

PENYAJIAN DAN INTERPRETASI FAKTOR UTAMA SAAT INTERAKSI BERBEDA NYATA

Presentation and Interpretation of Main Factors in a case of a Significant Interaction

Weksi Budiaji

Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Jakarta Km. 4 Pakupatan, Serang, Banten 42118 - Indonesia
Telp. (0254) 280330 Fax, (0254) 280330
E-mail: budiaji@untirta.ac.id

(Makalah diterima 03 Mei 2019 – Disetujui 03 Desember 2020)

ABSTRAK

Jika analisis sidik ragam menghasilkan interaksi yang berbeda nyata, sesuai dengan prinsip marginalitas maka efek utama seharusnya tidak diinterpretasikan dan tidak diuji. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi bentuk interaksi (terurut atau tidak terurut), sehingga penyajian dan interpretasi faktor utama saat terjadi interaksi dapat dibuat dengan benar. Metode yang digunakan adalah metode visual dan matematis yang diterapkan pada data simulasi dan dua data riil. Berdasarkan evaluasi matematis dari data simulasi, faktor utama dapat diinterpretasi pada saat kedua faktor utama berbeda nyata dan hanya berlevel dua. Saat jumlah level meningkat, peluang untuk menginterpretasikan faktor utama menjadi berkurang (12% pada jumlah level tiga). Penyajian data dapat menggunakan tabel kombinasi perlakuan dan tabulasi silang. Tabel tabulasi silang memungkinkan perbandingan perlakuan antar baris/ kolom sehingga penggunaan kalimat “huruf kecil yang sama pada baris yang sama dan huruf kapital yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda” harus dihindari saat interaksi tidak terurut. Hal ini dilakukan agar interpretasi, perbandingan antar perlakuan, dan tingkat α yang digunakan tidak menyesatkan.

Kata kunci: prinsip marjinalitas, faktor utama, interpretasi, interaksi terurut, interaksi tidak terurut

ABSTRACT

When an analysis of variance produces a significant in the interaction term, the main factors have not to be interpreted and tested to comply with the principle of marginality. This simulation study has an aim to evaluate the interaction form of either an ordinal or disordinal interaction such that the presentation and interpretation of main factors are correctly addressed. We apply visual and simple mathematical approaches to evaluate the interaction form in both simulation and real data sets. Based on the mathematical evaluation of the simulation data set, the main factors can be interpreted when they are significant and have two levels of treatments. As the level of treatment increases, the possibility to interpret the main factors is lower (12% in three levels of treatment). The data presentation can be a treatment combination and cross-tabulation tables. Presented in the cross-tabulation table, a paired comparison between treatments is valid across the table disregard the row and column positions. When a comparison involves a different row and column, an important note of “the same small letter in the same row and the same capital letter in the same column indicate insignificantly different” should be avoided when the interaction is a disordinal interaction. This note written in a cross-tabulation table of disordinal interaction can result in misleading interpretation, pair comparison conclusion, and α level application.

Key words: principle of marginality, main factor, interpretation, ordinal interaction, disordinal interaction

PENDAHULUAN

Tujuan utama perancangan percobaan adalah untuk mengevaluasi hubungan sebab akibat antara variabel *independent* (faktor) dan *dependent* (respon) (Kao and Green, 2008). Ada banyak jenis rancangan percobaan dan yang paling sederhana berdasarkan rancangan perlakuan adalah rancangan percobaan satu faktor (R1F). Jenis rancangan perlakuan yang lain adalah faktorial. Semua kombinasi perlakuan dari setiap taraf/level faktor-faktor yang terlibat dievaluasi/diuji pada rancangan faktorial. Rancangan faktorial yang paling sederhana adalah rancangan faktorial dengan dua faktor (R2F).

R2F memiliki kelebihan dibandingkan dengan R1F. Anderson and Whitcomb (2015) menyebutkan bahwa R2F mempunyai efisiensi relatif yang lebih tinggi dibandingkan dengan R1F, bahkan rancangan faktorial dengan tiga faktor (R3F) yang masing-masing faktor terdiri atas dua taraf memiliki efisiensi dua kali lebih baik dari pada R1F. Pengambilan kesimpulan induktif R2F juga lebih luas dibandingkan R1F terutama karena keberadaan efek interaksi sebagai kunci untuk memahami proses yang terjadi.

Efek interaksi (efek multiplikatif) adalah perbedaan respon antar level sebuah faktor utama yang tidak sama pada tiap level pada faktor utama lainnya (Kaufman, 2018), sedangkan efek utama merupakan efek sebuah faktor secara terpisah dari faktor utama lain terhadap variabel dependen (Sawyer, 2009). Jumlah faktor utama pada R1F, R2F, dan R3F berturut-turut adalah satu, dua, dan tiga dan efek interaksi muncul pada rancangan yang melibatkan dua faktor atau lebih. Efek interaksi dapat diidentifikasi secara visual dengan menggunakan plot rataan tiap level.

Plot dengan garis sejajar secara visual mengindikasikan tidak ada interaksi antar faktor utama (Fox, 2003; Tenaya, 2015). Widaman *et al.* (2012) menjelaskan bahwa ada dua tipe interaksi yaitu interaksi terurut (*ordinal*) dan tidak terurut (*disordinal*). Jika garis faktor utama 2 tidak berpotongan pada selang nilai faktor utama 1, maka interaksi terurut terjadi. Interaksi terurut berarti perbedaan respon antar level faktor utama 1 pada faktor utama 2 semakin membesar atau mengecil. Jika garis faktor utama 2 memiliki titik potong pada selang nilai faktor utama 1, maka interaksi tidak terurut muncul yang berarti bahwa perbedaan respon antar level faktor utama 1 pada faktor utama 2 ada yang membesar dan mengecil.

