

MODEL DEPENDENSI HARGA-HARGA KOMODITAS EKSPOR UNGGULAN INDONESIA MENGGUNAKAN PENDEKATAN COPULA

Riri Sesiati¹, Jose Rizal², Yulian Fauzi³

¹ Mahasiswa Program Studi S2 Statistika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam, Universitas Bengkulu (UNIB)

^{2,3} Dosen Program Studi S2 Statistika, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan dan Alam, Universitas Bengkulu (UNIB)

Article Info

Article history:

Received June 14, 2023

Revised June 27, 2023

Accepted June 30, 2023

Keywords:

Copula
Dependence
Leading Commodities
Covid-19

Kata Kunci:

Copula
Dependensi
Komoditas Unggulan
Covid-19

ABSTRACT

The export of non-oil and gas leading commodities (palm oil, rubber and cocoa) contributes the largest state revenue. Copula is used to model the dependency between two variables that have different marginal distributions. The data to be used is secondary data from the Commodity Futures Trading Supervisory Agency (BAPPEBTI) starting from January 1, 2018 - February 28, 2020 for the period before the Covid-19 pandemic and March 1, 2020 - November 26, 2021 for the period after the Covid-19 pandemic. The dependency of the two variables to be measured is the price of palm oil, rubber and cocoa before and after the start of the Covid-19 pandemic in Indonesia. The Copula that will be used are Joe, Gumbel, Frank, Gaussian, Clayton, and Student's t. The best Copula model obtained for palm oil and rubber dependencies is the Joe Copula, while palm oil and cocoa and cocoa rubber dependencies are the Clayton Copula.

ABSTRAK

Ekspor komoditas unggulan nonmigas (kelapa sawit, karet dan kakao) menyumbang pendapatan negara terbesar. Copula digunakan untuk memodelkan kebergantungan antara dua variabel yang mempunyai distribusi marginal yang berbeda. Data yang akan digunakan adalah data sekunder dari Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (BAPPEBTI) yang dimulai dari 1 Januari 2018 – 28 Februari 2020 untuk masa sebelum pandemi Covid-19 dan 1 Maret 2020 – 26 November 2021 untuk masa setelah pandemi Covid-19. Kebergantungan dua variabel yang akan diukur adalah harga kelapa sawit, karet dan kakao sebelum dan sesudah dimulainya pandemi Covid-19 di Indonesia. Copula yang akan digunakan adalah Joe, Gumbel, Frank, Gaussian, Clayton, dan Student's t. Model Copula terbaik yang diperoleh untuk dependensi kelapa sawit dan karet adalah Copula Joe, sedangkan dependensi kelapa sawit dan kakao serta karet kakao adalah Copula Clayton.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Penulis pertama/ Corresponding Author:

Riri Sesiati

Program Studi S2 Statistika, Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Bengkulu, Jl. W. R Supratman, Kandang Limun, Kec. Muara Bangkahulu, Bengkulu, Indonesia. Kode Pos: 38371

Email: sesiati.riri@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Ekspor merupakan sektor yang dapat memacu pertumbuhan ekonomi [14]. Menurut Undang-Undang Kepabeanan Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2006, ekspor adalah kegiatan perdagangan dengan cara mengeluarkan barang dari dalam ke luar wilayah pabean Indonesia dengan

memenuhi ketentuan yang berlaku. Kegiatan ekspor umumnya dilakukan oleh suatu negara yang mampu menghasilkan produk dalam jumlah besar dan sudah memenuhi kebutuhan dalam negeri[5]. Badan Pusat Statistik (BPS) mengategorikan komoditas ekspor Indonesia menjadi dua, yakni minyak dan gas (migas) dan nonmigas [3]. Salah satu komoditas ekspor unggulan nonmigas Indonesia yaitu kelapa sawit, karet, kopi, kakao, dan lada putih [13]. Pada penelitian ini komoditas yang menjadi objek penelitian adalah kelapa sawit, kakao dan karet merupakan 3 komoditas ekspor unggulan terbesar nonmigas yang menyumbang pendapatan negara paling besar, dimana akan dilihat dependensi harga dari ketiga komoditas tersebut sebelum dan sesudah pandemi *Covid-19*.

Menurut data Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) tahun 2020 tercatat volume ekspor minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 34 juta ton senilai US\$22,97 miliar. Indonesia juga berhasil mengekspor sekitar 2,2 juta ton karet ke mancanegara senilai US\$2,9 miliar pada tahun 2020 [4]. Indonesia juga mengekspor kakao sebesar 81 ribu metrik ton atau senilai US\$175 juta. Nilai ekspor kakao berupa biji kakao kering menempati posisi ekspor komoditas nonmigas terbesar ketiga setelah kelapa sawit dan karet [15]. Namun demikian, setelah tahun 2020 terjadi penurunan permintaan volume ekspor dari ketiga komoditas, hal ini dikarenakan terjadi wabah *Covid-19* di dunia [1].

