*MIXED ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (*M-AMMI*) **DAN APLIKASINYA**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains**

**Oleh**

**Rani Rahayu Prihartini**

**NIM. 07305144001**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA**

**JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2011**

**PERSETUJUAN**

***MIXED ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (*M-AMMI*) DAN APLIKASINYA**

Oleh
Rani Rahayu Prihartini
NIM. 07305144001

**SKRIPSI**

Telah disetujui pada tanggal
5 April 2011
Untuk diujikan di depan Panitia Penguji Skripsi Prodi Matematika
Jurusan Pendidikan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Pembimbing,

Retno Subekti, M.Sc
NIP. 198111162005012002

ii

**PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

***MIXED ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (*M-AMMI*) DAN APLIKASINYA**

Oleh
Rani Rahayu Prihartini
NIM. 07305144001

Telah diujikan di depan Dewan Penguji Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta pada tanggal 15 April 2011 dan dinyatakan telah memenuhi syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains.

Susunan Dewan Penguji

| Nama | Jabatan | Tanda Tangan | Tanggal |
|---|---|---|---|
| Retno Subekti, M.Sc<br>NIP. 19811162005012002 | Ketua Penguji | ................... | 28/4/2011 |
| Kismiantini, M.Si<br>NIP. 197908162001122001 | Sekretaris Penguji | ................... | 28/4/2011 |
| Elly Arliani, M.Si<br>NIP. 196708161992032001 | Penguji Utama | ................... | 28/4/2011 |
| Mathilda Susanti, M.Si<br>NIP. 196403141989012001 | Penguji Pendamping | ................... | 28/4/2011 |

Yogyakarta, April 2011
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,

Dr. Ariswan
NIP. 195909141988031003

iii

## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Rani Rahayu Prihartini |
| NIM | : | 07305144001 |
| Prodi / Jurusan | : | Matematika / Pendidikan Matematika |
| Fakultas | : | Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam |
| Judul Skripsi | : | *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*) dan Aplikasinya. |

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau pendapat yang telah ditulis atau telah digunakan sebagai persyaratan penyelesaian studi di perguruan tinggi lain kecuali pada bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya dan saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 5 April 2011

Yang menyatakan,

Rani Rahayu Prihartini

NIM. 07305144001



iv

## MOTTO

"Jadikanlah sholat dan sabar sebagai penolongmu"

(Q.S Al-Baqoroh: 45)

Ujian yang diberikan oleh Allah SWT ibarat obat. Terasa pahit, namun mengandung kesembuhan. Jika dihadapi dengan kesabaran tentu berbuah kebaikan.

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan yang lain) dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap"

(Q.S. Al-Insyirah: 6 – 8)

"Janganlah engkau bersedih, sesungguhnya Allah selalu bersama kita"

(Q.S. At-Taubah : 40)

"Dan apabila dikatakan: 'Berdirilah kamu, maka berdirilah', niscaya Allah akan meninggikan (derajat) orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan"

(Q.S Al Mujaadilah: 11)

# PERSEMBAHAN

Penuh rasa syukur kepada Allah SWT, skripsi ini aku persembahkan kepada :

Ibuku tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan nasihat dalam setiap langkahku menuntut ilmu.
Semoga Ibu selalu dalam lindungan Allah SWT.

Akhmad Syahid yang telah mengukir hidupku hingga bermakna.
Kau adalah inspirasiku, dorongan semangatmu membuat langkahku menjadi ringan tanpa ragu.

Sahabatku Erni yang telah berkenan berbagi suka dan duka.
Semoga persahabatan kita tetap abadi.

Teman-temanku, saudara-saudaraku dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan doa.
Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan barokah-Nya untuk kita semua. Amin.

# KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kemudahan sehingga skripsi yang berjudul "*Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*) dan Aplikasinya" dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan program sarjana (S-1) di Program Studi Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta dan juga untuk menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang diperoleh selama perkuliahan.

Penyusunan skripsi ini tentunya tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ariswan selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta dan jajarannya yang telah memberikan ijin dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Hartono selaku Kajurdik Matematika FMIPA UNY yang telah memberikan ijin dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Atmini Dhoruri MS selaku Kaprodi Matematika, yang telah memberikan ijin dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Retno Subekti, M.Sc selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Musthofa, S.Si selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.

6. Dosen penguji utama dan anggota penguji yang telah memberikan masukan sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
7. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY yang telah telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Seluruh mahasiswa Prodi Matematika UNY khususnya angkatan 2007 yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Semua pihak atas dukungan dan bantuannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga dukungan yang telah Bapak/Ibu/Saudara berikan, mendapatkan balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih ada kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat meberikan manfaat bagi pembaca baik di masa sekarang maupun di masa yang akan datang.

Yogyakarta, 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

# DAFTAR TABEL

## DAFTAR GAMBAR

## DAFTAR LAMPIRAN

***MIXED ADDITIVE MAIN EFFECTS AND MULTIPLICATIVE INTERACTION* (*M-AMMI*) DAN APLIKASINYA**

Oleh
Rani Rahayu Prihartini
NIM. 07305144001

## ABSTRAK

Analisis *AMMI* merupakan suatu teknik analisis data yang diterapkan pada percobaan multilokasi untuk mengkaji *GEI* (*Genotypes Enviromental Interaction*). Pada percobaan multilokasi rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan dua faktor dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL). Faktor-faktor yang dilibatkan pada percobaan ini adalah genotipe dan lokasi. Pengelompokan dilakukan karena kondisi lahan yang digunakan dalam percobaan tidak bisa dijamin kehomogenannya misalkan karena kondisi lahan yang tidak rata.

Analisis *AMMI* mengasumsikan genotipe dan lokasi sebagai faktor tetap. Jika lokasi diasumsikan sebagai faktor acak, maka analisis yang digunakan adalah *M-AMMI*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguraikan pengaruh interaksi genotipe dan lokasi secara efektif pada percobaan multilokasi dengan analisis *M-AMMI*. Analisis *M-AMMI* dalam perhitungannya menggunakan analisis ragam percobaan dua faktor dalam RAKL model campuran untuk menguji pengaruh interaksi dan analisis komponen utama untuk menguraikan pengaruh interaksi. Adapun langkah- langkah analisis data dengan *M-AMMI* adalah (1) melakukan uji asumsi analisis ragam (2) menguji pengaruh interaksi dengan analisis ragam, (3) menghitung Komponen Utama Interaksi (KUI) dengan analisis komponen utama, (4) analisis ragam dengan *M-AMMI* (5) menentukan banyaknya KUI yang masuk ke dalam model, (6) menentukan nilai KUI, (7) interpretasi hasil analisis *M-AMMI* dengan biplot.

Aplikasi *M-AMMI* diterapkan pada data hasil produksi padi yang terdiri dari 7 genotipe padi yang dicobakan di 4 lokasi. Berdasarkan analisis ragam disimpulkan bahwa hasil produksi padi dipengaruhi oleh interaksi antara faktor genotipe dengan lokasi. Analisis komponen utama menghasilkan empat KUI yaitu $KUI_1$, $KUI_2$, $KUI_3$, dan $KUI_4$. Namun, KUI yang signifikan berdasarkan metode *postdictive success* adalah $KUI_1$, $KUI_2$, dan $KUI_3$ sehingga dalam aplikasi ini diperoleh model $AMMI_3$. Interpretasi biplot menunjukkan genotipe G1 dan G6 berinteraksi positif dengan lokasi L3 sebaliknya berinteraksi negatif dengan lokasi L1, L2, dan L4. Genotipe G2, G3, G4, G5, dan G7 berinteraksi positif dengan lokasi L1, L2, dan L4 sebaliknya berinteraksi negatif dengan lokasi L3. Genotipe G3 tidak dapat beradaptasi dengan stabil jika dicobakan pada lokasi L1, L2, dan L4, sedangkan untuk genotipe G1 dapat beradaptasi stabil jika dicobakan pada lokasi L3.

# BAB I

# PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang

Salah satu usaha manusia untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi adalah dengan melakukan penelitian. Penelitian merupakan suatu proses belajar yang terarah mengenai suatu masalah dan dilakukan secara iteratif (berulang). Penggunaan statistika dalam penelitian dimaksudkan agar penelitian sebagai suatu proses belajar menjadi lebih efisien.

Prosedur dalam suatu penelitian dikenal sebagai metode ilmiah (*scientific method*) yang meliputi fakta observasi, hipotesis, dan percobaan (Hanafiah, 2004: 19). Percobaan adalah suatu tindakan yang dirancang untuk menguji keabsahan dari hipotesis yang diajukan. Tujuan diadakannya suatu percobaan adalah untuk memperoleh keterangan tentang bagaimana perlakuan yang akan diberikan oleh suatu objek pada berbagai keadaan tertentu yang ingin diperhatikan (Gaspersz, 1991: 18).

Sebagian besar percobaan dalam suatu penelitian meliputi lebih dari satu faktor yang diamati. Pada situasi ini, percobaan yang digunakan adalah percobaan faktorial. Percobaan faktorial dicirikan dengan perlakuan yang merupakan kombinasi dari semua kemungkinan kombinasi dari taraf-taraf faktor yang dicobakan (Mattjik & Sumertajaya, 2000: 118). Pada percobaan faktorial, selain dapat diketahui pengaruh-pengaruh tunggal faktor yang diujikan dapat diketahui pula pengaruh gabungan (interaksi) dari masing-masing faktor yang diujikan.

Percobaan faktorial dengan klasifikasi dua faktor, sering ditemukan pada percobaan multilokasi (*multilocation*). Pada percobaan multilokasi rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan dua faktor dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL). Faktor-faktor yang dilibatkan pada percobaan ini adalah faktor genotipe dan faktor lokasi. Genotipe (harafiah berarti "tipe gen") adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan genetik dari suatu individu atau sekumpulan individu. Faktor lokasi mencakup tempat dimana percobaan itu dilakukan. Pengelompokan dilakukan karena kondisi lahan yang digunakan dalam percobaan tidak bisa dijamin kehomogenannya misalkan kondisi lahan yang tidak rata. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengelompokan yang relatif homogen untuk mengendalikan keragaman yang muncul akibat keheterogenan kondisi lahan (Mattjik & Sumertajaya, 2000: 207).

Percobaan multilokasi memegang peranan penting dalam penelitian-penelitian di bidang agronomi dan banyak ditemukan pada percobaan lapangan yang dilakukan untuk mengkaji pengaruh genotipe pada berbagai kondisi lingkungan. Permasalahan yang sering dihadapi pada percobaan multilokasi adalah bagaimana menguraikan pengaruh interaksi genotipe dan lokasi secara efektif. Analisis ragam (*Analysis of Variance*) hanya menjelaskan keefektifan pengaruh utama dan menguji pengaruh interaksi tetapi tidak mampu menentukan pola genotipe atau lokasi untuk meningkatkan pengaruh interaksi. Sedangkan analisis komponen utama (*Principal Component Analysis*) hanya efektif menjelaskan pengaruh interaksi tanpa menerangkan pengaruh utamanya (Mattjik & Sumertajaya, 2000: 207-208).

Suatu analisis yang dapat menguraikan pengaruh interaksi genotipe dan lokasi secara efektif pada percobaan multilokasi adalah analisis *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*AMMI*). Analisis *AMMI* menggabungkan pengaruh utama aditif pada analisis ragam dan pengaruh multiplikatif untuk pengaruh interaksi pada analisis komponen utama. Selain itu, analisis *AMMI* juga digunakan untuk mengkaji *GEI* (*Genotypes Enviromental Interaction*). *GEI* dinyatakan sebagai suatu perubahan keragaman dari dua atau beberapa genotipe pada dua atau beberapa lokasi yang berbeda. Kajian *GEI* penting dalam percobaan multilokasi karena hasilnya untuk menduga dan menyeleksi genotipe-genotipe yang dapat beradaptasi stabil dan berinteraksi positif pada lokasi-lokasi yang dicobakan.

Analisis *AMMI* pada percobaan multilokasi mengasumsikan genotipe dan lokasi sebagai faktor tetap. Jika lokasi diasumsikan sebagai faktor acak, maka analisis yang digunakan adalah *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*). Analisis *M-AMMI* pada percobaan multilokasi dalam perhitungannya menggunakan analisis ragam percobaan dua faktor dalam RAKL model campuran untuk menguji pengaruh interaksi dan analisis komponen utama untuk menguraikan pengaruh interaksi.

Oleh karena itu, untuk menguraikan pengaruh interaksi genotipe dengan lokasi secara efektif pada percobaan multilokasi dengan menggunakan analisis *AMMI*, tetapi lokasi diasumsikan sebagai faktor acak maka skripsi ini akan membahas *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*) dan Aplikasinya.

## B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana analisis data dengan *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*) ?
2. Bagaimana aplikasi *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*) pada data percobaan multilokasi?

## C. Tujuan Penulisan

Sesuai dengan rumusan masalah, maka tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Menjelaskan analisis data dengan *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*).
2. Menjelaskan aplikasi *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*) pada data percobaan multilokasi.

## D. Manfaat Penulisan

Penulisan skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

a. Bagi penulis sendiri, dapat memperdalam ilmu tentang Rancangan Percobaan dan Statistika Multivariat yang pernah diperoleh selama perkuliahan.

b. Bagi para pembaca, dapat membantu menganalisis data percobaan multilokasi dengan menggunakan *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*).

c. Bagi perpustakaan Jurusan Pendidikan Matematika UNY, dapat bermanfaat dalam hal menambah referensi dan sumber belajar bagi mahasiswa Jurusan Pendidikan Matematika.

**BAB II**

**LANDASAN TEORI**

## A. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan merupakan prosedur untuk menempatkan perlakuan kedalam unit-unit percobaan dengan tujuan utama mendapatkan data yang memenuhi persyaratan ilmiah (Yitnosumarto,1990: 3).

Beberapa istilah dalam rancangan percobaan yang harus dikenal menurut Mattjik & Sumertajaya (2000: 64-65) antara lain :

a. Perlakuan (*treatment*), yaitu suatu prosedur atau metode yang diterapkan pada unit percobaan. Prosedur atau metode yang diterapkan dapat berupa pemberian pupuk dengan jenis yang berbeda, dosis pemupukan yang berbeda, jenis varietas yang berbeda, jenis pakan yang berbeda atau kombinasi dari semua taraf-taraf beberapa faktor.
b. Unit percobaan, yaitu unit terkecil yang diberi suatu perlakuan. Unit terkecil ini bisa berupa petak lahan, individu, sekandang ternak dan lain-lain tergantung dari bidang penelitian yang sedang dipelajari.
c. Unit amatan, yaitu unit terkecil dari unit percobaan tempat dimana respon perlakuan diukur.

Prinsip-prinsip dasar dalam rancangan percobaan menurut Mattjik & Sumertajaya (2000: 61-63) yaitu :

a. Ulangan

Ulangan merupakan pengalokasian suatu perlakuan tertentu terhadap beberapa unit percobaan pada kondisi yang seragam. Pengulangan bertujuan untuk menduga ragam dari galat percobaan, menduga galat baku (*standard error*) dari rataan perlakuan, meningkatkan ketepatan percobaan dan memperluas kesimpulan percobaan yaitu melalui pemilihan dan penggunaan satuan-satuan percobaan yang lebih bervariasi.

b. Pengacakan

Pengacakan adalah setiap unit percobaan harus memiliki peluang yang sama untuk diberi suatu perlakuan tertentu. Pengacakan perlakuan pada unit-unit percobaan dapat menggunakan tabel bilangan acak, sistem lotere secara manual atau dapat juga menggunakan komputer.

c. Pengendalian lingkungan

Pengendalian lingkungan merupakan usaha untuk mengendalikan keragaman yang muncul akibat keheterogenan kondisi lingkungan. Usaha-usaha pengendalian lingkungan yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan pengelompokan (*blocking*) satu arah, dua arah maupun multi arah. Pengelompokan dikatakan baik jika keragaman di dalam kelompok lebih kecil dibandingkan dengan keragaman antar kelompok

**1. Analisis Ragam (*Analysis of Variance*)**

Analisis ragam merupakan suatu metode yang digunakan untuk menguraikan jumlah kuadrat total menjadi beberapa komponen yang berhubungan dengan sumber keragaman yang diketahui (Steel & Torrie, 1993: 168).

Asumsi-asumsi yang mendasari analisis ragam dalam suatu rancangan percobaan menurut Mattjik & Sumertajaya (2000: 231-233) adalah sebagai berikut :

a) Model bersifat aditif.

b) Galat percobaan memiliki ragam yang homogen.

c) Galat percobaan menyebar normal.

d) Galat percobaan saling bebas.

Pengujian pada asumsi-asumsi analisis ragam yaitu :

a) Pengujian keaditifan model

Pengujian untuk menunjukkan ada tidaknya non-aditivitas pengaruh tergantung pada rancangan atau model yang digunakan (Yitnosumarto, 1993: 169). Pada percobaan dua faktor dalam RAKL, pengujian keaditifan model dapat dilakukan dengan menggunakan uji Tukey . Langkah-langkah pengujiannya yaitu :

1) Hipotesis

$H_0$ : Model bersifat aditif.

$H_1$ : Model tidak bersifat aditif.

2) Taraf nyata : α

3) Statistik uji :

$$F_{hitung} = \frac{KT_{(non-aditifitas)}}{KTG}$$

dengan :

$$JK_{(non-aditifitas)} = \frac{Q^2}{r\sum_{i=1}^{a}(Y_{i..} - \bar{Y}_{...})^2 \sum_{j=1}^{b}\left(Y_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)^2}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})\left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)Y_{ij.}$$

$$KT_{(non-aditifitas)} = \frac{JK_{(non-aditifitas)}}{db(non - aditifitas)}$$

db(non-aditifitas) = 1

JKG = JKT – JKK – JKP – $JK_{(non\text{-}aditifitas)}$

$$FK = \frac{Y_{...}{}^2}{abr}$$

$$JKT = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk}\right)^2 - FK$$

$$JKK = \sum_{k=1}^{r}\frac{(Y_{..k})^2}{ab} - FK$$

$$JKP = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{\left(Y_{ij.}\right)^2}{r} - FK$$

$$KTG = \frac{JKG}{db(G)}\ ; db(G) = (ab - 1)(r - 1)$$

4) Kriteria keputusan

   $H_0$ ditolak jika $F_{hitung} > F_{\alpha(1,dbG)}$

5) Perhitungan

6) Kesimpulan

b) Pengujian kehomogenan ragam galat

Pengujian kehomogenan ragam galat dapat dilakukan dengan membuat plot antara nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$. Plot antara nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$ dapat dibuat dengan menggunakan *software SPSS*. Langkah-langkahnya yaitu :

1) Pada *Variable View* definisikan :

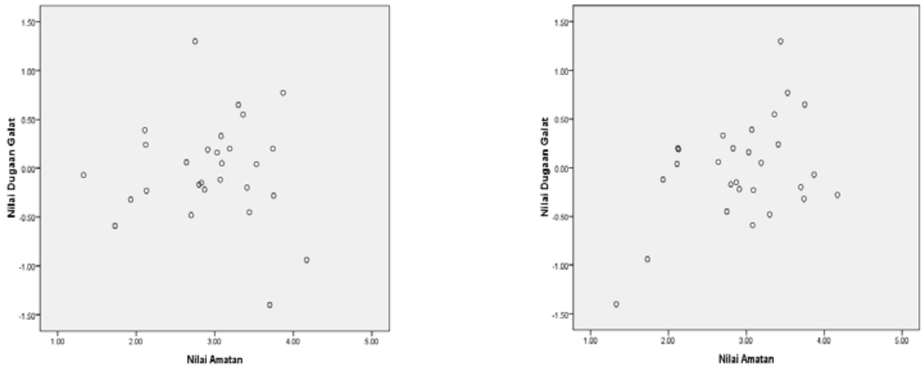
   Variabel nilai amatan dengan *name* : amatan, *type* : numeric, *label* : nilai amatan, dan *measure* : scale.

   Variabel nilai dugaan galat dengan *name* : galat, *type* : numeric, *label* : nilai dugaan galat, dan *measure* : scale.

2) Pada *Data View* masukkan nilai dugaan galat dan nilai amatan.

3) Pilih menu *Graphs*, pilih *Legacy Dialogs,* pilih *Scatter / Dot* pilih *Simple Scatter*, pilih *Define*. Pada kotak *Y Axis* pindahkan variabel galat dan pada kotak *X Axis* pindahkan variabel amatan.

4) Pilih OK, maka akan muncul output plot antara nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$.




(a) (b)

Gambar 2.1 Contoh output plot antara nilai dugaan galat dengan nilai amatan untuk uji kehomogenan ragam galat.

Pada gambar 2.1 (a) dapat dilihat bahwa plot yang dibuat tidak membentuk pola maka dapat disimpulkan bahwa ragam galat homogen sedangkan pada gambar 2.1 (b) plot yang dibuat membentuk pola maka dapat disimpulkan bahwa ragam galat tidak homogen.

c) Pengujian kenormalan galat

Pengujian kenormalan galat dapat dilakukan dengan melihat hasil output dari *P-P Plots*. Langkah-langkah untuk membuat *P-P Plots* dengan *software SPSS* yaitu :

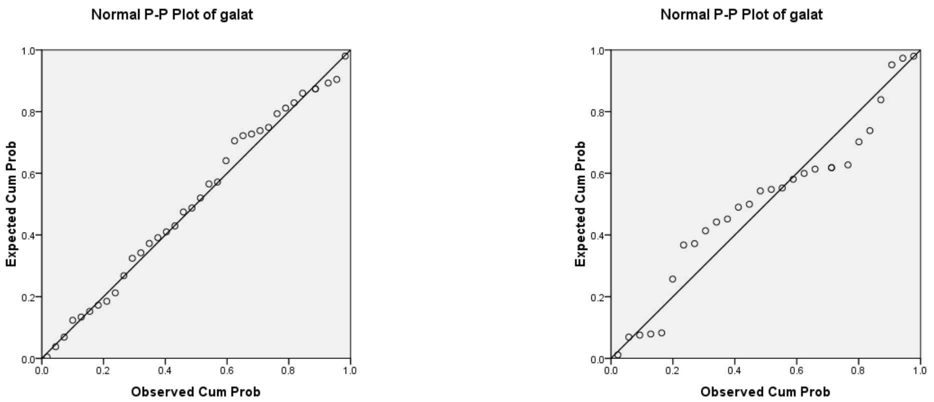
1) Pada *Variable View* definisikan :

   Variabel nilai dugaan galat dengan *name* : galat, *type* : numeric, *label* : nilai dugaan galat, dan *measure* : scale.