Evaluasi/ uji statistik untuk kedua efek, baik efek utama maupun efek interaksi, dapat menggunakan *analysis of variance* (anova). Tujuan utama anova adalah memisahkan keragaman antar level/ kelompok (*between group*) dengan keragaman didalam level/ kelompok

(*within group*) sehingga ratio keduanya mengikuti sebaran F (Kim, 2017). Asumsi normalitas, kebebasan, dan kesamaan ragam antar sampel harus diperhatikan dalam penerapan anova.

Jika anova menghasilkan interaksi yang berbeda nyata, maka efek utama yang terlibat seharusnya tidak diinterpretasikan dan tidak diuji karena mengikuti prinsip marginalitas (*marginility principle*) (Nelder, 1977). Prinsip marginalitas menyatakan bahwa faktor utama 1 dan 2 “marginal” terhadap 1*2 (faktor interaksi 1 dan 2), begitu juga faktor utama 1, 2, 3, faktor interaksi 1*2, 1*3, 2*3 “marginal” terhadap faktor interaksi 1*2*3 sehingga faktor yang lebih rendah tidak perlu diuji dan diinterpretasikan saat faktor interaksi yang paling tinggi terjadi. Uji, pendugaan, dan interpretasi efek utama pada saat efek interaksi berbeda nyata dapat dilakukan hanya jika efek interaksi dapat dikesampingkan secara teoritis atau empiris (Fox, 2016).

Interpretasi efek utama dari interaksi terurut merupakan salah satu contoh pengesampingan prinsip marginalitas yang valid secara empiris. Jika interaksi tidak terurut, maka interpretasi efek utama menjadi tidak valid menurut prinsip marginalitas. Permasalahannya adalah banyak peneliti jarang memperhatikan bentuk interaksi yang terjadi apakah terurut atau tidak terurut, sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kelayakan penyajian dan interpretasi faktor utama pada saat terjadi interaksi baik terurut maupun tidak terurut. Metode visual dan matematis sederhana disajikan untuk mendeteksi interaksi terurut atau tidak terurut, kemudian simulasi data digunakan untuk menghitung proporsi terjadinya interaksi terurut dan tidak terurut. Dua contoh kasus riil juga diberikan untuk menyajikan data dan interpretasinya.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini adalah penelitian simulasi. Data yang dibangkitkan adalah data simulasi dengan mempertimbangkan karakteristik anova. Pertama, hasil R1F anova (*one-way anova*) yang terdiri atas dua level sebanding dengan uji t. Jika jumlah level lebih dari 2, penerapan uji t pada tiap pasang level (*multiple test*) tidak tepat karena tingkat kesalahan menolak H_0 padahal H_0 benar (α) menjadi lebih tinggi (H.-Y. Kim, 2014). Akibatnya, uji t akan cenderung menghasilkan hasil yang berbeda nyata dibandingkan dengan anova, sehingga simulasi data pada penelitian ini menggunakan jumlah level tidak hanya dua tetapi juga melibatkan tiga level.

Kedua, evaluasi efek interaksi pada R2F atau R3F dapat diuji dengan anova yang merupakan bagian dari *general linear models* (glm) (Kao and Green, 2008) yang didalam glm juga terdapat *linear regression models*

(*lm*). Perbedaan anova dan *lm* adalah faktor/variabel independen yang terlibat yaitu kualitatif pada anova dan kuantitatif/ kualitatif pada *lm*. Efek variabel independen pada *lm* diuji pada saat variabel independen lain sama dengan nol, sedangkan efek utama pada anova diuji pada setiap faktor dengan mengontrol faktor lain (merata-ratakan faktor lain pada semua level). Jika sebuah faktor berbeda nyata pada anova, anova tidak dapat menunjukkan level mana yang berbeda (Pandis, 2016), terutama saat level lebih dari dua. Model anova yang digunakan dalam simulasi data memerlukan beberapa iterasi untuk mendapatkan data simulasi yang sesuai dengan tujuan karena pembangkitan datanya berdasarkan model *lm*.

Ketiga, paling tidak ada tiga jenis cara untuk menghitung jumlah kuadrat (JK) pada anova yaitu tipe I, II, dan III. Ketiga jenis JK tersebut menghasilkan nilai yang sama, jika data yang digunakan *balance* (jumlah observasi/ulangan sama untuk setiap kombinasi perlakuan) karena faktor utamanya orthogonal (Hector *et al.*, 2010). JK anova tipe I dapat berbeda pada data *unbalanced* saat faktor utama 1 dan 2 ditukar posisi, sehingga JK anova tipe II atau III lebih disarankan. JK anova tipe II lebih kuat secara statistik (*statistically powerful*) dan mengikuti prinsip marginalitas (Fox, 2016), sedangkan tipe III tetap menguji faktor utama saat interaksi berbeda nyata (tidak mengikuti prinsip marginalitas).

Fokus simulasi data dengan mempertimbangkan ketiga karakteristik anova adalah rancangan faktorial dengan dua faktor (R2F). R2F data hasil simulasi divariasikan pada jumlah level dua dan tiga tiap faktor dengan ulangan yang sama (*balanced design*). Algoritma simulasi data untuk mendapatkan data yang memiliki interaksi berbeda nyata adalah sebagai berikut:

1. Tentukan nilai koefisien (faktor utama dan interaksi), jumlah level, dan ulangan.
2. Buat matriks model (*X*) dengan interaksi dari langkah nomor 1.
3. Buat matriks koefisien (β).

