapat 7 parameter yang signifikan pada model. Menurut Rosyidah *et al* (2017), walaupun tidak terdapat parameter yang signifikan, peramalan tetap dapat dilanjutkan karena dalam peramalan hal yang paling penting adalah kemampuan model VARX dalam meramalkan data.

3.8 Uji Kausalitas Granger

Uji kausalitas Granger digunakan untuk mengetahui hubungan timbal balik antara variabel endogen dan variabel eksogen apakah terdapat hubungan satu arah, dua arah, atau tidak terdapat hubungan antar variabel. Berdasarkan identifikasi model diperoleh orde AR minimum yaitu pada orde 2, sehingga orde yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $p = 2$. Adapun hipotesis pengujian kausalitas Granger sebagai berikut:

H_0 : Variabel satu tidak berpengaruh terhadap variabel lain

H_1 : Variabel satu berpengaruh terhadap variabel lain

Statistik uji kausalitas Granger dengan menggunakan uji F. Adapun hasil pengujian uji F dengan taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Uji Kausalitas Granger

H_0	F_{hitung}	$F_{0,05;(2,68)}$	Keputusan
-------	--------------	-------------------	-----------

Z_1 tidak mempengaruhi X	1,7456	3,132	H_0 gagal ditolak
X tidak mempengaruhi Z_1	0,269	3,132	H_0 gagal ditolak
Z_2 tidak mempengaruhi X	1,507	3,132	H_0 gagal ditolak
X tidak mempengaruhi Z_2	4,227	3,132	H_0 ditolak

Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa pada variabel impor dan IHSG memiliki nilai $F_{hitung} > F_{0,05;(2,68)}$ yang artinya H_0 ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan satu arah pada variabel IHSG dan impor, di mana IHSG mempengaruhi impor namun tidak sebaliknya. Sedangkan pada variabel ekspor dan IHSG, tidak memiliki hubungan baik satu arah maupun dua arah.

3.9 Uji Asumsi

3.9.1 Uji White Noise

Uji asumsi *white noise* bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan (korelasi) residual pada model VARX(2,2). Pada penelitian ini digunakan uji Portmanteau dengan hipotesis pengujian sebagai berikut:

H_0 : Tidak terdapat korelasi pada residual model

H_1 : Terdapat korelasi pada residual model

Kriteria pengujian yaitu yaitu H_0 gagal ditolak jika nilai $Q_h < \chi^2_{\alpha;4h}$ atau $p\ value > \alpha$ artinya tidak terdapat korelasi dari residual. Adapun hasil perhitungan uji Portmanteau dengan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\%$ disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Uji Portmanteau Model VARX(2,2)

h	Q_h	$\chi^2_{0,05;(4h)}$	$p\ value$	Keputusan
1	0,324	9,488	0,988	H_0 gagal ditolak
2	0,956	15,507	0,999	H_0 gagal ditolak
3	2,505	21,026	0,998	H_0 gagal ditolak
4	12,301	26,296	0,723	H_0 gagal ditolak
5	13,838	31,410	0,839	H_0 gagal ditolak
6	19,875	36,415	0,704	H_0 gagal ditolak
7	21,960	41,337	0,782	H_0 gagal ditolak
8	30,913	46,194	0,521	H_0 gagal ditolak
9	35,424	50,998	0,496	H_0 gagal ditolak
10	42,191	55,758	0,376	H_0 gagal ditolak

Berdasarkan Tabel 7 diketahui bahwa model VARX(2,2) pada lag 1 sampai lag 10 memiliki nilai $Q_h < \chi^2_{0,05;(4h)}$ atau $p\ value > 0,05$ yang artinya H_0 gagal ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat korelasi residual pada model VARX(2,2).

3.9.2 Uji Normalitas Residual

Uji residual normalitas multivariat pada model bertujuan untuk mengetahui apakah residual telah memenuhi asumsi kenormalan atau belum. Selanjutnya dilakukan uji normalitas residual menggunakan uji koefisien Q-Q plot dengan hipotesis pengujian sebagai berikut:

H_0 : Residual berdistribusi normal multivariat

H_1 : Residual tidak berdistribusi normal multivariat

Kriteria pengujian yaitu H_0 gagal ditolak jika $r_Q > r_{Q(\alpha,n)}$ atau $p\ value < \alpha$ yang artinya residual berdistribusi normal multivariat. Berdasarkan hasil perhitungan uji koefisien Q-Q plot diperoleh hasil $r_Q = 0,985$ lebih besar dari $r_{Q(0,05;69)} = 0,237$, yang artinya H_0 gagal ditolak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa residual berdistribusi normal multivariat.