2) Pada *Data View* masukkan nilai dugaan galat.

3) Pilih menu *Analyze*, pilih *Descriptive Statistics*, pilih *P-P Plots* Pada kotak *variables* pindahkan variabel galat. Pilihan yang lain *default*.

4) Pilih OK, maka akan muncul output *P-P Plots*.



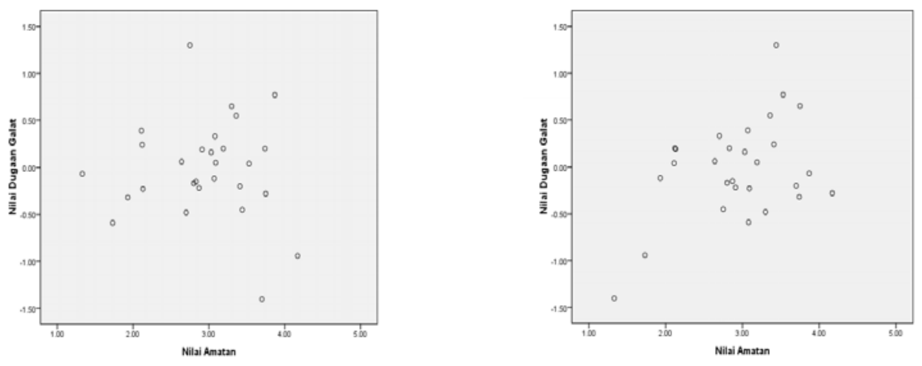

(a) (b)

Gambar 2.2 Contoh output *P-P Plots* untuk nilai dugaan galat.

Pada gambar 2.2 (a) dapat dilihat bahwa pola pemencaran titik-titik dalam plot membentuk garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal maka dapat disimpulkan bahwa galat percobaan menyebar normal sedangkan pada gambar 2.2 (b) pola pemencaran titik-titik dalam plot tidak membentuk garis diagonal dan tidak mengikuti arah garis diagonal maka dapat disimpulkan bahwa galat percobaan tidak menyebar normal.

d) Pengujian kebebasan galat

Pengujian kebebasan galat dapat dilakukan dengan membuat plot antara nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$. Langkah-langkah membuat plot antara nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$ menggunakan *software SPSS* sama seperti pada pengujian kehomogenan ragam galat.




(a) (b)

Gambar 2.3 Contoh output plot antara nilai dugaan galat dengan nilai amatan untuk uji

Pada gambar 2.3 (a) dapat dilihat plot yang dibuat menunjukkan titik-titik menyebar secara acak (berfluktuasi secara acak disekitar nol) maka dapat disimpulkan bahwa galat menyebar bebas sedangkan pada gambar 2.3 (b) plot yang dibuat tidak menunjukkan titik-titik menyebar secara acak (tidak berfluktuasi secara acak disekitar nol) maka dapat disimpulkan bahwa galat tidak menyebar bebas.

**2. Percobaan Dua Faktor dalam RAKL**

Percobaan faktorial adalah percobaan yang semua (hampir semua) perlakuan suatu faktor tertentu dikombinasikan atau disilangkan dengan semua (hampir semua) perlakuan tiap faktor lainnya yang ada pada percobaan itu (Sudjana, 2002: 109).

Faktor dalam percobaan faktorial didefinisikan sebagai variabel yang dikontrol oleh peneliti misalnya varietas, jenis pupuk, suhu, jenis tanah, dan sebagainya (Setiawan, 2009: 3), sedangkan pada percobaan multilokasi faktor-faktor yang dilibatkan hanya faktor genotipe dan faktor lokasi. Genotipe merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan keadaan genetik dari suatu individu atau sekumpulan individu. Faktor lokasi mencakup tempat dimana percobaan itu dilakukan (Mattjik & Sumertajaya, 2000: 207).

Percobaan faktorial dapat juga diaplikasikan terhadap seluruh unit-unit percobaan secara berkelompok. Hal ini dilakukan jika unit percobaan yang digunakan tidak homogen. Percobaan ini sering disebut percobaan dua faktor dalam RAKL. Pengelompokan dalam suatu RAKL dilakukan dengan maksud untuk memperkecil galat percobaan, hal ini sering disebut dengan pengendalian galat. Pengacakan pada percobaan ini dilakukan secara lengkap per kelompok artinya hasil pengacakan untuk menempatkan perlakuan dalam suatu kelompok tidak boleh digunakan lagi untuk kelompok lainnya.

Tabel 2.1. Tabulasi Data Percobaan Dua Faktor dalam RAKL

| Faktor A | Blok | Faktor B | | | | Total($Y_{i..}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | … | j | |
| 1 | 1 | $Y_{111}$ | $Y_{121}$ | … | $Y_{1j1}$ | $Y_{1.1}$ |
| | 2 | $Y_{112}$ | $Y_{122}$ | … | $Y_{1j2}$ | $Y_{1.2}$ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | k | $Y_{11k}$ | $Y_{12k}$ | … | $Y_{1jk}$ | $Y_{1.k}$ |
| | Total($Y_{1j.}$) | $Y_{11.}$ | $Y_{12.}$ | … | $Y_{1j.}$ | $Y_{1..}$ |
| 2 | 1 | $Y_{211}$ | $Y_{221}$ | … | $Y_{2j1}$ | $Y_{2.1}$ |
| | 2 | $Y_{212}$ | $Y_{222}$ | … | $Y_{2j2}$ | $Y_{2.2}$ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | k | $Y_{21k}$ | $Y_{22k}$ | … | $Y_{2jk}$ | $Y_{2.k}$ |
| | Total($Y_{2j.}$) | $Y_{21.}$ | $Y_{22.}$ | … | $Y_{2j.}$ | $Y_{2..}$ |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| i | 1 | $Y_{i11}$ | $Y_{i21}$ | … | $Y_{ij1}$ | $Y_{i.1}$ |
| | 2 | $Y_{i12}$ | $Y_{i22}$ | … | $Y_{ij2}$ | $Y_{i.2}$ |
| | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| | k | $Y_{i1k}$ | $Y_{i2k}$ | … | $Y_{ijk}$ | $Y_{i.k}$ |
| | Total($Y_{ij.}$) | $Y_{i1.}$ | $Y_{i2.}$ | … | $Y_{ij.}$ | $Y_{i..}$ |
| Total($Y_{.j.}$) | | $Y_{.1.}$ | $Y_{.2.}$ | … | $Y_{.j.}$ | $Y_{...}$ |

Model linear aditif dari percobaan dua faktor dalam RAKL adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk} \qquad (2.1)$$

dengan $i$ = 1,2,…,a ; $j$ = 1,2,…,b ; $k$ = 1,2,…,r

dimana :

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

$\mu$ = nilai rataan umum

$\alpha_i$ = pengaruh utama faktor A taraf ke-$i$

$\beta_j$ = pengaruh utama faktor B taraf ke-$j$

$(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi dari faktor A dan faktor B

$\rho_k$ = pengaruh kelompok ke-$k$ (diasumsikan tidak berinteraksi dengan perlakuan)

$\varepsilon_{ijk}$ = pengaruh acak pada perlakuan ke-$i$, perlakuan ke-$j$ dan kelompok ke-$k$ ($\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$)

i) Asumsi untuk model tetap :

$$\sum_{i=1}^{a} \alpha_i = 0 \; ; \sum_{j=1}^{b} \beta_j = 0 \; ; \sum_{i=1}^{a} (\alpha\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^{b} (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

ii) Asumsi untuk model acak :

$$\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2) \; ; \; \beta_j \sim N(0, \sigma_\beta^2) \; ; \; (\alpha\beta)_{ij} \sim N(0, \sigma_{\alpha\beta}^2)$$

Dengan metode kuadrat terkecil diperoleh penduga parameter-parameter sebagai berikut :

| Parameter | Penduga | |
|---|---|---|
| $\mu$ | $\hat{\mu} = \bar{Y}_{...}$ | (2.2) |
| $\alpha_i$ | $\hat{\alpha}_i = \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}$ | (2.3) |
| $\beta_j$ | $\hat{\beta}_j = \bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}$ | (2.4) |
| $\rho_k$ | $\hat{\rho}_k = \bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...}$ | (2.5) |
| $(\alpha\beta)_{ij}$ | $\widehat{(\alpha\beta)}_{ij} = \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}$ | (2.6) |

Secara matematis ditulis :

$$Y_{i..} = \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} Y_{ijk} \qquad \bar{Y}_{i..} = \frac{1}{br} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} Y_{ijk}$$

$$Y_{.j.} = \sum_{i=1}^{a} \sum_{k=1}^{r} Y_{ijk} \qquad \bar{Y}_{.j.} = \frac{1}{ar} \sum_{i=1}^{a} \sum_{k=1}^{r} Y_{ijk}$$

$$Y_{..k} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ijk} \qquad\qquad \bar{Y}_{..k} = \frac{1}{ab}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ijk}$$

$$Y_{ij.} = \sum_{k=1}^{r} Y_{ijk} \qquad\qquad \bar{Y}_{ij.} = \frac{1}{r}\sum_{k=1}^{r} Y_{ijk}$$

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} Y_{ijk} \qquad\qquad \bar{Y}_{...} = \frac{1}{abr}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} Y_{ijk}$$

Penguraian penduga parameter sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \rho_k + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

maka

$$\varepsilon_{ijk} = Y_{ijk} - \mu - \alpha_i - \beta_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij} \tag{2.7}$$

$$Q = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} {\varepsilon_{ijk}}^2 = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(Y_{ijk} - \mu - \alpha_i - \beta_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij}\right)^2 \tag{2.8}$$

Penduga untuk μ :

$$\frac{dQ}{d\mu} = -2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \alpha_i - \beta_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$-2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \alpha_i - \beta_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \alpha_i - \beta_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}Y_{ijk}-\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\hat{\mu}-\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\alpha_i-\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\beta_j$$

$$-\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\rho_k-\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\alpha\beta)_{ij}=0$$

Dari asumsi diketahui :

$$\sum_{i=1}^{a}\alpha_i=0\,;\sum_{j=1}^{b}\beta_j=0\ ;\ \sum_{i=1}^{a}(\alpha\beta)_{ij}=\sum_{j=1}^{b}(\alpha\beta)_{ij}=0$$

maka :

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}Y_{ijk}-\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\hat{\mu}=0$$

$$Y_{...}-abr\hat{\mu}=0$$

$$abr\hat{\mu}=Y_{...}$$

$$\hat{\mu}=\frac{Y_{...}}{abr}$$

$$\hat{\mu}=\bar{Y}_{..}$$

Penduga untuk $\alpha_i$

$$\frac{dQ}{d\alpha_i}=-2\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk}-\hat{\mu}-\hat{\alpha}_i-\beta_j-\rho_k-(\alpha\beta)_{ij}\right)$$

$$-2\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk}-\hat{\mu}-\hat{\alpha}_i-\beta_j-\rho_k-(\alpha\beta)_{ij}\right)=0$$

$$\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk}-\hat{\mu}-\hat{\alpha}_i-\beta_j-\rho_k-(\alpha\beta)_{ij}\right)=0$$

$$\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} Y_{ijk} - br\,\hat{\mu} - br\hat{\alpha}_i - \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \beta_j - \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \rho_k - \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$Y_{i..} - br\hat{\mu} - br\hat{\alpha}_i = 0$$

$$br\hat{\alpha}_i = Y_{i..} - br\hat{\mu}$$

$$\hat{\alpha}_i = \frac{Y_{i..} - br\hat{\mu}}{br}$$

$$\hat{\alpha}_i = \frac{Y_{i..}}{br} - \hat{\mu}$$

$$\hat{\alpha}_i = \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}$$

Penduga untuk $\beta_j$

$$\frac{dQ}{d\beta_j} = -2\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \rho_k - (\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{r} Y_{ijk} - ar\,\hat{\mu} - ar\hat{\alpha}_i - ar\hat{\beta}_j - \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{r} \rho_k - \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{r} (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$Y_{.j.} - ar\hat{\mu} - ar\hat{\beta}_j = 0$$

$$ar\hat{\beta}_j = Y_{.j.} - ar\hat{\mu}$$

$$\hat{\beta}_j = \frac{Y_{.j.} - ar\hat{\mu}}{ar}$$

$$\hat{\beta}_j = \frac{Y_{.j.}}{ar} - \hat{\mu}$$

$$\hat{\beta}_j = \bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{..}$$

Penduga untuk $\rho_k$

$$\frac{dQ}{d\rho_k} = -2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \hat{\rho}_k - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \hat{\rho}_k - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\alpha\beta)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}Y_{ijk} - ab\,\hat{\mu} - ab\hat{\alpha}_i - ab\hat{\beta}_j - ab\hat{\rho}_k - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$Y_{..k} - ab\hat{\mu} - ab\hat{\rho}_k = 0$$

$$ab\hat{\rho}_k = Y_{..k} - ab\hat{\mu}$$

$$\hat{\rho}_k = \frac{Y_{..k} - ab\hat{\mu}}{ab}$$

$$\hat{\rho}_k = \frac{Y_{..k}}{ab} - \hat{\mu}$$

$$\hat{\rho}_k = \bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}$$

Penduga untuk $(\alpha\beta)_{ij}$

$$\frac{dQ}{d(\alpha\beta)_{ij}} = -2\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \hat{\rho}_k - \left(\widehat{\alpha\beta}\right)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \hat{\rho}_k - \left(\widehat{\alpha\beta}\right)_{ij}\right) = 0$$

$$\sum_{k=1}^{r}Y_{ijk} - r\hat{\mu} - r\hat{\alpha}_i - r\hat{\beta}_j - r\hat{\rho}_k - r\left(\widehat{\alpha\beta}\right)_{ij} = 0$$

$$Y_{ij.} - r\hat{\mu} - r\hat{\alpha}_i - r\hat{\beta}_j - r\hat{\rho}_k - r\left(\widehat{\alpha\beta}\right)_{ij} = 0$$

$$r\widehat{(\alpha\beta)}_{ij} = Y_{ij.} - r\hat{\mu} - r\hat{\alpha}_i - r\hat{\beta}_j$$

$$\widehat{(\alpha\beta)}_{ij} = \frac{Y_{ij.} - r\hat{\mu} - r\hat{\alpha}_i - r\hat{\beta}_j}{r}$$

$$= \frac{Y_{ij.}}{r} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j$$

$$= \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...} - (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) - \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)$$

$$= \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{i..} + \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}$$

$$= \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}$$

Penduga untuk galat percobaan $\varepsilon_{ijk}$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\alpha}_i - \hat{\beta}_j - \hat{\rho}_k - \widehat{(\alpha\beta)}_{ij}$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} - \bar{Y}_{...} - (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) - \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right)$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} - \bar{Y}_{...} - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) + \left(-(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) - \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right)\right)$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} - \bar{Y}_{...} - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) + \left(\bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{i..} + \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{ij.} + \bar{Y}_{i..} + \bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} - \bar{Y}_{...} - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) + \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{ij.}$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} - \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{..k} + \bar{Y}_{..} + \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{ij.}$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = Y_{ijk} + \bar{Y}_{...} - \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{..k}$$

$$\hat{\varepsilon}_{ijk} = \left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})$$

Penguraian jumlah kuadrat untuk rancangan adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \bar{Y}_{...} + (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right) + (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) + \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right) + \left(\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})\right) \tag{2.9}$$

$$\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{..}\right) = (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right) + (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) + \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right) + \left(\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})\right) \tag{2.10}$$

$$\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right)^2$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left((\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) + \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right) + (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..}) + \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right) + \left(\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})\right)\right)^2$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^2 + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)^2 + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right)^2 + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})\right)^2$$

Dengan demikian diperoleh :

Jumlah Kuadrat Total

$$JKT = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right)^2 \tag{2.11}$$

Jumlah Kuadrat Faktor A

$$JKA = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^{2} \tag{2.12}$$

Jumlah Kuadrat Faktor B

$$JKB = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...})^{2} \tag{2.13}$$

Jumlah Kuadrat Kelompok

$$JKK = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{..})^{2} \tag{2.14}$$

Jumlah Kuadrat Interaksi Faktor A dan Faktor B

$$JKAB = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...})^{2} \tag{2.15}$$

Jumlah Kuadrat Galat

$$JKG = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left((Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}) - (\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}) - (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})\right)^{2} \tag{2.16}$$

Selanjutnya rumus-rumus operasional jumlah kuadrat dapat disederhanakan menjadi :

$$FK = \frac{Y_{..}^{2}}{ab} \tag{2.17}$$

$$JKT = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right)^2$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left({Y_{ijk}}^2 - 2Y_{ijk}\,\bar{Y}_{...} + {\bar{Y}_{...}}^2\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{Y_{ijk}}^2 - 2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}Y_{ijk}\,\frac{Y_{...}}{abr} + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\frac{Y_{...}}{abr}\right)^2$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{Y_{ijk}}^2 - 2\,\frac{{Y_{..}}^2}{abr} + abr\,\frac{Y_{..}^2}{(abr)^2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{Y_{ijk}}^2 - 2\,\frac{{Y_{..}}^2}{abr} + \frac{Y_{..}^2}{abr}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{Y_{ijk}}^2 - \frac{{Y_{..}}^2}{abr}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{Y_{ijk}}^2 - FK \tag{2.18}$$

$$JKA = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left({\bar{Y}_{i..}}^2 - 2\bar{Y}_{i..}\,\bar{Y}_{...} + {\bar{Y}_{...}}^2\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{\bar{Y}_{i..}}^2 - 2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\bar{Y}_{i..}\,\bar{Y}_{...} + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}{\bar{Y}_{...}}^2$$

$$= br\sum_{i=1}^{a}\left({\bar{Y}_{i..}}^2 - 2\bar{Y}_{i..}\,\bar{Y}_{...} + {\bar{Y}_{...}}^2\right)$$

$$= br\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{(br)^{2}} - 2br\frac{Y_{...}}{abr}\sum_{i=1}^{a}\frac{Y_{i..}}{br} + abr\frac{Y_{...}^{2}}{(abr)^{2}}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - 2\frac{Y_{...}}{abr}\sum_{i=1}^{a}Y_{i..} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - 2\frac{Y_{...}}{abr}Y_{...} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - 2\frac{Y_{...}{}^{2}}{abr} + \frac{Y_{...}{}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i...}^{2}}{br} - \frac{Y_{...}{}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK \tag{2.19}$$

$$JKB = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\bar{Y}_{.j.}{}^{2} - 2\bar{Y}_{j..}\,\bar{Y}_{...} + \bar{Y}_{...}{}^{2}\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\bar{Y}_{.j.}{}^{2} - 2\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}2\bar{Y}_{j..}\,\bar{Y}_{...} + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\bar{Y}_{...}{}^{2}$$

$$= ar\sum_{j=1}^{b}\left(\bar{Y}_{.j.}{}^{2} - 2\bar{Y}_{j..}\,\bar{Y}_{...} + \bar{Y}_{...}{}^{2}\right)$$

$$= ar\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{(ar)^{2}} - 2ar\frac{Y_{...}}{abr}\sum_{j=1}^{b}\frac{Y_{j..}}{ar} + abr\frac{Y_{...}^{2}}{(abr)^{2}}$$

$$= \sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - 2\frac{Y_{...}}{abr} \sum_{j=1}^{a} Y_{j..} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - 2\frac{Y_{...}}{abr} Y_{...} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - 2\frac{Y_{..}{}^{2}}{abr} + \frac{Y_{..}{}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - \frac{Y_{...}{}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK \tag{2.20}$$

$$JKK = \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} (\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...})^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{..k}{}^{2} - 2\bar{Y}_{..k}\,\bar{Y}_{...} + \bar{Y}_{...}{}^{2}\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} \bar{Y}_{..k}{}^{2} - 2\sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} 2\bar{Y}_{..k}\,\bar{Y}_{...} + \sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{b} \sum_{k=1}^{r} \bar{Y}_{...}{}^{2}$$

$$= ab \sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{..k}{}^{2} - 2\bar{Y}_{..k}\,\bar{Y}_{...} + \bar{Y}_{...}{}^{2}\right)$$

$$= ab \sum_{k=1}^{r} \frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{(ab)^{2}} - 2ab\frac{Y_{...}}{abr} \sum_{k=1}^{r} \frac{Y_{..k}}{ab} + abr\frac{Y_{...}^{2}}{(abr)^{2}}$$

$$= \sum_{k=1}^{r} \frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{ab} - 2\frac{Y_{...}}{abr} \sum_{k=1}^{r} Y_{..k} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{k=1}^{r} \frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{ab} - 2\frac{Y_{...}}{abr} Y_{...} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{k=1}^{r} \frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{ab} - 2\frac{Y_{..}{}^{2}}{abr} + \frac{Y_{..}{}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{k=1}^{r} \frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{ab} - \frac{Y_{...}{}^{2}}{abr}$$

$$= \sum_{k=1}^{r} \frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{ab} - FK \tag{2.21}$$

$$JKAB = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}\right)^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...}) - \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)\right)^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right)^{2} - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} (\bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{...})^{2} - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{.j.} - \bar{Y}_{...}\right)^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right)^{2} - \left(\sum_{i=1}^{a} \frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right)^{2} - \left(\sum_{i=1}^{a} \frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r} \left(\bar{Y}_{ij.}{}^{2} - 2\bar{Y}_{ij.}\,\bar{Y}_{...} + \bar{Y}_{...}{}^{2}\right) - \left(\sum_{i=1}^{a} \frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right)$$

$$- \left(\sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= r\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\left(\bar{Y}_{ij.}{}^{2} - 2\bar{Y}_{ij.}\,\bar{Y}_{...} + \bar{Y}_{...}{}^{2}\right) - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= r\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{(r)^{2}} - 2r\frac{Y_{...}}{abr}\sum_{k=1}^{r}\frac{Y_{..k}}{r} + abr\frac{Y_{...}^{2}}{(abr)^{2}} - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right)$$
$$- \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{r} - 2\frac{Y_{...}}{abr}\sum_{k=1}^{r}Y_{..k} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr} - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{r} - 2\frac{Y_{...}}{abr}Y_{...} + \frac{Y_{...}^{2}}{abr} - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \sum_{k=1}^{r}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{r} - 2\frac{Y_{..}{}^{2}}{abr} + \frac{Y_{..}{}^{2}}{abr} - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \sum_{k=1}^{r}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{r} - \frac{Y_{...}{}^{2}}{abr} - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= \left(\sum_{k=1}^{r}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{r} - FK\right) - \left(\sum_{i=1}^{a}\frac{\bar{Y}_{i..}^{2}}{br} - FK\right) - \left(\sum_{j=1}^{b}\frac{\bar{Y}_{.j.}{}^{2}}{ar} - FK\right)$$

$$= JKP - JKA - JKB \tag{2.22}$$

$$JKG = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right) - \left(\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...}\right)\right)^{2}$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(Y_{ijk} - \bar{Y}_{...}\right)^{2} - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{...}\right)^{2} - \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\bar{Y}_{..k} - \bar{Y}_{...}\right)^{2}$$

$$= \left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}Y_{ijk}{}^{2} - FK\right) - \left(\sum_{k=1}^{r}\frac{Y_{ij.}{}^{2}}{r} - FK\right) - \left(\sum_{k=1}^{r}\frac{\bar{Y}_{..k}{}^{2}}{ab} - FK\right)$$

$$= JKT - JKP - JKK \tag{2.23}$$

Langkah-langkah analisis ragam untuk percobaan faktorial yang terdiri dari 2 faktor (faktor A dan faktor B) dengan menggunakan rancangan dasar RAKL dilakukan melalui tahap-tahap berikut (Gasperz, 1991: 230-231) :

