PENENTUAN KOEFISIEN ORTOGONAL POLINOMIAL HINGGA DERAJAT LIMA PADA RANCANGAN SATU FAKTOR

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

oleh:
AGUSTIN DINA IRIANI
105090504111005

PROGRAM STUDI STATISTIKA
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2014

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENENTUAN KOEFISIEN ORTOGONAL POLINOMIAL HINGGA DERAJAT LIMA PADA RANCANGAN SATU FAKTOR

oleh:
AGUSTIN DINA IRIANI
105090504111005

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal 18 Juni 2014
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Statistika

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Loekito Adi Soehono, M.Agr
NIP. 194703271974121001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc
NIP. 196709071992031001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	**: Agustin Dina Iriani**
NIM	**: 105090504111005**
Jurusan	**: Matematika**
Program Studi	**: Statistika**
Penulis Skripsi berjudul	**:**

PENENTUAN KOEFISIEN ORTOGONAL POLINOMIAL HINGGA DERAJAT LIMA PADA RANCANGAN SATU FAKTOR

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. **Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.**
2. **Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.**

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 18 Juni 2014
Yang menyatakan,

(Agustin Dina Iriani)
NIM. 105090504111005

PENENTUAN KOEFISIEN ORTOGONAL POLINOMIAL HINGGA DERAJAT LIMA PADA RANCANGAN SATU FAKTOR

ABSTRAK

Ortogonal polinomial adalah metode untuk mengetahui hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif. Tujuan penelitian ini adalah menentukan koefisien ortogonal polinomial hingga derajat lima untuk taraf perlakuan kuantitatif dengan jarak berbeda dan ulangan sama. Data sekunder adalah hasil percobaan satu faktor. Terdapat dua cara untuk menentukan koefisien ortogonal polinomial: (1) menduga parameter setiap polinomial menggunakan syarat kontras sehingga diperoleh persamaan untuk menghitung koefisien ortogonal polinomial dan (2) transformasi matriks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien ortogonal polinomial yang diperoleh dengan kedua cara adalah sama. Dari hasil analisis ragam diketahui bahwa kedua data dapat membentuk fungsi respons sampai tingkat kuintik (derajat lima). Berdasarkan hasil pengujian *lack of fit*, maka untuk menggambarkan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif pada Data 1 adalah model linier, sedangkan pada Data 2 model kubik.

Kata Kunci: Koefisien Ortogonal Polinomial, Rancangan Satu Faktor

ORTHOGONAL POLYNOMIAL COEFFICIENTS DETERMINATION TO FIFTH ORDER IN SINGLE FACTOR DESIGN

ABSTRACT

Orthogonal polynomial is a method to determine the functional relationship between response and quantitative treatment levels. The purpose of this research is to determine the coefficients of orthogonal polynomial up to fifth order for quantitative treatment levels with unequal intervals and equal replication. Secondary data is the result of a single factor experiments. There are two ways to determine the orthogonal polynomial coefficients: (1) estimate of parameters for each polynomial using contrast conditions that obtain the equation to calculate the orthogonal polynomial coefficients and (2) matrix transformation. The result showed that both obtain the same orthogonal polynomial coefficients. Based on analysis of variance, both can form response functions up to quintic (fifth order). Lack of fit test shows that the functional relationship between response and quantitative treatment levels on Data 1 is the linear model, while Data 2 is cubic model.