4. Bangkitkan data dengan rumus $Y = X\beta + \varepsilon$ dimana ε adalah sebaran normal dengan nilai tengah 0 dan ragam 1.
5. Evaluasi data hasil langkah 4 menggunakan anova R2F (*two-way anova*) dengan JK tipe II.
6. Ulangi langkah 4 dan 5 sampai data yang diperoleh sesuai dengan JK tipe II.

Data dengan efek interaksi berbeda nyata hasil simulasi terdiri atas tiga jenis yaitu (1) kedua efek faktor utama berbeda nyata, (2) salah satu efek faktor utama berbeda nyata, dan (3) tidak ada efek faktor utama yang berbeda nyata. Walaupun jenis data yang ketiga tanpa keraguan dapat disimpulkan bahwa faktor utama tidak perlu diinterpretasikan, studi dalam artikel ini akan mengkonfirmasinya dengan data hasil simulasi.

Besar efek dari faktor utama dan interaksi divariasikan sebanyak 5 satuan baik efek positif maupun negatif dari [-2.5, 2.5]. Tabel 1 memperlihatkan delapan kombinasi efek dari data simulasi. Efek positif bernilai 0.5, 1, 1.5, 2, dan 2.5 satuan, sedangkan efek negatif adalah nilai negatif dari efek positif yaitu -2.5, -2, -1.5, -1, dan -0.5 satuan.

Evaluasi visual menggunakan plot interaksi dapat menghasilkan garis yang tidak sejajar saat faktor utama berinteraksi. Interaksi terurut terjadi jika garis dari faktor utama tidak berpotongan pada selang nilai faktor utama (Gambar 1a), sedangkan interaksi tidak terurut memiliki garis yang berpotongan pada selang nilai faktor utama (Gambar 1b). Interpretasi interaksi tidak terurut tidak mungkin dilakukan karena adanya titik potong (*cross-over point*). Jika jumlah data set yang banyak seperti pada data simulasi dalam penelitian ini (1750 data set yang terdiri atas 1000 jenis pertama, 500 jenis kedua, dan 250 jenis ketiga), evaluasi secara visual juga tidak memungkinkan.

Evaluasi keberadaan interaksi terurut atau tidak terurut pada setiap selang nilai faktor utama dapat menggunakan teknik matematika dasar jika evaluasi visual sulit dilakukan. Teknik ini adalah teknik mencari titik potong

Tabel 1. Desain kombinasi efek tiap faktor

F1	F2	F1xF2
Positif	Positif	Positif
Positif	Positif	Negatif
Positif	Negatif	Positif
Positif	Negatif	Negatif
Negatif	Positif	Positif
Negatif	Positif	Negatif
Negatif	Negatif	Positif
Negatif	Negatif	Negatif

antara dua garis yang dapat diselesaikan dengan metode eliminasi atau substitusi. Garis linier pada Gambar 1, misalnya, memiliki dua persamaan garis yaitu

$$y = a_1 + b_1 x_1, \quad (1)$$

$$y = a_2 + b_2 x_1, \quad (2)$$

dimana y adalah nilai respon, a_1 adalah titik potong terhadap sumbu y pada persamaan 1, b_1 adalah slop persamaan 1, dan x_1 adalah faktor utama 1. Persamaan 1 menunjukkan persamaan garis saat faktor utama 2 pada level 1, sedangkan Persamaan 2 adalah persamaan garis saat faktor utama 2 pada level 2.

Persamaan 1 dan 2 dapat diselesaikan dengan metode eliminasi sehingga diperoleh titik potong:

$$\begin{aligned} a_1 + b_1 x_1 - (a_2 + b_2 x_1) &= 0 \\ (a_1 - a_2) + (b_1 - b_2) x_1 &= 0 \\ x_1 &= -\frac{a_1 - a_2}{b_1 - b_2}. \end{aligned} \quad (3)$$

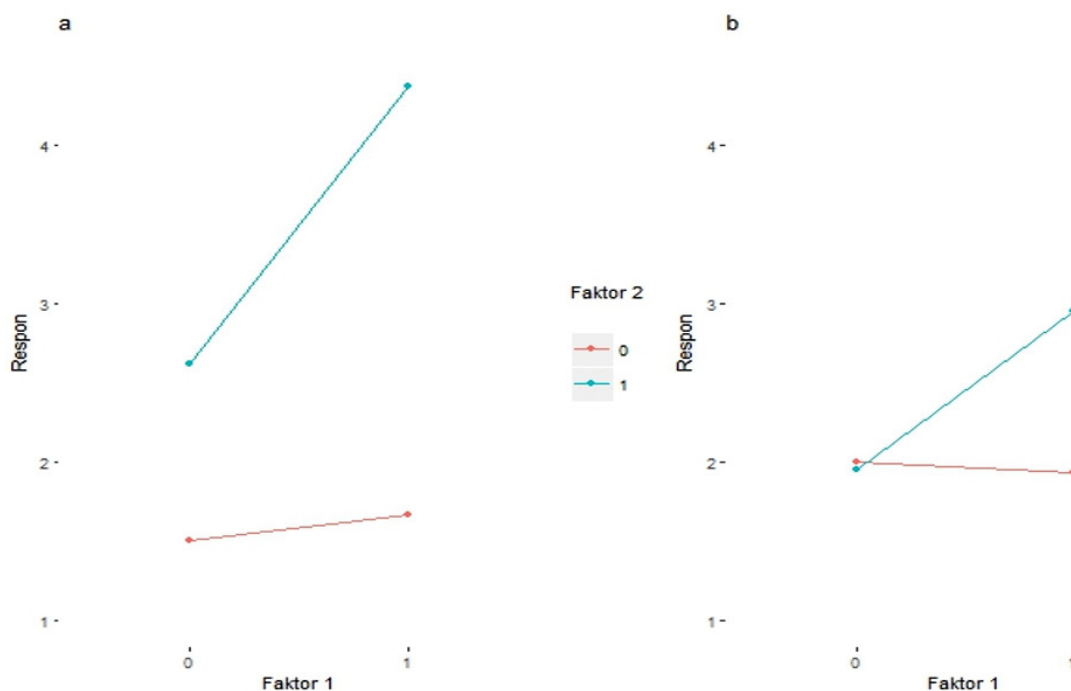
x_1 selalu terdefinisi karena kedua garis tidak sejajar ($b_1 \neq b_2$). Jika x_1 berada pada selang $[0, 1]$ maka terjadi interaksi tidak terurut. Persamaan 1 - 3 dapat digeneralisasi untuk level sebanyak j pada faktor 2, sedemikian sehingga jumlah garis (persamaan) juga sebanyak j . Jumlah titik potong yang harus dicari adalah sebanyak ${}_jC_2$ pada tiap level faktor utama 1 yang berdekatan (misal: $[0, 1]$).

