**ANALISIS FAKTORIAL RANCANGAN ACAK LENGKAP (RAL)
DENGAN METODE *ADDITIVE MAIN EFFECTS
AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (AMMI)**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RAMONA RAHMAWATI
1817031073**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

# ABSTRACT

## FACTORIAL ANALYSIS OF COMPLETELY RANDOMIZED DESIGN (RAL) WITH ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION (AMMI)



**By**

**Ramona Rahmawati**



Additive Main Effects And Multiplicative Interaction (AMMI) is to describe the effect of one treatment with another treatment effectively by combining the reliability of additive effects on analysis of variance with multiplicative effects on principal component analysis. The best model of the first 3×3 RAL factorial simulation data and the second 3×3 RAL factorial simulation data using the AMMI method is the AMMI1. In the first RAL 3×3 factorial simulation data and the second RAL 3×3 factorial simulation data using the classical method and the AMMI method, it is concluded that $H_1$ is accepted because there are different levels of each factor both in the main effect of factor A, the main effect of factor B and the effect of interaction AB which means that there is interaction in the first RAL 3×3 factorial simulation data and the second RAL 3×3 factorial simulation data. Then obtained in the classical method, the strongest interaction is in the first RAL 3×3 factorial simulation data.



**Keywords:** Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI), factorial RAL, classical method

# ABSTRAK

**ANALISIS FAKTORIAL RANCANGAN ACAK LENGKAP (RAL) DENGAN METODE *ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (AMMI)**

**Oleh**

**Ramona Rahmawati**

*Additive Main Effects And Multiplicative Interaction* (AMMI) yaitu menguraikan pengaruh perlakuan satu dengan perlakuan lainnya secara efektif dengan menggabungkan kehandalan pengaruh aditif pada analisis ragam dengan pengaruh multiplikasi pada analisis komponen utama. Model terbaik dari data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama dan data faktorial RAL 3×3 simulasi kedua dengan menggunakan metode AMMI adalah model AMMI1. Pada data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama dan data faktorial RAL 3×3 simulasi kedua menggunakan metode klasik dan metode AMMI yaitu mempunyai kesimpulan bahwa $H_1$ diterima karena terdapat taraf level yang berbeda dari masing-masing faktor baik pada pengaruh utama faktor A, pengaruh utama faktor B maupun pengaruh interaksi AB yang artinya bahwa terdapat interaksi pada data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama dan data faktorial RAL 3×3 simulasi kedua. Lalu didapatkan pada metode klasik interaksi terkuat terdapat pada data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama.



**Kata kunci**: *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (AMMI), faktorial RAL, metode klasik

# ANALISIS FAKTORIAL RANCANGAN ACAK LENGKAP (RAL) DENGAN METODE *ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (AMMI)

**Oleh**

**RAMONA RAHMAWATI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar**
**SARJANA MATEMATIKA**

**Pada**

**Jurusan Matematika**
**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**
**UNIVERSITAS LAMPUNG**
**BANDAR LAMPUNG**
**2023**

| | |
|---|---|
| Judul Skripsi | : **ANALISIS FAKTORIAL RANCANGAN ACAK LENGKAP (RAL) DENGAN METODE *ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (AMMI)** |
| Nama Mahasiswa | : **Ramona Rahmawati** |
| Nomor Pokok Mahasiswa | : **1817031073** |
| Program Studi | : **Matematika** |
| Fakultas | : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam** |

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

**Dr. Ir. Netti Herawati, M.Sc.**
NIP 19650125 199003 2 001

**Subian Saidi, S.Si., M.Si.**
NIP 1980082 1200812 1 001

2. Ketua Jurusan Matematika

**Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.**
NIP 19740316 200501 1 001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

| | | |
|---|---|---|
| Ketua | : **Dr. Ir. Netti Herawati, M.Sc.** | ................... |
| Sekretaris | : **Subian Saidi, S.Si., M.Si.** | ................... |
| Penguji<br>Bukan Pembimbing | : **Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si.** | ................... |

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.**
NIP 19740705 2000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **07 Februari 2023**

## PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

| | |
|---|---|
| Nama | : **Ramona Rahmawati** |
| Nomor Pokok Mahasiswa | : **1817031073** |
| Jurusan | : **Matematika** |
| Judul Skripsi | : **FAKTORIAL RANCANGAN ACAK LENGKAP (RAL) DENGAN METODE *ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (AMMI)** |

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Apabila kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 07 Februari 2023

Yang menyatakan,

**Ramona Rahmawati**

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Ramona Rahmawati dilahirkan di Branti Raya pada tanggal 25 Desember 1999 sebagai anak keempat dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak Selamet Rahmat dan Ibu Sri Maryati.

Penulis memulai pendidikannya di TK Al-Huda pada tahun 2004-2006 dan kemudian menempuh pendidikan tingkat dasar di SDN 2 Branti Raya pada tahun 2006-2012. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 1 Natar dan lulus pada tahun 2015. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Natar pada tahun 2015-2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika (HIMATIKA) sebagai Anggota Bidang Kaderisasi dan Kepemimpinan pada periode 2019 dan sebagai Sekretaris Bidang Kaderisasi dan Kepemimpinan pada periode 2020, Staf Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA Universitas Lampung sebagai Bendahara Dinas Sains dan Pengabdian Masyarakat (SPM) pada periode 2021.

Pada tahun 2021, di bulan Februari-Maret penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Telkom (Persero) Witel Lampung. Pada bulan Agustus-September penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Natar, Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan selama 40 hari.