Key words: Orthogonal Polynomial Coefficients, Single Factor Design

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Statistika.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Loekito Adi S., M.Agr selaku dosen pembimbing atas motivasi, waktu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Dr. Ir. Maria Bernadetha Mitakda selaku dosen penguji I atas waktu, ilmu dan saran yang telah diberikan.
3. Dr. Ir. Atiek Iriany, MS selaku dosen penguji II atas saran dan masukan yang telah diberikan.
4. Dr. Abdul Rouf Alghofari, M.Sc. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
5. Seluruh jajaran dosen, staff dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya.
6. Keluargaku terutama Papa, Mama, Kakak Linda, Kakek dan Trian Hadi Putra yang senantiasa memberikan semangat, kasih sayang, kesabaran dan doa dalam setiap langkah untuk menuntut ilmu.
7. Sahabatku tercinta Yasmin, Hera, Nurdiana, Rahma, Faisal dan teman-teman Statistika angkatan 2010 Universitas Brawijaya yang telah memberikan doa, dukungan, semangat dan bantuan.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan mengingat keterbatasan kemampuan penulis. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharap kritik dan saran. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam penelitian yang menggunakan taraf perlakuan kuantitatif, ingin diketahui hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan. Karena respons merupakan fungsi dari perlakuan, maka bentuk fungsi didekati dengan sebuah fungsi polinomial. Fungsi matematis yang menggambarkan hubungan fungsional dapat ditentukan dengan metode ortogonal polinomial (Gomez dan Gomez, 1995).

Metode ini digunakan jika taraf perlakuan yang ingin dibandingkankan telah direncanakan sebelum penelitian, sehingga disebut sebagai uji F terencana. Dalam hal ini, pengaruh perlakuan diuraikan ke dalam respons linier, kuadratik, kubik atau respons dengan derajat yang lebih tinggi lagi sampai derajat t-1, di mana t adalah banyaknya taraf perlakuan kuantitatif.

Misal pada percobaan pengaruh berbagai dosis serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*) terhadap penyerapan kadar Zn, ingin diketahui pengaruh perlakuan terhadap respons. Hal ini dapat diperoleh dengan mempelajari fungsi polinomial yang menjelaskan perubahan hasil untuk setiap peningkatan taraf perlakuan.

Secara teoritis dilihat dari aspek biologis, kurva respons yang dihasilkan cenderung memperlihatkan kurva linier. Sesuai yang telah dijelaskan Arisandy (2012) bahwa pemberian dosis serbuk albumin ikan gabus akan meningkatkan penyerapan kadar Zn pada penyembuhan luka tikus wistar. Karena secara logika sudah pasti tikus wistar yang diberi dosis lebih tinggi akan lebih cepat sembuh dibandingkan dengan tikus wistar yang diberi dosis lebih rendah atau tidak diberi dosis sama sekali.

Apabila dilihat dari aspek statistik, bentuk kurva respons yang dihasilkan adalah kuadratik, kubik atau respons dengan derajat yang lebih tinggi, tergantung pada banyaknya taraf perlakuan kuantitatif yang dicobakan. Untuk percobaan dengan enam taraf perlakuan kuantitatif, di mana respons derajat lima (kuintik) nyata, maka dimungkinkan untuk menghitung jumlah kuadrat sebelum kuintik, yakni respons linier, kuadratik, kubik dan kuartik. Hal ini dilakukan karena untuk memeriksa perhitungan koefisien ortogonal polinomial (Steel dan Torrie, 1989).

Berdasarkan teori, banyak peneliti menterjemahkan hasil dari suatu persamaan polinomial berhenti pada derajat pertama (linier) atau derajat dua (kuadratik). Oleh karena itu, diharapkan dari penelitian ini dapat menghasilkan model regresi polinomial yang efisien secara statistik. Penelitian ini diterapkan pada dua data sekunder yang diperoleh melalui percobaan satu faktor. Data 1 yaitu kadar Zn pada tikus wistar (*Rattus norvegicus*) yang diberi berbagai dosis serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*). Data 2 yaitu kandungan serat kasar pada onggok yang diberi berbagai konsentrasi inokulum *Neurospora sithophila*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan koefisien ortogonal polinomial hingga derajat lima?
2. Bagaimana menggambarkan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada penggunaan metode ortogonal polinomial hingga derajat lima pada hasil percobaan satu faktor bersifat kuantitatif, jarak antar taraf perlakuan berbeda dan ulangan sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan koefisien ortogonal polinomial hingga derajat lima.
2. Menggambarkan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai tambahan wawasan bagi pembaca mengenai penentuan koefisien ortogonal polinomial hingga derajat lima untuk menganalisis hasil percobaan pada taraf perlakuan kuantitatif dengan jarak berbeda dan ulangan sama.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan adalah prosedur untuk menempatkan perlakuan ke dalam satuan percobaan dengan tujuan mendapatkan data yang memenuhi persyaratan ilmiah (Yitnosumarto, 1993).

