

Penerapan ANAVA Desain Pengukuran Berulang dan Analisis Profil pada Pengujian Kesamaan Rata-Rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia Tahun 2018–2022

Rani Amelia Putri *, Suwanda

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

raniamelia838@gmail.com, idris100358@gmail.com

Abstract. Repeated measures refer to a set of data collected from the same subjects at several time points or under different conditions. To test for differences in means across time points or conditions, Analysis of Variance (ANOVA) is commonly used. However, because data across conditions tend to be highly correlated, the use of conventional ANOVA (Completely Randomized Design) may lead to reduced test sensitivity due to increased error. Therefore, alternative analyses are needed to minimize such errors. There are two alternative approaches: the first is a univariate approach, where ANOVA includes the experimental units in the statistical model and uses the F-test. The second approach is profile analysis, which is equivalent to testing a mean vector using the Hotelling's T^2 statistic. Assumptions required to determine the distribution of the test statistic include multivariate normality and homogeneous variances. Repeated measures ANOVA and profile analysis are used to test the differences in the average scores of the Cultural Development Index (CDI) in Indonesia from 2018 to 2022. If the results from repeated measures ANOVA and/or profile analysis indicate significant differences, a follow-up test using the Bonferroni method is required to identify which groups differ significantly. The results from the repeated measures design and profile analysis showed that there were significant differences in the average Cultural Development Index scores in Indonesia across years (2018–2022) at the 1% significance level.

Keywords: *Repeated Measures, ANOVA, Profile Analysis.*

Abstrak. Pengukuran berulang adalah sekumpulan data yang diperoleh dari subjek yang sama pada beberapa titik waktu atau kondisi yang berbeda. Untuk menguji perbedaan rata-rata antar titik waktu atau kondisi, biasanya digunakan Analisis Varians (ANAVA). Namun, karena data antar kondisi memiliki korelasi yang cukup erat, penggunaan ANAVA biasa (RAL) akan menyebabkan uji yang tidak sensitif karena kekeliruan meningkat. Oleh karena itu, diperlukan alternatif analisis yang dapat menurunkan kekeliruan. Terdapat dua pendekatan alternatif, yaitu secara univariat ANAVA dibangun dengan memasukkan unit eksperimen ke dalam model statistik, kemudian statistik uji F digunakan. Pendekatan kedua adalah dengan menggunakan analisis profil yang identik dengan pengujian sebuah vektor rata-rata dimana statistik T^2 Hotelling digunakan untuk pengujian. Asumsi yang diperlukan untuk menentukan distribusi statistik uji adalah distribusi normal multivariat dan varians homogen. ANAVA untuk desain pengukuran berulang dan analisis profil digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata skor Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia antar tahun 2018-2022. Jika hasil pengujian ANAVA desain pengukuran berulang dan atau analisis profil menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, maka diperlukan uji lanjut untuk mengidentifikasi kelompok mana yang memiliki perbedaan nyata menggunakan uji Bonferroni. Berdasarkan hasil pengujian desain pengukuran berulang dan analisis profil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia antar tahunnya (2018-2022) pada taraf nyata 1%.

Kata Kunci: *Pengukuran Berulang, ANAVA, Analisis Profil.*

A. Pendahuluan

Salah satu cabang ilmu yang berkembang dalam statistika adalah rancangan percobaan. Eksperimen merupakan suatu uji coba atau pengamatan khusus yang dibuat untuk menegasi atau membuktikan keadaan yang sebaliknya dari sesuatu yang meragukan di bawah kondisi khusus yang ditetapkan peneliti (Suwanda, 2011). Desain eksperimen adalah serangkaian langkah yang harus dilakukan sebelum eksperimen dimulai untuk memastikan data yang relevan dan diperlukan dapat diperoleh, sehingga analisis dapat dilakukan secara objektif dan menghasilkan kesimpulan yang valid serta sesuai dengan permasalahan yang dibahas (Sudjana, 1991).