# KATA INSPIRASI

*"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum,*
*sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri"*
*(Q.S Ar-Rad: 11)*

*"Bahkan rasa sakit yang tidak bisa diungkapkan dengan kata-kata, semuanya akan baik-baik saja"*
*(It's Okay - Treasure)*

*"Kamu sudah melakukan yang terbaik hari ini"*
*(Jaemin - NCT)*

*"Investasi terbesar bukan duit atau tanah, tetapi ilmu"*
*(Iqbaal Dhiafakhri Ramadhan)*

*"Pada akhirnya akan selalu ada kata selesai untuk setiap hal yang telah dimulai"*

*"Kupu-kupu tidak dapat melihat keindahan warna sayapnya, tetapi kita dapat melihatnya. Begitu pula diri kita, terkadang kita hanya melihat kekurangan pada diri kita padahal orang lain dapat melihat dengan jelas betapa spesialnya dan berpotensinya diri kita"*

# PERSEMBAHAN

*Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT. yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan juga memberikan penerangan dalam ilmu pengetahuan. Hanya karena-Nya lah skripsi ini bisa penulis selesaikan dengan rasa syukur dan bahagia. Dengan segala kerendahan hati, penulis persembahkan karya sederhana ini kepada:*

***Orang Tua Tercinta***

*Sebagai tanda terima kasih karena selalu mencurahkan doa, tenaga, pikiran, dan dukungannya untuk keberhasilan penulis dalam menuntut ilmu serta menjadi penyemangat terbaik sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.*

***Dosen Pembimbing dan Pembahas***

*Yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.*

***Almamaterku Tercinta, Universitas Lampung***

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Analisis Faktorial Rancangan Acak Lengkap Dengan Metode *Additive Main Effects And Multiplicative Interaction* (AMMI)**"**.

Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Netti Herawati, M.Sc., selaku pembimbing utama sekaligus pembimbing akademik atas kesediaan waktu dan pemikiran nya dalam memberikan bimbingan dan arahan yang membangun dalam proses penyusunan skripsi dan proses perkuliahan ini.
2. Bapak Subian Saidi, S.Si., M.Si., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan arahan dalam proses penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Khoirin Nisa, S. Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan evaluasi dan saran bagi perbaikan skripsi penulis.
4. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Seluruh dosen dan staf Jurusan Metematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan segala hal baik kepada penulis untuk menyelesaikan perkuliahan ini.

8. Ria, Lela, Anis, Risa, Syifa, dan Dila yang selalu menemani didalam segala kondisi dan tidak pernah meninggalkan.
9. Sherli, Novita, Ridho, Devi, Anisa, Eja, Muhtarom, Refi, Andira, dan Kokom yang melengkapi masa perkuliahan penulis.
10. Iqbaal Dhiafakhri, K-Drama dan K-Pop atas karya-karyanya yang luar biasa.
11. Pimpinan HIMATIKA periode 2020 yang memberikan pengalaman berharga.
12. Teman-teman Jurusan Matematika angkatan 2018.
13. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 07 Februari 2023
Penulis,

Ramona Rahmawati

## DAFTAR ISI

## DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

# DAFTAR GAMBAR

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Percobaan adalah suatu penelitian yang digunakan oleh peneliti dalam memeriksa sesuatu hal yang kurang meyakinkan, khususnya pada situasi yang telah ditetapkan. Percobaan juga merupakan suatu penelitian yang digunakan dalam mendapatkan beberapa dasar atau pengaruh yang belum diketahui dan menguji, menguatkan atau menjelaskan pendapat atau kebenaran yang peneliti telah ketahui atau diprediksi oleh peneliti. Sedangkan, rancangan percobaan yaitu suatu hal yang harus disiapkan sebelum pengamatan digunakan agar data yang semestinya diperlukan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk sesuatu hal yang telah sedang diteliti (Hartati, dkk., 2013).

Rancangan percobaan diantaranya yaitu Rancangan Acak Lengkap (RAL), Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL), dan Rancangan Bujur Sangkar Latin (RBSL). RAL diterapkan untuk percobaan yang dilakukan terhadap lingkungan yang homogen, RAKL diterapkan untuk percobaan yang dilakukan terhadap lingkungan yang tidak homogen, sedangkan RBSL digunakan untuk percobaan yang dilakukan terhadap lingkungan yang tidak homogen diluar faktor penelitian dimana terdapat dua sumber keragaman.

Pada suatu penelitian sering dilakukan untuk mengetahui pengaruh dua atau lebih faktor didalam suatu penelitian, maka rancangan yang tepat digunakan ialah rancangan faktorial. Rancangan faktorial merupakan rancangan yang menggunakan lebih dari satu faktor. Pada rancangan faktorial, selain diketahui pengaruh faktor, juga dapat diketahui pengaruh gabungan atau interaksi dari faktor yang dicobakan (Irawaty, dkk., 2018). Salah satu percobaan dengan rancangan faktorial adalah percobaan lokasi ganda. Percobaan lokasi ganda adalah pengulangan percobaan pada beberapa lokasi yang menggunakan rancangan percobaan dan perlakuan yang sama. Faktor yang sering digunakan pada percobaan adalah faktor genotip tanaman dan lingkungan.