Persamaan 1 - 3 dapat juga digeneralisasi untuk jumlah faktor sebanyak tiga. Saat faktor utama berjumlah 3, evaluasi visual dan matematis dapat dilakukan dengan membuat salah satu faktor tetap (*fix*) pada level tertentu dan diulang sejumlah level pada faktor yang tetap tersebut. Jika faktor 2 memiliki j level dan faktor 3 mempunyai k level, maka jumlah titik potong yang harus

dicari pada tiap level faktor utama 1 yang berdekatan adalah ${}_kC_2$.

Evaluasi titik potong secara matematis digunakan pada data simulasi untuk menghitung proporsi jumlah titik potong yang berarti terjadi interaksi tidak terurut dan interpretasi faktor utama tidak memungkinkan. Metode visualisasi diterapkan juga pada dua data riil yaitu data Sihombing (2015) dan Arif *et al.* (2016). Data penelitian Sihombing (2015) menggunakan R2F dengan tiga taraf tiap faktor. Faktor pertama adalah pengaruh bahan pelapis lilin dan faktor kedua yaitu suhu penyimpanan terhadap uji organoleptik kekerasan kulit buah manggis. Penelitian Arif *et al.* (2016) adalah R3F dengan faktor pertama adalah lama fermentasi (3 taraf), faktor kedua berupa penambahan urea (3 taraf), dan faktor ketiga adalah konsentrasi fermipan (3 taraf). Analisis sidik ragam pada kedua data tersebut menunjukkan bahwa ada interaksi, sehingga kelayakan penyajian dan interpretasi faktor utama akan dievaluasi.

Keseluruhan kode dan teks artikel ini dibuat dengan *software R* (R Core Team, 2015), dan *Rstudio* dengan paket *knitr* (Yihui, 2015) karena kemudahan-kemudahan yang diberikan (Budiaji, 2019; Sarvina, 2017). Paket R lain yang dibutuhkan adalah *ggplot2* (Wickham, 2016) untuk membuat plot, *gridExtra* (Auguie, 2016) untuk menyusun plot dalam sebuah grid. Simulasi dijalankan pada personal computer i3 4GB RAM yang memerlukan waktu 12 menit. File berekstensi .Rmd dan kode simulasi dapat diunduh pada akun OSF (*Open Science Framework*) penulis untuk menjamin *reproducible research* dan *open science*.



Gambar 1. Plot interaksi terurut (a) dan interaksi tidak terurut (b)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data simulasi

Data simulasi R2F terdiri atas tiga jenis yaitu kedua faktor utama berbeda nyata, salah satu faktor utama yang berbeda nyata, dan kedua faktor utama tidak berbeda nyata. Jumlah level/ taraf yang disimulasikan adalah dua dan tiga. Simulasi data dijalankan sebanyak 125 data set pada selang nilai yang berbeda $[-2.5, 2.5]$ di delapan kombinasi efek faktor utama dan interaksi (Tabel 1).

Tabel 2 menunjukkan bahwa proporsi interaksi terurut lebih dari 50% pada data dengan kedua faktor utama berbeda nyata saat jumlah level adalah 2. Proporsi ini menjadi jauh lebih kecil yaitu kurang dari 12% saat setiap faktor utama memiliki 3 level. Tabel 3 yang hanya memiliki salah satu faktor utama yang berbeda nyata (jenis data kedua) dan Tabel 4 dengan tidak ada faktor utama yang berbeda nyata (jenis data ketiga) menunjukkan

hal yang bertolak belakang dengan Tabel 2. Jenis data kedua dan ketiga pada Tabel 3 dan 4 memiliki proporsi 0% interaksi yang terurut, sehingga semua interaksi yang terjadi pada jenis data kedua dan ketiga adalah interaksi yang tidak terurut.