Dalam berbagai jenis penelitian, baik yang dilakukan di laboratorium maupun di lapangan, sering kali dilakukan percobaan dengan mengukur respons dari unit percobaan yang sama secara berulang pada waktu yang berbeda, dengan tujuan untuk melihat perubahan yang terjadi dari satu periode waktu ke periode waktu berikutnya. Pengukuran berulang adalah sekumpulan data yang diperoleh secara terus menerus pada serangkaian titik waktu (Yoke et al., 2012). Dalam desain ini, setiap unit eksperimen memiliki beberapa pengamatan yang dikumpulkan pada beberapa titik waktu, sehingga pengukuran berulang cenderung memiliki korelasi antar pengukuran (Johnson & Wichern, 2007).

Pendekatan univariat berfokus pada satu variabel dependen. Salah satu metode yang sering digunakan dalam pendekatan ini adalah ANAVA (Analisis Varians). ANAVA digunakan untuk membandingkan sejumlah variabel atau rata-rata yang lebih dari (Johnson & Wichern, 2007). ANAVA dapat dilakukan untuk menganalisis data yang berasal dari berbagai jenis dan desain penelitian, terutama dalam pengujian komparatif yang membandingkan variabel antar kelompok sampel independen (Tabachnick & Fidell, 2013). Metode ini sering diterapkan dalam penelitian survei dan eksperimen dengan data yang diulang pada subjek yang sama. Pendekatan multivariat adalah salah satu metode analisis yang memungkinkan pengujian lebih dua variabel secara simultan dalam penelitian (Johnson & Wichern, 2007). Salah satu metode yang digunakan dalam untuk pengukuran berulang adalah analisis profil, dimana peneliti mengevaluasi perubahan sejumlah variabel dalam satu sampel seiring waktu (Bulut & Desjardins, 2020). Analisis profil identik dengan pengujian vektor rata-rata. Analisis profil digunakan ketika terdapat beberapa variabel dependen yang diukur menggunakan skala yang sama (Tabachnick & Fidell, 2013).

Jika hasil menunjukkan tidak ada perbedaan maka pengujian dapat dihentikan (Park et al., 2009). Namun, jika hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, maka diperlukan uji lanjut untuk mengidentifikasi kelompok mana yang memiliki perbedaan nyata, salah satunya menggunakan uji Bonferroni (Park et al., 2009). Bonferroni digunakan dalam berbagai situasi, terutama untuk mengoreksi tingkat kesalahan dalam eksperimen yang melibatkan beberapa uji 't' atau sebagai prosedur post-hoc untuk menyesuaikan tingkat kesalahan dalam satu kelompok setelah melakukan analisis varians (Armstrong, 2014).

Rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada dua hal utama. Pertama, bagaimana penerapan desain pengukuran berulang dan analisis profil dalam mengkaji perkembangan Indeks Pembangunan Kebudayaan (IPK) di Indonesia pada tahun 2018 hingga 2022. Kedua, bagaimana penerapan selang kepercayaan Bonferroni dapat digunakan apabila terdapat perbedaan atau perubahan signifikan pada data IPK selama periode tersebut. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan metode desain pengukuran berulang dan analisis profil dalam menguji kesamaan rata-rata IPK antar tahun, serta untuk mengevaluasi apakah terdapat perubahan signifikan yang dapat dijelaskan secara statistik dengan menggunakan pendekatan selang kepercayaan Bonferroni. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai dinamika pembangunan kebudayaan di Indonesia selama lima tahun terakhir.

B. Metode

Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Kementerian Kebudayaan Republik Indonesia. Pada penelitian ini, penulis menggunakan variabel Indeks Pembangunan Kebudayaan (IPK) di Indonesia pada tahun 2018-2022.

Uji Mardia

Uji normalitas multivariat merupakan teknik statistik yang digunakan untuk mengevaluasi apakah suatu kumpulan data multivariat memiliki distribusi normal. Jika suatu distribusi memenuhi normalitas multivariat, maka setiap variabel marginalnya juga akan mengikuti distribusi normal univariat (Mardia, 1970). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah data memenuhi asumsi distribusi normal multivariat. Metode ini digunakan untuk menguji lebih dari dua variabel. Hipotesis pada pengujian ini sebagai berikut:

Statistik uji Mardia *skewness* dengan distribusi *Chi-Square*:

$$z_1 = \frac{(k+1)(N+1)(N+3)}{6\{(N+1)(k+1)-6\}} b_{1,k} \quad \dots(1)$$

dimana,

$$b_{1,k} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N g_{ij}^3 \quad \dots(2)$$

dengan $db = k(k+1)(k+2)/6$

Statistik uji Mardia *kurtosis* dengan distribusi $N(0,1)$:

$$z_2 = \frac{b_{2,k} - k(k+2)}{\sqrt{8k(k+2)/N}} \quad \dots(3)$$

dimana,

$$b_{2,k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_{ii}^2 \quad \dots(4)$$

Keterangan:

$b_{1,k}$ = *Skewness* multivariat.

