

MODEL VECTOR ERROR CORRECTION PADA EMISI CO₂

Anugerah Karta Monika¹

¹Sekolah Tinggi Ilmu Statistik

Abstrak. Pembangunan ekonomi yang bertujuan meningkatkan kualitas hidup masyarakat seringkali diikuti penurunan kualitas lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) yang berorientasi kepada lingkungan. Tulisan ini bertujuan untuk menerapkan Vector Error Correction Model (VECM) pada data emisi CO₂. Hasilnya adalah model VECM yang terbentuk adalah VECM(3) dengan lag 2. Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap CO₂ di jangka pendek yaitu Nilai tambah industri dan PDB variabel yang berpengaruh terhadap CO₂ di jangka panjang antara lain nilai tambah industri, ODA, PDB dan PPK. Sedangkan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap CO₂ di jangka pendek yaitu Nilai tambah industri dan PDB

Kata kunci: Time Series, Vector Error Correction Model (VECM), emisi CO₂

1. PENDAHULUAN

Masalah lingkungan merupakan isu yang penting untuk saat ini dan masa yang akan datang. Pembangunan ekonomi yang bertujuan meningkatkan kualitas hidup masyarakat seringkali diikuti penurunan kualitas lingkungan. Hal ini terjadi karena pembangunan ekonomi menggunakan sumber daya alam sebagai bahan baku produksinya yang menghasilkan produk sekaligus membawa polusi air, udara serta sampah baik yang terjadi di wilayah aliran sungai, perairan pantai, perairan lepas pantai, hutan, udara, dan lain-lain. Oleh karena itu, dibutuhkan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) yang berorientasi kepada lingkungan. Pembangunan berkelanjutan diartikan sebagai pembangunan yang memenuhi kebutuhan generasi sekarang tanpa membahayakan kemampuan generasi yang akan datang untuk memenuhi kebutuhannya.

Demi peningkatkan produksi, terkadang pelaku industri melakukan eksploitasi sumber daya alam secara besar-besaran. Eksploitasi sumber daya alam mengakibatkan terjadinya kerusakan ekosistem di Indonesia karena dalam memanfaatkan kekayaan alam para pelaku industri tidak memperhatikan kelestarian lingkungan. Selain itu, para pelaku industri tidak mengelola secara benar limbah industri yang dihasilkan selama proses

produksi, salah satunya adalah emisi CO₂. Emisi CO₂ merupakan limbah yang berupa zat gas yang berdampak negatif bagi lingkungan dan masyarakat karena mendorong terjadinya pemanasan global yang justru akan merusak keseimbangan ekosistem secara global.

Emisi karbondioksida adalah gas-gas yang dikeluarkan dari hasil pembakaran senyawa yang mengandung karbon, seperti hasil pembakaran fosil dan pembuatan semen. Tidak seperti jenis karbon yang lain, karbon dioksida belum lama diketahui mempunyai pengaruh signifikan terhadap masalah lingkungan. Hal ini terjadi di akhir tahun 1990-an karena adanya Kyoto Protocol, atau di awal abad 21 saat dipublikasikannya Hasil Penilaian IPCC yang ketiga dan keempat (*IPCC's Third and Fourth Assessment Reports*). Upaya untuk mengurangi CO₂ masih sangat minim, karena terbentur konsekuensi sosial ekonomi. Akan membutuhkan waktu yang lama dan juga teknologi untuk memecahkan masalah tersebut. (Goklany, 2009)

Tabel berikut ini adalah data emisi per kapita di negara berkembang dan negara maju. Kecenderungan yang terjadi adalah semakin tinggi pendapatan per kapita di suatu negara, maka semakin tinggi pula emisi gas per orang. Hal ini berlaku baik di negara berkembang maupun di negara maju

Tabel 1.1 Data Emisi Per Kapita Negara Berkembang dan Negara Maju

Negara Berkembang	Pendapatan per/orang (US\$)	Emisi tahunan per/orang
Senegal	1.792	0,4 ton
Honduras	3.430	1,1 ton
Bangladesh	2.053	0,3 ton
Negara Maju	Pendapatan per/orang (US\$)	Emisi tahunan per/orang
Amerika	41.890	20,6 ton
Inggris	33.328	9,8 ton
Irlandia	38.505	10,5 ton

Berdasarkan pemaparan tersebut, peneliti merasa perlu untuk meneliti faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi emisi CO₂ tersebut.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana model vektor error correction diterapkan pada data emisi CO₂ di Indonesia?
2. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi perubahan emisi CO₂ di Indonesia?

Tujuan Penelitian

1. Membuat model error correction pada data emisi CO₂ di Indonesia.
2. Mencari faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO₂ di Indonesia.