Sejak tahun 2020 virus Corona (*Covid-19*) yang berasal dari Wuhan, China telah merambah seluruh belahan dunia dengan cepat. Wabah ini menular kepada manusia sehingga banyak kegiatan yang dihentikan secara tiba-tiba untuk menjaga eksistensi kehidupan manusia[2]. Pada awal bulan Maret 2020, pemerintah seluruh negara mewajibkan seluruh warga menggunakan masker dan memberlakukan *social distancing*. Beberapa negara pun lebih memperketat keamanan mereka dengan memberlakukan sistem *lockdown* [1].

Oleh karena itu, diperlukan kajian untuk mengetahui dependensi dari harga komoditas tersebut pada masa sebelum dan sesudah *Covid-19*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui dependensi tersebut adalah analisis Copula. Analisis Copula ini dapat memberikan gambaran kebergantungan antara harga-harga komoditas ekspor unggulan seperti kelapa sawit, karet dan kakao dengan masa sebelum dan sesudah *Covid-19*.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Copula, dengan data yang digunakan adalah data harga-harga komoditas ekspor unggulan Indonesia yang diperoleh dari website resmi Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (BAPPEBTI) dari Januari 2018 – November 2021. Adapun variabel yang digunakan yaitu harga komoditas ekspor kelapa sawit (X_1), harga komoditas karet (X_2) dan harga komoditas ekspor kakao (X_3).

2.1 Fungsi Distribusi Univariat

Misalkan X adalah peubah acak, fungsi distribusi kumulatif dari X , adalah suatu fungsi $F_X(x)$ dengan daerah asal \mathbb{R} , yang didefinisikan sebagai

$$F_X(x) = P(X \leq x) \quad (1)$$

untuk x yang terdefinisi pada peubah acak X dengan *range* $0 \leq F_X(x) \leq 1$ dan memiliki sifat:

1. F adalah fungsi monoton tidak turun
2. $F_X(-\infty) = 0$ dan $F_X(\infty) = 1$
3. F kontinu dari kanan

Jika X adalah peubah acak kontinu dengan fungsi distribusi kumulatif $F(X)$ maka $U = F(X) \sim \text{Seragam}(0,1)$. Misalkan $U = F_X(X)$ berdistribusi $U(0,1)$ maka fungsi distribusi dari U adalah

$$\begin{aligned} F_U(u) &= P(U \leq u) \\ &= P(F_X(X) \leq u) \\ &= P(X \leq F_X^{-1}(u)) \\ &= F_X(F_X^{-1}(u)) \end{aligned}$$



$$= u \quad (2)$$

dimana $0 \leq u \leq 1$.

2.2 Fungsi Distribusi Bivariat

Misalkan X dan Y adalah peubah acak dengan fungsi distribusi univariat $F_X(x)$ dan $G_Y(y)$, fungsi bivariat dari X dan Y adalah fungsi H dengan domain \mathbb{R}^2 memiliki sifat:

1. H adalah fungsi 2-increasing
2. Grounded, artinya $H_{X,Y}(x, -\infty) = H_{X,Y}(-\infty, y) = 0$
3. $H_{X,Y}(x, \infty) = F_X(x)$ dan $H_{X,Y}(\infty, y) = G_Y(y)$
4. $H_{X,Y}(\infty, \infty) = 1$

dimana $H_{X,Y}(x, y) = P(X \leq x, Y \leq y)$ dengan $0 \leq H_{X,Y}(x, y) \leq 1$.

Sifat fungsi distribusi bivariat adalah 2-increasing yang analog dengan sifat monoton tidak turun pada fungsi berdimensi-1. Misalkan X adalah peubah acak dengan fungsi distribusi $F_X(x)$ dan Y adalah peubah acak dengan fungsi distribusi $G_Y(y)$ dan keduanya memiliki fungsi distribusi bivariat $H_{X,Y}(x, y)$, x_1 dan x_2 adalah elemen dari domain F , y_1 dan y_2 adalah elemen dari domain G dengan $x_1 < x_2$ dan $y_1 < y_2$, maka

$$P(x_1 \leq X \leq x_2, y_1 \leq Y \leq y_2) = H(x_2, y_2) - H(x_2, y_1) - H(x_1, y_2) + H(x_1, y_1) \geq 0 \quad (3)$$

2.3 Fungsi Massa Peluang dan Sebaran Kumulatif Kontinu

Fungsi massa peluang dan fungsi sebaran kumulatif kontinu yang dapat dilihat dari tabel berikut [8]:

Tabel 1. Fungsi Massa Peluang dan Sebaran Kumulatif Distribusi Kontinu

Model Univariat	Fungsi Masa Peluang $f(x: parameters)$	Fungsi Sebaran Kumulatif $F(x: parameters)$	Parameter range
Normal (μ, σ^2)	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right)$	$x, \mu \in (-\infty, \infty)$ $\sigma^2 \in (0, \infty)$
Logistic (μ, s)	$\frac{\exp\left(-\frac{(x-\mu)}{s}\right)}{s \left(1 + \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{s}\right)\right)^2}$	$\frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{(x-\mu)}{s}\right)}$	$x, \mu \in (-\infty, \infty)$ $s \in (0, \infty)$
Lognormal (μ, σ^2)	$\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right)\right)$	$x, \sigma^2 \in (0, \infty)$ $\mu \in (-\infty, \infty)$
Weibull(ρ, k)	$\frac{k}{\rho} \left(\frac{x}{\rho}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\rho}\right)^k\right)$	$1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\rho}\right)^k\right)$	$x \in [0, \infty)$ $k, \rho \in (0, \infty)$
Gumbel (μ, β)	$\frac{1}{\beta} \exp\left(-\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right) + e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}\right)$	$\exp\left(-e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}\right)$	$x, \mu \in (-\infty, \infty)$ $\beta \in (0, \infty)$

2.4 Model Copula

Copula berasal dari bahasa Latin yang artinya hubungan, pertalian, atau ikatan. Copula pertama kali digunakan pada bidang Matematika dan Statistika oleh Abe Sklar yang dipopulerkan pada tahun 1959 [10]. Konsep Copula yang digunakan berdasarkan Teorema Sklar dimana misal H merupakan fungsi distribusi bivariat dari variabel X dan Y yang memiliki fungsi distribusi marginal F dan G , dengan $F(x) = u$ dan $G(y) = v$ dan ada Copula C sedemikian sehingga untuk setiap $x, y \in \mathbb{R}$ berlaku:

$$H(x, y) = C(F(x), G(y)) = C(u, v) \quad (4)$$

Apabila F dan G kontinu, maka C tunggal (unik). Begitupun sebaliknya, apabila C adalah Copula, F dan G adalah distribusi marginal dari X dan Y , maka $H(x, y)$ adalah fungsi distribusi bivariat [9].

2.5 Uji Normalitas Data

Uji normalitas data digunakan untuk mengetahui distribusi dari suatu data, apakah data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Uji Kolmogorov-Smirnov dapat digunakan untuk mengetahui normalitas suatu data.

Hipotesis:

$$H_0: F(x) = F_t(x), (\forall x)$$

$$H_1: F(x) \neq F_t(x), \text{ paling sedikit satu } x$$

Statistik uji:

$$D = \max |F_S(x) - F_t(x)| \quad (5)$$

dimana:

$F_S(x)$ = fungsi distribusi kumulatif empiris dari variabel acak X

$F_t(x)$ = fungsi distribusi kumulatif teoritis dari variabel acak X

dengan kriteria keputusan terima H_0 dan tolak H_1 jika $D_{hitung} < D_{tabel}$, menunjukkan bahwa data yang diuji berdistribusi Normal [6].

2.6 Transformasi Variabel Acak ke Distribusi Seragam [0, 1]

Langkah pertama dalam melakukan analisis Copula adalah mentransformasikan variabel acak ke distribusi seragam [0,1]. Distribusi marginal dari variabel acak X_j yang tidak diketahui, dapat diketahui melalui Persamaan berikut:

$$F_{X_j}(x_j) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^n 1(X_i^j \leq x_j); x_j \in \mathbb{R} \quad (6)$$

dengan i adalah fungsi indikator. Fungsi indikator akan bernilai 1 jika $X_i^j \leq x$. Transformasi variabel dapat dilakukan dengan menggunakan transformasi Van der Waerden pada Persamaan berikut:

$$T = \frac{r}{n+1} \quad (7)$$

dengan r adalah *rank* dan n adalah jumlah data [4].

2.7 Copula Archimedean

Copula Archimedean didefinisikan oleh Nelsen (2006) misalkan fungsi $\phi: [0,1] \rightarrow [0, \infty)$ merupakan fungsi generator Copula Archimedean dan inversnya ϕ^{-1} sehingga $\phi(0) = \infty$ dan $\phi(1) = 0$, maka fungsi Copula Archimedean didefinisikan pada Persamaan 2.7

$$C(u_1, u_2, \dots, u_m) = \phi^{-1}(\phi(u_1) + \dots + \phi(u_m)) \quad (8)$$

Menurut [5], Copula Archimedean terbagi dalam kelas, yaitu Copula Clayton, Copula Frank, Copula Joe, dan Copula Gumbel. Fungsi generator dari masing-masing kelas Copula tersebut digunakan untuk membangkitkan fungsi estimasi parameter dan fungsi Copulanya dinyatakan pada Tabel 2.1