Hasil simulasi (Tabel 2 - 4) memperlihatkan bahwa prinsip marjinalitas (Nelder, 1977) mutlak berlaku pada data yang hanya salah satu faktor saja berbeda nyata dan kedua faktor tidak ada yang berbeda nyata. Prinsip marjinalitas berlaku lebih longgar pada data dengan kedua faktor utama berbeda nyata pada jumlah level yang kecil (2 level), tetapi evaluasi terhadap bentuk interaksi yang terjadi harus dilakukan dengan hati-hati seiring dengan jumlah level yang bertambah (> 2 level). Evaluasi ini perlu dilakukan untuk menyelidiki apakah interaksi yang terjadi adalah interaksi yang tidak terurut (ada titik potong). Jika interaksi adalah interaksi tidak terurut, maka prinsip marjinalitas juga mutlak berlaku.

Tabel 2. Proporsi interaksi terurut saat kedua faktor utama berbeda nyata

F1	F2	F1xF2	L = 2	L = 3
Positif	Positif	Positif	0.88	0.11
Positif	Positif	Negatif	0.52	0.03
Positif	Negatif	Positif	0.60	0.01
Positif	Negatif	Negatif	0.85	0.11
Negatif	Positif	Positif	0.84	0.10
Negatif	Positif	Negatif	0.55	0.02
Negatif	Negatif	Positif	0.57	0.02
Negatif	Negatif	Negatif	0.86	0.10

L = Jumlah level tiap faktor

**tiap baris terdiri atas 125 data set (Total 1000 data set)*

Tabel 3. Proporsi interaksi terurut saat salah satu faktor utama berbeda nyata

F1	F2*	F1xF2	L = 2	L = 3
Positif	0	Positif	0	0
Positif	0	Negatif	0	0
Negatif	0	Positif	0	0
Negatif	0	Negatif	0	0

L = Jumlah level tiap faktor

**faktor utama tidak memiliki efek (efek = 0)*

***tiap baris terdiri atas 125 data set (Total 500 data set)*

Tabel 4. Proporsi interaksi terurut saat kedua faktor utama tidak ada yang berbeda nyata

F1*	F2*	F1xF2	L = 2	L = 3
0	0	Positif	0	0
0	0	Negatif	0	0

L = Jumlah level tiap faktor

**faktor utama tidak memiliki efek (efek = 0)*

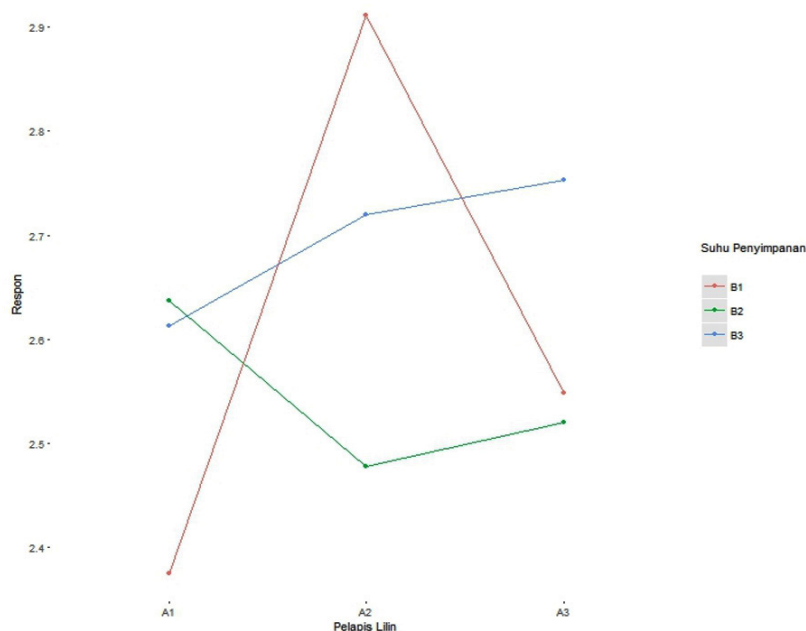
***tiap baris terdiri atas 125 data set (Total 250 data set)*

Data riil

Data R2F (Sihombing, 2015)

Data riil R2F adalah data penelitian Sihombing (2015) yang menggunakan bahan pelapis lilin sebagai faktor *A* (3 level) dan suhu penyimpanan sebagai faktor *B* (3 level). Respon yang diamati adalah laju respirasi, susut bobot, dan kekerasan buah manggis. Contoh yang digunakan dalam artikel ini hanya uji organoleptik terhadap kekerasan kulit buah manggis. Analisis sidik ragam menunjukkan bahwa ada interaksi antara bahan pelapis lilin dengan suhu penyimpanan pada kekerasan kulit buah manggis, sehingga penyajian dan kelayakan interpretasi faktor utama akan dievaluasi.

Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi interaksi tidak teratur pada 2 level faktor *A* yang berdekatan.



Gambar 2. Plot interaksi kekerasan kulit manggis

Tabel 5. Penyajian data kombinasi perlakuan 2 Faktor

Kekerasan Kulit Manggis	Kombinasi Perlakuan	Uji Beda
2.912	A2B1	a
2.753	A3B3	b
2.720	A2B3	b
2.637	A1B2	bc
2.613	A1B3	bc
2.549	A3B1	c
2.520	A3B2	dc
2.478	A2B2	dc
2.375	A1B1	d

Interaksi tidak teratur yang muncul menyebabkan prinsip marjinalitas mutlak berlaku, sehingga faktor utama tidak dapat diinterpretasikan dan penyajian data dalam bentuk tabel berupa kombinasi perlakuannya.

Tabel 5 adalah tabel rata-rata kombinasi perlakuan. Tabel 5 juga dapat ditambah dengan keterangan huruf hasil uji beda nyata. Uji beda nyata yang ditampilkan berasal dari tabel asli dari penelitian Sihombing (2015). Tabel 5 memperlihatkan bahwa kombinasi perlakuan *A2B1* memiliki rata-rata perlakuan yang paling tinggi dan berbeda dengan *A3B3*, sedangkan kombinasi perlakuan *A3B3* sama dengan *A2B3*. Kombinasi perlakuan dengan rata-rata paling rendah adalah *A1B1*.