Tahap 1 : Hitung Faktor Koreksi (FK), Jumlah Kuadrat Total (JKT), Jumlah Kuadrat Kelompok (JKK), Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP), dan Jumlah Kuadrat Galat (JKG). Jika r, a, dan b masing-masing melambangkan banyaknya kelompok, banyaknya taraf faktor A, dan banyaknya taraf faktor B maka :

$$\mathrm{FK} = \frac{\mathrm{Y}_{\ldots}{}^{2}}{\mathrm{abr}}$$

$$\mathrm{JKT} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\mathrm{Y}_{ijk} - \overline{\mathrm{Y}}_{\ldots}\right)^2 = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\mathrm{Y}_{ijk}\right)^2 - \mathrm{FK}$$

$$\mathrm{JKK} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{\mathrm{Y}}_{..k} - \overline{\mathrm{Y}}_{\ldots})^2 = \sum_{k=1}^{r}\frac{(\mathrm{Y}_{..k})^2}{\mathrm{ab}} - \mathrm{FK}$$

$$\mathrm{JKP} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\overline{\mathrm{Y}}_{ij.} - \overline{\mathrm{Y}}_{\ldots}\right)^2 = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{\left(\mathrm{Y}_{ij.}\right)^2}{\mathrm{r}} - \mathrm{FK}$$

$$\mathrm{JKG} = \mathrm{JKT} - \mathrm{JKP} - \mathrm{JKK}$$

Tahap 2 : Tentukan derajat bebas masing-masing yaitu :

db(kelompok) = r-1

db(galat) = (ab-1) (r-1)

db(total) = (abr-1)

db(faktor A) = a-1

db(faktor B) = b-1

db (interaksi faktor A dan faktor B) = (a-1) (b-1)

Tahap 3 : Dari nilai JKP yang diperoleh, hitunglah Jumlah Kuadrat faktor A (JKA), Jumlah Kuadrat faktor B (JKB), dan Jumlah Kuadrat Interaksi faktor A dan faktor B (JKAB) sebagai berikut :

$$\mathrm{JKA} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{Y}_{i..} - \overline{Y}_{...})^2 = \sum_{i=1}^{a}\frac{Y_{i..}{}^2}{br} - FK$$

$$\mathrm{JKB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{Y}_{.j.} - \overline{Y}_{...})^2 = \sum_{j=1}^{b}\frac{Y_{.j.}{}^2}{ar} - FK$$

$$\mathrm{JKAB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{Y}_{ij.} - \overline{Y}_{i..} - \overline{Y}_{.j.} - \overline{Y}_{...})^2 = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{Y}_{ij.} - \overline{Y}_{...})^2 - \mathrm{JKA} - \mathrm{JKB}$$

$$\mathrm{JKAB} = \mathrm{JKP} - \mathrm{JKA} - \mathrm{JKB}$$

Tabel 2.2. Analisis Ragam Percobaan Dua Faktor dalam RAKL

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas (db) | Jumlah Kuadrat (JK) | Kuadrat Tengah (KT) | $F_{hitung}$ |
|---|---|---|---|---|
| Model tetap (faktor A dan faktor B tetap) | | | | |
| Faktor A | a-1 | JKA | KTA | KTA/KTG |
| Faktor B | b-1 | JKB | KTB | KTB/KTG |
| AB | (a-1) (b-1) | JKAB | KTAB | KTAB/KTG |
| Kelompok | r-1 | JKK | KTK | KTK/KTG |
| Galat | (ab-1) (r-1) | JKG | KTG | |
| Total | abr-1 | JKT | | |
| Model acak (faktor A dan faktor B acak) | | | | |
| Faktor A | a-1 | JKA | KTA | KTA/KTAB |
| Faktor B | b-1 | JKB | KTB | KTB/KTAB |
| AB | (a-1) (b-1) | JKAB | KTAB | KTAB/KTG |
| Kelompok | r-1 | JKK | KTK | KTK/KTG |
| Galat | (ab-1) (r-1) | JKG | KTG | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Total | abr-1 | JKT | | |
| Model campuran (faktor A tetap dan faktor B acak atau sebaliknya) | | | | |
| Faktor A | a-1 | JKA | KTA | KTA/KTAB |
| Faktor B | b-1 | JKB | KTB | KTB/KTG |
| AB | (a-1) (b-1) | JKAB | KTAB | KTAB/KTG |
| Kelompok | r-1 | JKK | KTK | KTK/KTG |
| Galat | (ab-1) (r-1) | JKG | KTG | |
| Total | abr-1 | JKT | | |

Pengujian hipotesis pada percobaan dua faktor dalam RAKL model campuran (faktor A tetap dan faktor B acak atau sebaliknya) yaitu:

1) Hipotesis :

(i) Pengaruh utama faktor A

$H_0$ : $\alpha_1 = \alpha_2 = \ldots = \alpha_a = 0$ (faktor A tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati).

$H_1$ : paling sedikit ada satu *i* dimana $\alpha_i \neq 0$ untuk i=1,2,…,a (faktor A berpengaruh terhadap respon yang diamati)

(ii) Pengaruh utama faktor B

$H_0$ : ${\sigma_\beta}^2 = 0$ (tidak ada keragaman pengaruh faktor B).

$H_1$ : ${\sigma_\beta}^2 > 0$ (ada keragaman pengaruh faktor B).

(iii) Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor B

$H_0$ : ${\sigma_{\alpha\beta}}^2 = 0$ (tidak ada keragaman pengaruh interaksi faktor A dan faktor B).

$H_1$ : $\sigma_{\alpha\beta}{}^2 > 0$ (ada keragaman pengaruh interaksi faktor A dan faktor B).

(iv) Pengaruh kelompok

$H_0$ : $\rho_1 = \rho_2 = \ldots \rho_r = 0$ (kelompok tidak berpengaruh terhadap respon yang diamati).

$H_1$ : paling sedikit ada satu *k* dimana $\rho_k \neq 0$ (kelompok berpengaruh terhadap respon yang diamati).

2) Taraf nyata : $\alpha$

3) Statistik uji :

(i) $F_{hitung}$ = KTA/KTAB $F_{tabel} = F_{\alpha(dbA,dbAB)}$

(ii) $F_{hitung}$ = KTB/KTG $F_{tabel} = F_{\alpha(dbB,dbG)}$

(iii) $F_{hitung}$ = KTAB/KTG $F_{tabel} = F_{\alpha(dbAB,dbG)}$

(iv) $F_{hitung}$ = KTK/KTG $F_{tabel} = F_{\alpha(dbK,dbG)}$

4) Kriteria keputusan :

$H_0$ ditolak jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau *p-value* $< \alpha$

5) Perhitungan

6) Kesimpulan

## B. Statistika Multivariat

Analisis statistika multivariat adalah teknik-teknik analisis statistik yang memperlakukan sekelompok variabel terikat yang saling berkorelasi sebagai suatu sistem dengan mempertimbangkan korelasi antar variabel-variabel (Suryanto, 1988: 1-2). Dalam analisis multivariat, data yang diolah merupakan hasil pengukuran dari beberapa variabel terikat (*dependent*) ditambah dengan hasil pengukuran dari satu atau beberapa variabel bebas (*independent*).

### 1. Matriks

Sebuah *matriks* adalah susunan segi empat siku-siku dari bilangan-bilangan. Bilangan-bilangan dalam susunan tersebut dinamakan *entri* dalam matriks (Howard Anton, 1987: 22).

Ukuran matriks dijelaskan dengan menyatakan banyak baris (garis horisontal) dan banyaknya kolom (garis vertikal) yang terdapat dalam matriks tersebut. Jika **A** adalah sebuah matriks, maka digunakan $a_{ij}$ untuk menyatakan entri yang terdapat di dalam baris $i$ dan kolom $j$ dari **A**, $i$ = 1,2,…,m ; $j$ = 1,2,…,n. Jadi matriks $m \times n$ secara umum dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \text{atau } \mathbf{A} = [a_{ij}]_{mn}$$

a. Matriks Kuadrat (S*quare Matrix)*

Sebuah matriks **B** dengan *n* baris dan *n* kolom (banyaknya baris dalam matriks **B** sama dengan banyaknya kolom dalam matriks **B**) dinamakan matriks kuadrat berorde *n* (*square matrix of order n*) (Howard Anton, 1987: 23).

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

b. Matriks Diagonal

Sebuah matriks kuadrat **A** yang berukuran $m \times m$ disebut matriks diagonal jika elemen-elemen yang berada di atas dan di bawah diagonal utamanya adalah nol atau elemen-elemen selain diagonal utamanya adalah nol.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & a_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix}$$

c. Matriks Transpose

Jika **A** adalah sebarang matriks $m \times n$, maka transpose **A** dinyatakan oleh $\mathbf{A}^t$ dan didefinisikan dengan matrik $n \times m$ yang kolom pertamanya adalah baris pertama dari **A**, kolom keduanya adalah baris kedua dari **A**, demikian juga dengan kolom ketiga adalah baris ketiga dari **A**, dan seterusnya.

$$\mathbf{A}_{m\times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1(n-1)} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2(n-1)} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{(m-1)1} & a_{(m-1)2} & \dots & a_{(m-1)(n-1)} & a_{(m-1)n} \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{m(n-1)} & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A}^t{}_{n\times m} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & \cdots & a_{(m-1)1} & a_{m1} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{(m-1)2} & a_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{1(n-1)} & a_{2(n-1)} & \dots & a_{(m-1)(n-1)} & a_{m(n-1)} \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_{(m-1)n} & a_{mn} \end{bmatrix}$$

## 2. Operasi Matriks

a. Penjumlahan Matriks

Jika **A** dan **B** adalah sebarang dua matriks yang ukurannya sama, maka jumlah **A**+**B**, adalah matriks yang diperoleh dengan menambahkan bersama-sama entri yang bersesuaian dalam kedua matriks tersebut. Matriks-matriks yang ukurannya berbeda tidak dapat dijumlahkan (Howard Anton, 1987: 27).

b. Perkalian Matriks

Secara umum bentuk perkalian matriks dapat dinyatakan dengan :

$$\mathbf{C}_{m\times p} = \mathbf{A}_{m\times n}\mathbf{B}_{n\times p}$$

$$c_{ij} = \sum_{n} a_{in}b_{nj}$$

$$[c_{ij}] = [a_{i1} \quad a_{i2} \quad \cdots \quad a_{i(n-1)} \quad a_{in}] \begin{bmatrix} b_{1j} \\ b_{2j} \\ \vdots \\ b_{(n-1)j} \\ b_{nj} \end{bmatrix}$$

$$= [a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} + \cdots + a_{i(n-1)}b_{(n-1)j} + a_{in}b_{nj}]$$

Aturan-aturan dalam operasi matriks adalah :

1. **A+B = B+A**
2. **A+(B+C) = (A+B)+C**
3. **A(BC) = (AB)C**
4. **C (A+B) = CA + CB**
5. **(B+C)A = AB+AC**

### 3. Determinan Matriks

Det(**A**) atau |**A**| merupakan determinan matriks kuadrat **A** = ($a_{ij}$) yang berukuran $n \times n$. Det(**A**) atau |**A**| merupakan suatu bilangan skalar. Misalkan matriks $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ adalah suatu matriks kuadrat berukuran 2 × 2, maka :

$$\det(\mathbf{A}) = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = ad - bc$$

Untuk matriks kuadrat yang berukuran lebih dari 2 × 2 determinannya dapat dicari dengan menggunakan ekspansi kofaktor.

Ekspansi kofaktor sepanjang kolom ke-*j*

$$\det(\mathbf{A}) = \sum_{i=1}^{n} (-1)^{i+j} C_{ij} a_{ij}$$

$$= (-1)^{1+j} C_{1j} a_{1j} + (-1)^{2+j} C_{2j} a_{2j} + \cdots + (-1)^{n+j} C_{nj} a_{nj}$$

Ekspansi kofaktor sepanjang baris ke-*i*

$$\det(\mathbf{A}) = \sum_{j=1}^{n} (-1)^{i+j} C_{ij} a_{ij}$$

$$= (-1)^{i+1} C_{i1} a_{i1} + (-1)^{i+2} C_{i2} a_{i2} + \cdots + (-1)^{i+n} C_{in} a_{in}$$

Jika **A** adalah matriks kuadrat, maka minor entri $a_{ij}$ dinyatakan oleh $M_{ij}$, didefinisikan menjadi determinan submatriks yang tetap ada setelah baris ke-*i* dan kolom ke-*j* dihapus dari **A** (Howard Anton, 1987: 77).

Jika A adalah matriks kuadrat, bilangan $(-1)^{i+j} M_{ij}$ dinyatakan oleh $C_{ij}$ dan dinamakan kofaktor dari $a_{ij}$ (Howard Anton, 1987: 77). Matriks kofaktor **A** didefinisikan sebagai berikut :

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nn} \end{bmatrix}$$

Transpose dari matriks kofaktor ini dinamakan *adjoint* (*A*)

## 4. Invers Matriks

Jika **A** adalah matriks kuadrat, **AB** = **BA** = **I**, maka matriks **A** dikatakan dapat dibalik (*invertible*) dan B dinamakan invers (*inverse*) dari **A** (Howard Anton, 1987: 34). Invers dari matriks **A** ditulis $\mathbf{A}^{-1}$. Jika A adalah matriks yang dapat dibalik, maka :

$$\mathbf{A}^{-1} = \frac{1}{\det(\mathbf{A})} \operatorname{adj}(\mathbf{A}) \tag{2.24}$$

### 5. Nilai Eigen dan Vektor Eigen

Jika **A** adalah matriks kuadrat berukuran $n \times n$, maka vektor tak nol x di dalam $\mathbf{R}^n$ dinamakan vektor eigen dari **A**, jika **A**x adalah kelipatan skalar dari x yaitu :

$$\mathbf{A}x = \lambda x \tag{2.25}$$

Skalar λ disebut nilai eigen dari **A** dan x disebut dengan vektor eigen yang bersesuaian dengan **A**. Untuk mencari nilai eigen dari matriks **A** yang berukuran $n \times n$ maka persamaan (2.25) ditulis sebagai :

$$\mathbf{A}x = \lambda I x = (A-\lambda I)x = 0 \tag{2.26}$$

Persamaan (2.26) mempunyai penyelesaian jika :

$$\det(\mathbf{A}-\lambda I)x = 0 \tag{2.27}$$

Persamaan (2.27) dinamakan persamaan karakteristik **A**.

### 6. Analisis Komponen Utama (*Principal Component Analysis*)

Analisis komponen utama merupakan suatu teknik analisis statistik untuk mentransformasikan variabel-variabel awal yang masih saling berkorelasi satu dengan yang lain menjadi satu set variabel baru yang tidak berkorelasi lagi (Johnson & Wichern, 2007: 430). Variabel-variabel baru itu dinamakan komponen utama (*Principal Component*).

Komponen utama adalah kombinasi linear dari *p* variabel dengan bentuk $a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \ldots + a_{p1}x_{p.}$ Secara umum pembentukan komponen utama disusun sebagai berikut :

$$
\begin{aligned}
Y_1 &= a_1^t x = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \ldots + a_{p1}x_p \\
Y_2 &= a_2^t x = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{p2}x_p \\
&\vdots \\
Y_p &= a_p^t x = a_{1p}x_1 + a_{2p}x_2 + \ldots + a_{pp}x_p
\end{aligned}
\qquad (2.28)
$$

$Y_1, Y_2, \ldots, Y_p$ merupakan variabel yang saling bebas (tidak berkorelasi) dengan nilai masing-masing keragaman adalah nilai eigen dari komponen utama ke-*i*. $Y_1$ disebut komponen utama pertama ($KU_1$) yang merupakan kombinasi linear yang mempunyai ragam terbesar pertama. $Y_2$ disebut komponen utama kedua ($KU_2$) yang merupakan kombinasi linear yang mempunyai ragam terbesar kedua. $Y_p$ disebut komponen utama ke-*p* ($KU_p$) yang merupakan kombinasi linear yang mempunyai ragam terbesar ke-*p*. Selanjutnya dengan menggunakan komponen utama, variabel random X dapat dikelompokkan berdasarkan nilai koefisien pada kombinasi linearnya.

Total keragaman komponen utama adalah Var(Y) = $\alpha_{11} + \alpha_{22} + \ldots + \alpha_{pp} = \lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_p$ dengan $\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda_p$ adalah nilai eigen dari komponen utama.

### a. Tujuan Analisis Komponen Utama

Prosedur analisis komponen utama pada dasarnya bertujuan untuk menyederhanakan variabel yang diamati dengan cara menyusutkan (mereduksi) dimensinya. Hal ini dilakukan dengan cara menghilangkan korelasi diantara variabel bebas melalui transformasi variabel bebas awal ke variabel baru yang tidak berkorelasi sama sekali atau yang biasa disebut dengan komponen utama.

Tujuan dari analisis komponen utama menurut Fatimah & Nugraha (2005: 42-43) adalah membentuk himpunan variabel yang saling tegak lurus sedemikian sehingga :

1. Koordinat observasi memberikan nilai untuk variabel yang baru. Variabel baru disebut komponen utama dan nilai dari variabel baru disebut nilai komponen utama (*Principal Component Scores*).
2. Setiap variabel baru merupakan kombinasi linear dari variabel-variabel awal.
3. Variabel baru pertama menjelaskan ragam terbesar dalam data, variabel baru kedua menjelaskan ragam terbesar kedua, dan seterusnya sampai variabel baru ke-$p$ menjelaskan ragam terbesar ke-$p$.
4. $p$ variabel baru tersebut tidak saling berkorelasi.

**b. Algoritma Analisis Komponen Utama**

Algoritma analisis komponen utama menurut Fatimah & Nugraha (2005: 42-43) adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data dalam sebuah matriks.
2. Menghitung matriks kovarians dari data.

3. Menghitung nilai eigen dan vektor eigen dari matriks kovarians.
4. Membuat komponen utama. Nilai eigen disusun secara terurut menurun kemudian vektor eigen disusun sesuai dengan nilai eigennya. Vektor eigen yang tersusun itulah yang disebut dengan komponen utama.
5. Membentuk data baru. Data baru dihasilkan dengan mengalikan vektor transpose dari komponen utama dengan data normal.

## 7. Analisis Biplot

Analisis biplot merupakan teknik statistika deskriptif dimensi ganda yang dapat disajikan secara visual dengan menyajikannya secara simultan *n* objek pengamatan dan *p* variabel dalam suatu grafik pada suatu bidang datar sehingga ciri-ciri variabel dan objek pengamatan serta posisi relatif antara objek pengamatan dengan variabel dapat dianalisis (Udina, 2005: 1). Informasi yang dapat diambil berdasarkan tampilan biplot adalah hubungan antar variabel, kemiripan relatif antar objek pengamatan, serta posisi relatif antara objek pengamatan dengan variabel (Sartono *et al*, 2003: 9). Hal-hal yang diperhatikan dalam menginterpretasikan biplot yaitu:

a. Kedekatan antar objek

Kedekatan antar objek bisa dijadikan panduan objek mana yang memiliki kemiripan karakteristik dengan objek tertentu. Dua objek dengan karakteristik sama akan digambarkan sebagai dua titik yang posisinya berdekatan.