Tabel 2. Fungsi Generator dan Fungsi Copula Archimedean

Kelas Copula	Generator $\phi_\theta(u)$	Fungsi Copula $C_\theta(u_1, u_2, \dots, u_m)$	Parameter θ
Clayton	$\theta^{-1}(u^{-\theta} - 1)$	$\left[\sum_{i=1}^m (u_i^{-\theta} + m - 1) \right]^{-\frac{1}{\theta}}$	$\theta > 0$
Frank	$-\ln \left(\frac{e^{-\theta t} - 1}{e^{-\theta} - 1} \right)$	$\frac{1}{\theta} \ln \left(1 + \frac{\prod_{i=1}^m [e^{-\theta v} - 1]}{e^{-\theta} - 1} \right)$	$\theta \in (-\infty, \infty), m = 2$ $\theta > 0$ untuk $m \geq 3$
Gumbel	$(-\ln u)^\theta$	$\exp \left(- \left[\sum_{i=1}^m (-\ln u_i)^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}} \right)$	$\theta > 1$
Joe	$-\log(1 - (1 - t)^\theta)$	$1 - [u_1^* + u_2^* - u_1^* u_2^*]^{\frac{1}{\theta}};$ $u_j^* = (1 - u_j)^\theta$	$[1, \infty)$



2.8 Elliptical Copula

Menurut [5], Copula yang termasuk dalam elliptical copula adalah *Gaussian* copula dan *Student's t* copula. Berikut model *Elliptical* Copula yang dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 3. Fungsi *Elliptical* Copula

Kelas Copula	Generator $\phi_\theta(u)$	Fungsi Copula $C_\theta(u_1, u_2, \dots, u_m)$	Parameter θ
Gaussian	$\frac{n}{a}$	$\Phi_G[\Phi^{-1}(u_1), \Phi^{-1}(u_2); \theta]$	$(-1, 1)$
Student's t	$\frac{n}{a}$	$t_{2,v}[t_v^{-1}(u_1), t_v^{-1}(u_2); \theta];$ $v \in (2, \infty)$	$[-1, 1]$

2.9 Kendall's τ

Kendall's τ dapat dikaitkan dengan penaksiran parameter. Kendall's τ merupakan salah satu ukuran asosiasi yang mengukur asosiasi baik linier maupun non linier. Misalkan X dan Y adalah dua peubah acak tertentu berdistribusi tertentu dan memiliki fungsi distribusi kumulatif $F_X(x)$ dan $G_Y(y)$ akan diukur berdasarkan *concordance*.

Bentuk ukuran asosiasi Kendall's τ dapat dinyatakan untuk kelas *Archimedean Copula* [10] dengan

$$\tau = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(t)}{\phi'(t)} dt \quad (9)$$

Turunan dari fungsi generator bentuk Clayton Copula sebagai berikut:

$$\phi(t) = \frac{t^{-\theta}-1}{\theta} \quad (10)$$

$$\phi'(t) = -t^{-(\theta+1)} \quad (11)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan (2.9) dan (2.10) ke Persamaan (2.8) maka diperoleh

$$\hat{\theta} = \frac{2\tau}{1-\tau} \quad (12)$$

Turunan dari fungsi generator bentuk Gumbel Copula sebagai berikut:

$$\phi(t) = (-\ln t)^\theta \quad (13)$$

$$\phi'(t) = -\frac{\theta}{t} (-\ln t)^{\theta-1} \quad (14)$$

substitusikan Persamaan (2.11) dan (2.12) ke Persamaan (2.10) sehingga diperoleh:

$$\hat{\theta} = -\frac{1}{(\tau-1)} \quad (15)$$

2.10 Pemilihan Model Terbaik

Salah satu cara yang digunakan untuk memilih model terbaik adalah AIC (*Akaike's Information Criterion*) dan BIC (*Bayesian Information Criterion*). Menurut Grasa (1989), jika semakin kecil nilai AIC dan BIC, maka semakin baik dan layak model tersebut untuk digunakan. AIC dan BIC didefinisikan dengan persamaan berikut:

$$AIC = 2p - 2 \ln L \quad (16)$$

dimana

p = banyaknya parameter yang akan diestimasi

L = estimasi *log-likelihood*

$$BIC = p \ln(n) - 2 \ln L \quad (17)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Statistika Deskriptif

Berdasarkan data yang ada, maka diperoleh hasil analisis statistik deskriptif sebagai berikut:

Tabel 4. Statistika Deskriptif

		Min	Mean	Max	Skewness	Kurtosis
Sebelum	X_1	5247	7675	11944	0.90	3.49
	X_2	15189	17247	19968	0.28	2.57
	X_3	20849	28596	35192	0.30	2.29
Sesudah	X_1	6421	14263	21340	-0.27	1.75
	X_2	13361	19664	25263	-0.83	2.52
	X_3	25354	30529	34606	-0.26	2.95