$b_{2,k}$ = *Kurtosis* multivariat.

N = Jumlah sampel.

k = Jumlah variabel.

g_{ij} = Jarak mahalanobis antara pasangan observasi i dan j .

g_{ii} = Elemen diagonal dari g_{ij} .

Kriteria uji untuk uji Mardia skewness yaitu tolak H_0 jika nilai statistik uji $z_1 > \chi_{\alpha,db}^2$.

Sedangkan untuk uji Mardia kurtosis tolak H_0 jika nilai statistik uji $z_2 > Z_{\alpha/2}$.

Uji Sperikal

Perumusan hipotesis yang digunakan untuk uji sperikal sebagai berikut:

$H_0 : \Sigma = \sigma^2 I$: p variabel mempunyai varians homogen dan saling bebas

$H_1 : \Sigma \neq \sigma^2 I$: p variabel mempunyai varians tidak homogen dan atau tidak saling bebas

Statistik uji sperikal sebagai berikut:

$$u' = - \left(v - \frac{2p^2 + p + 2}{6p} \right) \ln u \quad \dots(5)$$

dimana,

$v = n - 1$

$$u = \frac{p^p |S|}{(trS)^p} = \frac{p^p \prod_{i=1}^p \lambda_i}{\left(\sum_{i=1}^p \lambda_i \right)^p} \quad \dots(6)$$

Keterangan:

n = Jumlah sampel.

p = Jumlah variabel.

λ_i = Eigenvalue dari matriks kovarians (S).

S = Matriks kovarians.

$|S|$ = Determinan matriks kovarians.

ν = Derajat bebas dari matriks kovarians.

Kriteria uji sperikal yaitu tolak H_0 jika $u' > \chi^2_{\left[\frac{1}{2} p(p+1) - 1 \right]} (\alpha)$.

Korelasi

Korelasi digunakan untuk melihat hubungan antar variabel yang dinyatakan dalam bentuk koefisien korelasi (r).

Dalam menghitung korelasi *pearson* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)(Y_{t+1} - \bar{Y}_{t+1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_t - \bar{Y}_t)^2 \sum_{i=1}^n (Y_{t+1} - \bar{Y}_{t+1})^2}} \quad \dots(7)$$

Desain Pengukuran Berulang

Desain pengukuran berulang (*repeated measures design*) merupakan desain penelitian di mana pengukuran yang sama dilakukan pada unit yang sama, (misalnya individu, objek, atau kelompok) diukur lebih dari satu kali, biasanya dalam kondisi atau waktu yang berbeda (Johnson & Wichern, 2007).

Hipotesis yang digunakan:

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0$$

H_1 = paling sedikit ada satu $\tau_i, i = 1, 2, \dots, k$ yang tidak sama dengan nol

Statistik uji:

$$F_0 = \frac{KTP}{KTE} \quad \dots(8)$$

Tabel 1. Tabel ANAVA

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat	Db	Kuadrat Tengah	F_0
Antar Subjek	$JKAS = \sum_{j=1}^n y_{.j}^2 / k - \frac{y_{..}^2}{kn}$	$n - 1$	$KTAS = \frac{JKAS}{n - 1}$	
Dalam Subjek	$JKDS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{\sum_{j=1}^n y_{.j}^2}{k}$	$n(k - 1)$	$KTDS = \frac{JKDS}{n(k - 1)}$	

Perlakuan	$JKP = \sum_{i=1}^k y_{i.}^2 / n - \frac{y_{..}^2}{kn}$	$k-1$	$KTP = \frac{JKP}{k-1}$	$\frac{KTP}{KTE}$
Kekeliruan	$JKE = JKDS - JKP$	$(k-1)(n-1)$	$KTE = \frac{JKE}{(k-1)(n-1)}$	
Total	$JKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{kn}$	$kn-1$		

Kriteria uji hipotesis didasarkan pada F_0 dan F_{tabel} atau P_{value} . Nilai F_{tabel} diperoleh dari $F_{(k-1)(n-1)}$. Umumnya $\alpha = 1\%$ atau $\alpha = 5\%$. Jika nilai $F_0 > F_{(k-1)(n-1)}$ atau $P_{value} = P(F > F_0) < \alpha$ maka H_0 ditolak.