Tabel 5 juga dapat ditampilkan dalam bentuk tabulasi silang. Tabel 6 memperlihatkan penyajian data dalam bentuk tabulasi silang dari Tabel 5. Tabel 6 menunjukkan

bahwa kombinasi perlakuan *A1B1* berbeda dengan *A1B2*, sedangkan kombinasi perlakuan *A1B2* sama dengan *A1B3*. Berbeda dengan Tabel 5 yang menampilkan data secara terurut berdasarkan rata-rata perlakuan, mencari rata-rata perlakuan yang menonjol (paling tinggi/ rendah) pada Tabel 6 diperlukan waktu yang lebih lama. Perhatikan bahwa perbandingan pada baris dan kolom yang berbeda memungkinkan dalam Tabel 6, misalnya kombinasi perlakuan *A1B3* sama dengan *A3B1*, karena uji lanjut diterapkan untuk kesembilan kombinasi perlakuan (bukan uji lanjut per kolom atau per baris).

Data R3F (Arif *et al.*, 2016)

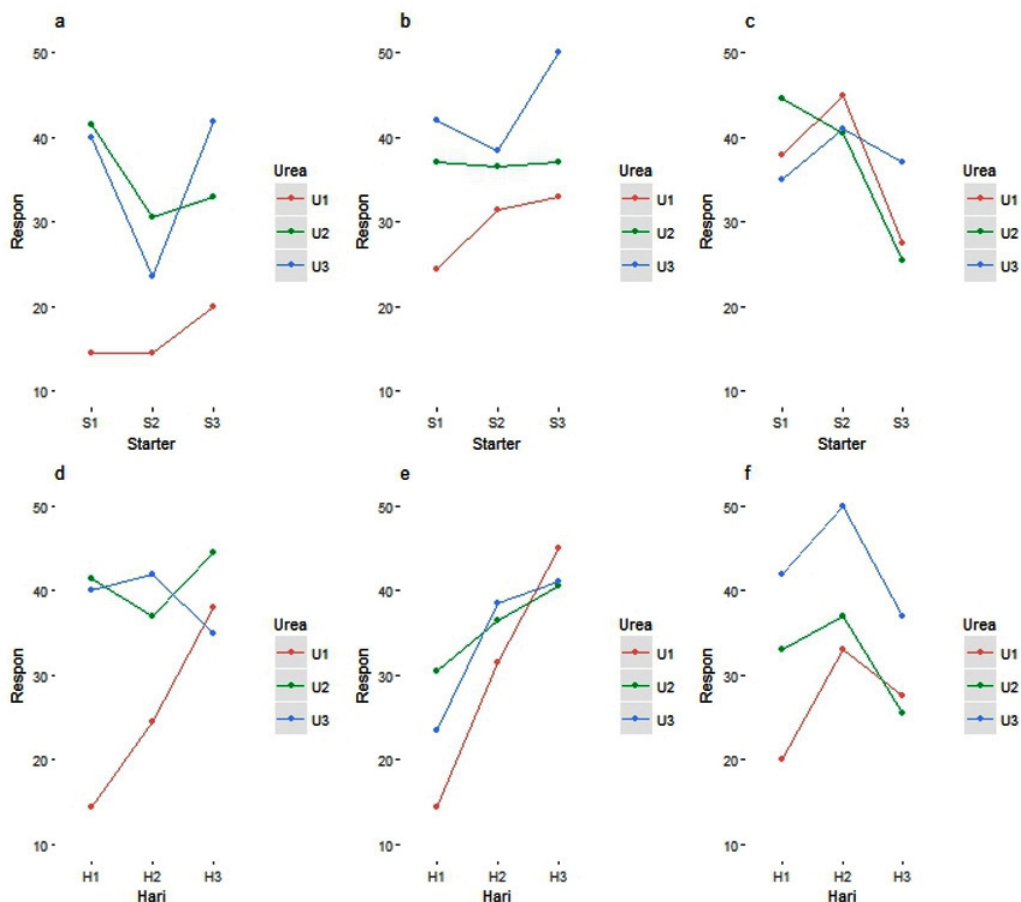
Data riil kedua adalah R3F dari penelitian Arif *et al.* (2016). Ada tiga faktor utama yang terlibat yaitu lama

fermentasi (*H*: 3 level), penambahan urea (*U*: 3 level), dan konsentrasi fermipan (*S*: 3 level). Respon yang diamati adalah kadar gula sebelum destilasi, kadar alkohol destilasi I, volume alkohol destilasi I, volume alkohol yang dihasilkan dengan kadar 99%, rendemen alkohol yang dihasilkan dengan kadar 99%. Contoh yang digunakan dalam artikel ini adalah kadar alkohol destilasi I. Hasil dari analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi ketiga faktor utama berbeda nyata, sehingga evaluasi penyajian dan interpretasi faktor utama diterapkan.