2. VECTOR ERROR CORRECTION (VECM)

Enders (2004) menyatakan bahwa model Vector Autoregression (VAR) merupakan sebuah sistem persamaan dinamis dimana pendugaan suatu variabel pada periode tertentu tergantung pada pergerakan variabel tersebut dan variabel lainnya yang berada dalam sistem pada periode-periode sebelumnya. Model ini

menganggap semua variabel dalam model tersebut adalah endogen, kemudian diestimasi secara bersama-sama dan simultan (Gujarati,1995). Secara umum model VAR terbagi menjadi 3 model, yaitu unrestricted VAR, restricted VAR dan structural VAR. Unrestricted VAR digunakan pada data yang stasioner, sedangkan restricted VAR digunakan untuk data non stasioner, seringkali disebut juga dengan Vector Error Correction Model atau VECM. Sementara itu, structural VAR adalah VAR yang direstriksi berdasarkan hubungan teoritis yang kuat dan skema ordering hubungan terhadap peubah-peubah yang digunakan.

Metode analisis model empiris pada penelitian ini mempergunakan multivariat *Vector Autogression* (VAR) terestriksi atau yang dikenal dengan *Vector Error Correction Model*(VECM). VECM merupakan bentuk VAR yang terestriksi karena data yang tidak stasioner tetapi terkointegrasi. Yang dimaksud dengan terkointegrasi adalah residual dari model tersebut berdistribusi normal dengan rata-rata 0 dan varian konstan. Kointegrasi ini menunjukkan adanya hubungan keseimbangan jangka panjang antara variabel-variabel ekonomi seperti yang disyaratkan oleh teori ekonomi.

VECM sering disebut sebagai desain VAR untuk data yang nonstasioner dan memiliki hubungan kointegrasi. Spesifikasi VECM merestriksi hubungan jangka panjang variabel-variabel endogen agar konvergen ke dalam hubungan kointegrasinya, namun tetap menggunakan variabel dinamisasi jangka pendek.

Oleh karena itu, pada VECM, ada dua persamaan yang menggambarkan hubungan jangka panjang dan jangka pendek. Persamaan jangka panjang merupakan Regresi Linear Berganda yang diestimasi dengan metode OLS (*Ordinary Least Square*), sedangkan pada persamaan jangka pendek, variabelnya ditambah dengan variabel error pada periode sebelumnya dari persamaan jangka

panjangnya. Secara umum bentuk VECM adalah sebagai berikut :

$$Y_t = A_0 + A_1Y_{t-1} + A_2Y_{t-2} + \dots + A_pY_{t-p} + \lambda ECT_{t-1} + v_t$$

Dimana A_0 adalah vektor berukuran $M \times 1$ dan matriks A_i ($i = 1, 2, \dots, p$) masing-masing berukuran $M \times M$. ECT adalah error dari persamaan jangka panjangnya.

Sebelum melakukan analisis VAR atau VECM ada beberapa prosedur estimasi yang akan digunakan dalam studi ini, yaitu terdiri dari: (1). Uji akar-akar unit (*unit root test*), (2). Penentuan Panjang Lag, dan (3). Uji Kointegrasi (Johansen Cointegration Test). 4. Estimasi model

Uji akar unit dilakukan untuk mengetahui apakah data yang digunakan stasioner atau tidak. Stasioneritas merupakan aspek yang penting pada model time series agar tidak terjadi spurious regression.

Penentuan lag merupakan hal penting lainnya dalam estimasi model VECM(p) untuk mengetahui orde (p) dari VECM. Lag optimal dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa kriteria, yaitu LR, AIC, SC, LR, FPE dan HQ. Kriteria pemilihan lag optimal adalah pada LR yang terbesar, atau pada AIC, SC, FPE dan HQ bernilai terkecil. Agar semua kriteria dapat dibandingkan untuk berbagai lag banyaknya observasi yg digunakan setiap model harus sama.