Berdasarkan Tabel 3.1 dapat diketahui bahwa sebelum pandemi *Covid-19* rata-rata harga ekspor komoditas terendah adalah kelapa sawit, yaitu sebesar Rp 7.675/kg, sedangkan rata-rata harga ekspor komoditas tertinggi adalah kakao, yaitu sebesar Rp 28.596/kg. Rata-rata harga ekspor komoditas setelah pandemi *Covid-19* yang terendah adalah kelapa sawit, yaitu sebesar Rp 14.263/kg, sedangkan rata-rata harga komoditas ekspor tertinggi adalah kakao, yaitu sebesar Rp 30.529/kg. Hal ini menunjukkan bahwa sebelum dan sesudah pandemi *Covid-19* kelapa sawit memiliki harga terendah dan kakao memiliki harga tertinggi komoditas ekspor Indonesia.

3.2 Hasil Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengidentifikasi apakah data yang digunakan berdistribusi normal atau tidak. Metode yang akan digunakan adalah dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2. Hasil uji normalitas akan disajikan pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas Data

	Variabel	Kolmogorov-Smirnov		Kesimpulan
		D_{hitung}	P_{value}	
Sebelum	X_1 dan X_2	0.1181	0.0000	Tolak H_0
	X_1 dan X_3	0.0630	0.0721	Tolak H_0
	X_2 dan X_3	0.0569	0.1324	Terima H_0
Sesudah	X_1 dan X_2	0.1040	0.0009	Tolak H_0
	X_1 dan X_3	0.1566	0.0000	Tolak H_0
	X_2 dan X_3	0.0330	0.8326	Terima H_0

Berdasarkan hasil uji Kolmogorov-Smirnov dengan kriteria $p - value < \alpha$ maka tolak H_0 pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa variabel X_1 dan X_2 serta X_1 dan X_3 baik sebelum dan sesudah pandemi *Covid-19* memperoleh kesimpulan menolak H_0 , hal ini berarti bahwa data di antara kedua variabel tersebut tidak berdistribusi normal, sedangkan variabel X_2 dan X_3 baik data sebelum dan sesudah pandemi *Covid-19* memperoleh kesimpulan menerima H_0 , hal ini berarti bahwa data tersebut berdistribusi normal.

3.3 Hasil Uji Dependensi

Dependensi antar variabel dapat dilihat melalui nilai korelasi *Kendall's τ* yang diperoleh dari pengujian melalui tabel berikut:



Tabel 6. Hasil Uji Korelasi Data Asli Harga-Harga Komoditas Ekspor

	Variabel	Kendall's τ	
		Koefisien Korelasi	P_{value}
Sebelum	X_1 dan X_2	0.07	0.04
	X_1 dan X_3	0.24	0.00
	X_2 dan X_3	-0.02	0.45
Setelah	X_1 dan X_2	0.69	0.00
	X_1 dan X_3	0.09	0.01
	X_2 dan X_3	0.1	0.00

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa sebelum pandemi *Covid-19* variabel yang memiliki korelasi paling besar adalah X_1 dan X_3 , dimana berdasarkan nilai korelasi yang diperoleh bahwa variabel X_1 dan X_3 memiliki korelasi namun, korelasinya lemah. Sedangkan sesudah pandemi *Covid-19* variabel yang memiliki korelasi paling besar adalah X_1 dan X_2 , dimana berdasarkan nilai korelasi yang diperoleh bahwa dengan metode *Kendall's τ* kedua variabel memiliki korelasi kuat. Hal ini sejalan dengan data yang diperoleh dari LPEI (2021), bahwa minyak kelapa sawit menjadi salah satu komoditas penopang ekspor Indonesia selama pandemi yang secara keseluruhan tidak terlalu buruk.

3.4 Identifikasi Sebaran Marginal Masing-Masing Peubah Acak

Identifikasi sebaran marginal yang sesuai untuk masing-masing peubah acak dapat dipilih berdasarkan nilai AIC dan BIC terkecil, serta *Loglikelihood*. Sebaran yang terpilih dari setiap peubah acak ditentukan berdasarkan nilai AIC dan BIC terkecil, serta *Loglikelihood* yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 7. Identifikasi Sebaran Marginal Masing-Masing Peubah Acak