Analisis Profil

Analisis profil adalah teknik statistik multivariat untuk pengukuran berulang yang identik dengan pengujian vektor rata-rata (Bulut & Desjardins, 2020). Analisis profil berfokus pada pola perubahan berdampingan dari satu waktu dengan variabel waktu berikutnya.

Hipotesis yang digunakan:

$$H_0 : \begin{pmatrix} \mu_1 & - & \mu_2 \\ \mu_2 & - & \mu_3 \\ \vdots & & \\ \mu_{p-1} & - & \mu_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow H_0 : C\mu = 0$$

$$H_1 : \begin{pmatrix} \mu_1 & - & \mu_2 \\ \mu_2 & - & \mu_3 \\ \vdots & & \\ \mu_{p-1} & - & \mu_p \end{pmatrix} \neq \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow H_1 : C\mu \neq 0$$

Statistik uji:

$$T^2 = n(C\bar{y})' (CSC')^{-1} (C\bar{y}) \quad \dots(9)$$

Keterangan:

T^2 = Statistik uji Hotelling.

n = Ukuran sampel.

C = Matriks kontras.

$\bar{y}$ = Vektor rata-rata sampel.

Kriteria uji T^2 Hotelling yaitu tolak H_0 jika $T^2 \geq T_{\alpha, p-1, n-1}^2$.

Bonferroni

Uji bonferroni adalah metode statistik yang digunakan untuk mengoreksi tingkat signifikansi ketika melakukan beberapa pengujian hipotesis secara bersamaan (Park et al., 2009). Metode ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan tipe I, yaitu menolak hipotesis nol yang sebenarnya benar, yang dapat meningkat ketika banyak pengujian dilakukan (Sedgwick, 2012). Karena perbandingan dilakukan antar tahun, jumlah perbandingan dihitung berdasarkan kombinasi pasangan tahun yang tersedia. Berikut adalah rumus untuk menentukan m :

$$m = p - 1 \quad \dots(10)$$

Selang kepercayaan bonferroni bagi $\tau_i - \tau_k$ adalah:

$$\bar{y}_i - \bar{y}_k \pm t_{n-1} \left(\frac{\alpha_i}{2} \right) \sqrt{\frac{s_{ii}}{n}} \quad \dots(11)$$

dimana,

$$\alpha_i = \frac{\alpha}{m} \quad \dots(12)$$

Keterangan:

m = Jumlah perbandingan.

n = Jumlah sampel.

p = Jumlah variabel.

Jika hasil selang kepercayaan yang dihasilkan mencakup 0, maka perbedaan tersebut tidak signifikan pada tingkat signifikansi yang telah dikoreksi atau tidak terdapat perbedaan antar pasangan. Jika selang kepercayaan yang dihasilkan tidak mencakup 0, maka perbedaan antar kelompok tersebut signifikan pada tingkat signifikansi yang telah dikoreksi atau terdapat perbedaan antar pasangan

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Uji Mardia

Hipotesis yang digunakan pada uji Mardia yaitu:

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Taraf nyata (α) yang digunakan: 0,01 atau 1%

Tabel 2. Statistik uji Mardia

Uji Mardia	Statistik uji	<i>P - value</i>
Mardia Skewness	39,9107	0,2609
Mardia Kurtosis	1,5587	0,1191

Kriteria uji untuk uji Mardia skewness dan uji Mardia kurtosis yaitu tolak H_0 jika nilai statistik uji $z_1 > \chi^2_{\alpha,db}$ dan $z_2 > Z_{\alpha/2}$ atau $P\text{-value} < \alpha$. Mardia skewness diperoleh $P\text{-value} = 0,2609$ sedangkan Mardia kurtosis diperoleh $P\text{-value} = 0,1191$. Karena $P\text{-value} > \alpha$ (0,01) maka H_0 diterima. Dengan menggunakan taraf nyata (α) 1% dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal multivariat.