Mattjik dan Sumertajaya (2006) menyebutkan tiga prinsip dasar yang harus dipenuhi dalam rancangan percobaan, antara lain:

1. Pengacakan (*randomization*), yaitu setiap satuan percobaan memiliki peluang yang sama untuk diberi suatu perlakuan tertentu.
2. Ulangan (*replication*), yaitu apabila suatu perlakuan diberikan lebih dari satu kali dalam suatu percobaan.
3. Pengendalian lokal (*local control*), yaitu teknik yang digunakan untuk mengendalikan keragaman yang muncul akibat keheterogenan kondisi lingkungan. Teknik pengendalian lingkungan dapat dilakukan dengan melakukan pengelompokan.

Suatu rancangan percobaan merupakan kesatuan dari tiga hal yaitu rancangan perlakuan, rancangan lingkungan dan rancangan pengukuran. Rancangan perlakuan adalah rancangan yang berkaitan dengan bagaimana perlakuan-perlakuan disusun pada setiap satuan percobaan. Rancangan lingkungan adalah suatu rancangan mengenai bagaimana perlakuan ditempatkan secara acak pada setiap satuan percobaan. Sedangkan rancangan pengukuran berkaitan dengan bagaimana respons diukur dari satuan percobaan yang diteliti (Steel dan Torrie, 1989).

2.2 Rancangan Satu Faktor

Suatu percobaan yang dirancang dengan hanya melibatkan satu faktor disebut rancangan satu faktor (Montgomery, 1984). Satu faktor kuantitatif terdiri dari beberapa taraf perlakuan. Sebagai contoh, percobaan untuk menentukan kadar bahan kayu dalam pembuatan kertas. Bahan kayu disebut faktor dan berbagai kadar bahan kayu yang dicobakan disebut taraf perlakuan.

Percobaan satu faktor dapat diterapkan pada berbagai rancangan lingkungan seperti Rancangan Acak Lengkap (RAL), Rancangan

Acak Kelompok (RAK) dan RBSL (Rancangan Bujur Sangkar Latin), tergantung dari kondisi satuan percobaan yang digunakan.

Penerapan percobaan satu faktor dalam Rancangan Acak Lengkap (RAL) digunakan jika kondisi satuan percobaan relatif homogen. Percobaan ini biasa dilakukan di laboratorium atau rumah kaca (*green house*). Sebaliknya, RAL jarang digunakan untuk percobaan di lapangan. Hal ini dikarenakan kehomogenan materi percobaan sulit dipenuhi (Hanafiah, 1995). Pada RAL, perlakuan diletakkan secara acak sehingga setiap satuan percobaan mempunyai peluang yang sama untuk menerima perlakuan tertentu.

2.3 Model Linier Aditif Rancangan Satu Faktor

Model linier aditif adalah suatu model matematis untuk setiap respons dari satuan percobaan. Setiap respons merupakan jumlah dari beberapa komponen, yaitu komponen rata-rata umum dan komponen sumber keragaman. Secara umum model linier aditif untuk rancangan satu faktor adalah (Yitnosumarto, 1993):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \qquad (2.1)$$

di mana:

i = 1, 2, …, t

j = 1, 2, …, n_i

t = banyaknya perlakuan

n_i = banyaknya ulangan perlakuan ke-i

Y_{ij} = respons perlakuan ke-$\boldsymbol{i}$ ulangan ke-$\boldsymbol{j}$

μ = rata-rata umum

τ_i = pengaruh perlakuan ke-$\boldsymbol{i}$

ε_{ij} = galat percobaan perlakuan ke-$\boldsymbol{i}$ ulangan ke-$\boldsymbol{j}$

Persamaan (2.1) disebut model linier aditif karena Y_{ij} merupakan penjumlahan dari komponen μ, τ_i dan ε_{ij}.

Pada percobaan yang menggunakan t perlakuan dengan banyaknya ulangan untuk setiap perlakuan sebanyak n_i, nilai-nilai respons Y_{ij} dapat disusun sesuai tabel berikut.