Variabel	Kriteria Kebaikan Model	Lognormal (μ, σ^2)	Normal (μ, σ^2)	Weibull (q, k)	Gamma (h, ϑ)	uniform (μ, σ)	Logistic (μ, s)
Sebelum							
X_1	-Log-llk	3593.981	3619.45	3649.782	3600.674	3682.341	3617.269
	AIC	7191.963	7242.901	7303.564	7205.349	7368.682	7238.539
	BIC	7200.034	7250.972	7311.635	7213.42	7376.753	7246.61
X_2	-Log-llk	3472.322	3474.936	3507.306	3473.007	3541.339	3483.81
	AIC	6948.644	6953.871	7018.612	6950.015	7086.679	6971.621
	BIC	6956.715	6961.942	7026.683	6958.086	7094.75	6979.692
X_3	-Log-llk	3946.43	3935.719	3939.513	3941.986	4000.692	3933.305
	AIC	7896.861	7875.438	7883.026	7887.972	8005.383	7870.609
	BIC	7904.932	7883.509	7891.097	7896.043	8013.454	7878.68
Setelah							
X_1	-Log-llk	3486.782	3465.637	3457.299	3600.674	3411.69	3482.326
	AIC	6977.345	6935.274	6918.598	6959.31	6827.38	6968.6
	BIC	6985.089	6943.018	6926.343	6967.055	6835.125	6976.397
X_2	-Log-llk	3351.446	3326.774	3296.102	3342.374	3331.472	3331.265
	AIC	6706.892	6657.548	6596.204	6688.748	6666.945	6666.529
	BIC	6714.636	6665.292	6603.948	6696.492	6674.689	6674.274
X_3	-Log-llk	3149.844	3146.412	3151.882	3148.514	3242.046	3149.546
	AIC	6303.688	6296.824	6307.764	6301.028	6488.093	6303.092
	BIC	6311.432	6304.568	6315.508	6308.772	6495.837	6310.836

Berdasarkan hasil yang ada pada Tabel 7, maka untuk masa sebelum pandemi *Covid-19* sebaran yang terpilih untuk variabel X_1 adalah Lognormal (8.93, 0.17), untuk variabel X_2 adalah Lognormal (9.75, 0.06), dan untuk variabel X_3 adalah Logistik (28659.628, 1650). Sedangkan untuk masa sebelum pandemi *Covid-19* sebaran yang terpilih untuk variabel X_1 adalah Weibull (4.00, 15802.41), untuk variabel X_2 adalah Weibull (9.304, 20822.95), dan untuk variabel X_3 adalah Normal (30529.413, 1709.907).

3.5 Penduga Parameter Copula

Pada penelitian ini, parameter copula diduga dari beberapa jenis copula, yaitu *Gaussian*, *Student's t*, *Clayton*, *Gumbel*, *Frank*, dan *Joe*. Hasil pendugaan parameter copula dengan pendekatan MLE untuk masing-masing peubah tertera pada 8:

Tabel 8. Penduga Parameter Copula

Peubah	Tipe Copula	AIC	BIC	LogLik	Selected Copula Tipe	Copula Parameter			
Sebelum									
X_1 dan X_2 $X_1 \sim \text{Lognormal}(8.93, 0.17)$ $X_2 \sim \text{Lognormal}(9.75, 0.06)$	Gaussian	-3.63	0.41	2.82	Joe	1.27			
	Student's	-36.61	-28.54	20.31					
	Clayton	-28.34	-24.3	15.17					
	Gumbel	-27.62	-23.58	14.81					
	Frank	-0.47	3.57	1.23					
X_1 dan X_3 $X_1 \sim \text{Lognormal}(8.93, 0.17)$ $X_3 \sim \text{Logistik}(28659.628, 1650)$	Joe	-39.12	-35.09	20.56	Clayton	0.66			
	Gaussian	-50.23	-46.19	26.11					
	Student's	-46.94	-38.87	25.47					
	Clayton	-88.59	-84.56	45.3					
	Gumbel	-67.84	-63.8	34.92					
X_2 dan X_3 $X_2 \sim \text{Lognormal}(9.75, 0.06)$ $X_3 \sim \text{Logistik}(28659.628, 1650)$	Frank	-65.51	-61.48	33.76	Gaussian	-0.05			
	Joe	-81.8	-77.76	41.9					
	Gaussian	1.16	5.2	0.42					
	Student's	7.38	15.45	-1.69					
	Clayton	1.76	5.8	0.12					
	Gumbel	2	6.04	0					
	Frank	1.38	5.42	0.31					
	Joe	2	6.04	0					
	Sesudah								
	X_1 dan X_2 $X_1 \sim \text{Weibull}(4.00, 15802.41)$ $X_2 \sim \text{Weibull}(9.304, 20822.95)$	Gaussian	-377.4	-373.53			189.7	Joe	4.43
Student's		-387.32	-379.58	195.66					
Clayton		-501.12	-497.24	251.56					
Gumbel		-470.09	-466.21	236.04					
Frank		-446.65	-442.77	224.32					
X_1 dan X_3 $X_1 \sim \text{Weibull}(4.00, 15802.41)$ $X_3 \sim \text{Normal}(30529.413, 1709.907)$	Joe	-507.01	-503.14	254.5	Clayton	0.24			
	Gaussian	-7.19	-3.32	4.6					
	Student's	-3.32	4.43	3.66					
	Clayton	-12.35	-8.48	7.18					
	Gumbel	-7.15	-3.28	4.57					
X_2 dan X_3 $X_2 \sim \text{Weibull}(9.304, 20822.95)$ $X_3 \sim \text{Normal}(30529.413, 1709.907)$	Frank	-4.23	-0.36	3.12	Clayton	0.31			
	Joe	-8.11	-4.24	5.06					
	Gaussian	-13.48	-9.61	7.74					
	Student's	-9.11	-1.36	6.55					
	Clayton	-22.45	-18.57	12.22					
	Gumbel	-15.82	-11.95	8.91					
	Frank	-5	-1.13	3.5					
	Joe	-19.15	-15.28	10.58					