Gambar 3a, 3b, dan 3c menunjukkan plot interaksi penambahan urea (*U*) dan konsentrasi fermipan (*S*) pada hari yang sama (*H1*, *H2*, dan *H3*), sedangkan Gambar 3d, 3e, dan 3f adalah plot interaksi penambahan urea (*U*)

Tabel 6. Penyajian data tabulasi silang 2 Faktor

	A1		A2		A3	
B1	2.375	d	2.912	a	2.549	c
B2	2.637	bc	2.478	dc	2.520	dc
B3	2.613	bc	2.720	b	2.753	b



Gambar 3. Plot interaksi lama fermentasi (Hari), penambahan urea (Urea), dan konsentrasi fermipan (*Starter*) terhadap kadar alkohol

dan lama fermentasi (H) pada konsentrasi fermipan yang sama ($S1$, $S2$, dan $S3$). Ada dua plot yang menunjukkan terjadinya interaksi tidak terurut pada faktor lama fermentasi tetap (Gambar 3a dan 3c), sedangkan ketiga plot pada konsentrasi fermipan tetap mengindikasikan interaksi tidak terurut (Gambar 3d, 3e, dan 3f).

Berbeda dengan plot dua faktor (Gambar 2) yang menunjukkan interaksi terurut jika tidak ada garis yang berpotongan, Gambar 3 belum tentu memiliki interaksi yang terurut walaupun tidak ada garis yang berpotongan. Kondisi tambahan pada tiga faktor untuk interaksi yang terurut selain garis tidak berpotongan adalah urutan garis pada tiap plot harus sama. Urutan penambahan urea pada Gambar 3b adalah $U1$, $U2$, $U3$, sedangkan Gambar 3a memiliki urutan yang berbeda yaitu $U1$, $U3$, $U2$. Jika Gambar 3a tidak memiliki titik potong tetapi urutannya adalah $U1$, $U3$, $U2$ maka interaksi yang terjadi adalah interaksi tidak terurut karena perbedaan urutan

ini berakibat adanya garis potong antar 2 bidang yang berpotongan dari dua level yang berkebalikan urutannya (dalam hal ini bidang $U2$ dan $U3$ berpotongan). Dengan demikian, Gambar 3 menunjukkan terjadinya interaksi tidak terurut sehingga prinsip marjinalitas mutlak berlaku sehingga faktor utama tidak dapat diinterpretasikan dan penyajian data berupa kombinasi perlakuannya jika dalam bentuk tabel.

Tabel 7 memperlihatkan rataan kombinasi perlakuan yang telah diurutkan. Penambahan kolom dapat dilakukan untuk menambah informasi tentang uji beda antar perlakuan. Uji beda antar kombinasi perlakuan tidak ditampilkan karena tidak adanya informasi tentang data di penelitian Arif *et al.* (2016). Tabulasi silang seperti pada Tabel 8 juga dapat dilakukan. Perhatikan bahwa perbandingan antar kombinasi perlakuan pada baris dan kolom yang berbeda memungkinkan dalam Tabel 8 jika ada uji lanjut karena uji lanjut diterapkan untuk keseluruhan (27) kombinasi perlakuan.

Tabel 7. Penyajian data kombinasi perlakuan 3 Faktor

Kadar Alkohol Destilasi I	Kombinasi Perlakuan
50.00	U3S3H2
45.00	U1S2H3
44.50	U2S1H3
42.00	U3S1H2
41.85	U3S3H1
41.50	U2S1H1
41.00	U3S2H3
40.50	U2S2H3
40.00	U3S1H1
38.50	U3S2H2
38.00	U1S1H3
37.00	U2S1H2
37.00	U2S3H2
37.00	U3S3H3
36.50	U2S2H2
35.00	U3S1H3
33.00	U2S3H1
33.00	U1S3H2
31.50	U1S2H2
30.50	U2S2H1
27.50	U1S3H3
25.50	U2S3H3
24.50	U1S1H2
23.50	U3S2H1
20.00	U1S3H1
14.50	U1S1H1
14.50	U1S2H1

Tabel 8. Penyajian data tabulasi silang 3 Faktor

		S1	S2	S3
H1	U1	14.50	14.50	20.00
	U2	41.50	30.50	33.00
	U3	40.00	23.50	41.85
H2	U1	24.50	31.50	33.00
	U2	37.00	36.50	37.00
	U3	42.00	38.50	50.00
H3	U1	38.00	45.00	27.50
	U2	44.50	40.50	25.50
	U3	35.00	41.00	37.00

Penggunaan "angka selajur yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada baris yang sama dan huruf kapital yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut" pada tabulasi silang Tabel 8 seperti pada Arif *et al.* (2016) tidak disarankan karena kalimat tersebut memunculkan kerancuan pada uji lanjut yang diterapkan. Frasa "baris yang sama" dan "kolom yang sama" memberi-kan arti bahwa perbandingan hanya dilakukan per baris atau per kolom yang mereduksi jumlah kombi-nasi perlakuan yang dibandingkan menjadi 3 untuk perbandingan per baris dan 9 untuk perbandingan per kolom. Langkah ini dapat dilakukan dengan catatan bahwa tingkat α per perbandingan dalam uji lanjut juga perlu disesuaikan sehingga pelaporan tingkat α yang digunakan tidak menyesatkan.

Tabel 6 dan 8 mempunyai persamaan bahwa kedua tabel ini bersumber dari tabel kombinasi perlakuan yang faktor utamanya memiliki interaksi tidak terurut, sehingga perbandingan rata-rata perlakuan pada baris dan kolom yang berbeda dimungkinkan. Praktek penggunaan kalimat "angka selajur yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada baris yang sama dan huruf kapital yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut" yang dilakukan oleh banyak peneliti seharusnya dihindari karena mengaburkan uji lanjut yang dilakukan (uji lanjut diterapkan pada keseluruhan kombinasi perlakuan atau hanya pada kombinasi perlakuan per baris/kolom). Tingkat α juga menjadi tidak jelas karena perbedaan jumlah kombinasi perlakuan yang diuji.