Uji Sperikal

Hipotesis yang digunakan pada uji sperikal yaitu:

$H_0 : \Sigma = \sigma^2 I$: 5 variabel mempunyai varians homogen dan saling bebas

$H_1 : \Sigma \neq \sigma^2 I$: 5 variabel mempunyai varians tidak homogen dan atau tidak saling bebas

Taraf nyata (α) yang digunakan: 0,01 atau 1%

Tabel 3. Statistik uji Sperikal

Uji Sperikal	Statistik uji (u')	<i>P - value</i>
Tahun	376,24	0,0000

Kriteria uji sperikal yaitu tolak H_0 jika $u' > \chi^2_{\left[\frac{1}{2}p(p+1)-1\right]}(\alpha)$ atau $P\text{-value} < \alpha$. Karena

$u' = 376,24 > \chi^2_{17}(0,01) = 33,409$ atau $P\text{-value}(0,0000) < \alpha(0,01)$ maka H_0 ditolak.

Dengan menggunakan taraf nyata (α) 1% dapat disimpulkan bahwa 5 variabel mempunyai varians tidak homogen dan atau tidak saling bebas.

Korelasi

Korelasi Untuk mengevaluasi keeratan hubungan antar tahun dalam Indeks Pembangunan Kebudayaan (IPK), dilakukan korelasi *Pearson*.

Tabel 4. Korelasi

Pasangan Tahun	Korelasi
2018-2019	0,99
2018-2020	0,98
2018-2021	0,89
2018-2022	0,87
2019-2020	0,99
2019-2021	0,91
2019-2022	0,90
2020-2021	0,90
2020-2022	0,90
2021-2022	0,96

Berdasarkan Tabel 4. terlihat bahwa terdapat korelasi yang sangat kuat antar tahun, dengan nilai korelasi yang sebagian besar berada di atas 0,9. Karena data antar kondisi memiliki korelasi yang cukup erat, diperlukan alternatif analisis yang dapat menurunkan kekeliruan. Terdapat dua pendekatan alternatif yaitu ANAVA desain pengukuran berulang dan analisis profil.

Desain Pengukuran Berulang

Hipotesis yang digunakan yaitu:

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$$

$$H_1 = \text{paling sedikit ada satu } \tau_i, i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ yang tidak sama dengan nol}$$

Taraf nyata (α) yang digunakan: 0,01 atau 1%.

Statistik Uji:

Tabel 5. ANAVA

Sumber Variasi	Jumlah (JK)	Kuadrat	Derajat Bebas (db)	Kuadrat (KT)	Tengah	F_0	$P\text{-value}$
Antar	4114,19		33	124,67			
Dalam	616,63		136	4,53			
Perlakuan	294,47		4	73,62		30,16	0,000
Kekeliruan	322,16		132	2,44			
Total	4730,82		169				

Kriteria uji F yaitu tolak H_0 Jika nilai $F_0 > F_{(k-1),(k-1)(n-1)}$ atau $P\text{-value} < \alpha$. Karena nilai $F_0 = 30,16 > F_{(0,01),(4),(132)} = 3,46$ atau $P\text{-value}(0,000) < \alpha(0,01)$ maka H_0 ditolak.

Berdasarkan hasil pengujian ANAVA desain pengukuran berulang dengan menggunakan taraf nyata (α) 1% dapat disimpulkan bahwa paling sedikit ada satu efek

$\tau_i, i = 2018, 2019, 2020, 2021, 2022$ yang tidak sama dengan nol atau minimal ada satu perbedaan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia antar tahunnya.

Analisis Profil

Hipotesis yang digunakan:

$$H_0 : \begin{pmatrix} \mu_{2018} & - & \mu_{2019} \\ \mu_{2019} & - & \mu_{2020} \\ \mu_{2020} & - & \mu_{2021} \\ \mu_{2021} & - & \mu_{2022} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow H_0 : C\mu = 0$$

$$H_1 : \begin{pmatrix} \mu_{2018} & - & \mu_{2019} \\ \mu_{2019} & - & \mu_{2020} \\ \mu_{2020} & - & \mu_{2021} \\ \mu_{2021} & - & \mu_{2022} \end{pmatrix} \neq \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow H_1 : C\mu \neq 0$$

Taraf nyata (α) : 0,01 atau 1%.