Analisis ragam adalah suatu metode statistika yang dapat menentukan adanya variabel tak bebas serta interaksi diantara variabel dapat diketahui dan pada perlakuan dapat ditemukan pengaruhnya tetapi analisis ragam hanya menjelaskan keefektifan pengaruh utama dan menguji pengaruh dari interaksi tetapi tidak mampu menentukan pola genotip atau lokasi untuk meningkatkan pengaruh interaksi. Sedangkan, analisis komponen utama hanya efektif menjelaskan pengaruh interaksi tanpa menerangkan pengaruh utamanya. Oleh karena itu, yang dapat digunakan untuk menguraikan pengaruh interaksi genotip dan lingkungan secara efektif adalah dengan menggunakan metode AMMI. AMMI yaitu suatu metode yang menyatakan kehandalan pengaruh aditif analisis ragam dengan pengaruh multiplikasi analisis komponen utama (Mattjik & Sumertajaya, 2002).

Menurut Sholihin (2009), komponen utama pada lingkungan dihubungkan dengan data bentuk tanah dan ketinggian tempat disetiap lingkungan. Hubungan ini dapat digunakan untuk menyatakan faktor lingkungan yang memperantarai pengaruh interaksi. Untuk menjelaskan pengaruh interaksi genotip dan lingkungan digunakan biplot (Hadi & Sa’diyah, 2004). AMMI sangat efektif menjelaskan interaksi genotip dengan lokasi (Zaki, dkk., 2014). Penguraian pengaruh interaksi pada AMMI dilakukan dengan model bilinear, sehingga kesesuaian tempat tumbuh bagi genotip akan dapat dipetakan dengan jelas. Untuk menguji pengaruh interaksi antara genotip dengan lingkungan penanamannya maka digunakan analisis ragam, sedangkan untuk menguraikan pengaruh interaksi antara genotip dengan lingkungannya digunakan analisis komponen utama.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan laporan ini adalah untuk mengetahui Faktorial RAL dengan metode AMMI, menentukan model AMMI terbaik dan menganalisa pengaruh utama dan pengaruh interaksi dari data simulasi faktorial RAL replikasi pertama dan replikasi kedua dengan biplot.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penulisan laporan ini adalah:

1. Mahasiswa mampu mengaplikasikan ilmu matematika dan statistik yang telah diperoleh ke dalam permasalahan sehari-hari.
2. Mengetahui Faktorial RAL dengan metode AMMI.Mendapatkan hasil yang nantinya dapat dimanfaatkan atau digunakan dalam penelitian lain yang berhubungan dengan Faktorial RAL menggunakan metode AMMI.

# II. TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Rancangan Percobaan

Menurut Hartati (2013), rancangan percobaan yaitu cara lengkap yang perlu diambil jauh sebelum pengamatan dilakukan agar data yang semestinya diperlukan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas.

Menurut Herawati, dkk. (2018), terdapat tiga prinsip utama pada rancangan percobaan, yaitu antara lain:

1. Ulangan

   Ulangan adalah diterapkannya satu perlakuan kepada lebih dari satu satuan percobaan. Ulangan digunakan untuk menghasilkan galat percobaan, meningkatkan presisi dengan menurunkan simpangan baku, dan meningkatkan generalisasi. Besarnya ulangan ditentukan oleh besarnya perbedaan yang ingin dideteksi dan keragaman data dan jumlah perlakuan.

2. Pengacakan

   Pengacakan adalah penerapan perlakuan kepada satuan percobaan sehingga satuan percobaan mempunyai peluang yang sama untuk menerima suatu perlakuan. Pengacakan berfungsi untuk menghindari bias, menjamin adanya kebebasan antar pengamatan, dan mengatasi sumber keragaman yang diketahui namun tidak dapat diduga pengaruhnya.

3. Pengelompokan

   Pengelompokan dilakukan apabila terdapat sumber keragaman lain selain perlakuan yang dapat diketahui dan pengaruhnya dapat diperkirakan sehingga dapat dikeluarkan dari galat percobaan. Bahan percobaan disusun ke kelompok-kelompok satuan percobaan yang relatif seragam. Pengelompokan digunakan untuk meningkatkan ketelitian percobaan.

## 2.2 Faktorial Rancangan Acak Lengkap (Faktorial RAL)

Faktorial RAL dilakukan apabila dalam suatu penelitian mendapatkan satuan percobaan yang homogen dengan keadaan lingkungan yang seragam sehingga tidak terdapat pengaruh lain selain dari kombinasi perlakuan pada galat percobaan.

Maka model linear untuk percobaan Faktorial RAL dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \tag{2.1}$$

$$i = 1, 2, \ldots a, \; j = 1, 2, \ldots b, \; k = 1, 2, \ldots r$$

dengan:

$Y_{ijk}$ = nilai pengamatan pada A ke-i, B ke-j dan ulangan ke-k

$\mu$ = rata-rata umum

$\tau_i$ = pengaruh A ke-i

$\beta_j$ = pengaruh B ke-j

$(\tau\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi $A_iB_j$

$\varepsilon_{ijk}$ = galat percobaan pada A ke-i, B ke-j dan ulangan ke-k

Asumsi model tetap (A dan B tetap):

1. $\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0$
2. $\sum_{j=1}^{b} \beta_j = 0$
3. $\sum_{i=1}^{a} (\tau\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^{b} (\tau\beta)_{ij} = 0$

Hipotesis yang diambil pada Faktorial RAL adalah:

1. $H_0$ : $\tau_1$ = $\tau_2$ = ... = $\tau_i$ = 0

   $H_1$ : Paling sedikit ada satu $\alpha_1 \neq 0$
2. $H_0$ : $\beta_1$ = $\beta_2$ = … = $\beta_j$ = 0

   $H_1$ : paling sedikit ada satu $\beta_j \neq 0$
3. $H_0$ : $(\tau\beta)_{ij}$ = 0

   $H_1$ : paling sedikit ada satu $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$

Tabel 1. Tabulasi Data Faktorial RAL Dua faktor

| Faktor A | Ulangan | Faktor B | | | | Total Baris ($y_{i..}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | … | B | |
| | 1 | $y_{111}$ | $y_{121}$ | … | $y_{1b1}$ | |
| | 2 | $y_{112}$ | $y_{122}$ | … | $y_{1b2}$ | |
| 1 | ⋮ | ⋮ | ⋮ | … | ⋮ | $y_{1..}$ |
| | r | $y_{11r}$ | $y_{12r}$ | … | $y_{1br}$ | |
| | $y_{1j.}$ | $y_{11.}$ | $y_{12.}$ | … | $y_{1b.}$ | |
| | 1 | $y_{211}$ | $y_{221}$ | … | $y_{2b1}$ | |
| | 2 | $y_{212}$ | $y_{222}$ | … | $y_{2b2}$ | |
| 2 | ⋮ | ⋮ | ⋮ | … | ⋮ | $y_{2..}$ |
| | r | $y_{21r}$ | $y_{22r}$ | … | $y_{2br}$ | |
| | $y_{2j.}$ | $y_{21.}$ | $y_{22..}$ | … | $y_{2b.}$ | |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | … | ⋮ | ⋮ |
| | 1 | $y_{a11}$ | $y_{a21}$ | … | $y_{ab1}$ | |
| | 2 | $y_{a12}$ | $y_{a22}$ | … | $y_{ab2}$ | |
| A | ⋮ | ⋮ | ⋮ | … | ⋮ | $y_{a..}$ |
| | r | $y_{a1r}$ | $y_{a2r}$ | … | $y_{abr}$ | |
| | $y_{ij.}$ | $y_{a1.}$ | $y_{a2.}$ | … | $y_{ab.}$ | |
| Total Kolom ($y_{.j.}$) | | $y_{.1.}$ | $y_{.2.}$ | … | $y_{.b.}$ | $y_{...}$ |

## 2.3 Analisis Ragam

Analisis ragam adalah metode statistika yang dapat menyatakan bahwa terdapat suatu varaiabel independen pada suatu penelitian dan mengetahui interaksi antar variabel dan pengaruhnya terhadap suatu perlakuan. Pada rancangan percobaan, analisis ragam bertujuan untuk mengetahui apakah ada perbedaan rata-rata antara perlakuan satu dengan lainnya dengan melakukan uji hipotesis.

Menurut Dean & Voss (1999), asumsi yang harrus dipenuhi dalam analisis ragam sebagai berikut:

1. Normalitas (Kenormalan Galat)
   Normalitas adalah nilai galat pada setiap perlakuan (kelompok) yang terkait dengan nilai pengamatan harus terdistribusi secara normal.
2. Homogenitas (Kehomogenan Ragam)
   Homogenitas yaitu berarti ragam dari nilai galat bersifat konstan. Asumsi homogenitas memiliki syarat bahwa distribusi galat untuk masing-masing perlakuan atau kelompok harus memiliki ragam yang sama.
3. Independensi (Kebebasan Galat)
   Nilai galat dan data setiap pengamatan satuan percobaan harus saling bebas, baik didalam perlakuan itu sendiri atau diantara perlakuan. Apabila kondisi ini tidak terpenuhi, akan sulit untuk mendeteksi percobaan nyata yang mungkin ada.

Tabel 2. Analisis Ragam Faktorial RAL

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | F hitung |
|---|---|---|---|---|
| Faktor A | a-1 | $JK_A$ | $KT_A$ | $\frac{KT_A}{KT_G}$ |
| Faktor B | b-1 | $JK_B$ | $KT_B$ | $\frac{KT_B}{KT_G}$ |
| Interaksi AB | (a-1)(b-1) | $JK_{AB}$ | $KT_{AB}$ | $\frac{KT_{AB}}{KT_G}$ |
| Galat | ab(r-1) | $JK_G$ | $KT_G$ | |
| Total | abr-1 | $JK_T$ | | |

Menurut Montgomery (2012), nilai statistik untuk analisis ragam pada Faktorial RAL adalah sebagai berikut:

$$F_A = \frac{\frac{JK_A}{\mathrm{a-1}}}{\frac{JK_G}{\mathrm{ab(r-1)}}} = \frac{KT_A}{KT_G}$$

$$F_B = \frac{\frac{JK_B}{\mathrm{b-1}}}{\frac{JK_G}{\mathrm{ab(r-1)}}} = \frac{KT_B}{KT_G}$$

$$F_{AB} = \frac{\frac{JK_{AB}}{\mathrm{(a-1)(b-1)}}}{\frac{JK_G}{\mathrm{ab(r-1)}}} = \frac{KT_{AB}}{KT_G}$$

$$JK_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$JK_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$JK_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$JK_S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$JK_{AB} = JK_S - JK_A - JK_B$$

$$JK_G = JK_T - JK_{AB} - JK_A - JK_B = JK_T - JK_S$$

dengan:

a = Jumlah level pada faktor A

b = Jumlah level pada faktor B

r = Jumlah ulangan tiap faktor

n = Jumlah pengamatan

$F_A$ = F hitung A

$F_B$ = F hitung B

$F_{AB}$ = F hitung AB

$JK_T$ = Jumlah kuadrat total

$JK_A$ = Jumlah kuadrat faktor A

$JK_B$ = Jumlah kuadrat faktor B

$JK_S$ = Jumlah kuadrat subtotal

$JK_G$ = Jumlah kuadrat galat

$KT_A$ = Kuadrat tengah faktor A

$KT_B$ = Kuadrat tengah faktor B

$KT_{AB}$ = Kuadrat tengah interaksi AB

$KT_G$ = Kuadrat tengah faktor galat

## 2.4 Pengaruh Faktorial

Pengaruh dari suatu faktor adalah perubahan yang diukur melalui respon disebabkan oleh perubahan pada level dari faktor tersebut. Menurut Gaspersz (1995), pengaruh perlakuan faktorial dapat diuraikan menjadi:

1. Pengaruh sederhana atau pengaruh tunggal

   Pengaruh sederhana atau pengaruh tunggal merupakan pengaruh faktor pada satu level faktor lainnya. Misalnya pengaruh faktor A pada level $b_j$ atau pengaruh faktor B pada level $a_i$. Pengaruh sederhana atau pengaruh tunggal dapat diuraikan seperti berikut.

   - Pengaruh A

     $S_1 = \mu_{31} - \mu_{21} - \mu_{11}$ atau $S_1 = a_3b_1 - a_2b_1 - a_1b_1$ (Pengaruh sederhana A pada level $B_1$)

     $S_2 = \mu_{32} - \mu_{22} - \mu_{12}$ atau $S_1 = a_3b_2 - a_2b_2 - a_1b_2$ (Pengaruh sederhana A pada level $B_2$)

     $S_3 = \mu_{33} - \mu_{23} - \mu_{13}$ atau $S_1 = a_3b_3 - a_2b_3 - a_1b_3$ (Pengaruh sederhana A pada level $B_3$)

- Pengaruh B

  $S_1 = \mu_{13} - \mu_{12} - \mu_{11}$ atau $S_1 = a_1 b_3 - a_1 b_2 - a_1 b_1$ (Pengaruh sederhana B pada level $A_1$)

  $S_2 = \mu_{23} - \mu_{22} - \mu_{21}$ atau $S_1 = a_2 b_3 - a_2 b_2 - a_2 b_1$ (Pengaruh sederhana B pada level $A_2$)

  $S_3 = \mu_{33} - \mu_{32} - \mu_{31}$ atau $S_1 = a_3 b_3 - a_3 b_2 - a_3 b_1$ (Pengaruh sederhana B pada level $A_3$)

2. Pengaruh utama atau pengaruh faktor

   Pengaruh utama atau pengaruh faktor adalah perbedaan antara level suatu faktor dirata-ratakan terhadap level faktor lainnya. Masing-masing pengaruh utama A dan pengaruh utama B dapat dicari seperti berikut.

- Pengaruh Utama A

$$A = \frac{\mu_{31} + \mu_{32} + \mu_{33}}{3} - \frac{\mu_{21} + \mu_{22} + \mu_{23}}{3} - \frac{\mu_{11} + \mu_{12} + \mu_{13}}{3}$$

atau

$$A = \frac{a_3 b_1 + a_3 b_2 + a_3 b_3}{3} - \frac{a_2 b_1 + a_2 b_2 + a_2 b_3}{3} - \frac{a_1 b_1 + a_1 b_2 + a_1 b_3}{3}$$

- Pengaruh Utama B

$$B = \frac{\mu_{13} + \mu_{23} + \mu_{33}}{3} - \frac{\mu_{12} + \mu_{22} + \mu_{32}}{3} - \frac{\mu_{13} + \mu_{23} + \mu_{33}}{3}$$

atau

$$B = \frac{a_1 b_3 + a_2 b_3 + a_3 b_3}{3} - \frac{a_1 b_2 + a_2 b_2 + a_2 b_2}{3} - \frac{a_1 b_1 + a_1 b_2 + a_1 b_3}{3}$$

3. Pengaruh interaksi

   Untuk mengetahui apakah ada perbedaan tanggapan antara level-level dalam satu faktor tidak sama pada semua level pada faktor lain, maka harus mencari nilai interaksinya. Pengaruh interaksi diukur dari perbedaan antara pengaruh sederhana dari suatu faktor pada level yang berbeda dari faktor lainnya. Pengaruh interaksi dapat dicari seperti berikut.

$$AB = (\mu_{33} - \mu_{23} - \mu_{13}) - (\mu_{32} - \mu_{22} - \mu_{12}) - (\mu_{31} - \mu_{21} - \mu_{11})$$

atau

$$AB = (a_3 b_3 - a_2 b_3 - a_1 b_3) - (a_3 b_2 - a_2 b_2 - a_1 b_2) - (a_3 b_1 - a_2 b_1 - a_1 b_1)$$