Untuk mengetahui banyaknya kemungkinan kointegrasi yang terdapat dapat digunakan Johansen Cointegration Test. Uji kointegrasi dari Johansen didasarkan atas model VAR(p) sekumpulan peubah yang tidak stasioner

Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Emisi Karbondioksida (CO2) yang diubah dalam bentuk logaritma natural
2. Populasi penduduk di kota yang diubah dalam bentuk logaritma natural
3. Pertumbuhan PDB perkapita

4. Pertumbuhan value added sektor industri
5. Pertumbuhan konsumsi akhir

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dalam bentuk time series periode tahunan yang diperoleh dari data yang diterbitkan oleh World Bank. dari tahun 1960 sampai tahun 2010

3. HASIL PENELITIAN

3.1. Uji Stasioneritas

Dari hasil uji stasioneritas dengan Augmented Dicky Fuller diperoleh hasil pada tabel berikut

Tabel 3.1 Uji Stasioneritas semua variable

Variabel	Tingkat stasioner	t-statistik	t-alpha 5 %	Prob
CO ₂	1	6.818.220	2.923.780	0.0000
Konsumsi_RT	level	5.188.778	2.922.449	0.0001
Nilaitambah_industri	level	5.062.241	2.922.449	0.0001
ODA	level	3.607.896	2.922.449	0.0091
PDB_perkapita	level	4.771.516	2.922.449	0.0003
Populasi_kota	2	4.654.844	2.925.169	0.0004
Log CO ₂	1	6.380.488	2.923.780	0.0000
Log Populasi kota	2	4.987.521	2.925.169	0.0002
Pertumbuhan CO ₂	level	6.568.793	2.922.449	0.0000
Pertumbuhan Populasi Kota	1	5.456.676	2.923.780	0.0000

Pada uji stasioneritas terlihat bahwa variabel konsumsi RT, Nilai tambah industri, ODA, PDB perkapita, tingkat kematian anak log CO₂ , pertumbuhan CO₂ telah stasioner di level, dan CO₂, log CO₂ dan pertumbuhan populasi kota stasioner pada different pertama sedangkan populasi kota dan log populasi kota stasioner pada difference kedua.

3.2. Penentuan Lag Optimum

Lag optimum ditentukan dengan memperhatikan tanda bintang terbanyak pada output evIEWS. Terlihat bahwa lag kedua mengindikasikan lag yang optimal, sehingga VECM menggunakan lag ke 2. Output dapat dilihat pada lampiran

3.3. Penentuan Kointegrasi dengan menggunakan Johansen Cointegration

Pada penggunaan uji trace test terdapat 4 kointegrasi pada variabel sedangkan jika menggunakan max eigen value test terdapat 2 kointegrasi pada variabel. Data memiliki kointegrasi jika Trace dan Max-Eigen statistic > nilai titik kritik (lihat lampiran)

3.3 Estimasi parameter untuk persamaan jangka panjang dan jangka pendek VECM

Setelah memenuhi semua asumsi klasik model yang dipilih yaitu VECM(3) lag 2 dengan persamaan jangka pendeknya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 D(PCO_2) = & - 0.105802 - 0.368966 \\
 & D(PCO_2(-1)) - 0.077945 D(PCO_2(-2)) + \\
 & 0.000122 D(KRT(-1)) - 0.000229 \\
 & D(KRT(-2)) + 0.017609 D(NTI(-1)) + \\
 & 0.009616D(NTI(-2)) + 4.74E-12 \\
 & D(ODA(-1)) + 3.06E-11D(ODA(-2)) - \\
 & 0.027405 D(PDB(-1)) -0.017080D(PDB(- \\
 & 2)) + 0.749668 D(PPK(-1)) + \\
 & 6.871615D(PPK(-2)) + 0.155791 \\
 & D(TKA(-1)) - 0.181758D(TKA(-1)) - \\
 & 0.136771 ECT(-1)
 \end{aligned}$$

Variabel yang berpengaruh terhadap CO₂ di jangka panjang antara lain nilai tambah industri, ODA , PDB dan PPK sedangkan variabel yang berpengaruh signifikan terhadap CO₂ di jangka pendek yaitu Nilai tambah industri dan PDB. Sebesar 43% keragaman variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independent sedangkan 57 % lainnya dijelaskan oleh variabel lain. Output dapat dilihat pada lampiran

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari hasil dan pembahasan yang telah disampaikan sebelumnya, maka penulis dapat menarik kesimpulan antara lain :

1. Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap CO₂ di jangka pendek yaitu Nilai tambah industri dan PDB variabel yang berpengaruh terhadap CO₂ di jangka panjang antara lain nilai tambah industri, ODA , PDB dan PPK
2. Variabel yang berpengaruh signifikan terhadap CO₂ di jangka pendek yaitu Nilai tambah industri dan PDB
3. Metode analisis model empiris terbaik penelitian ini mempergunakan Vector Error Correction Model(VECM)

5. Daftar Pustaka

- [1] Enders, Walter., Applied Econometric Time Series, Wiley, 2004
- [2] Hutabarat, Lamhot. "Pengaruh PDB Sektor Industri Terhadap Kualitas Lingkungan Ditinjau dari Emisi Sulfur dan CO₂ di Lima Negara Anggota ASEAN Periode 1980-2000", 2010.
- [3] Gujarati, Damodar N., *Basic Econometrics. Fourth Edition*, McGraw-Hill, Inc. Singapore, 1995.
- [4] Gupito, Katrin Retno dan Johanna M. Kodoatie. Keterkaitan PDRB Perkapita dari Sektor Industri, Transportasi, Pertanian dan Kehutanan terhadap Kualitas Lingkungan Diukur dari Emisi CO₂ di Jawa Tengah".
- [5] Kurniawan. " *Perkembangan ODA Internasional dan Peluang Indonesia; Catatan Laporan Tahunan DAC – OECD*", Jakarta, 2012.