Model terbaik dari masing-masing peubah dapat dipilih berdasarkan nilai AIC, BIC, dan *loglikelihood* yang ada pada Tabel 8. Berdasarkan hasil yang ada, untuk masa sebelum pandemi *Covid-19* maka jenis copula yang terpilih untuk X_1 dan X_2 mengikuti copula Joe dengan $\theta = 1.27$ dan untuk X_1 dan X_3 mengikuti copula Clayton dengan $\theta = 0.66$, dan untuk X_2 dan X_3 mengikuti copula *Gaussian* dengan $\theta = -0.05$. Sedangkan untuk masa setelah pandemi *Covid-19* maka jenis copula yang terpilih untuk X_1 dan X_2 mengikuti copula Joe dengan $\theta = 4.43$ dan untuk X_1 dan X_3 mengikuti copula Clayton dengan $\theta = 0.24$, dan untuk X_2 dan X_3 mengikuti copula Clayton dengan $\theta = 0.31$.

3.6 Pemodelan Copula

Berdasarkan hasil penduga parameter copula dan jenis copula yang terpilih untuk X_1, X_2, X_3 sebelum masa pandemi *Covid-19*, maka dapat dibuat pemodelan copula. Model Copula dari pasangan variabel X_1 dan X_2 adalah Copula Joe, dimana model yang dihasilkan adalah

$$H(X_1, X_2) = 1 - \left[\left(1 - \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - 8.93}{0.583} \right) \right) \right)^{1.27} + \left(1 - \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - 9.75}{0.35} \right) \right) \right)^{1.27} - \left(1 - \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - 8.93}{0.583} \right) \right) \right)^{1.27} \left(1 - \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - 9.75}{0.35} \right) \right) \right)^{1.27} \right]^{0.79}$$

Model Copula dari pasangan variabel X_1 dan X_3 adalah Copula Clayton, dimana model yang dihasilkan adalah

$$H(X_2, X_3) = \left[\left(\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - 8.93}{0.583} \right) \right) \right)^{-0.66} + \left(\frac{1}{1 + \exp \left(-\frac{(x - 28659.628)}{1650} \right)} \right)^{-0.66} - 1 \right]^{-1.515}$$

Model Copula dari pasangan variabel X_2 dan X_3 adalah Copula *Gaussian*, dimana model yang dihasilkan adalah

$$H(X_1, X_3) = \Phi_G \left[\Phi^{-1} \left(\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - 9.75}{0.35} \right) \right) \right), \Phi^{-1} \left(\frac{1}{1 + \exp \left(-\frac{(x - 28659.628)}{1650} \right)} \right); -0.05 \right]$$

Sedangkan berdasarkan hasil penduga parameter copula dan jenis copula yang terpilih untuk X_1, X_2, X_3 sesudah masa pandemi *Covid-19*, maka dapat dibuat pemodelan copula Model Copula dari pasangan variabel X_1 dan X_2 adalah Copula Joe, dimana model yang dihasilkan adalah

$$H(X_1, X_2) = 1 - \left[\left(1 - \left(1 - \exp \left(-\left(\frac{x}{15802.41} \right)^4 \right) \right) \right)^{4.43} + \left(1 - \left(1 - \exp \left(-\left(\frac{x}{20822.95} \right)^{9.304} \right) \right) \right)^{9.304} - \left(1 - \left(1 - \exp \left(-\left(\frac{x}{15802.41} \right)^4 \right) \right) \right)^{4.43} \left(1 - \left(1 - \exp \left(-\left(\frac{x}{20822.95} \right)^{9.304} \right) \right) \right)^{4.43} \right]^{0.226}$$

Model Copula dari pasangan variabel X_1 dan X_3 adalah Copula Clayton, dimana model yang dihasilkan adalah

$$H(X_1, X_3) = \left[\left(1 - \exp \left(- \left(\frac{x}{15802.41} \right)^4 \right) \right)^{-0.24} + \left(\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - 30529.413}{58.48} \right) \right) \right)^{-0.24} - 1 \right]^{-4.17}$$