## 2.5 Nilai Eigen

Menurut Anton & Rorres (2010), apabila ***A*** merupakan matriks dengan ordo $n \times n$, untuk vektor tak nol adalah vektor eigen dari ***A*,** jika ***Ax*** adalah perkalian skalar pada *x*, yang memenuhi persamaan:

$$\boldsymbol{Ax} = \boldsymbol{\lambda \mathrm{x}} \qquad (2.2)$$

Untuk suatu skalar λ, skalar dinamakan nilai eigen dari ***A*** dan ***x*** dan ***x*** disebut sebagai vektor eigen yang bersesuaian dengan λ. Untuk menentukan nilai eigen secara umum pada matriks ***A*** berordo $n \times n$ maka persamaan (2.2) dapat ditulis sebagai $\boldsymbol{Ax} = \boldsymbol{\lambda I x}$ atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Ax} - \boldsymbol{\lambda I x} = 0 \qquad (2.3)$$

atau

$$(\boldsymbol{A} - \boldsymbol{\lambda I})\boldsymbol{x} = 0 \qquad (2.4)$$

Karena ***x*** merupakan vektor tak nol, maka $x \neq 0$ untuk mendapatkan solusi tak trivial. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai eigen dan vektor eigen dari matriks ***A*** maka determinan dari $\boldsymbol{A} - \boldsymbol{\lambda I}$ harus sama dengan nol. Selanjutnya untuk menetukan vektor eigen dari ***A*** menggunakan persamaan berikut:

$$(\boldsymbol{\lambda I} - \boldsymbol{A})\boldsymbol{x} = 0 \qquad (2.5)$$

Dengan *x* vektor tak nol yang bersesuaian dengan nilai eigen λ merupakan ruang solusi dari persamaan (2.5).

## 2.6 Penguraian Nilai Singular

Menurut Sharma (1996), penguraian nilai singular digunakan untuk menjelaskan struktur data dengan baik. Misalkan pada matriks data ***X*** berpangkat *r* berukuran $(n \times p)$ yang berisi *n* pengamatan dan *p* peubah dikoreksi terhadap nilai rataannya, maka matriks tersebut dapat diuraikan menjadi:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{Z} &= \boldsymbol{ULV^T} \\ &= \boldsymbol{(UL^k)(VL^{1-k})} \\ &= \boldsymbol{GH^T} \end{aligned} \qquad (2.6)$$

dengan:

$\boldsymbol{Z}$ = Matriks penguraian nilai singular

$\boldsymbol{U}$ = Matriks data berukuran $n \times p$ yang dikoreksi dengan nilai tengahnya.

$\boldsymbol{L}$ = Matriks *non* singular.

$\boldsymbol{V}$ = Matriks yang diperoleh dari nilai eigen dan vektor eigen.

## 2.7 Analisis Komponen Utama (AKU)

AKU yaitu analisis statistika untuk membangun variabel baru yang merupakan kombinasi linear dari variabel asalnya. Jumlah maksimal pada variabel yang terbentuk adalah sama dengan jumlah variabel asal dan antara variabel baru tidak berhubungan (Sharma, 1996). AKU terkonsentrasi dengan penjelasan struktur variansi dan kovariansi melalui suatu kombinasi linear variabel-variabel asal, dengan tujuan utama melakukan reduksi data dan membuat interpretasi (Johnson & Wichern, 1998). AKU digunakan untuk mendapatkan sistem koordinat baru, maka informasi data sebagian terkosentrasi pada beberapa koordinat dan sisanya hanya membawa sedikit infromasi. AKU dengan penyederhanaan akan menemukan bahwa basis orthogonal menjadi basis baru (Mahmoudi, 2021). Komponen utama adalah kombinasi linear dari $p$ variabel dengan bentuk $\boldsymbol{a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_px_p}$. Secara umum pembentukan komponen utama adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{Y_1} &= \boldsymbol{a_1'x = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{p1}x_p} \\ \boldsymbol{Y_2} &= \boldsymbol{a_2'x = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{p2}x_p} \\ &\vdots \\ \boldsymbol{Y_p} &= \boldsymbol{a_p'x = a_{1p}x_1 + a_{2p}x_2 + \dots + a_{pp}x_p} \end{aligned} \qquad (2.7)$$

$\boldsymbol{Y_1}$, $\boldsymbol{Y_2}$, ..., $\boldsymbol{Y_p}$ adalah variabel yang saling bebas dengan nilai keragamannya masing-masing yaitu $Var(Y_1) = a_1' \sum a_i = \lambda_i$ dengan i = 1, 2, …, p dan $\lambda_i$ adalah nilai eigen dari komponen utama ke-$i$. Total keragaman komponen utama yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Var (Y)} &= a_{11} + a_{22} + a_{pp} \\ &= \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_p \end{aligned} \quad (2.8)$$

dengan $\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_p$ adalah nilai eigen dari komponen utama.

## 2.8 Analisis Biplot

Analisis biplot yaitu suatu metode statistika yang ditampilkan dengan cara visualisasi dengan menyatakan secara simultan suatu objek pengamatan dan peubah dengan bentuk grafik pada suatu bidang datar sehingga ciri-ciri peubah dan objek pengamatan serta posisi relatif antara objek dan pengamatan dengan peubah dapat dianalisis. Jadi dengan biplot dapat dinyatakan korelasi antarpeubah, kesamaan relatif antar objek pengamatan, serta posisi relatif antara objek pengamatan dengan peubah (Jollife & Rawlings, 1988). Informasi yang dapat diambil berdasarkan tampilan biplot yaitu hubungan antar variabel, kemiripan relatif antara objek pengamatan, serta posisi relatif antara objek pengamatan dengan variabel (Sartono, dkk., 2003). Hal-hal yang diinterpretasikan biplot yaitu:

a. Kedekatan antarobjek

   Kedekatan antarobjek dapat berfungsi dalam menjadikan petunjuk objek mana yang mempunyai partikularitas yang hampir mirip pada objek tertentu. Dua objek dengan partikularitas yang hamper mirip akan divisualisasikan sebagai dua titik yang keberedaannya berdekatan.