Tabel 2.1. Struktur Data Rancangan Satu Faktor

Perlakuan (i)	Ulangan (j)						
	1	2	$\cdots$	n_i	$Y_{i.} = \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$	$\bar{Y}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{n_i}$	$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2}{n_i - 1}$
1	Y_{11}	Y_{12}	$\cdots$	Y_{1n_1}	$Y_{1.} = \sum_{j=1}^{n_1} Y_{1j}$	$\bar{Y}_{1.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} Y_{1j}}{n_1}$	$s_1^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} (Y_{1j} - \bar{Y}_{1.})^2}{n_1 - 1}$
2	Y_{21}	Y_{22}	$\cdots$	Y_{2n_2}	$Y_{2.} = \sum_{j=1}^{n_2} Y_{2j}$	$\bar{Y}_{2.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} Y_{2j}}{n_2}$	$s_2^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_2} (Y_{2j} - \bar{Y}_{2.})^2}{n_2 - 1}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
t	Y_{t1}	Y_{t2}	$\cdots$	Y_{tn_t}	$Y_{t.} = \sum_{j=1}^{n_t} Y_{tj}$	$\bar{Y}_{t.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_t} Y_{tj}}{n_t}$	$s_t^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_t} (Y_{tj} - \bar{Y}_{t.})^2}{n_t - 1}$
					$Y_{..} = \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}$	$\bar{Y}_{..} = \frac{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{\sum_{i=1}^{t} n_i}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2}{\sum_{i=1}^{t} n_i - 1}$

Sumber: Yitnosumarto (1993)

2.4 Metode Kuadrat Terkecil

Yitnosumarto (1993) menjelaskan bahwa metode kuadrat terkecil digunakan untuk menduga parameter melalui peminimuman jumlah kuadrat galat. Galat percobaan diasumsikan menyebar normal dengan nilai tengah nol dan ragam $\boldsymbol{\sigma^2}$ atau $\boldsymbol{\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)}$. Karena $E(\varepsilon_{ij}) = 0$, persamaan (2.1) dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{aligned} E(Y_{ij}) &= E(\mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}) \\ \hat{Y}_{ij} &= E(\mu) + E(\tau_i) + E(\varepsilon_{ij}) \\ \hat{Y}_{ij} &= \mu + \tau_i \end{aligned} \tag{2.2}$$

sehingga dari persamaan (2.1) diperoleh galat:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ij} &= Y_{ij} - \hat{Y}_{ij} \\ &= Y_{ij} - \mu - \tau_i \end{aligned} \tag{2.3}$$

Persamaan (2.1) mempunyai parameter $\boldsymbol{\mu}$ dan $\boldsymbol{\tau_i}$ yang belum diketahui, sehingga akan diduga dengan metode kuadrat terkecil. Dari persamaan (2.3) diperoleh jumlah kuadrat galat:

$$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\varepsilon_{ij}^2 = \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\mu-\tau_i)^2 \qquad \textbf{(2.4)}$$

Penduga parameter $\boldsymbol{\mu}$ dan $\boldsymbol{\tau_i}$ yang menghasilkan jumlah kuadrat galat minimum diperoleh dengan cara menurunkan persamaan (2.4) terhadap $\boldsymbol{\mu}$ dan $\boldsymbol{\tau_i}$, kemudian hasil turunan disamakan dengan nol.

- Pendugaan parameter μ

$$\frac{\partial\left(\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\varepsilon_{ij}^2\right)}{\partial\mu} = 2\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\hat{\mu}-\hat{\tau}_i)(-1)$$

$$2\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\hat{\mu}-\hat{\tau}_i)(-1) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\hat{\mu}-\hat{\tau}_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}Y_{ij}-\sum_{i=1}^{t}n_i\hat{\mu}-\sum_{i=1}^{t}n_i\hat{\tau}_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^{t}n_i\hat{\mu}+\sum_{i=1}^{t}n_i\hat{\tau}_i = \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}Y_{ij} \qquad (2.5)$$