- [6] Worldbank.org, *Country Table : Indonesia*, data diakses 6 Juli 2015

LAMPIRAN

VAR Lag Order Selection Criteria

Endogenous variables: KRT NTI ODA PCO2

PDB PPK TKA

Exogenous variables: C

Date: 07/02/15 Time: 18:37

Sample: 1961 2010

Included observations: 46

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-1439.572	NA	4.87e+18	62.89444	63.17271	62.99868
1	-1104.070	554.3076	1.94e+13	50.43783	52.66400*	51.27177
2	-1029.359	100.6980*	7.37e+12*	49.31994	53.49401	50.88357*
3	-985.4662	45.80082	1.40e+13	49.54201	55.66398	51.83534
4	-906.1037	58.65923	9.87e+12	48.22190*	56.29177	51.24492

* indicates lag order selected by the criterion

LR: sequential modified LR test statistic (each test at 5% level)

FPE: Final prediction error

AIC: Akaike information criterion

SC: Schwarz information criterion

HQ: Hannan-Quinn information criterion

Date: 07/02/15 Time: 18:42

Sample (adjusted): 1964 2010

Included observations: 47 after adjustments

Trend assumption: Linear deterministic trend

Series: KRT NTI ODA PCO2 PDB PPK

TKA

Lags interval (in first differences): 1 to 2

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.710752	178.6843	125.6154	0.0000
At most 1 *	0.576477	120.3822	95.75366	0.0004
At most 2 *	0.478376	80.00225	69.81889	0.0062
At most 3 *	0.351960	49.41424	47.85613	0.0354
At most 4	0.264712	29.02549	29.79707	0.0612
At most 5	0.213118	14.57335	15.49471	0.0685
At most 6	0.067973	3.308507	3.841466	0.0689

Trace test indicates 4 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Max-Eigen Statistic	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.710752	58.30211	46.23142	0.0017
At most 1 *	0.576477	40.37993	40.07757	0.0462
At most 2	0.478376	30.58801	33.87687	0.1175
At most 3	0.351960	20.38875	27.58434	0.3149
At most 4	0.264712	14.45215	21.13162	0.3291
At most 5	0.213118	11.26484	14.26460	0.1414
At most 6	0.067973	3.308507	3.841466	0.0689

Max-eigenvalue test indicates 2 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Vector Error Correction Estimates

Date: 07/02/15 Time: 18:47

Sample (adjusted): 1964 2010

Included observations: 47 after adjustments

Standard errors in () & t-statistics in []

Cointegrating Eq:	CointEq1
PCO2(-1)	1.000000
KRT(-1)	0.006040 (0.00648) [0.93226]
NTI(-1)	0.136986 (0.01707) [8.02370]
ODA(-1)	-2.95E-10 (8.6E-11) [-3.41521]
PDB(-1)	-0.201260 (0.02768) [-7.27060]
PPK(-1)	15.39998 (6.96805) [2.21008]
TKA(-1)	-0.004506 (0.00493)

[-0.91390]