b. Keragaman variabel

   Keragaman variabel berfungsi dalam melihat apakahn terdapat variabel tertentu yang mempunyai nilai hampir sama pada setiap objek atau sebaliknya. Maka, dapat dinyatakan dengan variabel mana suatu skema harus diatur. Pada biplot, variabel dengan keragaman yang kecil digambarkan sebagai vektor yang pendek sedangkan variabel yang ragamnya besar digambarkan sebagai vektor yang panjang.

c. Korelasi antarvariabel

Korelasi antarvariabel berfungsi dalam menyatakan bagaimana variabel yang satu mempunyai pengaruh dengan variabel lainnya. Dengan menggunakan biplot, variabel divisualisasikan sebagai garis yang mempunyai arah. Dua variabel yang mempunyai korelasi positif tinggi akan divisualisasikan dengan garis dengan arah yang sama atau membentuk sudut lancip (kurang dari 90º), sedangkan dua variabel yang memiliki korelasi negatif tinggi akan divisualisasikan dengan bentuk dua garis dengan arah yang berlawanan atau membentuk sudut tumpul (lebih dari 90º), sedangkan dua variabel yang tidak berkorelasi akan divisualisasikan dengan bentuk dua garis dengan sudut siku-siku.

## 2.9 *Additive Main Effect And Multiplicative Interaction* (AMMI)

AMMI yaitu menguraikan pengaruh perlakuan satu dengan perlakuan lainnya secara efektif dengan menyatukan kehandalan pengaruh aditif analisis ragam dengan pengaruh multiplikasi analisis komponen utama. AMMI dapat mendeskripsikan interaksi genotip dan lingkungan dengan memunculkan pola sebaran posisi relatif antar pengaruh pada perlakuan.

AMMI mendeskripsikan interaksi genotip dengan lokasi secara efektif. Penguraian pengaruh interaksi pada AMMI digunakan dengan model bilinear, maka kesesuaian tempat tumbuh bagi genotip maka dapat dipetakan dengan lengkap. Model analisis AMMI menggabungkan analisis ragam sebagai parameter multiplikatif ke dalam model analisis tunggal. Bentuk multiplikatif pada pengaruh interaksi genotip dan lokasi dihitung dengan AKU yaitu dengan melakukan penguaraian menjadi komponen-komponen utama interaksi yang memiliki peluang secara berurutan dimulai dari tidak adanya KUI sampai ke seluruh KUI masuk ke dalam model. Pengaruh interaksi genotip dan lokasi dimodelkan dengan pemodelan bilinear. Pemodelan bilinear memiliki tujuan yaitu melakukan peguraian jumlah kuadrat interaksi genotip dan lokasi menjadi jumlah kuadrat KUI.

Model linier untuk rancangan faktorial dua faktor dengan dasar metode AMMI adalah sebagai berikut :

$$Y_{ger} = \sum_{r=1}^{n} \sqrt{\lambda_i}\phi_{gr}\rho_{er}$$

$$= \sqrt{\lambda_1}\phi_{g1}\rho_{e1} + \dots + \sqrt{\lambda_n}\phi_{gn}\rho_{en} \qquad (2.9)$$

Sehingga, model AMMI secara lengkap dapat ditulis sebagai berikut.

$$Y_{ger} = \mu + \tau_g + \beta_e + \sum_{r=1}^{n} \sqrt{\lambda_i}\phi_{gr}\rho_{er} + (\tau\beta)_{ge} + \varepsilon_{ger} \; ; \qquad (2.10)$$

g = 1, 2, …, a e = 1, 2, …, b r = 1, 2, …, n

dengan:

$Y_{ger}$ = nilai pengamatan dari ulangan ke-r, taraf ke-g dari faktor A dan taraf ke-e dari faktor B

$\mu$, $\tau_g$ , $\beta_e$ = komponen dari pengaruh utama faktor A dan faktor B parameter

$\sqrt{\lambda_i}$ = nilai singular untuk komponen bilinier ke-r

$\phi_{gr}$= pengaruh ganda faktor A ke-g melalui komponen bilinier ke-r

$\rho_{er}$= pengaruh ganda faktor B ke-e melalui komponen bilinier ke-r

.

# III. METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester ganjil Tahun Ajaran 2022/2023 bertempat di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

## 3.2 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah data yang dibangkitkan dengan menggunakan *software R-Studio*. Data yang dibangkitkan adalah data Faktorial RAL model tetap berukuran 3×3 yaitu 3 level faktor A, 3 level faktor B yang diulang sebanyak 3. Data dibangkitkan dengan ragam galat yang homogen dan berdistribusi normal dengan replikasi sebanyak 2.