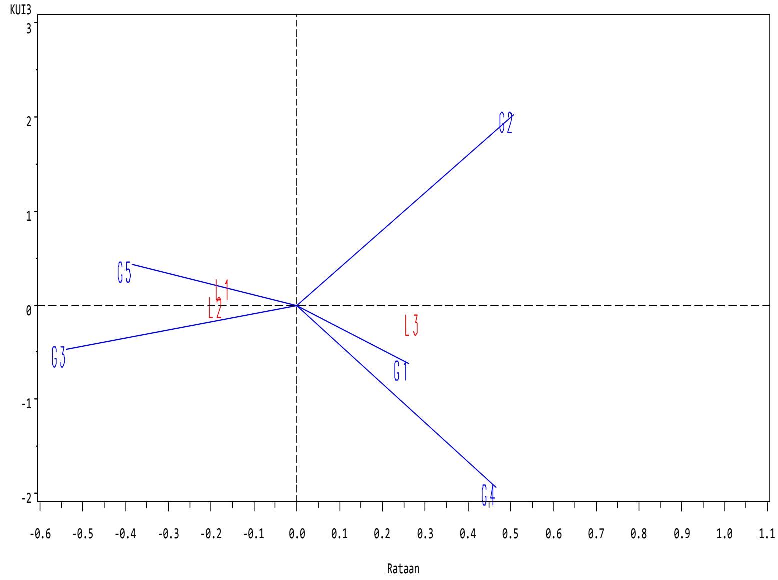
b. Keragaman variabel

Keragaman variabel digunakan untuk melihat apakah ada variabel tertentu yang nilainya hampir sama semuanya untuk setiap objek, atau sebaliknya bahwa nilai dari setiap objek ada yang sangat besar dan ada juga yang sangat kecil. Dengan demikian, bisa diperkirakan pada variabel mana strategi tertentu harus ditingkatkan, serta sebaliknya. Dalam biplot, variabel dengan keragaman kecil digambarkan sebagai vektor yang pendek sedangkan variabel yang ragamnya besar digambarkan sebagai vektor yang panjang.

c. Korelasi antar variabel

Korelasi antar variabel digunakan untuk menilai bagaimana variabel yang satu mempengaruhi variabel yang lain. Dengan menggunakan biplot, variabel akan digambarkan sebagai garis berarah. Dua variabel yang memiliki korelasi positif tinggi akan digambarkan sebagai dua buah garis dengan arah yang sama, atau membentuk sudut lancip (kurang dari $90^0$). Sementara itu, dua variabel yang memiliki korelasi negatif tinggi akan digambarkan dalam bentuk dua garis dengan arah yang berlawanan, atau membentuk sudut tumpul (lebih dari $90^0$). Sedangkan dua variabel yang tidak berkorelasi akan digambarkan dalam bentuk dua garis dengan sudut siku-siku.

Berikut ini adalah contoh tampilan biplot.




Gambar 2.4. Contoh Tampilan Biplot

# BAB III

# PEMBAHASAN

## A. *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*)

Analisis *AMMI* merupakan suatu teknik analisis data yang diterapkan pada percobaan multilokasi untuk mengkaji *GEI* (*Genotypes Enviromental Interaction*). *GEI* dinyatakan sebagai suatu perubahan keragaman dari dua atau beberapa genotipe pada dua atau beberapa lokasi yang berbeda. Kajian *GEI* penting dalam percobaan multilokasi karena hasilnya untuk menduga dan menyeleksi genotipe-genotipe yang dapat beradaptasi stabil dan berinteraksi positif pada lokasi-lokasi yang dicobakan.

Pada percobaan multilokasi rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan dua faktor dalam Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL). Faktor-faktor yang dilibatkan pada percobaan ini adalah genotipe dan lokasi. Pengelompokan dilakukan karena kondisi lahan yang digunakan dalam percobaan tidak bisa dijamin kehomogenannya misalkan karena kondisi lahan yang tidak rata. Analisis *AMMI* pada percobaan multilokasi mengasumsikan genotipe dan lokasi sebagai faktor tetap. Jika faktor lokasi diasumsikan sebagai faktor acak, maka analisis yang digunakan adalah *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction* (*M-AMMI*).

Pada analisis *M-AMMI* lokasi diasumsikan sebagai faktor acak, hal ini dimaksudkan agar cakupan kesimpulan yang diperoleh lebih luas, dimana kestabilan genotipe yang diperoleh tidak terbatas hanya pada lokasi-lokasi yang dicobakan saja tetapi luas untuk seluruh lokasi yang menjadi cakupan penelitian. Analisis *M-AMMI* pada percobaan multilokasi dalam perhitungannya menggunakan analisis ragam percobaan dua faktor dalam RAKL model campuran (genotipe diasumsikan sebagai faktor tetap dan lokasi diasumsikan sebagai faktor acak ) untuk menguji pengaruh interaksi dan analisis komponen utama untuk menguraikan pengaruh interaksi.

Model linear percobaan multilokasi dengan analisis *M-AMMI* adalah sebagai berikut :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \rho_{k(j)} + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \tag{3.1}$$

dengan :

| | | |
|---|---|---|
| $Y_{ijk}$ | = | nilai pengamatan pada genotipe ke-$i$, lokasi ke-$j$ dan kelompok ke-$k$ |
| μ | = | nilai rata-rata umum |
| $\alpha_i$ | = | pengaruh utama faktor tetap genotipe ke-$i$ |
| $\beta_j$ | = | pengaruh utama faktor acak lokasi ke-$j$ |
| $\varepsilon_{ijk}$ | = | pengaruh acak galat genotipe ke-$i$, lokasi ke-$j$, dan kelompok ke-$k$ ($\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$) |

Bentuk multiplikatif dari pengaruh interaksi genotipe dan lokasi dihitung dengan analisis komponen utama yaitu dengan menguraikannya menjadi komponen-komponen utama interaksi yang memungkinkan secara sekuensial dimulai dari tidak adanya Komponen Utama Interaksi (KUI) sampai seluruh KUI masuk ke dalam model, sehingga pengaruh interaksi genotipe dan lokasi dapat diuraikan menjadi :

$$(\alpha\beta)_{ij} = \sum_{r=1}^{n} \sqrt{\lambda_r}\varphi_{ir}\rho_{jr} + \delta_{ij}$$
$$= \sqrt{\lambda_1}\varphi_{i1}\rho_{j1} + \sqrt{\lambda_2}\varphi_{i2}\rho_{j2} + \cdots + \sqrt{\lambda_n}\varphi_{in}\rho_{jn} + \delta_{ij} \qquad (3.2)$$

Persamaan (3.2) disubstitusikan ke dalam persamaan (3.1), maka model linear percobaan multilokasi dengan analisis *M-AMMI* menjadi :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{r=1}^{n} \sqrt{\lambda_r}\varphi_{ir}\rho_{jr} + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$
$$= \mu + \alpha_i + \beta_j + \sqrt{\lambda_1}\varphi_{i1}\rho_{j1} + \sqrt{\lambda_2}\varphi_{i2}\rho_{j2} + \cdots + \sqrt{\lambda_n}\varphi_{in}\rho_{jn} + \delta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (3.3)$$

dengan :

| | | |
|---|---|---|
| $Y_{ijk}$ | = | nilai pengamatan pada genotipe ke-*i*, lokasi ke-*j* dan kelompok ke-*k* |
| μ | = | nilai rata-rata umum |
| $\alpha_i$ | = | pengaruh utama faktor tetap genotipe ke-*i* |
| $\beta_j$ | = | pengaruh utama faktor acak lokasi ke-*j* |
| $\sqrt{\lambda_n}$ | = | nilai singular untuk komponen bilinear ke-*n* ($\lambda_n$adalah nilai eigen ke-$n$ ) |
| $\varphi_{in}$ | = | pengaruh ganda genotipe ke-*i* melalui komponen bilinear ke-*n* |
| $\rho_{jn}$ | = | pengaruh ganda lokasi ke-*j* melalui komponen bilinear ke-*n* |
| $\delta_{ij}$ | = | galat dari pemodelan linear |
| $\varepsilon_{ijk}$ | = | pengaruh acak galat genotipe ke-*i*, lokasi ke-*j*, dan kelompok ke-*k* ($\varepsilon_{ijk}$~$N(0, \sigma_\varepsilon^2)$) |
| $n$ | = | banyaknya KUI yang dipertahankan dalam model |

**1. Pemodelan Bilinear (Multiplikatif) Pengaruh Interaksi**

Pengaruh interaksi genotipe dan lokasi dimodelkan dengan pemodelan bilinear. Pemodelan bilinear bertujuan untuk menguraikan jumlah kuadrat interaksi genotipe dan lokasi menjadi jumlah kuadrat KUI.

Langkah-langkah pemodelan bilinear bagi pengaruh interaksi genotipe dengan lokasi adalah sebagai berikut :

a. Menyusun data rata-rata dalam bentuk matriks dengan genotipe sebagai baris dan lokasi sebagai kolom.
b. Melakukan penguraian bilinear terhadap matriks data rata-rata dengan menggunakan analisis komponen utama.

**2. Penguraian Derajat Kebebasan**

Besaran derajat bebas KUI ke-*n* diturunkan berdasarkan jumlah parameter yang diduga dikurangi dengan jumlah kendala. Banyaknya parameter yang diduga adalah a+b-1 sedangkan banyaknya kendala untuk KUI ke-*n* adalah 2n.

Derajat bebas untuk setiap KUI adalah :

$$db(KUI_n) = a+b-1-2n \qquad (3.4)$$

dengan:

n = $1,2,..,r$ $(\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \ldots\ \lambda_r)$
a = banyaknya taraf dari faktor genotipe
b = banyaknya taraf dari faktor lokasi

## 3. Perhitungan Jumlah Kuadrat

Jumlah kuadrat dan kuadrat tengah dari pengaruh utama, pengaruh interaksi serta pengaruh kelompok dihitung dengan analisis ragam percobaan dua faktor dalam RAKL. Dalam hal ini faktor A adalah genotipe dan faktor B adalah lokasi, sehingga persamaan (2.19), (2.20), (2.21) dan (2.22) menjadi :

$$\mathrm{JK(Genotipe)} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{Y}_{i..} - \overline{Y}_{...})^2 = \sum_{i=1}^{a}\frac{Y_{i..}{}^2}{br} - FK$$

$$\mathrm{JK(Lokasi)} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\overline{Y}_{.j.} - \overline{Y}_{...}\right)^2 = \sum_{j=1}^{b}\frac{Y_{.j.}{}^2}{ar} - FK$$

$$\mathrm{JK(Kelompok)} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}(\overline{Y}_{..k} - \overline{Y}_{...})^2 = \sum_{k=1}^{r}\frac{(Y_{..k})^2}{ab} - FK$$

$$\mathrm{JK(Genotipe\ x\ Lokasi)} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\overline{Y}_{ij.} - \overline{Y}_{i..} - \overline{Y}_{.j.} - \overline{Y}_{...}\right)^2$$

$$= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{r}\left(\overline{Y}_{ij.} - \overline{Y}_{...}\right)^2 - JKA - JKB$$

maka :

$$\mathrm{KT(Genotipe)} = \frac{\mathrm{JK(Genotipe)}}{\mathrm{db(Genotipe)}}$$

$$\mathrm{KT(Lokasi)} = \frac{\mathrm{JK(Lokasi)}}{\mathrm{db(Lokasi)}}$$

$$\mathrm{KT(Kelompok)} = \frac{\mathrm{JK(Kelompok)}}{\mathrm{db(Kelompok)}}$$

$$KT(\text{Genotipe x Lokasi}) = \frac{JK(\text{Genotipe x Lokasi})}{db(\text{Genotipe x Lokasi})}$$

$$FK = \frac{Y_{...}^{\ 2}}{abr}$$

db(Genotipe) = (a-1)

db(Lokasi) = (b-1)

db(Kelompok) = (r-1)

db(Genotipe x Lokasi) = (a-1) (b-1)

Jumlah Kuadrat $KUI_n$ adalah :

$$r\,\lambda_n \tag{3.5}$$

dengan :

r = banyaknya kelompok

$\lambda_n$ = nilai eigen ke-*n*

Kuadrat Tengah $KUI_n$ adalah :

$$KT(KUI_n) = \frac{JK(KUI_n)}{db(KUI_n)} \tag{3.6}$$

Tabel 3.1. Struktur Analisis Ragam dengan *M-AMMI*

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | $F_{hitung}$ |
|---|---|---|---|---|
| Genotipe | a-1 | JK(Genotipe) | KT(Genotipe) | $\frac{KT(Genotipe)}{KT(GenxLok)}$ |
| Lokasi | b-1 | JK(Lokasi) | KT(Lokasi) | $\frac{KT(Lokasi)}{KTG}$ |
| Gen x Lok | (a-1) (b-1) | JK(GenxLok) | KT(GenxLok) | $\frac{KT(GenxLok)}{KTG}$ |
| $KUI_1$ | a+b-1-2(1) | $JK(KUI_1)$ | $KT(KUI_1)$ | $\frac{KT(KUI_1)}{KTG}$ |
| $KUI_2$ | a+b-1-2(2) | $JK(KUI_2)$ | $KT(KUI_2)$ | $\frac{KT(KUI_2)}{KTG}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ….. | ….. | ….. | ….. | ….. |
| $KUI_n$ | a+b-1-2(n) | $JK(KUI_n)$ | $KT(KUI_n)$ | $\frac{KT(KUI_n)}{KTG}$ |
| Kelompok | r-1 | JK(Kelompok) | KT(Kelompok) | $\frac{KT(Kelompok)}{KTG}$ |
| Galat | (ab-1) (r-1) | JKG | | |
| Total | abr-1 | JKT | | |

## 4. Penguraian Nilai Singular ( *SVD = Singular Value Decomposition*)

*Singular Value Decomposition* (*SVD*) bertujuan untuk menguraikan suatu matriks **Z** yaitu matriks data rata-rata yang sudah terkoreksi terhadap rata-rata keseluruhan data. Matriks **Z** berukuran $n \times p$ dimana $n$ adalah banyaknya objek pengamatan dan $p$ adalah banyaknya peubah bebas, maka penerapan konsep *SVD* terhadap matriks **Z** adalah :

$$\mathbf{Z} = \mathbf{U}\,\mathbf{L}\,\mathbf{A}^t \quad (3.7)$$

dengan :

1. **L** adalah matriks diagonal berukuran $m \times m$ dengan unsur-unsur diagonalnya adalah akar kuadrat nilai eigen positif bukan nol dari matriks $\mathbf{Z}^t\ \mathbf{Z}$ dimana $\sqrt{\lambda_1} \geq \sqrt{\lambda_2} \geq \ldots \sqrt{\lambda_r}$ . Unsur-unsur diagonal matriks **L** disebut nilai singular matriks **Z**.
2. Kolom-kolom matriks **A** adalah vektor eigen dari matriks $\mathbf{Z}^t\ \mathbf{Z}$.
3. Matriks **U** didapat dari perkalian matriks $\mathbf{U} = \mathbf{ZAL}^{-1}$.

Unsur-unsur diagonal matriks **L** merupakan penduga untuk $\lambda_n$. Nilai komponen ke-$n$ genotipe ke-$i$ adalah ${\lambda_n}^k a_{in}$ dan untuk lokasi ke-$j$ adalah

${\lambda_n}^{1-k} b_{jn}$. Dengan mendefinisikan $\mathbf{L}^k$ ($0 \leq k \leq 1$) sebagai matriks diagonal yang unsur-unsur diagonalnya merupakan elemen matriks $L^k$, demikian juga untuk matriks $\mathbf{L}^{1-k}$ dan $\mathbf{G} = \mathbf{U}\ \mathbf{L}^k$ serta $\mathbf{H} = \mathbf{A}\ \mathbf{L}^{1-k}$, maka hasil penguraian nilai singular dapat ditulis dalam bentuk $\mathbf{Z} = \mathbf{G}\ \mathbf{H}^t$. Sehingga dugaan nilai komponen untuk genotipe adalah kolom-kolom matriks **G** dan dugaan nilai komponen untuk lokasi adalah kolom-kolom matriks **H**. Nilai *k* yang digunakan dalam analisis *AMMI* adalah ½ .

Penerapan konsep *SVD* ini dimanfaatkan untuk menggambar grafik biplot yaitu dengan mengambil dua komponen awal dari matriks **G** dan dua komponen awal dari matriks **H**.

### 5. Penentuan Banyaknya KUI

Metode yang digunakan untuk menentukan banyaknya KUI yang dipertahankan dalam model yaitu *Postdictive Success* (keberhasilan total). *Postdictive Success* berkaitan dengan kemampuan suatu model yang tereduksi untuk menduga data yang digunakan dalam membangun model tersebut. Kriteria dalam menentukan banyaknya KUI yang masuk ke dalam model berdasarkan metode *Postdictive Success* adalah membandingkan nilai $F_{hitung}$ dari masing-masing KUI dengan $F_{tabel}$. Jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka dapat disimpulkan KUI signifikan (KUI masuk ke dalam model). $F_{hitung}$ dan $F_{tabel}$ dari masing-masing KUI dapat dihitung dengan:

$$F_{\text{hitung}} = \frac{\text{KT}(\text{KUI}_\text{n})}{\text{KTG}}\ ;\ F_{\text{tabel}} = F_{\alpha(\text{dbKUIn,dbG})}$$

Tujuan penggunaan analisis *AMMI* yaitu :

a. Analisis *AMMI* dapat digunakan sebagai analisis pendahuluan untuk mencari model yang tepat. Misalkan model ditandai sebagai $AMMI_0$, $AMMI_1$, …, $AMMI_n$. $AMMI_0$ untuk model dimana tidak ada satupun Komponen Utama Interaksi (KUI) yang nyata, maka pemodelan hanya dengan pengaruh aditif yaitu analisis ragam, $AMMI_1$ untuk model jika $KUI_1$ saja yang nyata, $AMMI_n$ untuk model jika semua KUI nyata yang berarti pengaruh interaksi sangat kompleks, maka tidak dapat dilakukan pereduksian agar tidak kehilangan informasi yang penting.
b. Menjelaskan interaksi genotipe dengan lokasi. Analisis biplot dilakukan untuk membantu menginterpretasikan hasil analisis *AMMI* dalam meringkas pola hubungan antar genotipe, antar lokasi, dan tiap genotipe di lokasi yang berbeda.
c. Meningkatkan keakuratan dugaan respon interaksi genotipe dengan lokasi. Tujuan ketiga ini terlaksana jika hanya sedikit KUI yang nyata (masuk ke dalam model) berdasarkan uji F pada analisis ragam dengan analisis *M-AMMI* dan tidak mencakup seluruh jumlah kuadrat KUI. Dengan sedikitnya KUI yang nyata sama artinya dengan menyatakan bahwa jumlah kuadrat KUI yang tidak masuk ke dalam model (jumlah kuadrat sisaan) hanya sebagai galat (*noise*) saja. Dengan menghilangkan galat ini berarti lebih memperbesar ketepatan dugaan respon tiap genotipe dengan lokasi.

## B. Aplikasi *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (M-AMMI)*

Aplikasi *M-AMMI* pada data percobaan multilokasi diterapkan pada data hasil produksi padi (ton/ha). Data awal adalah data sekunder dari penelitian Sukamto (1996) yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Padi Sukamandi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, genotipe yang dicobakan sebanyak 7 genotipe padi dan tempat tanam yang dipilih untuk penelitian sebanyak 9 lokasi. (Wahyuningrum (2003:36)).

Rancangan yang digunakan dalam percobaan multilokasi ini adalah RAKL dua faktor dengan faktor utama adalah genotipe dan lokasi. Pengelompokan dilakukan karena kondisi lahan yang digunakan tidak rata. Oleh karena itu, dibentuk tiga kelompok lahan yang relatif homogen (tinggi, sedang, rendah).

Data hasil percobaan multilokasi ini dimodifikasi dengan hanya mengambil 4 lokasi yang digunakan dalam pengujian. Pada data ini lokasi diasumsikan sebagai faktor acak. Analisis ragam hanya mampu menguji pengaruh interaksi tetapi tidak mampu menentukan pola genotipe atau lokasi untuk meningkatkan pengaruh interaksi. Oleh karena itu, digunakan analisis *M-AMMI* untuk menduga dan menyeleksi genotipe-genotipe yang dapat beradaptasi stabil dan berinteraksi positif pada lokasi-lokasi yang dicobakan.

Tabel 3.2. Data Hasil Produksi (ton/ha) 7 Genotipe Padi di 4 Lokasi

| Genotipe | Blok | Lokasi | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L1 | L2 | L3 | L4 |
| G1 | 1 | 3,43 | 3,06 | 3,53 | 3,03 |
| | 2 | 3,36 | 3,52 | 3,19 | 3,06 |
| | 3 | 3,10 | 3,00 | 3,52 | 3,15 |
| G2 | 1 | 2,79 | 3,40 | 1,04 | 3,37 |
| | 2 | 3,12 | 2,79 | 1,19 | 3,96 |
| | 3 | 3,37 | 3,03 | 1,75 | 3,90 |
| G3 | 1 | 2,30 | 2,83 | 3,31 | 2,88 |
| | 2 | 1,83 | 3,09 | 3,56 | 2,84 |
| | 3 | 2,22 | 2,81 | 3,73 | 2,68 |
| G4 | 1 | 3,63 | 4,11 | 4,27 | 2,80 |
| | 2 | 3,38 | 3,52 | 4,24 | 2,64 |
| | 3 | 4,09 | 3,98 | 4,00 | 2,48 |
| G5 | 1 | 3,03 | 3,19 | 2,10 | 1,97 |
| | 2 | 3,08 | 3,00 | 2,11 | 1,51 |
| | 3 | 2,38 | 2,90 | 2,11 | 1,71 |
| G6 | 1 | 3,50 | 2,81 | 3,14 | 2,00 |
| | 2 | 3,26 | 2,64 | 2,77 | 1,88 |
| | 3 | 3,56 | 2,81 | 2,70 | 1,91 |
| G7 | 1 | 3,59 | 3,64 | 3,03 | 2,12 |
| | 2 | 3,60 | 3,14 | 2,34 | 2,09 |
| | 3 | 4,05 | 3,30 | 2,72 | 2,18 |

Tabel 3.3. Data Rata-Rata Hasil Produksi (ton/ha) 7 Genotipe Padi di 4 Lokasi

| Genotipe | Lokasi | | | |
|---|---|---|---|---|
| | L1 | L2 | L3 | L4 |
| G1 | 3,30 | 3,19 | 3,41 | 3,08 |
| G2 | 3,09 | 3,07 | 1,33 | 3,74 |
| G3 | 2,12 | 2,91 | 3,53 | 2,80 |
| G4 | 3,70 | 3,87 | 4,17 | 2,64 |
| G5 | 2,83 | 3,03 | 2,11 | 1,73 |
| G6 | 3,44 | 2,75 | 2,87 | 1,93 |
| G7 | 3,75 | 3,36 | 2,70 | 2,13 |

Keterangan :

| | | | |
|---|---|---|---|
| G1 : | Genotipe S382b-2-2-3 | L1 : | Sukamandi |
| G2 : | Genotipe S2389d-3-2-3-1 | L2 : | Batang |
| G3 : | Genotipe S24871-65-4 | L3 : | Taman Bogo |
| G4 : | Genotipe S2824-1d-6 | L4 : | Garut |
| G5 : | Genotipe S2945f-59 | | |
| G6 : | Genotipe Poso | | |
| G7 : | Genotipe C22 | | |

Langkah-langkah analisis data hasil produksi padi dengan *M-AMMI* :

**1. Pengujian Asumsi-Asumsi Analisis Ragam Data Hasil Produksi Padi**

a) Pengujian keaditifan model

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

1) Hipotesis

$H_0$ : Model bersifat aditif.