- Pendugaan parameter τ_i

$$\frac{\partial\left(\sum_{j=1}^{n_i}\varepsilon_{ij}^2\right)}{\partial\tau_i} = 2\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\hat{\mu}-\hat{\tau}_i)(-1)$$

$$2\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\hat{\mu}-\hat{\tau}_i)(-1) = 0$$

$$\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\hat{\mu}-\hat{\tau}_i) = 0$$

$$\sum_{j=1}^{n_i}Y_{ij}-n_i\hat{\mu}-n_i\hat{\tau}_i = 0$$

$$n_i\hat{\mu}+n_i\hat{\tau}_i = \sum_{j=1}^{n_i}Y_{ij} \qquad (2.6)$$

Persamaan (2.5) dan (2.6) disebut persamaan normal. Dengan batasan $\sum_{i=1}^{t} n_i \hat{\tau}_i = 0$ akan dihasilkan (Yitnosumarto, 1993):

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{\sum_{i=1}^{t} n_i} = \bar{Y}_{..} \tag{2.7}$$

dan

$$\hat{\tau}_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}}{n_i} - \hat{\mu} = \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..} \tag{2.8}$$

Berdasarkan persamaan (2.3), diperoleh galat:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ij} &= Y_{ij} - \hat{Y}_{ij} \\ &= Y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i \\ &= Y_{ij} - \bar{Y}_{..} - (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) \\ &= Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}\end{aligned} \tag{2.9}$$

2.5 Analisis Ragam Rancangan Satu Faktor

Analisis ragam merupakan suatu teknik statistika yang bertujuan untuk mempermudah analisis dan interpretasi data hasil percobaan. Teknik statistika ini diperkenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher pada tahun 1918 (Yitnosumarto, 1993).

Secara umum, kegunaan analisis ragam adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan yang dicobakan terhadap respons melalui uji F. Dalam analisis ragam, keragaman total diuraikan ke dalam komponen-komponen saling bebas sehingga dapat ditentukan rasio dua buah komponen keragaman (Mattjik dan Sumertajaya, 2006).

Pandang kembali model rancangan satu faktor, dengan mensubtitusikan persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9) ke dalam persamaan (2.1) diperoleh:

$$Y_{ij} = \bar{Y}_{..} + (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}) \tag{2.10}$$

Persamaan (2.10) dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$(Y_{ij} - \bar{Y}_{..}) = (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}) + (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}) \tag{2.11}$$

Jika kedua ruas persamaan (2.11) dikuadratkan dan dijumlahkan menurut *i* dan *j*, akan menghasilkan:

$$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^{t} n_i(\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 \tag{2.12}$$

atau

$$\text{JK}_{\text{Total}} = \text{JK}_{\text{Antar grup}} + \text{JK}_{\text{Dalam grup}}$$

Besaran-besaran ini disusun dalam tabel analisis ragam pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Analisis Ragam Rancangan Satu Faktor

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat
Antar grup (Perlakuan)	$t-1$	$\sum_{i=1}^{t} n_i\left(\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}\right)^2$
Dalam grup (Galat)	$\sum_{i=1}^{t} n_i - t$	$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}\right)^2$
Total	$\sum_{i=1}^{t} n_i - 1$	$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij} - \bar{Y}_{..}\right)^2$

Hipotesis yang melandasi pengujian pengaruh perlakuan terhadap respons adalah (Walpole, 1995):

H_0 : $\boldsymbol{\tau_1} = \boldsymbol{\tau_2} = \ldots = \boldsymbol{\tau_t} = 0$; $\boldsymbol{\tau_i} = 0$ (perlakuan tidak berpengaruh terhadap respons)

H_1 : paling tidak terdapat satu *i* di mana $\boldsymbol{\tau_i} \neq \mathbf{0}$ (perlakuan berpengaruh terhadap respons)

Jika H_0 benar, statistik uji (su):

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^{t} n_i(\bar{Y}_{i.}-\bar{Y}_{..})^2\right)\Big/\left(t-1\right)}{\left(\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}(Y_{ij}-\bar{Y}_{i.})^2\right)\Big/\left(\sum_{i=1}^{t} n_i - t\right)} \sim F_{(t-1),(\sum_{i=1}^{t} n_i - t)} \tag{2.13}$$

Tolak H_0 jika

$$P\left(F_{(t-1),(\sum_{i=1}^{t} n_i - t)} > su\right) < \boldsymbol{\alpha}$$

2.6 Asumsi Analisis Ragam

Dalam analisis ragam terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi yakni pengaruh perlakuan dan lingkungan bersifat aditif, galat percobaan bersifat acak, bebas, menyebar normal dengan rata-rata nol dan ragam konstan (Steel dan Torrie, 1989).