Jika interaksi yang terjadi adalah interaksi terurut, praktek penggunaan frasa "baris yang sama" dan "kolom yang sama" dapat dilakukan dengan catatan penting bahwa uji lanjut yang dilakukan adalah dengan mereduksi jumlah kombinasi perlakuan yang dibandingkan (per baris/kolom). Penyesuaian tingkat α yang digunakan per baris/kolom juga diperlukan agar kesimpulan dan interpretasi dari faktor utama yang terlibat tidak membingungkan dan tidak menyesatkan.

KESIMPULAN

Artikel ini mensimulasi data yang memiliki interaksi berbeda nyata pada saat kedua faktor utama berbeda nyata, salah satu faktor berbeda nyata, dan kedua faktor utama tidak berbeda nyata. Saat salah satu faktor berbeda nyata dan kedua faktor utama tidak berbeda nyata, prinsip marjinalitas mutlak berlaku sehingga interpretasi faktor utama tidak mungkin. Faktor utama dapat diinterpretasi (lebih dari 50%) pada saat kedua faktor utama berbeda nyata dan faktor utama memiliki jumlah level hanya dua. Saat jumlah level meningkat, peluang untuk menginterpre-tasikan faktor utama menjadi lebih kecil (kurang dari 12% dengan jumlah level 3). Penyajian data dengan menggunakan tabel kombinasi perlakuan yang telah terurut rataannya akan mempermudah identifikasi perlakuan yang menonjol dan memperjelas perban-dingan antar perlakuan dengan uji lanjut. Penggunaan tabel tabulasi silang juga dapat dilakukan yang memungkinkan perbandingan perlakuan antar baris/kolom. Penggunaan "angka selajur yang diikuti oleh huruf kecil yang sama pada baris yang sama dan huruf kapital yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji lanjut" pada tabulasi silang harus dihindari terutama saat interaksi yang terjadi adalah interaksi tidak terurut agar interpretasi, kesimpulan perbandingan antar perlakuan, dan tingkat α yang digunakan tidak menyesatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Susianti, SP., MP, dan Bapak Putra Utama, SP, MP yang keduanya adalah dosen jurusan Agroeko-teknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa atas ide dan motivasinya kepada Penulis untuk menulis artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M. J. and P. J. Whitcomb. 2015. *DOE Simplified: Practical Tools for Effective Experimentation*, Third Edition (3rd ed.). CRC Press.
- Arif, A. B., W. Diyono, A. Budiyo, dan N. Richana. 2016. Analisis Rancangan Faktorial Tiga Faktor untuk Optimalisasi Produksi Etanol dari Molases Tebu. *Informatika Pertanian* 25 (1): 145–154.
- Auguie, B. 2016. gridExtra: Miscellaneous Functions for “Grid” Graphics. Retrieved from <http://CRAN.R-project.org/package=gridExtra>
- Budijati, W. 2019. Penerapan Reproducible Research pada Rstudio dengan Bahasa R dan Paket knitr. *Khazanah Informatika* 5(1): 1-5
- Fox, J. 2003. Effect Displays in R for Generalised Linear Models. *Journal of Statistical Software* 8 (15): 1-27. Available from: <http://hdl.handle.net/10.18637/jss.v008.i15>.
- Fox, J. 2016. *Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models* (3rd ed.). Sage.
- Hector, A., A. von Felten, and B. Schmid. 2010. Analysis of variance with unbalanced data: an update for ecology and evolution. *Journal of Animal Ecology* 79 : 308–316.
- Kao, L. S. and C. E. Green. 2008. Analysis of variance: is there a difference in means and what does it mean?. *Journal of Surgical Research* 144(1) : 158–170.
- Kaufman, R. L. 2018. *Interaction Effects in Linear and Generalized Linear Models: Examples and Application using Stata*. Sage, California.
- Kim, H. Y. 2014. Analysis of variance (ANOVA) comparing means of more than two groups. *Restorative Dentistry and Endodontics* 39(1) : 74–77.
- Kim, T. K. 2017. Understanding one-way ANOVA using conceptual figures. *Korean Journal of Anesthesiology* 70 (1) : 22–26.
- Nelder, J. A. 1977. A Reformulation of linear models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 140 (1) : 48–77.
- Pandis, N. 2016. Analysis of variance to linear regression. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 149 (6) : 935–936.
- R Core Team. 2015. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Available from: <https://www.R-project.org/>.
- Sarvina, Y. 2017. Pemanfaatan software open source r untuk penelitian agroklimat. *Informatika Pertanian* 26 (1) : 23–30.
- Sawyer, S. F. 2009. Analysis of variance: the fundamental concepts. *Journal of Manual and Manipulative Therapy* 17 (2) : 27E-38E.
- Sihombing, Y. 2015. Kajian simulasi pendugaan umur simpan untuk menentukan kualitas buah manggis (*Garcinia Mangostana* L.). *Informatika Pertanian* 24 (2): 257–267.
- Tenaya, I. M. N. 2015. Pengaruh interaksi dan nilai interaksi pada percobaan faktorial (review). *AGROTROP* 5(1) : 9–20.
- Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Available from: <http://ggplot2.org>
- Widaman, K. F., J. L. Helm, L. Castro-Schilo, M. Pluess, M. Stallings, and J. Belsky. 2012. Distinguishing Ordinal and Disordinal Interactions. *Psychological Methods* 17 (4) : 615–622.
- Yihui, X. 2015. *Dynamic Documents with R and knitr*. Chapman and Hall.