$H_1$ : Model tidak bersifat aditif.

2) Taraf nyata : $\alpha = 0,05$

3) Statistik uji :

$$F_{\text{hitung}} = \frac{KT_{(\text{non-aditifitas})}}{KTG}$$

4) Kriteria keputusan :

$H_0$ ditolak jika $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha(1,\text{dbgalat})}$

5) Perhitungan (Lampiran 1)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh :

$KT_{(\text{non-aditifitas})} = 3,1729 \,.\, 10^{-11}$

$KTG = 0,0545$

$$F_{hitung} = \frac{KT_{(non-aditifitas)}}{KTG}$$

$$= \frac{3{,}1729 \,.\, 10^{-11}}{0{,}0545}$$

$$= 5{,}822 \,.\, 10^{-10}$$

$F_{\alpha(1,dbG)} = F_{0,05(1,54)} = 4{,}02$

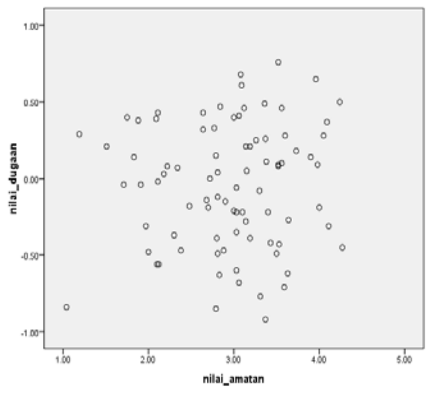
Karena nilai $F_{hitung} < F_{0,05(1,54)}$ yaitu $5{,}822 \,.\, 10^{-10} < 4{,}02$ maka keputusannya adalah $H_0$ diterima.

6) Kesimpulan :

Model bersifat aditif.

b) Pengujian kehomogenan ragam galat

Untuk mengetahui terpenuhi atau tidaknya asumsi kehomogenan ragam galat dapat dilihat dari plot antara nilai dugaan galat percobaan $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$. Plot antara nilai dugaan galat percobaan $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$ dibuat dengan menggunakan *software SPSS*.

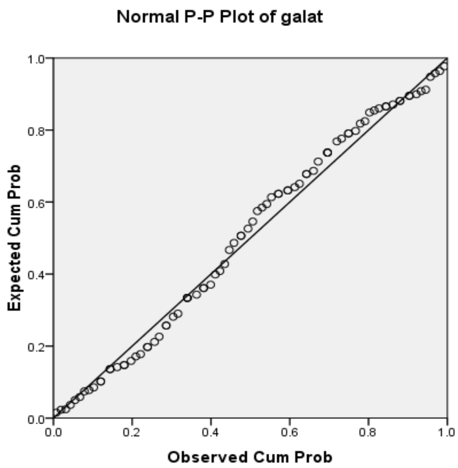



Gambar 3.1 Plot nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$ untuk data hasil produksi padi.

Berdasarkan gambar 3.1 terlihat bahwa titik-titik tidak membentuk pola. Hal ini berarti ragam galat homogen.

c) Pengujian asumsi kenormalan galat

Untuk mengetahui terpenuhi atau tidaknya asumsi kenormalan galat, maka dapat dilihat pada *P-P Plot*.




Gambar 3.2 Normal *P-P Plot* nilai dugaan galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ untuk data hasil produksi padi.

Berdasarkan gambar 3.2 terlihat bahwa galat menyebar disekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal. Hal ini berarti galat percobaan menyebar normal.

d) Pengujian asumsi kebebasan galat

Untuk mengetahui terpenuhi atau tidaknya asumsi kebebasan galat dapat dilihat dari plot antara nilai dugaan galat percobaan $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ dengan nilai amatan $(Y_{ijk})$ pada gambar 3.1. Berdasarkan gambar 3.1

terlihat titik-titik menyebar secara acak (berfluktuasi secara acak disekitar nol). Hal ini berarti galat menyebar bebas.

Dengan terpenuhinya semua asumsi-asumsi analisis ragam pada data hasil produksi padi (ton/ha) maka analisis ragam dapat dilakukan.

## 2. Analisis Ragam Data Hasil Produksi Padi

Prosedur analisis ragam untuk percobaan dua faktor dalam RAKL pada data hasil produksi padi adalah sebagai berikut :

Tahap 1 : Menghitung FK, JKT, JKK, JKP, dan JKG

$$\mathrm{FK} = \frac{\mathrm{Y}_{...}{}^{2}}{\mathrm{abr}} = \frac{(247{,}75)^2}{7\,.4\,.\,3} = \frac{61380{,}0625}{84} = 730{,}715$$

$$\mathrm{JKT} = \sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{3}\left(\mathrm{Y}_{ijk}\right)^2 - \mathrm{FK} = 772{,}40 - 730{,}715 = 41{,}685$$

$$\mathrm{JKP} = \sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{4}\frac{\left(\mathrm{Y}_{ij.}\right)^2}{\mathrm{r}} - \mathrm{FK}$$

$$= \frac{2307{,}785}{3} - 730{,}715$$

$$= 769{,}261 - 730{,}715$$

$$= 38{,}546$$

$$\mathrm{JKK} = \sum_{k=1}^{3}\frac{(\mathrm{Y}_{..k})^2}{\mathrm{ab}} - \mathrm{FK}$$

$$= \frac{(83{,}9)^2 + (80{,}71)^2 + (83{,}14)^2}{7\,.\,4} - 730{,}715$$

$$= \frac{20465{,}574}{7\,.\;4} - 730{,}715$$

$= 730{,}913 - 730{,}715$

$= 0{,}198$

$\text{JKG} = \text{JKT} - \text{JKP} - \text{JKK}$

$\text{JKG} = 41{,}685 - 38{,}546 - 0{,}198 = 2{,}941$

Tahap 2 : Menghitung derajat bebas :

db (kelompok) = r - 1 = 3 - 1 = 2

db (galat) = (r-1 ) (ab-1) = 2 . 27 = 54

db (total) = abr - 1 = 7 . 4. 3 - 1 = 83

db (genotipe) = a - 1 = 7 - 1 = 6

db (lokasi) = b - 1 = 4 - 1 = 3

db (gen x lok) = (a-1) (b-1) = (7-1) (4-1) = 6 . 3 = 18

Tahap 3 : Menghitung JK(genotipe), JK(lokasi), dan JK(genotipe x lokasi)

$$\text{JK(Genotipe)} = \sum_{i=1}^{7} \frac{{\text{Y}_{\text{i..}}}^2}{\text{br}} - \text{FK}$$

$$= \frac{(38{,}95)^2 + (33{,}71)^2 + \cdots + (35{,}80)^2}{4\,.\,3} - 730{,}715$$

$$= \frac{8891{,}521}{12} - 730{,}715$$

$$= 740{,}96 - 730{,}715$$

$$= 10{,}245$$

$$\mathrm{JK(Lokasi)} = \sum_{j=1}^{4} \frac{{Y_{.j.}}^2}{ar} - \mathrm{FK}$$

$$= \frac{(66{,}67)^2 + (66{,}57)^2 + (60{,}35)^2 + (54{,}16)^2}{7\,.\,3} - 730{,}715$$

$$= \frac{15451{,}882}{21} - 730{,}715$$

$$= 735{,}804 - 730{,}715$$

$$= 5{,}089$$

$$\mathrm{JK(Gen\ x\ Lok\ )} = \mathrm{JKP} - \mathrm{JK(Genotipe)} - \mathrm{JK(Lokasi)}$$

$$\mathrm{JK(Gen\ x\ Lok)} = 38{,}547 - 10{,}245\ - 5{,}089 = 23{,}213$$

Tabel 3.4. Analisis Ragam Hasil Produksi Padi

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | $F_{hitung}$ | $F_{tabel}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Genotipe | 6 | 10,245 | 1,708 | 1,324 | 2,66 |
| Lokasi | 3 | 5,089 | 1,696 | 31,407 | 2,798 |
| Gen x Lok | 18 | 23,213 | 1,290 | 23,889 | 1,823 |
| Kelompok | 2 | 0,198 | 0,099 | 1,833 | 3,168 |
| Galat | 54 | 2,94 | 0,054 | | |
| Total | 83 | 41,686 | | | |

Tahap 4 : Pengujian hipotesis.

a) Faktor Genotipe

1) Hipotesis :

$H_0$ : Tidak ada pengaruh faktor genotipe terhadap hasil produksi padi.

$H_1$ : Ada pengaruh faktor genotipe terhadap hasil produksi padi.

2) Taraf nyata : $\alpha = 0{,}05$

3) Statistik uji :

$$F_{hitung} = \frac{KT(Genotipe)}{KT(Genotipe\ x\ Lokasi)}$$

4) Kriteria keputusan

$H_0$ ditolak jika $F_{hitung} > F_{\alpha(dbgenotipe,db(gen\ x\ lok))}$

5) Hasil perhitungan :

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3.4 diketahui nilai $F_{hitung}$ = 1,324. Jika $F_{hitung}$ = 1,324 dibandingkan dengan $F_{0,05(6,18)}$ = 2,66 maka $F_{hitung} < F_{0,05(6,18)}$ (1,324 < 2,66). Dengan demikian keputusannya adalah $H_0$ diterima.

6) Kesimpulan :

Tidak ada pengaruh faktor genotipe terhadap hasil produksi padi.

b) Faktor Lokasi

1) Hipotesis :

$H_0$ : Tidak ada keragaman pengaruh faktor lokasi terhadap hasil produksi padi.

$H_1$ : Ada keragaman pengaruh faktor lokasi terhadap hasil produksi padi.

2) Taraf nyata : $\alpha = 0{,}05$

3) Statistik uji :

$$F_{hitung} = \frac{KT(Lokasi)}{KTG}$$

4) Kriteria keputusan

$H_0$ ditolak jika $F_{hitung} > F_{\alpha(dblokasi,dbgalat)}$

5) Hasil perhitungan :

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3.4 diketahui nilai $F_{hitung}$ = 31,407. Jika $F_{hitung}$ = 31,407 dibandingkan dengan $F_{0,05(3,54)}$ = 2,798 maka $F_{hitung} > F_{0,05(3,54)}$ (31,407 > 2,798). Dengan demikian keputusannya adalah $H_0$ ditolak.

6) Kesimpulan :

Ada keragaman pengaruh faktor lokasi terhadap hasil produksi padi.

c) Pengaruh interaksi genotipe dengan lokasi

1) Hipotesis :

$H_0$ : Tidak ada keragaman pengaruh interaksi faktor genotipe dan faktor lokasi terhadap hasil produksi padi.

$H_1$ : Ada keragaman pengaruh interaksi faktor genotipe dan faktor lokasi terhadap hasil produksi padi.

2) Taraf nyata : $\alpha = 0,05$

3) Statistik uji :

$$F_{hitung} = \frac{KT(Genotipe \times Lokasi)}{KTG}$$

4) Kriteria keputusan

$H_0$ ditolak jika $F_{hitung} > F_{\alpha(db(gen\ x\ lok),dbgalat)}$

5) Hasil perhitungan:

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3.4 diketahui nilai $F_{hitung}$ = 23,889. Jika $F_{hitung}$ = 22,744 dibandingkan dengan $F_{0,05(18,54)}$ = 1,823 maka $F_{hitung} > F_{0,05(18,54)}$ (23,889 > 1,823). Dengan demikian keputusannya adalah $H_0$ ditolak.

6) Kesimpulan :

Ada keragaman pengaruh interaksi faktor genotipe dan faktor lokasi terhadap hasil produksi padi.

d) Pengaruh pengelompokan

1) Hipotesis :

$H_0$ : Tidak ada pengaruh pengelompokan terhadap hasil produksi padi.

$H_1$ : Ada pengaruh pengelompokan terhadap hasil produksi padi.

2) Taraf nyata : $\alpha = 0,05$

3) Statistik uji :

$$F_{hitung} = \frac{KT(Kelompok)}{KTG}$$

4) Kriteria keputusan

$H_0$ ditolak jika $F_{hitung} > F_{\alpha(dbkelompok,dbgalat)}$

5) Hasil perhitungan :

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3.4 diketahui nilai $F_{hitung}$ = 1,833. Jika $F_{hitung}$ = 1,833 dibandingkan dengan $F_{0,05(2,54)}$ = 3,168 maka $F_{hitung} < F_{0,05(2,54)}$ (1,833 < 3,168). Dengan demikian keputusannya adalah $H_0$ diterima.

6) Kesimpulan :

Tidak ada pengaruh pengelompokan terhadap hasil produksi padi.

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh pada analisis ragam diketahui pengaruh interaksi berpengaruh nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil produksi padi dipengaruhi oleh interaksi antara faktor genotipe dengan lokasi. Genotipe tertentu akan membedakan perlakuan yang positif pada lokasi tertentu, tetapi tidak demikian halnya jika digunakan pada lokasi yang lain. Karena itulah perlu dilakukan analisis *M-AMMI* untuk mengidentifikasi genotipe-genotipe yang berinteraksi positif pada lokasi-lokasi yang dicobakan.

### 3. Penguraian Bilinear Pengaruh Interaksi Genotipe dan Lokasi dengan Analisis Komponen Utama.

Penguraian bilinear matriks pengaruh interaksi genotipe dan lokasi dengan analisis komponen utama dihitung dengan menggunakan *software Matlab* (Lampiran 3). Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh empat nilai eigen yaitu 0,9622; 0,4950; 0,3473; 0,0491 dengan vektor eigen :

$a_1{}^t = [-0{,}1420 \quad -0{,}1989 \quad -0{,}9487 \quad 0{,}2007]$

$a_2{}^t = [0{,}1985 \quad -0{,}1109 \quad -0{,}2078 \quad -0{,}9514]$

$a_3{}^t = [0{,}8911 \quad 0{,}3782 \quad -0{,}1746 \quad 0{,}1800]$

$a_4{}^t = [0{,}3826 \quad -0{,}8973 \quad 0{,}1624 \quad 0{,}1489]$

Perhitungan akar kuadrat dari nilai eigen positif bukan nol menghasilkan nilai singular. Besarnya nilai singular untuk setiap nilai eigen adalah 0,9809; 0,7036; 0,5893; 0,2216. Dari nilai singular tersebut terlihat bahwa banyaknya KUI yang dapat dipertimbangkan untuk model adalah KUI pertama sampai KUI keempat. Pembentukan KUI dapat disusun sebagai berikut :

$Y_1 = a_1{}^t x = -0{,}1420x_1 - 0{,}1989x_2 - 0{,}9487x_3 + 0{,}2007x_4$

$Y_2 = a_2{}^t x = 0{,}1985x_1 - 0{,}1109x_2 - 0{,}2078x_3 - 0{,}9514x_4$

$Y_3 = a_3{}^t x = 0{,}8911x_1 + 0{,}3782x_2 - 0{,}1746x_3 + 0{,}1800x_4$

$Y_4 = a_4{}^t x = 0{,}3826x_1 - 0{,}8973x_2 + 0{,}1624x_3 + 0{,}1489x_4$

### 4. Analisis Ragam dengan *M-AMMI*

Perhitungan jumlah kuadrat KUI ke-*n* adalah banyaknya kelompok dikalikan dengan nilai eigen ke-*n* atau $r\lambda_n$ dan besarnya derajat bebas KUI ke-*n* adalah a+b-1-2n. Hasil perhitungan dari setiap jumlah kuadrat KUI dan derajat bebas KUI disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 3.5. Analisis Ragam Data Hasil Produksi Padi dengan *M-AMMI*.

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | $F_{hitung}$ | $F_{tabel}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Genotipe | 6 | 10,245 | 1,708 | 1,324 | 2,66 |
| Lokasi | 3 | 5,089 | 1,696 | 31,407 | 2,798 |
| Gen x Lok | 18 | 23,213 | 1,290 | 23,889 | 1,823 |
| $KUI_1$ | 9 | 2,887 | 0,321 | 5,944 | 2,058 |
| $KUI_2$ | 7 | 1,485 | 0,212 | 3,926 | 2,185 |
| $KUI_3$ | 5 | 1,042 | 0,208 | 3,852 | 2,386 |
| $KUI_4$ | 3 | 0,147 | 0,049 | 0,907 | 2,776 |
| Kelompok | 2 | 0,198 | 0,099 | 1,833 | 3,168 |
| Galat | 54 | 2,94 | 0,054 | | |
| Total | 83 | 41,686 | | | |

**5. Penentuan Banyaknya KUI yang Masuk ke dalam Model.**

Kontribusi tiap KUI dapat dihitung dengan menggunakan rumus $\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}$ x 100%.

$$\sum_{i=1}^{4}\lambda_i = 0,9622 + 0,4950 + 0,3473 + 0,0491 = 1,8536$$

Kontribusi tiap KUI adalah :

$$\mathrm{KUI}_1 = \frac{\lambda_1}{\sum_{i=1}^{4}\lambda_i}\mathrm{x}100\% = \frac{0,9622}{1,8536}\mathrm{x}100\% = 51,91\%$$

$$\mathrm{KUI}_2 = \frac{\lambda_2}{\sum_{i=1}^{4}\lambda_i}\mathrm{x}100\% = \frac{0,4950}{1,8536}\mathrm{x}100\% = 26,70\%$$

$$\mathrm{KUI}_3 = \frac{\lambda_3}{\sum_{i=1}^{4}\lambda_i}\mathrm{x}100\% = \frac{0,3473}{1,8536}\mathrm{x}100\% = 18,74\%$$

$$\mathrm{KUI}_4 = \frac{\lambda_4}{\sum_{i=1}^{4}\lambda_i}\mathrm{x}100\% = \frac{0,0491}{1,8536}\mathrm{x}100\% = 2,65\%$$

Kontribusi keragaman pengaruh interaksi yang mampu diterangkan oleh masing-masing komponen adalah 51,91%; 26,70%; 18,74%; 2,65%. Berdasarkan nilai kontribusi keragaman tersebut terlihat bahwa komponen utama pertama, kedua dan ketiga memiliki peranan yang dominan dalam menerangkan keragaman pengaruh interaksi yaitu sebesar 51,91%, 26,70%, dan 18,74%, sehingga dalam pengkajian hasil produksi tanaman padi dipergunakan tiga buah komponen utama yaitu komponen utama pertama, kedua, dan ketiga karena komponen utama pertama, kedua, dan ketiga telah mampu menerangkan keragaman total hasil produksi tanaman padi sebesar 51,91% + 26,70% + 18,74% = 97,35% yaitu suatu tingkat keragaman yang tinggi.

Tabel 3.6. Kontribusi Keragaman Komponen Utama Interaksi (KUI)

| KUI | Nilai Singular | Nilai Eigen | Proporsi | Kumulatif |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,9809 | 0,9622 | 0,5191 | 0,5191 |
| 2 | 0,7036 | 0,4950 | 0,2670 | 0,7861 |
| 3 | 0,5893 | 0,3473 | 0,1874 | 0,9735 |
| 4 | 0,2216 | 0,0491 | 0,0265 | 1,0000 |

Berdasarkan metode *postdictive success* yaitu dengan membandingkan nilai $F_{hitung}$ dan $F_{tabel}$ pada Tabel 3.5 diketahui bahwa untuk $KUI_1$, $KUI_2$, dan $KUI_3$ nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ sedangkan untuk $KUI_4$ nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$. Dengan demikian dapat disimpulkan untuk $KUI_1$, $KUI_2$, dan $KUI_3$ hasilnya signifikan sedangkan untuk $KUI_4$ hasilnya tidak signifikan. Karena komponen yang nyata adalah $KUI_1$, $KUI_2$, dan $KUI_3$ maka diperoleh model $AMMI_3$.

Tabel 3.7. Analisis Ragam Data Hasil Produksi Padi untuk Model $AMMI_3$.

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Tengah | $F_{hitung}$ | $F_{tabel}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Genotipe | 6 | 10,245 | 1,708 | 1,324 | 2,66 |
| Lokasi | 3 | 5,089 | 1,696 | 31,407 | 2,798 |
| Gen x Lok | 18 | 23,213 | 1,290 | 23,889 | 1,823 |
| $KUI_1$ | 9 | 2,887 | 0,321 | 5,944 | 2,058 |
| $KUI_2$ | 7 | 1,485 | 0,212 | 3,926 | 2,185 |
| $KUI_3$ | 5 | 1,042 | 0,208 | 3,852 | 2,386 |
| Kelompok | 2 | 0,198 | 0,099 | 1,833 | 3,168 |
| Galat | 54 | 2,94 | 0,054 | | |
| Total | 83 | 41,686 | | | |

## 6. Menentukan Nilai KUI

Perhitungan nilai KUI dilakukan dengan mensubstitusikan data rata-rata hasil produksi padi pada :

$$Y_1 = a_1^t x = -0{,}1420x_1 - 0{,}1989x_2 - 0{,}9487x_3 + 0{,}2007x_4$$

$$Y_2 = a_2^t x = 0{,}1985x_1 - 0{,}1109x_2 - 0{,}2078x_3 - 0{,}9514x_4$$

$$Y_3 = a_3^t x = 0{,}8911x_1 + 0{,}3782x_2 - 0{,}1746x_3 + 0{,}1800x_4$$

Tabel 3.8. Nilai Komponen Utama Interaksi (KUI) untuk Model $AMMI_3$

| $KUI_1$ | $KUI_2$ | $KUI_3$ | Rata-Rata |
|---|---|---|---|
| -3,7200 | -3,3376 | 4,1061 | -0,9838 |
| -1,5606 | -3,5617 | 4,3556 | -0,2556 |
| -3,6668 | -3,2994 | 2,8774 | -1,3629 |
| -4,7214 | -3,0730 | 4,5078 | -1,0955 |
| -2,6591 | -1,8587 | 3,6108 | -0,3023 |
| -3,3709 | -2,0547 | 3,9517 | -0,4913 |
| -3,3348 | -2,2158 | 4,5244 | -0,3421 |

## 7. Interpretasi Hasil *M-AMMI* dengan biplot

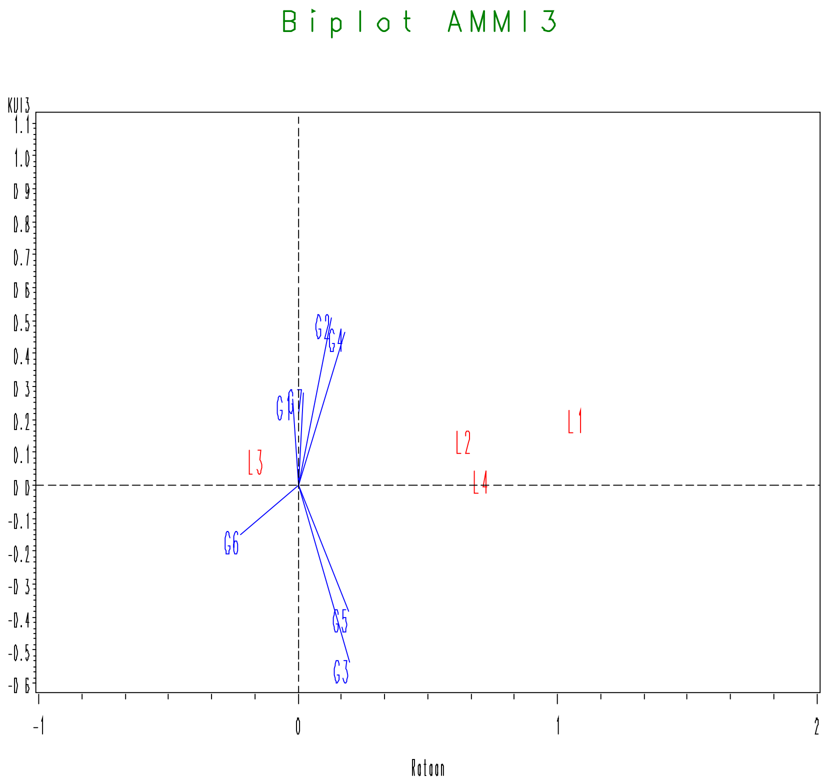
Hasil dari analisis *M-AMMI* direpresentasikan dengan biplot. Sebelum menggambar biplot terlebih dahulu dilakukan penguraian nilai singular terhadap matriks data rata-rata terkoreksi.