Model Copula dari pasangan variabel X_2 dan X_3 adalah Copula Clayton, dimana model yang dihasilkan adalah

$$H(X_2, X_3) = \left[\left(1 - \exp \left(- \left(\frac{x}{20822.95} \right)^{9.304} \right) \right)^{-0.31} + \left(\frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - 30529.413}{58.48} \right) \right) \right)^{-0.31} - 1 \right]^{-3.23}$$

3.7 Model Terbaik

Pemilihan model terbaik pada model Copula dapat dilihat dari nilai AIC (*Akaike's Information Criterion*) dan BIC (*Bayes Information Criterion*) pada Tabel 3.5, dimana model terbaik untuk masa sebelum dan sesudah pandemi *Covid-19* untuk pasangan variabel antara X_1 dan X_2 adalah model Copula Joe, X_1 dan X_3 adalah model Copula Clayton sedangkan untuk X_2 dan X_3 adalah model Copula Clayton. Model tersebut dipilih berdasarkan nilai AIC dan BIC terkecil untuk setiap pasangan variabel sebelum dan sesudah masa pandemi *Covid-19*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa terdapat kebergantungan antara harga-harga komoditas ekspor unggulan Indonesia, yakni kelapa sawit, karet dan kakao sebelum dan sesudah dimulainya pandemi *Covid-19*, dimana model Copula terbaik yang terbentuk dari pasangan variabel tersebut adalah untuk pasangan variabel harga komoditas kelapa sawit dan karet, model terbaik yang terbentuk adalah model Copula Joe, untuk pasangan variabel harga komoditas kelapa sawit dan kakao, model terbaik yang terbentuk adalah model Copula Clayton dan pasangan variabel harga komoditas karet dan kakao, model terbaik yang terbentuk adalah model Copula Clayton.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada program studi S2 Statistika Universitas Bengkulu yang telah mendukung dan membimbing saya dalam penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Alana, M.V. 2021. Komunikasi Bisnis dalam Menjaga Hubungan Baik di PT. Richtex Garmindo Selama Pandemi *Covid-19*. SKRIPSI. Universitas Katolik Soegipranajana. Semarang.
- [2] Ariyanto, S. 2020. Asal Mula dan Penyebaran Virus Corona dari Wuhan ke Seluruh Dunia. <https://bappeda.ntbprov.go.id/asal-mula-dan-penyebaran-virus-corona-dari-wuhan-ke-seluruh-dunia/>. BAPPEDA NTB.
- [3] Badan Pusat Statistik (BPS). 2018. Ekspor dan Impor. <https://bps.go.id/subject/8/ekspor-impor.html>.
- [4] Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (BAPPEBTI). 2021. Buku Analisa Perkembangan Harga Komoditi. https://bappebti.go.id/Bulletin_statistik_perdagangan_berjangka/download/bulletin_statistik_perdagangan_berjangka_1970_01_01_me10vzgy_id.pdf.
- [5] Benny, J. 2013. Ekspor dan Impor: Pengaruhnya Terhadap Posisi Cadangan Devisa di Indonesia. Jurnal EMBA. ISSN:2303-1174. Vol.1 No.4 Desember 2013. Hal 1406-1415.
- [6] Beasley, T., Erickson, S. 2009. *Rank-Based Inverse Normal Transformations are Increasingly Used*.
- [7] Chvosta, J. 2011. *Modelling Financial Risk Factor Correlation with the Copula Procedure*. Cary: SAS Institute Inc, NC.



- [8] Conover, W.J. 1971. *Practical Nonparametric Statistics*. New York: *Printed in the United States of America*.
- [9] Grasa, M. 1989. *Econometric Model Selection: A New Approach*. Kluwer. Springer Science and Business Media.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2921808>.
- [10] Rizal, J., Gunawan, A. Y., Indratno, S. W., & Meilano, I. (2021). The Application of Copula Continuous Extension Technique for Bivariate Discrete Data: A Case Study on Dependence Modeling of Seismicity Data. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 8(5).
- [11] Nelsen, B. Roger. 1999. *An Introduction to Copulas*. New York: Springer-Verlag.
- [12] Nelsen, B. Roger. 2006. *An Introduction to Copulas. Second Edition*. Springer Series in Statistics. New York.
- [13] Qothrunnada, K. 2021. Komoditas Ekspor Unggulan Indonesia, Sawit hingga Batu Bara.<https://cnnindonesia.com/ekonomi/20211223135555-97-737817/komoditas-ekspor-unggulan-indonesia-sawit-hingga-batu-bara>.
- [14] Rahman, I. 2017. Analisis Daya Saing Komoditas Kopi Indonesia dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Saing Komoditas Kopi Indonesia Tahun 2001-2015. UII.
<https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/7216>.
- [15] Yuda, W.A. 2022. Potensi Ekspor Cokelat Indonesia. <https://ukmindonesia.id/baca-deskripsi-posts/potensi-ekspor-cokelat-indonesia/>.