Statistik uji T^2 Hotelling:

$$T^2 = n(C\bar{y})' (CSC')^{-1} (C\bar{y})$$

$$\begin{aligned} &= 34 \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 53,27 \\ 55,29 \\ 53,45 \\ 54,64 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 33,97 & 33,29 & 31,28 & 21,43 & 22,59 \\ 33,29 & 33,24 & 31,28 & 21,68 & 22,95 \\ 31,28 & 31,28 & 30,27 & 20,54 & 21,77 \\ 21,43 & 21,68 & 20,54 & 17,26 & 17,66 \\ 22,59 & 22,95 & 21,77 & 17,66 & 19,70 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 53,27 \\ 55,29 \\ 53,45 \\ 54,64 \end{pmatrix} \\ &= 34 \begin{pmatrix} -2,02 \\ 1,5 \\ 2,35 \\ -3,18 \end{pmatrix}^t \begin{pmatrix} 0,64 & 0,05 & 0,25 & 0,11 \\ 0,05 & 0,95 & -0,13 & -0,04 \\ 0,25 & -0,13 & 6,44 & -0,82 \\ 0,11 & -0,04 & -0,82 & 1,64 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -2,02 \\ 1,5 \\ 2,35 \\ -3,18 \end{pmatrix} \\ &= 34 \begin{pmatrix} -2,02 & 1,5 & 2,35 & -3,18 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1,63 & -0,10 & -0,08 & -0,15 \\ -0,10 & 1,07 & 0,03 & 0,05 \\ -0,08 & 0,03 & 0,17 & 0,09 \\ -0,15 & 0,05 & 0,09 & 0,67 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -2,02 \\ 1,5 \\ 2,35 \\ -3,18 \end{pmatrix} \\ &= 496,41 \end{aligned}$$

Kriteria uji T^2 Hotelling yaitu tolak H_0 jika $T^2 \geq \chi_{\alpha, p-1, n-1}^2$ atau $p\text{-value} \leq \alpha$. Karena nilai

$$T^2 = 496,41 > T_{(0,01),(4),(33)}^2 = 18,247 \text{ atau } 0,000 < (0,01) \text{ maka } H_0 : \begin{pmatrix} \mu_{2018} & - & \mu_{2019} \\ \mu_{2019} & - & \mu_{2020} \\ \mu_{2020} & - & \mu_{2021} \\ \mu_{2021} & - & \mu_{2022} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ ditolak.}$$

Dengan menggunakan taraf nyata (α) 1% dapat disimpulkan bahwa minimal terdapat satu perbedaan pasangan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia antar tahunnya (2018-2022).

Bonferroni

Secara umum selang kepercayaan 99% bagi selisih rata-rata tersebut adalah:

$$\begin{aligned} \bar{y}_i - \bar{y}_k \pm t_{n-1} \left(\frac{\alpha_{ii}}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \\ \bar{y}_i - \bar{y}_k - t_{34-1} \left(\frac{0,0025}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{y}_i - \bar{y}_k + t_{34-1} \left(\frac{0,0025}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \\ \bar{y}_i - \bar{y}_k - t_{33} (0,00125) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{y}_i - \bar{y}_k + t_{33} (0,00125) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \\ \bar{y}_i - \bar{y}_k - (3,273) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{y}_i - \bar{y}_k + (3,273) \sqrt{\frac{S_{ii}}{n}} \end{aligned}$$

Selang kepercayaan 99% bagi selisih rata-rata IPK tahun 2018 dan 2019 adalah

$$\bar{y}_1 - \bar{y}_2 \pm t_{34-1} \left(\frac{\alpha_1}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{11}}{n}} = -2,47 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq -1,57$$

Selang kepercayaan 99% bagi selisih rata-rata IPK tahun 2019 dan 2020 adalah

$$\bar{y}_2 - \bar{y}_3 \pm t_{34-1} \left(\frac{\alpha_2}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{22}}{n}} = 0,95 \leq \mu_2 - \mu_3 \leq 2,04$$

Selang kepercayaan 99% bagi selisih rata-rata IPK tahun 2020 dan 2021 adalah

$$\bar{y}_3 - \bar{y}_4 \pm t_{34-1} \left(\frac{\alpha_3}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{33}}{n}} = 0,92 \leq \mu_3 - \mu_4 \leq 3,77$$

Selang kepercayaan 99% bagi selisih rata-rata IPK tahun 2021 dan 2022 adalah

$$\bar{y}_4 - \bar{y}_5 \pm t_{34-1} \left(\frac{\alpha_4}{2} \right) \sqrt{\frac{S_{44}}{n}} = -3,90 \leq \mu_4 - \mu_5 \leq -2,47$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa berdasarkan selang kepercayaan Bonferroni 99% ke empat pasangan tahun diatas terdapat perbedaan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan..