## 3.3 Metode Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan simulasi data Faktorial RAL model tetap berukuran 3×3 dengan 3 level faktor A, 3 level faktor B dan 3 ulangan. Data dibangkitkan

dengan ragam galat yang homogen dan berdistribusi normal dengan replikasi sebanyak 2 dengan model sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \; ;$$

$$i = 1, 2, 3 \;\; j = 1, 2\ 3 \; k = 1, 2, 3$$

Nilai dari setiap parameter model Faktorial RAL ditentukan sebagai berikut:

- $\mu$ = 9;
- $\tau_1$= -1.5, $\tau_2$ = 1.0, $\tau_3$= 0.5 dengan $\sum_{i=1}^{3} \tau_i$ = 0;
- $\beta_1$= 2.5, $\beta_2$= 1.0, $\beta_3$= -3.5 dengan $\sum_{j=1}^{3} \beta_j$ = 0;
- $(\tau\beta)_{11}$= -3.75, $(\tau\beta)_{12}$= -1.5, $(\tau\beta)_{13}$= 5.25, $(\tau\beta)_{21}$= 2.5, $(\tau\beta)_{22}$= 1.0, $(\tau\beta)_{23}$= -3.5, $(\tau\beta)_{31}$= 1.25, $(\tau\beta)_{32}$= 0.5, $(\tau\beta)_{33}$= -1.75 dengan $\sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} (\tau\beta)_{ij} = 0$.

2. Memeriksa asumsi-asumsi yaitu asumsi normalitas data, asumsi kehomogenan ragam, dan asumsi kebebasan galat.
3. Melakukan perhitungan analisis ragam.
4. Melakukan perhitungan pengaruh faktorial.
5. Melakukan analisis AMMI sebagai berikut:
   a. Melakukan perhitungan analisis ragam untuk model AMMI.
   b. Mencari nilai eigen.
   c. Menentukan banyaknya komponen utama interaksi (KUI) dengan menggunakan rumus $\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} \times 100$.
   d. Mencari data rata-rata terkoreksi dan mencari nilai singular.
   e. Mencari matriks G dan H.
   f. Menentukan model terbaik.
   g. Melakukan interpretasi hasil AMMI dengan biplot.
6. Menarik kesimpulan.

# V. KESIMPULAN

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa model terbaik dari data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama dan data faktorial RAL 3×3 simulasi kedua dengan menggunakan metode *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (AMMI) adalah model AMMI1. Pada data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama dan data faktorial RAL 3×3 simulasi kedua menggunakan metode klasik dan metode AMMI yaitu mempunyai kesimpulan bahwa $H_1$ diterima karena terdapat taraf level yang berbeda dari masing-masing faktor baik pada pengaruh utama faktor A, pengaruh utama faktor B maupun pengaruh interaksi AB yang artinya bahwa terdapat interaksi pada data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama dan data faktorial RAL 3×3 simulasi kedua. Lalu didapatkan pada metode klasik interaksi terkuat terdapat pada data faktorial RAL 3×3 simulasi pertama.

## 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya dengan menggunakan metode AMMI dapat dicoba dengan menggunakan data dengan galat heteroskedastistitas.

## DAFTAR PUSTAKA


Anton, H. & Rorres, C. 2010. *Elementary Linear Algebra Applications Version Tenth Edition*. John Willey & Sonc, Florida.

Cohen, J. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2*nd* Edition. Lawrence Erlbaum Associates, New York.

Dean, A. & Voss D. 1999. *Design and Analysis of Experiments*. Springer Verlag, New York.

Hadi, A.F. & Sa'diyah. 2004. Model AMMI Untuk Analisis Interaksi Genotip x Lokasi. *Jurnal Ilmu Dasar*. **5**(1): 33-41.

Gaspersz, V. 1991. *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*. Tarsito, Bandung.

Irawaty, Anisa, & Herdiani, T.E. 2018. Perbandingan Nilai Fraksi pada Rancangan Faktor Fraksional $2^k$ dengan Metode Bissel dan Aplikasinya pada Kasus Perkecambahan Kacang Hijau. *Jurnal Matematika, Statistika & Komputasi*. **14**(2): 192-201.

Hartati, A., Wuryandari T., & Wilandari Y. 2013. Analisis Varian Dua Faktor Dalam Rancangan Pengamatan Berulang. *Jurnal Gaussian*. **2**(4): 279-288.

Herawati, N., Setiawan E., & Nisa, K. 2018. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi SAS*. Pustaka Media, Bandar Lampung.

Johnson, R.A. & Wichern, D.W. 1998. *Applied Multivariated Statistical Analysisis*. 2*nd* Edition. Prentice-Hall International, New Jersey.

Jollife, I.T. 2002. *Principal Component Analysis*. 2nd Edition. Springer, New York.

Mattjik, A.A. 2005. *Interaksi Genotipe Dan Lingkungan Dalam Penyediaan Sumberdaya Unggul*. Naskah Orasi Ilmiah Guru Besar Biometrika. FMIPA, IPB.

Mattjik, A.A. & Sumertajaya I.M. 2002. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. Edisi ke-2. IPB Press, Bogor.

Montgomerry, D. C. 2012. *Design and Analysis of Experiments*. 7th Edition. John Wiley & Sons, USA.

Sartono. B., Affendi FM., Syafitri UD., Sumertajaya IM., & Anggraeni Y. 2003. *Modul Teori Analisis Peubah Ganda*. IPB, Bogor.

Sholihin. 2009. The Genotypes x Environment Interaction for Starch Yield in Nine-month Old Cassava Promising Clones. *Indonesian Journal of Agriculutural Science*. **10**(1): 12-18.

Sharma, S. 1996. *Applied Multivariate Techniques*. Willey, New York.

Zaki A., Wuryandari T., & Suparti. 2014. Analisis Varian Percobaan Faktorial Dua Faktor RAKL dengan Metode Fixed Main Effects And Multiplicative Interaction. *Jurnal Gaussian*. **3**(4): 529-536.