Tabel 3.9. Data Rata-Rata Hasil Produksi Padi yang telah Terkoreksi

| Genotipe | Lokasi | | | |
|---|---|---|---|---|
| | L1 | L2 | L3 | L4 |
| G1 | 0,35 | 0,24 | 0,46 | 0,13 |
| G2 | 0,14 | 0,12 | -1,62 | 0,79 |
| G3 | -0,83 | -0,04 | 0,58 | -0,15 |
| G4 | 0,75 | 0,92 | 1,22 | -0,31 |
| G5 | -0,12 | 0,08 | -0,84 | -1,22 |
| G6 | 0,49 | -0,20 | -0,08 | -1,02 |
| G7 | 0,80 | 0,41 | -0,25 | -0,82 |

Penguraian nilai singular dihitung dengan menggunakan *software Matlab* (Lampiran 4). Berdasarkan hasil penguraian nilai singular diperoleh matriks G dan matriks H. Selanjutnya untuk menggambar biplot digunakan *software SAS* (Lampiran 5) yaitu dengan mengambil 2 komponen awal pada matriks G dan dua komponen awal pada matriks H yang diperoleh dari hasil penguraian nilai singular.

Dalam interpretasi biplot *M-AMMI* dua genotipe dengan karakteristik yang sama akan digambarkan sebagai dua titik yang posisinya berdekatan. Genotipe yang berinteraksi postif pada lokasi yang dicobakan berarti genotipe tersebut dapat tumbuh dengan baik pada lokasi yang dicobakan, sebaliknya genotipe yang berinteraksi negatif berarti genotipe tersebut tidak dapat tumbuh dengan baik pada lokasi yang dicobakan. Genotipe yang memiliki keragaman terbesar mengindikasikan bahwa genotipe tersebut tidak dapat berdaptasi stabil pada lokasi yang dicobakan, sebaliknya genotipe dengan keragaman terkecil mengindikasikan bahwa genotipe tersebut dapat beradaptasi stabil pada lokasi yang dicobakan.




Gambar 3.3. Biplot $AMMI_3$ untuk data hasil produksi padi
(kesesuaian model : 97,35%)

Berdasarkan Gambar 3.3 diketahui bahwa genotipe G1 dan G6 berinteraksi positif dengan lokasi L3 tetapi sebaliknya berinteraksi negatif dengan lokasi L1, L2, dan L4. Genotipe G2, G3, G4, G5, dan G7 berinteraksi positif dengan lokasi L1, L2, dan L4 tetapi sebaliknya berinteraksi negatif dengan lokasi L3. Keragaman terbesar terdapat pada genotipe G3 dan keragaman terkecil terdapat pada genotipe G1. Hal ini berarti genotipe G3 dapat beradaptasi stabil jika dicobakan pada lokasi L1, L2, dan L4, sedangkan untuk genotipe G1 dapat beradaptasi stabil jika dicobakan pada lokasi L3. Dengan melihat hasil pada tabel 3.3 dan gambar 3.3 dapat diketahui :

1) rata-rata terbesar genotipe G1 pada lokasi L3 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,41 ton/ha,
2) rata-rata terbesar genotipe G2 pada lokasi L4 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,74 ton/ha,
3) rata-rata terbesar genotipe G3 pada lokasi L3 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,53 ton/ha
4) rata-rata terbesar genotipe G4 pada lokasi L3 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 4,17 ton/ha
5) rata-rata terbesar genotipe G5 pada lokasi L2 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,03 ton/ha
6) rata-rata terbesar genotipe G6 pada lokasi L1 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,44 ton/ha
7) rata-rata terbesar genotipe G7 pada lokasi L1 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,75 ton/ha.

# BAB IV

# PENUTUP

## A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dari bab-bab sebelumnya, maka dapat didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis *AMMI* pada percobaan multilokasi mengasumsikan genotipe dan lokasi sebagai faktor tetap. Jika faktor lokasi diasumsikan sebagai faktor acak, maka analisis yang digunakan adalah *M-AMMI*. Lokasi diasumsikan sebagai faktor acak hal ini dimaksudkan agar cakupan kesimpulan yang diperoleh lebih luas, dimana kestabilan genotipe yang diperoleh tidak terbatas hanya pada lokasi-lokasi yang dicobakan saja tetapi luas untuk seluruh lokasi yang menjadi cakupan penelitian. Analisis *M-AMMI* pada percobaan multilokasi dalam perhitungannya menggunakan analisis ragam percobaan dua faktor dalam RAKL model campuran untuk menguji pengaruh interaksi dan analisis komponen utama untuk menguraikan pengaruh interaksi. Langkah-langkah analisis data dengan *M-AMMI* yaitu (1) melakukan uji asumsi analisis ragam, (2) menguji pengaruh interaksi dengan analisis ragam model campuran, (3) menghitung Komponen Utama Interaksi (KUI), (4) analisis ragam dengan *M-AMMI*, (5) menentukan banyaknya KUI yang masuk ke dalam model, (6) menghitung nilai KUI, dan (7) menginterpretasikan hasil analisis *M-AMMI* dengan biplot.

2. Aplikasi *M-AMMI* pada data percobaan multilokasi diterapkan pada data hasil produksi padi yang terdiri dari 7 genotipe padi yaitu S382b-2-2-3(G1), S2389d-3-2-3-1 (G2), S24871-65-4 (G3), S2824-1d-6 (G4), S2945f-59 (G5), Poso (G6), dan C22 (G7) yang diujikan pada 4 lokasi yaitu Sukamandi (L1), Batang (L2), Taman Bogo (L3), dan Garut (L4). Hasil dari analisis ragam terlihat pengaruh interaksi berpengaruh nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil produksi padi dipengaruhi oleh interaksi antara genotipe dengan lokasi. Genotipe tertentu akan membedakan perlakuan yang positif pada lokasi tertentu, tetapi tidak demikian halnya jika digunakan pada lokasi yang lain. Karena itulah perlu dilakukan analisis *M-AMMI* untuk mengidentifikasi genotipe-genotipe yang berinteraksi positif pada lokasi-lokasi yang dicobakan. Dalam aplikasi *M-AMMI* pada data percobaan multilokasi ini, KUI yang signifikan adalah $KUI_1$, $KUI_2$, dan $KUI_3$ sehingga model yang berlaku adalah $AMMI_3$. Berdasarkan grafik biplot diketahui bahwa genotipe G1 dan G6 berinteraksi positif dengan lokasi L3 tetapi sebaliknya berinteraksi negatif dengan lokasi L1, L2, dan L4. Genotipe G2, G3, G4, G5, dan G7 berinteraksi positif dengan lokasi L1, L2, dan L4 tetapi sebaliknya berinteraksi negatif dengan lokasi L3. Keragaman terbesar terdapat pada genotipe G3 dan keragaman terkecil terdapat pada genotipe G1. Hal ini berarti genotipe G3 dapat beradaptasi stabil jika dicobakan pada lokasi L1, L2, dan L4, sedangkan untuk genotipe G1 dapat beradaptasi stabil jika dicobakan pada lokasi L3. Dengan melihat hasil pada tabel 3.3 dan gambar

3.3 dapat diketahui rata-rata terbesar genotipe G1 pada lokasi L3 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,41 ton/ha, rata-rata terbesar genotipe G2 pada lokasi L4 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,74 ton/ha, rata-rata terbesar genotipe G3 pada lokasi L3 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,53 ton/ha, rata-rata terbesar genotipe G4 pada lokasi L3 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 4,17 ton/ha, rata-rata terbesar genotipe G5 pada lokasi L2 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,03 ton/ha, rata-rata terbesar genotipe G6 pada lokasi L1 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,44 ton/ha, dan rata-rata terbesar genotipe G7 pada lokasi L1 yaitu dengan rata-rata hasil produksi sebesar 3,75 ton/ha.

## B. Saran

Dalam skripsi ini hanya terbatas pada pembahasan mengenai salah satu perkembangan analisis *AMMI* yaitu *Mixed Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (M-AMMI)* dan aplikasinya. Pembahasan mengenai perkembangan analisis *AMMI* lainnya seperti pada *Generalized Linear Model AMMI* (*GLM-AMMI*) dan *Expectation Maximitation AMMI* (*EM-AMMI*) belum dibahas dalam skripsi ini.

Oleh karena itu, sebagai saran untuk pembaca yang tertarik pada topik bahasan ini dapat membahas lebih dalam mengenai *Generalized Linear Model AMMI* dan *Expectation Maximitation AMMI* beserta aplikasinya.

# DAFTAR PUSTAKA


Anton, H. (1995). *Aljabar Linear Elementer* (edisi kelima) (Pantur Silaban dan Nyoman Susila, Terjemahan). Jakarta: Erlangga.

Budi, PS & Ashari. (2005). *Analisis Statistik dengan Microsoft Excel dan SPSS.* Yogyakarta: ANDI o*ffset*.

Gaspersz, V. (1991). *Metode Perancangan Percobaan.* Bandung : CV Armico.

Hanafiah, KA. (2004). *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi* (edisi revisi cetakan 9). Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.

I Gede Nyoman Mindra Jaya, Sumertajaya IM, & Matjjik AA. (2008). "Partial Least Square – Mixed AMMI dalam Analisis Interaksi Genotipe x Lingkungan". *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi – II*. Hlm. 9-25.

Fatimah, I & Nugraha J. (2005). "Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan Principal Component Analysis". *Jurnal Ilmu Dasar*. 6(1). Hlm. 41-47.

Johnson, RA. & Wichern, DW. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed). New Jersey: Prentice-Hall.

Mattjik, AA. (1998). "Analisis Pengaruh Utama Aditif dengan Interaksi Ganda (UAIG) pada Data Simulasi". *Jurnal Forum Statistika dan Komputasi*. 3(1). Hlm. 20-26.

Mattjik, AA, & Sumertajaya IM. (2000). *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan MINITAB jilid 1*.Bogor: IPB Press.

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

Setiawan, A. (2009). "Percobaan Faktorial", http://smartstat.wordpress.com

Steel, RGD. & Torrie, JH. (1993). *Prinsip dan Prosedur Statistika Suatu Pendekatan Biometrik* (edisi kedua) (Bambang Sumantri, Terjemahan). Jakarta: Gramedia.

Sudjana. (2002). *Desain dan Analisis Eksperimen* (edisi IV). Bandung: Tarsito.

Sukamto, D. (1996). *Analisis AMMI untuk Interpretasi Galur x Lingkungan pada Tanaman Padi Gogo*. Jurusan Statistika. Fakultas Matematika dan IPA. Bogor: IPB.

Sulistyaningsih, DR. (2010). *Analisis Rancangan Dua Faktor RAL dengan Metode AMMI*. Skripsi S1. Semarang: Program Studi Matematika, Universitas Diponegoro.

Sumertajaya, IM. (2007). *Analisis Statistik Interaksi Genotipe dengan Lingkungan*. Departemen Statistik . Fakultas Matematika dan IPA. Bogor: IPB.

Suryanto. (1988). *Metode Statistika Multivariat*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Udina, F. (2005). "Interactive Biplot Construction". *Journal of Statistical Software Volume*. 13(5). Hlm. 1-16.

Wahyuningrum, E. (2003). *AMMI Campuran dan Blup untuk Memprediksi Daya Hasil Interaksi Genotip Tanaman Padi dengan Lingkungan pada Percobaan Lokasi Ganda*. Tesis. Bogor: Program Pascasarjana, IPB.

Widiastuti, I. (2010). *Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI)dan Aplikasinya*. Skripsi S1. Yogyakarta: Program Studi Matematika, FMIPA UNY.

Yitnosumarto, S. (1991). *Percobaan Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya*. Jakarta: Gramedia.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1**

Hasil Perhitungan Uji Tukey

| $Y_{i..}$ | $\bar{Y}_{i..}$ | $\bar{Y}_{...}$ | $Y_{i..}-\bar{Y}_{...}$ | $\bar{Y}_{i..}-\bar{Y}_{...}$ | $(Y_{i..}-\bar{Y}_{...})^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 38,95 | 3,25 | 2,95 | 36,00 | 0,30 | 1296 |
| 33,71 | 2,81 | 2,95 | 30,76 | -0,14 | 946,18 |
| 34,08 | 2,84 | 2,95 | 31,13 | -0,11 | 969,08 |
| 43,14 | 3,60 | 2,95 | 40,19 | 0,65 | 1615,24 |
| 29,09 | 2,42 | 2,95 | 26,14 | -0,53 | 683,30 |
| 32,98 | 2,75 | 2,95 | 30,03 | -0,20 | 901,80 |
| 35,80 | 2,98 | 2,95 | 32,85 | 0,03 | 1079,12 |
| | | | | Jumlah | 7490,71 |

| $Y_{.j.}$ | $\bar{Y}_{.j.}$ | $\bar{Y}_{...}$ | $Y_{.j..}-\bar{Y}_{...}$ | $\bar{Y}_{.j.}-\bar{Y}_{...}$ | $(Y_{.j.}-\bar{Y}_{...})^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 66,67 | 3,17 | 2,95 | 63,72 | 0,22 | 4060,24 |
| 66,57 | 3,17 | 2,95 | 63,62 | 0,22 | 4047,50 |
| 60,35 | 2,87 | 2,95 | 57,40 | -0,08 | 3294,76 |
| 54,16 | 2,58 | 2,95 | 51,21 | -0,37 | 2622,46 |
| | | | | Jumlah | 14024,97 |

| $\bar{Y}_{i..}-\bar{Y}_{...}$ | $\bar{Y}_{.j.}-\bar{Y}_{...}$ | $Y_{ij.}$ | $(\bar{Y}_{i..}-\bar{Y}_{...})(\bar{Y}_{.j.}-\bar{Y}_{...})Y_{ij.}$ |
|---|---|---|---|
| 0,30 | 0,22 | 9,89 | 0,66 |
| 0,30 | 0,22 | 9,58 | 0,62 |
| 0,30 | -0,08 | 10,24 | -0,23 |
| 0,30 | -0,37 | 9,24 | -1,01 |
| -0,14 | 0,22 | 9,28 | -0,29 |
| -0,14 | 0,22 | 9,22 | -0,29 |
| -0,14 | -0,08 | 3,98 | 0,04 |
| -0,14 | -0,37 | 11,23 | 0,59 |
| -0,11 | 0,22 | 6,35 | -0,16 |
| -0,11 | 0,22 | 8,73 | -0,21 |
| -0,11 | -0,08 | 10,60 | 0,09 |
| -0,11 | -0,37 | 8,40 | 0,34 |
| 0,65 | 0,22 | 11,10 | 1,61 |
| 0,65 | 0,22 | 11,61 | 1,65 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,65 | -0,08 | 12,51 | -0,61 |
| 0,65 | -0,37 | 7,92 | -1,89 |
| -0,53 | 0,22 | 8,49 | -1,00 |
| -0,53 | 0,22 | 9,09 | -1,05 |
| -0,53 | -0,08 | 6,32 | 0,25 |
| -0,53 | -0,37 | 5,19 | 1,01 |
| -0,20 | 0,22 | 10,32 | -0,47 |
| -0,20 | 0,22 | 8,26 | -0,37 |
| -0,20 | -0,08 | 8,61 | 0,13 |
| -0,20 | -0,37 | 5,79 | 0,43 |
| 0,03 | 0,22 | 11,24 | 0,08 |
| 0,03 | 0,22 | 10,08 | 0,07 |
| 0,03 | -0,08 | 8,09 | -0,02 |
| 0,03 | -0.37 | 6,39 | -0,08 |
| | | Jumlah | -0,10 |

$$r\sum_{i=1}^{a}(Y_{i..}-\bar{Y}_{...})^2\sum_{j=1}^{b}\left(Y_{.j.}-\bar{Y}_{...}\right)^2 = 3\,.7490{,}71\,.14024{,}97 = 315170949{,}1$$

$$Q = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\bar{Y}_{i..}-\bar{Y}_{...})\left(\bar{Y}_{.j.}-\bar{Y}_{...}\right)Y_{ij.} = -0{,}10$$

$$JK_{(non-aditifitas)} = \frac{Q^2}{r\sum_{i=1}^{a}(Y_{i..}-\bar{Y}_{...})^2\sum_{j=1}^{b}\left(Y_{.j.}-\bar{Y}_{...}\right)^2}$$

$$= \frac{(-0{,}10)^2}{315170949{,}1}$$

$$= \frac{0{,}01}{315170949{,}1}$$

$$= 3{,}1729\,.\,10^{-11}$$

$$KT_{(non-aditifitas)} = \frac{JK_{(non-aditifitas)}}{db(non-aditifitas)}$$

$$= 3{,}1729\,.\,10^{-11}$$

$$FK = \frac{Y_{...}{}^2}{abr} = \frac{(247{,}75)^2}{7\,.4\,.\,3} = \frac{61380{,}0625}{84} = 730{,}715$$

$$JKT = \sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{4}\sum_{k=1}^{3}\left(Y_{ijk}\right)^2 - FK = 772{,}40 - 730{,}715 = 41{,}685$$

$$JKP = \sum_{i=1}^{7}\sum_{j=1}^{4}\frac{\left(Y_{ij.}\right)^2}{r} - FK$$

$$= \frac{2307{,}785}{3} - 730{,}715$$

$$= 769{,}261 - 730{,}715$$

$$= 38{,}546$$

$$JKK = \sum_{k=1}^{3}\frac{(Y_{..k})^2}{ab} - FK$$

$$= \frac{(83{,}9)^2 + (80{,}71)^2 + (83{,}14)^2}{7\,.\,4} - 730{,}715$$

$$= \frac{20465{,}574}{7\,.\;4} - 730{,}715$$

$$= 730{,}913 - 730{,}715$$

$$= 0{,}198$$

$$JKG = JKT - JKK - JKP - JK_{(non-aditifitas)}$$

$$= 41{,}685 - 0{,}198 - 38{,}546 - 3{,}1729\,.\,10^{-11}$$

$$= 2{,}941$$

db(G) = (ab – 1) (r – 1) = (7 . 4 – 1) (3 – 1) = 27 2 = 54

$$\mathrm{KTG} = \frac{\mathrm{JKG}}{\mathrm{db(G)}}$$

$$= \frac{2{,}941}{54}$$

$$= 0{,}0545$$

$$\mathrm{F_{hitung}} = \frac{\mathrm{KT_{(non-aditifitas)}}}{\mathrm{KTG}}$$

$$= \frac{3{,}1729\,.\,10^{-11}}{0{,}0545}$$

$$= 5{,}822\,.\,10^{-10}$$

$F_{\alpha(1,dbG)} = F_{0,05(1,54)} = 4{,}02$

$F_{hitung} < F_{\alpha(1,54)}$ atau ($5{,}822\,.\,10^{-10} < 4{,}02$)

**Lampiran 2**

Nilai Dugaan Galat $(\hat{\varepsilon}_{ijk})$ Data Hasil Produksi Padi

| Genotipe | Blok | Lokasi | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | L1 | L2 | L3 | L4 |
| G1 | 1 | -0,42 | -0,68 | -0,43 | -0,60 |
| | 2 | 0,49 | 0,76 | 0,21 | 0,41 |
| | 3 | -0,22 | -0,21 | 0,09 | 0,05 |
| G2 | 1 | -0,85 | -0,22 | -0,84 | -0,92 |
| | 2 | 0,46 | 0,15 | 0,29 | 0,65 |
| | 3 | 0,26 | -0,06 | 0,40 | 0,14 |
| G3 | 1 | -0,37 | -0,63 | -0,77 | -0,47 |
| | 2 | 0,14 | 0,61 | 0,46 | 0,47 |
| | 3 | 0,08 | -0,12 | 0,18 | -0,14 |
| G4 | 1 | -0,62 | -0,31 | -0,45 | -0,39 |
| | 2 | 0,11 | 0,08 | 0,50 | 0,43 |
| | 3 | 0,37 | 0,09 | -0,19 | -0,18 |
| G5 | 1 | -0,35 | -0,39 | -0,56 | -0,31 |
| | 2 | 0,68 | 0,40 | 0,43 | 0,21 |
| | 3 | -0,47 | -0,15 | -0,02 | -0,04 |
| G6 | 1 | -0,49 | -0,49 | -0,28 | -0,48 |
| | 2 | 0,25 | 0,32 | 0,33 | 0,38 |
| | 3 | 0,10 | 0,04 | -0,19 | -0,04 |
| G7 | 1 | -0,71 | -0,27 | -0,22 | -0,56 |
| | 2 | 0,28 | 0,21 | 0,07 | 0,39 |
| | 3 | 0,28 | -0,08 | 0,00 | 0,03 |