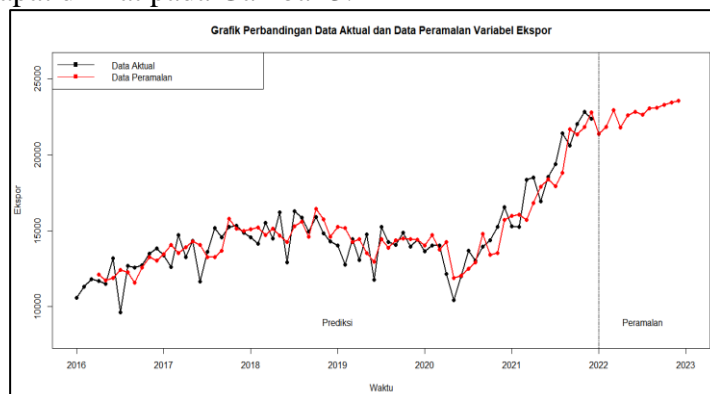
3.10 Peramalan

Hasil peramalan ekspor total dan impor total untuk periode Januari 2022 – Desember 2022 disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Peramalan Model VARX(2,2)

Periode	Variabel	
	Ekspor (Z_1)	Impor (Z_2)
Januari	21.383,06	17.743,17
Februari	21.843,07	18.579,36
Maret	22.954,88	20.435,28
April	21.786,91	18.698,16
Mei	22.591,78	19.507,87
Juni	22.834,84	19.748,57
Juli	22.645,76	19.603,30
Agustus	23.059,68	19.901,81
September	23.089,57	19.866,11
Oktober	23.301,59	20.128,95
November	23.447,63	20.178,57
Desember	23.569,50	20.269,07

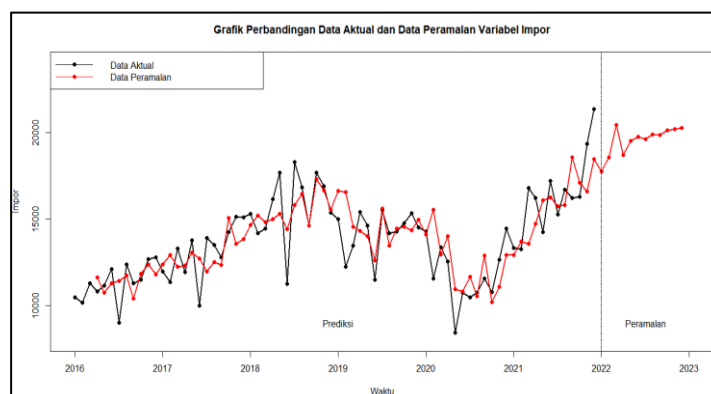
Berdasarkan hasil peramalan data periode ke-4 hingga ke-72 dan hasil peramalan periode Januari 2022 hingga Desember 2022 dapat dibentuk grafik runtun waktu pada masing-masing variabel dari bulan Januari 2016 hingga Desember 2022. Grafik perbandingan data aktual dan data peramalan menggunakan model VARX(2,2) untuk variabel ekspor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan data aktual dan peramalan ekspor di Indonesia tahun 2016-2022 menggunakan model VARX(2,2)

Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa pola data pada grafik hasil peramalan ekspor menggunakan model VARX(2,2) pada Januari 2016 hingga Desember 2021 cenderung mengikuti pola data aktual. Kemampuan model dalam melakukan peramalan bisa dilihat dari hasil perhitungan ketepatan peramalan menggunakan nilai MAPE. Diperoleh nilai MAPE untuk model VARX(2,2) untuk variabel ekspor sebesar 5,938%, nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil peramalan ekspor di Indonesia termasuk peramalan yang sangat baik.