C 0.315339

Error Correction:	D(PCO2)	D(KRT)	D(NTI)	D(ODA)	D(PDB)
CointEq1	-0.136771 (0.06916) [-1.97757]	-7.293633 (6.07872) [-1.19986]	-13.97469 (4.21385) [-3.31637]	8.78E+08 (4.0E+08) [2.17146]	-0.223510 (2.70170) [-0.08273]
D(PCO2(-1))	-0.368966 (0.22207) [-1.66147]	-4.280261 (19.5184) [-0.21929]	23.33758 (13.5304) [1.72483]	-2.08E+09 (1.3E+09) [-1.60004]	5.862804 (8.67497) [0.67583]
D(PCO2(-2))	-0.077945 (0.20642) [-0.37760]	-0.843710 (18.1431) [-0.04650]	4.081271 (12.5770) [0.32450]	-1.92E+08 (1.2E+09) [-0.15899]	-5.886373 (8.06372) [-0.72998]
D(KRT(-1))	0.000122 (0.00206) [0.05926]	-0.350991 (0.18085) [-1.94077]	-0.204797 (0.12537) [-1.63356]	1347855. (1.2E+07) [0.11207]	-0.019266 (0.08038) [-0.23969]
D(KRT(-2))	-0.000229 (0.00202) [-0.11315]	-0.311822 (0.17766) [-1.75520]	-0.099039 (0.12315) [-0.80419]	3967962. (1.2E+07) [0.33585]	-0.026516 (0.07896) [-0.33582]
D(NTI(-1))	0.017609 (0.00673) [2.61593]	1.020810 (0.59165) [1.72535]	0.678012 (0.41014) [1.65311]	-64226428 (3.9E+07) [-1.63229]	0.106743 (0.26296) [0.40593]
D(NTI(-2))	0.009616 (0.00461) [2.08390]	0.529852 (0.40556) [1.30647]	0.120489 (0.28114) [0.42857]	-35890894 (2.7E+07) [-1.33070]	-0.051221 (0.18025) [-0.28416]
D(ODA(-1))	4.74E-12 (2.6E-11) [0.18155]	3.59E-11 (2.3E-09) [0.01565]	2.02E-10 (1.6E-09) [0.12695]	-0.410397 (0.15259) [-2.68952]	1.34E-09 (1.0E-09) [1.31211]
D(ODA(-2))	3.06E-11 (2.4E-11) [1.28900]	-3.39E-10 (2.1E-09) [-0.16242]	1.74E-09 (1.4E-09) [1.20377]	-0.094055 (0.13897) [-0.67682]	1.04E-09 (9.3E-10) [1.12248]
D(PDB(-1))	-0.027405 (0.01246) [-2.19877]	-1.437529 (1.09549) [-1.31223]	-1.871693 (0.75941) [-2.46468]	64853619 (7.3E+07) [0.89018]	-0.642317 (0.48689) [-1.31922]
D(PDB(-2))	-0.017080 (0.00889) [-1.92098]	-0.533563 (0.78146) [-0.68277]	-0.472450 (0.54172) [-0.87213]	22496601 (5.2E+07) [0.43287]	-0.033347 (0.34732) [-0.09601]
D(PPK(-1))	0.749668	1233.162	667.1631	6.73E+09	283.0174

	(6.32581)	(555.990)	(385.419)	(3.7E+10)	(247.110)
	[0.11851]	[2.21796]	[1.73101]	[0.18197]	[1.14531]
D(PPK(-2))	6.871615	44.13276	433.1017	2.49E+10	-162.8855
	(5.99213)	(526.661)	(365.088)	(3.5E+10)	(234.075)
	[1.14677]	[0.08380]	[1.18629]	[0.71192]	[-0.69587]
D(TKA(-1))	0.155791	-10.48613	-12.57109	-3.21E+09	-1.522790
	(0.15525)	(13.6450)	(9.45888)	(9.1E+08)	(6.06453)
	[1.00351]	[-0.76850]	[-1.32902]	[-3.53258]	[-0.25110]
D(TKA(-2))	-0.181758	9.289210	10.28475	3.24E+09	1.482498
	(0.15691)	(13.7908)	(9.55998)	(9.2E+08)	(6.12935)
	[-1.15839]	[0.67358]	[1.07581]	[3.53806]	[0.24187]
C	-0.105802	-2.824651	-6.904915	4.78E+08	0.194925
	(0.06505)	(5.71717)	(3.96321)	(3.8E+08)	(2.54100)
	[-1.62654]	[-0.49406]	[-1.74225]	[1.25794]	[0.07671]
R-squared	0.422640	0.449069	0.640738	0.543676	0.400484
Adj. R-squared	0.143272	0.182490	0.466901	0.322874	0.110396
Sum sq. resids	0.338486	2614.819	1256.536	1.16E+19	516.5236
S.E. equation	0.104494	9.184171	6.366587	6.11E+08	4.081918
F-statistic	1.512844	1.684563	3.685863	2.462281	1.380560
Log likelihood	49.24525	-161.1320	-143.9103	-1007.732	-123.0190
Akaike AIC	-1.414691	7.537531	6.804695	43.56308	5.915702
Schwarz SC	-0.784854	8.167368	7.434532	44.19292	6.545539
Mean dependent	-0.000701	0.234556	0.198600	14082553	0.200966
S.D. dependent	0.112893	10.15766	8.719726	7.42E+08	4.327787
Determinant resid covariance (dof adj.)		2.56E+12			
Determinant resid covariance		1.39E+11			
Log likelihood		-1069.820			
Akaike information criterion		50.58809			
Schwarz criterion		55.27251			