**Lampiran 3**

Perhitungan Komponen Utama Interaksi (KUI) dengan *Software Matlab*

```
>> X = [3.30 3.19 3.41 3.08; 3.09 3.07 1.33 3.74; 2.12 2.91 3.53 2.80; 3.70 3.87
        4.17 2.64; 2.83 3.03 2.11 1.73; 3.44 2.75 2.87 1.93; 3.75 3.36 2.70 2.13]

X =
    3.3000    3.1900    3.4100    3.0800
    3.0900    3.0700    1.3300    3.7400
    2.1200    2.9100    3.5300    2.8000
    3.7000    3.8700    4.1700    2.6400
    2.8300    3.0300    2.1100    1.7300
    3.4400    2.7500    2.8700    1.9300
    3.7500    3.3600    2.7000    2.1300

>> S=cov(X)

S =
    0.3219    0.1165    0.0582   -0.0624
    0.1165    0.1333    0.1629    0.0309
    0.0582    0.1629    0.8992   -0.0951
   -0.0624    0.0309   -0.0951    0.4992

>> [V,E] = eig(S)

V =
    0.3826    0.8911    0.1985   -0.1420
   -0.8973    0.3782   -0.1109   -0.1989
    0.1624   -0.1746   -0.2078   -0.9487
    0.1489    0.1800   -0.9514    0.2007
E =
    0.0491         0         0         0
         0    0.3473         0         0
         0         0    0.4950         0
         0         0         0    0.9622

>> e = diag(E)

e =
    0.0491
    0.3473
    0.4950
    0.9622
```

**Lampiran 4**

Penguraian Nilai Singular untuk Grafik Biplot dengan *Software Matlab*

```
>> Z=[0.35 0.24 0.46 0.13; 0.14 0.12 -1.62 0.79; -0.83 -0.04 0.58 -0.15; 0.75 0.92
        1.22 -0.31; -0.12 0.08 -0.84 -1.22; 0.49 -0.20 -0.08 -1.02; 0.80 0.41 -0.25 -
        0.82]

Z =

    0.3500    0.2400    0.4600    0.1300
    0.1400    0.1200   -1.6200    0.7900
   -0.8300   -0.0400    0.5800   -0.1500
    0.7500    0.9200    1.2200   -0.3100
   -0.1200    0.0800   -0.8400   -1.2200
    0.4900   -0.2000   -0.0800   -1.0200
    0.8000    0.4100   -0.2500   -0.8200

>> [A,E]=eig(Z'*Z)

A =

   -0.4943    0.7431   -0.3964   -0.2153
    0.8579    0.4422   -0.1125   -0.2363
   -0.1291   -0.1154    0.4266   -0.8877
   -0.0551    0.4889    0.8051    0.3314

E =

    0.4278         0         0         0
         0    2.2414         0         0
         0         0    4.2896         0
         0         0         0    5.8598

>> L=[sqrt(5.8598) 0 0 0; 0 sqrt(4.2896) 0 0; 0 0 sqrt(2.2414) 0; 0 0 0
        sqrt(0.4278)]

L =

    2.4207         0         0         0
         0    2.0711         0         0
         0         0    1.4971         0
         0         0         0    0.6541
```

>> U=Z*A*inv(L)

U =

| | | | |
|---|---|---|---|
| -0.0139 | 0.1819 | 0.0903 | -0.7604 |
| 0.0823 | 0.3526 | -0.0829 | 2.5095 |
| 0.1278 | -0.3741 | 0.3074 | -0.5755 |
| 0.1149 | 0.3243 | -0.0868 | -2.3921 |
| 0.1254 | -0.2671 | -0.8697 | 0.5325 |
| -0.1434 | -0.1032 | -0.6860 | -0.4972 |
| 0.0140 | 0.1949 | -0.7548 | -0.4876 |

>> G=U*L^0.5

G =

| | | | |
|---|---|---|---|
| **-0.0216** | **0.2617** | 0.1105 | -0.6149 |
| **0.1281** | **0.5074** | -0.1014 | 2.0295 |
| **0.1988** | **-0.5383** | 0.3761 | -0.4655 |
| **0.1788** | **0.4668** | -0.1062 | -1.9346 |
| **0.1952** | **-0.3844** | -1.0641 | 0.4307 |
| **-0.2232** | **-0.1485** | -0.8394 | -0.4021 |
| **0.0217** | **0.2806** | -0.9236 | -0.3943 |

>> H=A*L^0.5

H =

| | | | |
|---|---|---|---|
| **-0.7690** | **1.0694** | -0.4851 | -0.1741 |
| **1.3348** | **0.6363** | -0.1376 | -0.1911 |
| **-0.2008** | **-0.1661** | 0.5220 | -0.7179 |
| **-0.0858** | **0.7035** | 0.9851 | 0.2680 |

>> G*H'

ans =

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0.3500 | 0.2400 | 0.4600 | 0.1300 |
| 0.1400 | 0.1200 | -1.6200 | 0.7900 |
| -0.8300 | -0.0400 | 0.5800 | -0.1500 |
| 0.7500 | 0.9200 | 1.2200 | -0.3100 |
| -0.1200 | 0.0800 | -0.8400 | -1.2200 |
| 0.4900 | -0.2000 | -0.0800 | -1.0200 |
| 0.8000 | 0.4100 | -0.2500 | -0.8200 |

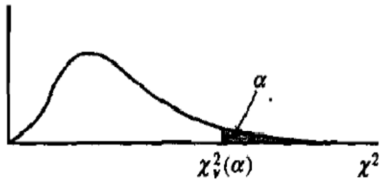
**Lampiran 5**

Input Program *SAS* untuk Grafik Biplot

```
data biplot;
input type $ name $ Rataan KUI3;
cards;
env   G1   -0.0216   0.2617
env   G2   0.1281    0.5074
env   G3   0.1988    -0.5383
env   G4   0.1788    0.4668
env   G5   0.1952    -0.3844
env   G6   -0.2232   -0.1485
env   G7   0.0217    0.2806
gen   L1   -0.7690   1.0694
gen   L2   1.3348    0.6363
gen   L3   -0.0858   0.7035
gen   L4   -0.2008   -0.1661
;
data labels;
set biplot;
retain xsys '2' ysys '2';
length function text $8;
text = name;
if type = 'gen' then do ;
color = 'red' ;
size = 1.5 ;
style = 'hwcgm001' ;
x = KUI3 ;
if dim1 >=0
then position = '5' ;
else position = '5' ;
function = 'LABEL' ;
output ;
end ;
if type = 'env' then DO ;
color = 'black' ;
size =1.5 ;
style = 'hwcgm001' ;
x = 0.0 ;
y = 0.0 ;
function = 'MOVE' ;
output ;
```

```
x = Rataan;
y = KUI3;
function = 'DRAW' ;
output ;
if dim1 >=0
then position = '7' ;
else position = '4' ;
function = 'LABEL' ;
output ;
end ;
proc gplot data = biplot ;
plot KUI3*Rataan / Annotate=labels frame
vref=0.0 Href = 0.0
cvref=black chref=black
lvref=3 lhref=3
vaxis=axis2 haxis=axis1
vminor=1 hminor=1 nolegend;
symbol1 v=none c=black h=1.5 ;
symbol2 v=none c=black h=1.5 ;
axis2
length = 5.0 in
order = (-5.0 to 2.0 by 0.5)
label=(f=hwcgm001 c=green h=3 a=90 r=0 'Rataan')
offest = (5)
value=(h=2)
offset = (3)
minor=none;
axis1
length = 10 in
order = (-5.0 to 2 by 0.5)
label=(f=hwcgm001 c=green h=3 'KUI3')
offest = (5)
value=(h=3)
offset = (3)
minor=none;
Title f=hwcgm001 c=green h=3 'Biplot AMMI3';
run;
```

## Lampiran 6



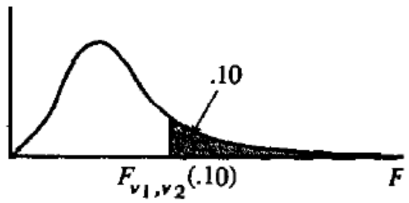

Tabel A. Sebaran khi-kuadrat pada taraf nyata α dengan derajat bebas k

| db = k | Peluang lebih besar dari nilai mutlak c sebesar α | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.995 | 0.99 | 0.975 | 0.95 | 0.9 | 0.1 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 |
| 1 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.016 | 2.706 | 3.841 | 5.024 | 6.635 | 7.879 |
| 2 | 0.010 | 0.020 | 0.051 | 0.103 | 0.211 | 4.605 | 5.991 | 7.378 | 9.210 | 10.597 |
| 3 | 0.072 | 0.115 | 0.216 | 0.352 | 0.584 | 6.251 | 7.815 | 9.348 | 11.345 | 12.838 |
| 4 | 0.207 | 0.297 | 0.484 | 0.711 | 1.064 | 7.779 | 9.488 | 11.143 | 13.277 | 14.860 |
| 5 | 0.412 | 0.554 | 0.831 | 1.145 | 1.610 | 9.236 | 11.070 | 12.833 | 15.086 | 16.750 |
| 6 | 0.676 | 0.872 | 1.237 | 1.635 | 2.204 | 10.645 | 12.592 | 14.449 | 16.812 | 18.548 |
| 7 | 0.989 | 1.239 | 1.690 | 2.167 | 2.833 | 12.017 | 14.067 | 16.013 | 18.475 | 20.278 |
| 8 | 1.344 | 1.646 | 2.180 | 2.733 | 3.490 | 13.362 | 15.507 | 17.535 | 20.090 | 21.955 |
| 9 | 1.735 | 2.088 | 2.700 | 3.325 | 4.168 | 14.684 | 16.919 | 19.023 | 21.666 | 23.589 |
| 10 | 2.156 | 2.558 | 3.247 | 3.940 | 4.865 | 15.987 | 18.307 | 20.483 | 23.209 | 25.188 |
| 11 | 2.603 | 3.053 | 3.816 | 4.575 | 5.578 | 17.275 | 19.675 | 21.920 | 24.725 | 26.757 |
| 12 | 3.074 | 3.571 | 4.404 | 5.226 | 6.304 | 18.549 | 21.026 | 23.337 | 26.217 | 28.300 |
| 13 | 3.565 | 4.107 | 5.009 | 5.892 | 7.042 | 19.812 | 22.362 | 24.736 | 27.688 | 29.819 |
| 14 | 4.075 | 4.660 | 5.629 | 6.571 | 7.790 | 21.064 | 23.685 | 26.119 | 29.141 | 31.319 |
| 15 | 4.601 | 5.229 | 6.262 | 7.261 | 8.547 | 22.307 | 24.996 | 27.488 | 30.578 | 32.801 |
| 16 | 5.142 | 5.812 | 6.908 | 7.962 | 9.312 | 23.542 | 26.296 | 28.845 | 32.000 | 34.267 |
| 17 | 5.697 | 6.408 | 7.564 | 8.672 | 10.085 | 24.769 | 27.587 | 30.191 | 33.409 | 35.718 |
| 18 | 6.265 | 7.015 | 8.231 | 9.390 | 10.865 | 25.989 | 28.869 | 31.526 | 34.805 | 37.156 |
| 19 | 6.844 | 7.633 | 8.907 | 10.117 | 11.651 | 27.204 | 30.144 | 32.852 | 36.191 | 38.582 |
| 20 | 7.434 | 8.260 | 9.591 | 10.851 | 12.443 | 28.412 | 31.410 | 34.170 | 37.566 | 39.997 |
| 21 | 8.034 | 8.897 | 10.283 | 11.591 | 13.240 | 29.615 | 32.671 | 35.479 | 38.932 | 41.401 |
| 22 | 8.643 | 9.542 | 10.982 | 12.338 | 14.041 | 30.813 | 33.924 | 36.781 | 40.289 | 42.796 |
| 23 | 9.260 | 10.196 | 11.689 | 13.091 | 14.848 | 32.007 | 35.172 | 38.076 | 41.638 | 44.181 |
| 24 | 9.886 | 10.856 | 12.401 | 13.848 | 15.659 | 33.196 | 36.415 | 39.364 | 42.980 | 45.559 |
| 25 | 10.520 | 11.524 | 13.120 | 14.611 | 16.473 | 34.382 | 37.652 | 40.646 | 44.314 | 46.928 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26 | 11.160 | 12.198 | 13.844 | 15.379 | 17.292 | 35.563 | 38.885 | 41.923 | 45.642 | 48.290 |
| 27 | 11.808 | 12.879 | 14.573 | 16.151 | 18.114 | 36.741 | 40.113 | 43.195 | 46.963 | 49.645 |
| 28 | 12.461 | 13.565 | 15.308 | 16.928 | 18.939 | 37.916 | 41.337 | 44.461 | 48.278 | 50.993 |
| 29 | 13.121 | 14.256 | 16.047 | 17.708 | 19.768 | 39.087 | 42.557 | 45.722 | 49.588 | 52.336 |
| 30 | 13.787 | 14.953 | 16.791 | 18.493 | 20.599 | 40.256 | 43.773 | 46.979 | 50.892 | 53.672 |
| 31 | 14.458 | 15.655 | 17.539 | 19.281 | 21.434 | 41.422 | 44.985 | 48.232 | 52.191 | 55.003 |
| 32 | 15.134 | 16.362 | 18.291 | 20.072 | 22.271 | 42.585 | 46.194 | 49.480 | 53.486 | 56.328 |
| 33 | 15.815 | 17.074 | 19.047 | 20.867 | 23.110 | 43.745 | 47.400 | 50.725 | 54.776 | 57.648 |
| 34 | 16.501 | 17.789 | 19.806 | 21.664 | 23.952 | 44.903 | 48.602 | 51.966 | 56.061 | 58.964 |
| 35 | 17.192 | 18.509 | 20.569 | 22.465 | 24.797 | 46.059 | 49.802 | 53.203 | 57.342 | 60.275 |
| 36 | 17.887 | 19.233 | 21.336 | 23.269 | 25.643 | 47.212 | 50.998 | 54.437 | 58.619 | 61.581 |
| 37 | 18.586 | 19.960 | 22.106 | 24.075 | 26.492 | 48.363 | 52.192 | 55.668 | 59.893 | 62.883 |
| 38 | 19.289 | 20.691 | 22.878 | 24.884 | 27.343 | 49.513 | 53.384 | 56.896 | 61.162 | 64.181 |
| 39 | 19.996 | 21.426 | 23.654 | 25.695 | 28.196 | 50.660 | 54.572 | 58.120 | 62.428 | 65.476 |
| 40 | 20.707 | 22.164 | 24.433 | 26.509 | 29.051 | 51.805 | 55.758 | 59.342 | 63.691 | 66.766 |
| 50 | 27.991 | 29.707 | 32.357 | 34.764 | 37.689 | 63.167 | 67.505 | 71.420 | 76.154 | 79.490 |
| 60 | 35.534 | 37.485 | 40.482 | 43.188 | 46.459 | 74.397 | 79.082 | 83.298 | 88.379 | 91.952 |
| 70 | 43.275 | 45.442 | 48.758 | 51.739 | 55.329 | 85.527 | 90.531 | 95.023 | 100.425 | 104.215 |
| 80 | 51.172 | 53.540 | 57.153 | 60.391 | 64.278 | 96.578 | 101.879 | 106.629 | 112.329 | 116.321 |
| 90 | 59.196 | 61.754 | 65.647 | 69.126 | 73.291 | 107.565 | 113.145 | 118.136 | 124.116 | 128.299 |
| 100 | 67.328 | 70.065 | 74.222 | 77.929 | 82.358 | 118.498 | 124.342 | 129.561 | 135.807 | 140.169 |
| 120 | 83.852 | 86.923 | 91.573 | 95.705 | 100.624 | 140.233 | 146.567 | 152.211 | 158.950 | 163.648 |
| 140 | 100.655 | 104.034 | 109.137 | 113.659 | 119.029 | 161.827 | 168.613 | 174.648 | 181.840 | 186.847 |
| 160 | 117.679 | 121.346 | 126.870 | 131.756 | 137.546 | 183.311 | 190.516 | 196.915 | 204.530 | 209.824 |
| 180 | 134.884 | 138.820 | 144.741 | 149.969 | 156.153 | 204.704 | 212.304 | 219.044 | 227.056 | 232.620 |
| 200 | 152.241 | 156.432 | 162.728 | 168.279 | 174.835 | 226.021 | 233.994 | 241.058 | 249.445 | 255.264 |

Sumber : Mattjik, AA, & Sumertajaya IM. (2000). *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan MINITAB jilid 1*.Bogor: IPB Press.

## Lampiran 7



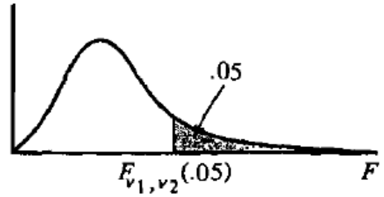

Tabel B. Sebaran F pada taraf nyata α = 0.10 dan derajat bebas pembilang db1 serta derajat bebas penyebut db2

| db2 | db1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 60 |
| 1 | 39.86 | 49.50 | 53.59 | 55.83 | 57.24 | 58.20 | 58.91 | 59.44 | 59.86 | 60.19 | 60.71 | 61.22 | 61.74 | 62.05 | 62.26 | 62.53 | 62.79 |
| 2 | 8.53 | 9.00 | 9.16 | 9.24 | 9.29 | 9.33 | 9.35 | 9.37 | 9.38 | 9.39 | 9.41 | 9.42 | 9.44 | 9.45 | 9.46 | 9.47 | 9.47 |
| 3 | 5.54 | 5.46 | 5.39 | 5.34 | 5.31 | 5.28 | 5.27 | 5.25 | 5.24 | 5.23 | 5.22 | 5.20 | 5.18 | 5.17 | 5.17 | 5.16 | 5.15 |
| 4 | 4.54 | 4.32 | 4.19 | 4.11 | 4.05 | 4.01 | 3.98 | 3.95 | 3.94 | 3.92 | 3.90 | 3.87 | 3.84 | 3.83 | 3.82 | 3.80 | 3.79 |
| 5 | 4.06 | 3.78 | 3.62 | 3.52 | 3.45 | 3.40 | 3.37 | 3.34 | 3.32 | 3.30 | 3.27 | 3.24 | 3.21 | 3.19 | 3.17 | 3.16 | 3.14 |
| 6 | 3.78 | 3.46 | 3.29 | 3.18 | 3.11 | 3.05 | 3.01 | 2.98 | 2.96 | 2.94 | 2.90 | 2.87 | 2.84 | 2.81 | 2.80 | 2.78 | 2.76 |
| 7 | 3.59 | 3.26 | 3.07 | 2.96 | 2.88 | 2.83 | 2.78 | 2.75 | 2.72 | 2.70 | 2.67 | 2.63 | 2.59 | 2.57 | 2.56 | 2.54 | 2.51 |
| 8 | 3.46 | 3.11 | 2.92 | 2.81 | 2.73 | 2.67 | 2.62 | 2.59 | 2.56 | 2.54 | 2.50 | 2.46 | 2.42 | 2.40 | 2.38 | 2.36 | 2.34 |
| 9 | 3.36 | 3.01 | 2.81 | 2.69 | 2.61 | 2.55 | 2.51 | 2.47 | 2.44 | 2.42 | 2.38 | 2.34 | 2.30 | 2.27 | 2.25 | 2.23 | 2.21 |
| 10 | 3.29 | 2.92 | 2.73 | 2.61 | 2.52 | 2.46 | 2.41 | 2.38 | 2.35 | 2.32 | 2.28 | 2.24 | 2.20 | 2.17 | 2.16 | 2.13 | 2.11 |
| 11 | 3.23 | 2.86 | 2.66 | 2.54 | 2.45 | 2.39 | 2.34 | 2.30 | 2.27 | 2.25 | 2.21 | 2.17 | 2.12 | 2.10 | 2.08 | 2.05 | 2.03 |
| 12 | 3.18 | 2.81 | 2.61 | 2.48 | 2.39 | 2.33 | 2.28 | 2.24 | 2.21 | 2.19 | 2.15 | 2.10 | 2.06 | 2.03 | 2.01 | 1.99 | 1.96 |
| 13 | 3.14 | 2.76 | 2.56 | 2.43 | 2.35 | 2.28 | 2.23 | 2.20 | 2.16 | 2.14 | 2.10 | 2.05 | 2.01 | 1.98 | 1.96 | 1.93 | 1.90 |
| 14 | 3.10 | 2.73 | 2.52 | 2.39 | 2.31 | 2.24 | 2.19 | 2.15 | 2.12 | 2.10 | 2.05 | 2.01 | 1.96 | 1.93 | 1.91 | 1.89 | 1.86 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 3.07 | 2.70 | 2.49 | 2.36 | 2.27 | 2.21 | 2.16 | 2.12 | 2.09 | 2.06 | 2.02 | 1.97 | 1.92 | 1.89 | 1.87 | 1.85 | 1.82 |
| 16 | 3.05 | 2.67 | 2.46 | 2.33 | 2.24 | 2.18 | 2.13 | 2.09 | 2.06 | 2.03 | 1.99 | 1.94 | 1.89 | 1.86 | 1.84 | 1.81 | 1.78 |
| 17 | 3.03 | 2.64 | 2.44 | 2.31 | 2.22 | 2.15 | 2.10 | 2.06 | 2.03 | 2.00 | 1.96 | 1.91 | 1.86 | 1.83 | 1.81 | 1.78 | 1.75 |
| 18 | 3.01 | 2.62 | 2.42 | 2.29 | 2.20 | 2.13 | 2.08 | 2.04 | 2.00 | 1.98 | 1.93 | 1.89 | 1.84 | 1.80 | 1.78 | 1.75 | 1.72 |
| 19 | 2.99 | 2.61 | 2.40 | 2.27 | 2.18 | 2.11 | 2.06 | 2.02 | 1.98 | 1.96 | 1.91 | 1.86 | 1.81 | 1.78 | 1.76 | 1.73 | 1.70 |
| 20 | 2.97 | 2.59 | 2.38 | 2.25 | 2.16 | 2.09 | 2.04 | 2.00 | 1.96 | 1.94 | 1.89 | 1.84 | 1.79 | 1.76 | 1.74 | 1.71 | 1.68 |
| 21 | 2.96 | 2.57 | 2.36 | 2.23 | 2.14 | 2.08 | 2.02 | 1.98 | 1.95 | 1.92 | 1.87 | 1.83 | 1.78 | 1.74 | 1.72 | 1.69 | 1.66 |
| 22 | 2.95 | 2.56 | 2.35 | 2.22 | 2.13 | 2.06 | 2.01 | 1.97 | 1.93 | 1.90 | 1.86 | 1.81 | 1.76 | 1.73 | 1.70 | 1.67 | 1.64 |
| 23 | 2.94 | 2.55 | 2.34 | 2.21 | 2.11 | 2.05 | 1.99 | 1.95 | 1.92 | 1.89 | 1.84 | 1.80 | 1.74 | 1.71 | 1.69 | 1.66 | 1.62 |
| 24 | 2.93 | 2.54 | 2.33 | 2.19 | 2.10 | 2.04 | 1.98 | 1.94 | 1.91 | 1.88 | 1.83 | 1.78 | 1.73 | 1.70 | 1.67 | 1.64 | 1.61 |
| 25 | 2.92 | 2.53 | 2.32 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.97 | 1.93 | 1.89 | 1.87 | 1.82 | 1.77 | 1.72 | 1.68 | 1.66 | 1.63 | 1.59 |
| 26 | 2.91 | 2.52 | 2.31 | 2.17 | 2.08 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.88 | 1.86 | 1.81 | 1.76 | 1.71 | 1.67 | 1.65 | 1.61 | 1.58 |
| 27 | 2.90 | 2.51 | 2.30 | 2.17 | 2.07 | 2.00 | 1.95 | 1.91 | 1.87 | 1.85 | 1.80 | 1.75 | 1.70 | 1.66 | 1.64 | 1.60 | 1.57 |
| 28 | 2.89 | 2.50 | 2.29 | 2.16 | 2.06 | 2.00 | 1.94 | 1.90 | 1.87 | 1.84 | 1.79 | 1.74 | 1.69 | 1.65 | 1.63 | 1.59 | 1.56 |
| 29 | 2.89 | 2.50 | 2.28 | 2.15 | 2.06 | 1.99 | 1.93 | 1.89 | 1.86 | 1.83 | 1.78 | 1.73 | 1.68 | 1.64 | 1.62 | 1.58 | 1.55 |
| 30 | 2.88 | 2.49 | 2.28 | 2.14 | 2.05 | 1.98 | 1.93 | 1.88 | 1.85 | 1.82 | 1.77 | 1.72 | 1.67 | 1.63 | 1.61 | 1.57 | 1.54 |
| 40 | 2.84 | 2.44 | 2.23 | 2.09 | 2.00 | 1.93 | 1.87 | 1.83 | 1.79 | 1.76 | 1.71 | 1.66 | 1.61 | 1.57 | 1.54 | 1.51 | 1.47 |
| 60 | 2.79 | 2.39 | 2.18 | 2.04 | 1.95 | 1.87 | 1.82 | 1.77 | 1.74 | 1.71 | 1.66 | 1.60 | 1.54 | 1.50 | 1.48 | 1.44 | 1.40 |
| 120 | 2.75 | 2.35 | 2.13 | 1.99 | 1.90 | 1.82 | 1.77 | 1.72 | 1.68 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.48 | 1.44 | 1.41 | 1.37 | 1.32 |
| ∞ | 2.71 | 2.30 | 2.08 | 1.94 | 1.85 | 1.77 | 1.72 | 1.67 | 1.63 | 1.60 | 1.55 | 1.49 | 1.42 | 1.38 | 1.34 | 1.30 | 1.24 |