Grafik perbandingan data aktual dan data peramalan menggunakan model VARX(2,2) untuk variabel impor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Perbandingan data aktual dan peramalan impor di Indonesia tahun 2016-2022 menggunakan model VARX(2,2)

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa pola data pada grafik hasil peramalan impor menggunakan model VARX(2,2) pada Januari 2016 hingga Desember 2021 cenderung mengikuti pola data aktual. Kemampuan model dalam melakukan peramalan bisa dilihat dari hasil perhitungan ketepatan peramalan menggunakan nilai MAPE. Diperoleh nilai MAPE untuk model VARX(2,2) untuk variabel impor sebesar 8,313%, nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil peramalan ekspor di Indonesia termasuk peramalan yang sangat baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh model terbaik untuk meramalkan data ekspor (Z_1) dan impor (Z_2) adalah model VARX(2,2) dengan nilai MAPE untuk variabel ekspor total sebesar 5,938% dan variabel impor total sebesar 8,313%. Nilai MAPE tersebut menunjukkan bahwa hasil peramalan ekspor dan impor total di Indonesia menggunakan model VARX(2,2) termasuk peramalan yang sangat baik. Hasil peramalan ekspor total mengalami peningkatan pada periode Januari 2022 hingga Desember 2022, dengan hasil peramalan bulan Januari 2022 sebesar US\$21.383,06 juta dan bulan Desember 2022 sebesar US\$23.569,50 juta. Hasil peramalan impor total mengalami peningkatan pada periode Januari 2022 hingga Desember 2022, dengan hasil peramalan bulan Januari 2022 sebesar US\$17.743,17 juta dan bulan Desember 2022 sebesar US\$20.269,07 juta.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfirman, L. and Sutriyono, E. (2005). "Analisis Hubungan Pengeluaran Pemerintah dan Produk Domestik Bruto dengan Menggunakan Pendekatan Granger Causality dan Vector Autoregression", *Jurnal Keuangan Publik*, 11(2).
- Awat, N. J. 1990. *Metode Peramalan Kuantitatif*. Yogyakarta: Liberty.
- Cahyani, E. and Wachidah, N. (2020). "Pemodelan Vector Autoregressive untuk Meramalkan Impor Ekspor Migas dan Non Migas di Indonesia", *Prodising Statistika*, 6(2), pp. 41-48.
- Hanurowati, N., Mukid, M.A., and Prahutama, A. (2016). "Pemodelan dan Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) dan Jakarta Islamic Index (JII), dan Harga Minyak Dunia Brent Crude Oil Menggunakan Metode Vector Autoregressive Exogenous (VARX)", *Jurnal Gaussian*, 5(4), pp. 683-693.
- Makridakis, S., Wheelwright, and McGee. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Nisa. H.D.K. (2010). *Peramalan Debit Air Sungai Brantas dengan Model GSTAR dan ARIMA*. Surabaya: ITS.

- Ocampo, S. and Rodriguez, N. (2012). "An Introduction Review Of a Structural VAR-X Estimation and Applications", *Revista Colombiana de Estadistic*, 35(3), pp. 479-508.
- Rosadi, D. (2010). *Analisa Ekonometrika dan Runtun Waktu Terapan dengan R*. Yogyakarta: ANDI.
- Rosyidah, H., Rahmawati, R., and Prahutama, A. (2017). "Pemodelan Vector Autoregressive X (VARX) untuk Meramalkan & Uang Beredar di Indonesia", *Jurnal Gaussian*, 6(3), pp. 333-343.
- Satria, I. (2015). "Proyeksi Data Produk Domestik Bruto (PDB) dan Foreign Direct Investment (FDI) Menggunakan Vector Autoregressive", *Jurnal Gaussian*, 4(4), pp. 895-905.
- Sudjana, N. (1989). *Dasar-dasar Proses Belajar Mengajar*. Bandung: Sinarbaru.
- Tobias, S and Carlson, J.E. (1969). "Brief Report: Bartlett's Test of Sphericity and Chane Findings in Factor Analysis", *Multivariate Behavioral Research*, 4(3), pp. 375-377
- Wei, W.W.S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. Second Edition. USA: Pearson Education.
- Widarjono, A. (2016). *Ekonometrika Pengantar dan Aplikasinya*. Edisi keempat. Yogyakarta: UPP STIM YKPN.