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian desain pengukuran berulang dan analisis profil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia antar tahunnya (2018-2022) pada taraf nyata 1%. Karena hasil pengujian signifikan atau terdapat perbedaan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia antar tahunnya maka diperlukan uji lanjut dengan bonferroni. Berdasarkan hasil selang kepercayaan bonferroni menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata Indeks Pembangunan Kebudayaan di Indonesia pada pasangan tahun 2018 dan 2019, tahun 2019 dan 2020, tahun 2020 dan 2021, tahun 2021 dan 2022. Perbedaan ini mengindikasikan perubahan yang nyata pada perkembangan budaya di Indonesia selama periode tersebut.

Ucapan Terimakasih

Peneliti menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. Suwanda M.S, selaku dosen pembimbing atas segala saran dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dan membantu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

Armstrong, R. A. (2014). When to use the Bonferroni correction. *Ophthalmic & Physiological Optics : The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 34(5), 502–508. <https://doi.org/10.1111/opo.12131>

- Bulut, O., & Desjardins, C. D. (2020). Journal of Statistical Software Profile Analysis of Multivariate Data in R : An Introduction to the profileR Package. *Journal of Statistical Software*, *VV*(II), 1–29. <https://doi.org/10.31234/osf.io/sgy8m>
- Damayanti CR, M., & Yanti, T. S. (2022). Regresi Poisson Invers Gaussian (PIG) untuk Pemodelan Jumlah Kasus Pneumonia pada Balita di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2019. *Jurnal Riset Statistika*, *1*(2), 143–151. <https://doi.org/10.29313/jrs.v1i2.523>
- Fazrilillah, U. N., & Rohaeni, O. (2024). Penerapan Metode Holt's Exponential Smoothing Dalam Memprediksi Jumlah Nasabah Kredit. *DataMath: Journal of Statistics and Mathematics*, *2*(1), 11–16.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed.). Pearson Education.
- Lestari, T. S., & Sirodj, D. A. N. (2022). Klasifikasi Penipuan Transaksi Kartu Kredit Menggunakan Metode Random Forest. *Jurnal Riset Statistika*, *1*(2), 160–167. <https://doi.org/10.29313/jrs.v1i2.525>
- Mardia, K. V. (1970). Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*. <https://doi.org/10.1093/biomet/57.3.519>
- Oktoriandi, D. (2022). Penerapan uji Q Cochran terhadap Atribut Produk Laptop Menggunakan Multiple Response Analysis (MRA). *Jurnal Riset Statistika*, *1*(2), 127–134. <https://doi.org/10.29313/jrs.v1i2.521>
- Park, E., Cho, M., & Ki, C. S. (2009). Correct Use of Repeated Measures Analysis of Variance. *Korean Journal of Laboratory Medicine*, *29*(1), 1–9. <https://doi.org/10.3343/kjlm.2009.29.1.1>
- Sedgwick, P. (2012). Multiple Significance Tests: The Bonferroni Correction. *BMJ*, *344*(7841), 1–2. <https://doi.org/10.1136/bmj.e509>
- Sudjana. (1991). *Desain dan Analisis Eksperimen* (3rd ed.). Tarsito.
- Suwanda. (2011). *Desain Eksperimen untuk Penelitian Ilmiah*. Alfabeta.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). Using Multivariate Statistics Using Multivariate Statistics (6th ed.). In *Contemporary Psychology: A Journal of Reviews* (Vol. 28, Issue 8). <https://doi.org/10.1037/022267>
- Yoke, C. W., Khalid, Z. M., & Kang, H. M. (2012). *Analysis of Repeated Measures via Simulation (Pengukuran Berulang Analisis melalui Simulasi)*. *34*(1), 7–15.