Sumber : Johnson, RA & Wichern, DW. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed). New Jersey: Prentice-Hall.

## Lampiran 8



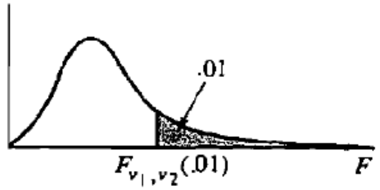

Tabel C. Sebaran F pada taraf nyata α = 0.05 dan derajat bebas pembilang db1 serta derajat bebas penyebut db2

| db2 | db1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 60 |
| 1 | 161.5 | 199.5 | 215.7 | 224.6 | 230.2 | 234.0 | 236.8 | 238.9 | 240.5 | 241.9 | 243.9 | 246.0 | 248.0 | 249.3 | 250.1 | 251.1 | 252.2 |
| 2 | 18.51 | 19.00 | 19.16 | 19.25 | 19.30 | 19.33 | 19.35 | 19.37 | 19.38 | 19.40 | 19.41 | 19.43 | 19.45 | 19.46 | 19.46 | 19.47 | 19.48 |
| 3 | 10.13 | 9.55 | 9.28 | 9.12 | 9.01 | 8.94 | 8.89 | 8.85 | 8.81 | 8.79 | 8.74 | 8.70 | 8.66 | 8.63 | 8.62 | 8.59 | 8.57 |
| 4 | 7.71 | 6.94 | 6.59 | 6.39 | 6.26 | 6.16 | 6.09 | 6.04 | 6.00 | 5.96 | 5.91 | 5.86 | 5.80 | 5.77 | 5.75 | 5.72 | 5.69 |
| 5 | 6.61 | 5.79 | 5.41 | 5.19 | 5.05 | 4.95 | 4.88 | 4.82 | 4.77 | 4.74 | 4.68 | 4.62 | 4.56 | 4.52 | 4.50 | 4.46 | 4.43 |
| 6 | 5.99 | 5.14 | 4.76 | 4.53 | 4.39 | 4.28 | 4.21 | 4.15 | 4.10 | 4.06 | 4.00 | 3.94 | 3.87 | 3.83 | 3.81 | 3.77 | 3.74 |
| 7 | 5.59 | 4.74 | 4.35 | 4.12 | 3.97 | 3.87 | 3.79 | 3.73 | 3.68 | 3.64 | 3.57 | 3.51 | 3.44 | 3.40 | 3.38 | 3.34 | 3.30 |
| 8 | 5.32 | 4.46 | 4.07 | 3.84 | 3.69 | 3.58 | 3.50 | 3.44 | 3.39 | 3.35 | 3.28 | 3.22 | 3.15 | 3.11 | 3.08 | 3.04 | 3.01 |
| 9 | 5.12 | 4.26 | 3.86 | 3.63 | 3.48 | 3.37 | 3.29 | 3.23 | 3.18 | 3.14 | 3.07 | 3.01 | 2.94 | 2.89 | 2.86 | 2.83 | 2.79 |
| 10 | 4.96 | 4.10 | 3.71 | 3.48 | 3.33 | 3.22 | 3.14 | 3.07 | 3.02 | 2.98 | 2.91 | 2.85 | 2.77 | 2.73 | 2.70 | 2.66 | 2.62 |
| 11 | 4.84 | 3.98 | 3.59 | 3.36 | 3.20 | 3.09 | 3.01 | 2.95 | 2.90 | 2.85 | 2.79 | 2.72 | 2.65 | 2.60 | 2.57 | 2.53 | 2.49 |
| 12 | 4.75 | 3.89 | 3.49 | 3.26 | 3.11 | 3.00 | 2.91 | 2.85 | 2.80 | 2.75 | 2.69 | 2.62 | 2.54 | 2.50 | 2.47 | 2.43 | 2.38 |
| 13 | 4.67 | 3.81 | 3.41 | 3.18 | 3.03 | 2.92 | 2.83 | 2.77 | 2.71 | 2.67 | 2.60 | 2.53 | 2.46 | 2.41 | 2.38 | 2.34 | 2.30 |
| 14 | 4.60 | 3.74 | 3.34 | 3.11 | 2.96 | 2.85 | 2.76 | 2.70 | 2.65 | 2.60 | 2.53 | 2.46 | 2.39 | 2.34 | 2.31 | 2.27 | 2.22 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 4.54 | 3.68 | 3.29 | 3.06 | 2.90 | 2.79 | 2.71 | 2.64 | 2.59 | 2.54 | 2.48 | 2.40 | 2.33 | 2.28 | 2.25 | 2.20 | 2.16 |
| 16 | 4.49 | 3.63 | 3.24 | 3.01 | 2.85 | 2.74 | 2.66 | 2.59 | 2.54 | 2.49 | 2.42 | 2.35 | 2.28 | 2.23 | 2.19 | 2.15 | 2.11 |
| 17 | 4.45 | 3.59 | 3.20 | 2.96 | 2.81 | 2.70 | 2.61 | 2.55 | 2.49 | 2.45 | 2.38 | 2.31 | 2.23 | 2.18 | 2.15 | 2.10 | 2.06 |
| 18 | 4.41 | 3.55 | 3.16 | 2.93 | 2.77 | 2.66 | 2.58 | 2.51 | 2.46 | 2.41 | 2.34 | 2.27 | 2.19 | 2.14 | 2.11 | 2.06 | 2.02 |
| 19 | 4.38 | 3.52 | 3.13 | 2.90 | 2.74 | 2.63 | 2.54 | 2.48 | 2.42 | 2.38 | 2.31 | 2.23 | 2.16 | 2.11 | 2.07 | 2.03 | 1.98 |
| 20 | 4.35 | 3.49 | 3.10 | 2.87 | 2.71 | 2.60 | 2.51 | 2.45 | 2.39 | 2.35 | 2.28 | 2.20 | 2.12 | 2.07 | 2.04 | 1.99 | 1.95 |
| 21 | 4.32 | 3.47 | 3.07 | 2.84 | 2.68 | 2.57 | 2.49 | 2.42 | 2.37 | 2.32 | 2.25 | 2.18 | 2.10 | 2.05 | 2.01 | 1.96 | 1.92 |
| 22 | 4.30 | 3.44 | 3.05 | 2.82 | 2.66 | 2.55 | 2.46 | 2.40 | 2.34 | 2.30 | 2.23 | 2.15 | 2.07 | 2.02 | 1.98 | 1.94 | 1.89 |
| 23 | 4.28 | 3.42 | 3.03 | 2.80 | 2.64 | 2.53 | 2.44 | 2.37 | 2.32 | 2.27 | 2.20 | 2.13 | 2.05 | 2.00 | 1.96 | 1.91 | 1.86 |
| 24 | 4.26 | 3.40 | 3.01 | 2.78 | 2.62 | 2.51 | 2.42 | 2.36 | 2.30 | 2.25 | 2.18 | 2.11 | 2.03 | 1.97 | 1.94 | 1.89 | 1.84 |
| 25 | 4.24 | 3.39 | 2.99 | 2.76 | 2.60 | 2.49 | 2.40 | 2.34 | 2.28 | 2.24 | 2.16 | 2.09 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.87 | 1.82 |
| 26 | 4.23 | 3.37 | 2.98 | 2.74 | 2.59 | 2.47 | 2.39 | 2.32 | 2.27 | 2.22 | 2.15 | 2.07 | 1.99 | 1.94 | 1.90 | 1.85 | 1.80 |
| 27 | 4.21 | 3.35 | 2.96 | 2.73 | 2.57 | 2.46 | 2.37 | 2.31 | 2.25 | 2.20 | 2.13 | 2.06 | 1.97 | 1.92 | 1.88 | 1.84 | 1.79 |
| 28 | 4.20 | 3.34 | 2.95 | 2.71 | 2.56 | 2.45 | 2.36 | 2.29 | 2.24 | 2.19 | 2.12 | 2.04 | 1.96 | 1.91 | 1.87 | 1.82 | 1.77 |
| 29 | 4.18 | 3.33 | 2.93 | 2.70 | 2.55 | 2.43 | 2.35 | 2.28 | 2.22 | 2.18 | 2.10 | 2.03 | 1.94 | 1.89 | 1.85 | 1.81 | 1.75 |
| 30 | 4.17 | 3.32 | 2.92 | 2.69 | 2.53 | 2.42 | 2.33 | 2.27 | 2.21 | 2.16 | 2.09 | 2.01 | 1.93 | 1.88 | 1.84 | 1.79 | 1.74 |
| 40 | 4.08 | 3.23 | 2.84 | 2.61 | 2.45 | 2.34 | 2.25 | 2.18 | 2.12 | 2.08 | 2.00 | 1.92 | 1.84 | 1.78 | 1.74 | 1.69 | 1.64 |
| 60 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.25 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 1.99 | 1.92 | 1.84 | 1.75 | 1.69 | 1.65 | 1.59 | 1.53 |
| 120 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.83 | 1.75 | 1.66 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.43 |
| $\infty$ | 3.84 | 3.00 | 2.61 | 2.37 | 2.21 | 2.10 | 2.01 | 1.94 | 1.88 | 1.83 | 1.75 | 1.67 | 1.57 | 1.51 | 1.46 | 1.39 | 1.32 |

Sumber : Johnson, RA & Wichern, DW. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed). New Jersey: Prentice-Hall.

**Lampiran 9**




Tabel D. Sebaran F pada taraf nyata α = 0.01 dan derajat bebas pembilang db1 serta derajat bebas penyebut db2

| db2 | db1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 60 |
| 1 | 4052 | 5000 | 5403 | 5625 | 5764 | 5859 | 5928 | 5981 | 6023 | 6056 | 6106 | 6157 | 6209 | 6240 | 6261 | 6287 | 6313 |
| 2 | 98.5 | 99 | 99.17 | 99.25 | 99.3 | 99.33 | 99.36 | 99.37 | 99.39 | 99.4 | 99.42 | 99.43 | 99.45 | 99.46 | 99.47 | 99.47 | 99.48 |
| 3 | 34.12 | 30.82 | 29.46 | 28.71 | 28.24 | 27.91 | 27.67 | 27.49 | 27.35 | 27.23 | 27.05 | 26.87 | 26.69 | 26.58 | 26.5 | 26.41 | 26.32 |
| 4 | 21.2 | 18 | 16.69 | 15.98 | 15.52 | 15.21 | 14.98 | 14.8 | 14.66 | 14.55 | 14.37 | 14.2 | 14.02 | 13.91 | 13.84 | 13.75 | 13.65 |
| 5 | 16.26 | 13.27 | 12.06 | 11.39 | 10.97 | 10.67 | 10.46 | 10.29 | 10.16 | 10.05 | 9.89 | 9.72 | 9.55 | 9.45 | 9.38 | 9.29 | 9.2 |
| 6 | 13.75 | 10.92 | 9.78 | 9.15 | 8.75 | 8.47 | 8.26 | 8.1 | 7.98 | 7.87 | 7.72 | 7.56 | 7.4 | 7.3 | 7.23 | 7.14 | 7.06 |
| 7 | 12.25 | 9.55 | 8.45 | 7.85 | 7.46 | 7.19 | 6.99 | 6.84 | 6.72 | 6.62 | 6.47 | 6.31 | 6.16 | 6.06 | 5.99 | 5.91 | 5.82 |
| 8 | 11.26 | 8.65 | 7.59 | 7.01 | 6.63 | 6.37 | 6.18 | 6.03 | 5.91 | 5.81 | 5.67 | 5.52 | 5.36 | 5.26 | 5.2 | 5.12 | 5.03 |
| 9 | 10.56 | 8.02 | 6.99 | 6.42 | 6.06 | 5.8 | 5.61 | 5.47 | 5.35 | 5.26 | 5.11 | 4.96 | 4.81 | 4.71 | 4.65 | 4.57 | 4.48 |
| 10 | 10.04 | 7.56 | 6.55 | 5.99 | 5.64 | 5.39 | 5.2 | 5.06 | 4.94 | 4.85 | 4.71 | 4.56 | 4.41 | 4.31 | 4.25 | 4.17 | 4.08 |
| 11 | 9.65 | 7.21 | 6.22 | 5.67 | 5.32 | 5.07 | 4.89 | 4.74 | 4.63 | 4.54 | 4.4 | 4.25 | 4.1 | 4.01 | 3.94 | 3.86 | 3.78 |
| 12 | 9.33 | 6.93 | 5.95 | 5.41 | 5.06 | 4.82 | 4.64 | 4.5 | 4.39 | 4.3 | 4.16 | 4.01 | 3.86 | 3.76 | 3.7 | 3.62 | 3.54 |
| 13 | 9.07 | 6.7 | 5.74 | 5.21 | 4.86 | 4.62 | 4.44 | 4.3 | 4.19 | 4.1 | 3.96 | 3.82 | 3.66 | 3.57 | 3.51 | 3.43 | 3.34 |
| 14 | 8.86 | 6.51 | 5.56 | 5.04 | 4.69 | 4.46 | 4.28 | 4.14 | 4.03 | 3.94 | 3.8 | 3.66 | 3.51 | 3.41 | 3.35 | 3.27 | 3.18 |
| 15 | 8.68 | 6.36 | 5.42 | 4.89 | 4.56 | 4.32 | 4.14 | 4 | 3.89 | 3.8 | 3.67 | 3.52 | 3.37 | 3.28 | 3.21 | 3.13 | 3.05 |
| 16 | 8.53 | 6.23 | 5.29 | 4.77 | 4.44 | 4.2 | 4.03 | 3.89 | 3.78 | 3.69 | 3.55 | 3.41 | 3.26 | 3.16 | 3.1 | 3.02 | 2.93 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 | 8.4 | 6.11 | 5.18 | 4.67 | 4.34 | 4.1 | 3.93 | 3.79 | 3.68 | 3.59 | 3.46 | 3.31 | 3.16 | 3.07 | 3 | 2.92 | 2.83 |
| 18 | 8.29 | 6.01 | 5.09 | 4.58 | 4.25 | 4.01 | 3.84 | 3.71 | 3.6 | 3.51 | 3.37 | 3.23 | 3.08 | 2.98 | 2.92 | 2.84 | 2.75 |
| 19 | 8.18 | 5.93 | 5.01 | 4.5 | 4.17 | 3.94 | 3.77 | 3.63 | 3.52 | 3.43 | 3.3 | 3.15 | 3 | 2.91 | 2.84 | 2.76 | 2.67 |
| 20 | 8.1 | 5.85 | 4.94 | 4.43 | 4.1 | 3.87 | 3.7 | 3.56 | 3.46 | 3.37 | 3.23 | 3.09 | 2.94 | 2.84 | 2.78 | 2.69 | 2.61 |
| 21 | 8.02 | 5.78 | 4.87 | 4.37 | 4.04 | 3.81 | 3.64 | 3.51 | 3.4 | 3.31 | 3.17 | 3.03 | 2.88 | 2.79 | 2.72 | 2.64 | 2.55 |
| 22 | 7.95 | 5.72 | 4.82 | 4.31 | 3.99 | 3.76 | 3.59 | 3.45 | 3.35 | 3.26 | 3.12 | 2.98 | 2.83 | 2.73 | 2.67 | 2.58 | 2.5 |
| 23 | 7.88 | 5.66 | 4.76 | 4.26 | 3.94 | 3.71 | 3.54 | 3.41 | 3.3 | 3.21 | 3.07 | 2.93 | 2.78 | 2.69 | 2.62 | 2.54 | 2.45 |
| 24 | 7.82 | 5.61 | 4.72 | 4.22 | 3.9 | 3.67 | 3.5 | 3.36 | 3.26 | 3.17 | 3.03 | 2.89 | 2.74 | 2.64 | 2.58 | 2.49 | 2.4 |
| 25 | 7.77 | 5.57 | 4.68 | 4.18 | 3.85 | 3.63 | 3.46 | 3.32 | 3.22 | 3.13 | 2.99 | 2.85 | 2.7 | 2.6 | 2.54 | 2.45 | 2.36 |
| 26 | 7.72 | 5.53 | 4.64 | 4.14 | 3.82 | 3.59 | 3.42 | 3.29 | 3.18 | 3.09 | 2.96 | 2.81 | 2.66 | 2.57 | 2.5 | 2.42 | 2.33 |
| 27 | 7.68 | 5.49 | 4.6 | 4.11 | 3.78 | 3.56 | 3.39 | 3.26 | 3.15 | 3.06 | 2.93 | 2.78 | 2.63 | 2.54 | 2.47 | 2.38 | 2.29 |
| 28 | 7.64 | 5.45 | 4.57 | 4.07 | 3.75 | 3.53 | 3.36 | 3.23 | 3.12 | 3.03 | 2.9 | 2.75 | 2.6 | 2.51 | 2.44 | 2.35 | 2.26 |
| 29 | 7.6 | 5.42 | 4.54 | 4.04 | 3.73 | 3.5 | 3.33 | 3.2 | 3.09 | 3 | 2.87 | 2.73 | 2.57 | 2.48 | 2.41 | 2.33 | 2.23 |
| 30 | 7.56 | 5.39 | 4.51 | 4.02 | 3.7 | 3.47 | 3.3 | 3.17 | 3.07 | 2.98 | 2.84 | 2.7 | 2.55 | 2.45 | 2.39 | 2.3 | 2.21 |
| 40 | 7.31 | 5.18 | 4.31 | 3.83 | 3.51 | 3.29 | 3.12 | 2.99 | 2.89 | 2.8 | 2.66 | 2.52 | 2.37 | 2.27 | 2.2 | 2.11 | 2.02 |
| 60 | 7.08 | 4.98 | 4.13 | 3.65 | 3.34 | 3.12 | 2.95 | 2.82 | 2.72 | 2.63 | 2.5 | 2.35 | 2.2 | 2.1 | 2.03 | 1.94 | 1.84 |
| 120 | 6.85 | 4.79 | 3.95 | 3.48 | 3.17 | 2.96 | 2.79 | 2.66 | 2.56 | 2.47 | 2.34 | 2.19 | 2.03 | 1.93 | 1.86 | 1.76 | 1.66 |
| ∞ | 6.63 | 4.61 | 3.78 | 3.32 | 3.02 | 2.8 | 2.64 | 2.51 | 2.41 | 2.32 | 2.18 | 2.04 | 1.88 | 1.78 | 1.7 | 1.59 | 1.47 |

Sumber : Johnson, RA & Wichern, DW. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed). New Jersey: Prentice-Hall