2.6.1 Asumsi Keaditifan

Pengujian terhadap asumsi keaditifan sangat diperlukan karena model analisis ragam bersifat aditif. Pelanggaran terhadap asumsi ini akan menghilangkan informasi tentang pengaruh perlakuan. Selain itu, ketidakaditifan dalam model cenderung menyebabkan ragam galat bersifat heterogen (Yitnosumarto, 1993).
Metode Tukey digunakan untuk menguji asumsi keaditifan, dengan cara menguraikan jumlah kuadrat galat ke dalam komponen non-aditifitas dan komponen galat (Nugroho, 1990). Hipotesis yang melandasi pengujian asumsi keaditifan adalah:
H_0 : pengaruh perlakuan dan lingkungan bersifat aditif
H_1 : pengaruh perlakuan dan lingkungan tidak bersifat aditif
Jika H_0 benar, statistik uji (su):

$$\frac{JK_{NAT}/1}{JK_{Galat*}/db_{Galat*}} \sim F_{1,db_{Galat*}} \tag{2.14}$$

di mana jumlah kuadrat non-aditifitas adalah:

$$JK_{NAT} = \frac{Q^2}{\sum_{i=1}^{t}\left(\bar{Y}_{i.}-\bar{Y}_{..}\right)^2 \sum_{j=1}^{n_i}\left(\bar{Y}_{.j}-\bar{Y}_{..}\right)^2}$$

$$Q \quad = \quad \sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}(\bar{Y}_{i.}-\bar{Y}_{..})(\bar{Y}_{.j}-\bar{Y}_{..})$$

Terima H_0 jika

$$P\left(F_{1,db_{Galat*}} > su\right) > \boldsymbol{\alpha}$$

Berikut merupakan tabel analisis ragam untuk uji non-aditifitas pada rancangan satu faktor.

Tabel 2.3. Analisis Ragam untuk Uji Non-Aditifitas

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat
Antar grup (Perlakuan)	$t-1$	$\sum_{i=1}^{t} n_i\left(\bar{Y}_{i.}-\bar{Y}_{..}\right)^2$
Dalam grup (Galat)	$\sum_{i=1}^{t} n_i - t$	$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij}-\bar{Y}_{i.}\right)^2$
NAT	1	$\dfrac{Q^2}{\sum_{i=1}^{t}\left(\bar{Y}_{i.}-\bar{Y}_{..}\right)^2\sum_{j=1}^{n_i}\left(\bar{Y}_{.j}-\bar{Y}_{..}\right)^2}$
Galat*	$\sum_{i=1}^{t} n_i - t - 1$	$JK_{Galat} - JK_{NAT}$
Total	$\sum_{i=1}^{t} n_i - 1$	$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij}-\bar{Y}_{..}\right)^2$

Jika suatu model tidak bersifat aditif, misal multiplikatif seperti: $Y_{ij} = \mu\tau_i\varepsilon_{ij}$, maka penggunaan transformasi logaritmik akan menjadikan model bersifat aditif: log Y_{ij} = log μ + log τ_i + log ε_{ij} dan analisis ragam dapat diterapkan pada data hasil transformasi.

2.6.2 Asumsi Kebebasan Galat

Menurut Gomez dan Gomez (1995), arti dari kebebasan galat adalah galat dari suatu pengamatan tidak dipengaruhi galat pengamatan lain atau dapat dikatakan tidak ada korelasi antar galat (*corr* (ε_{ij}, ε'_{ij}) = 0).

Pemeriksaan asumsi kebebasan galat dilakukan dengan cara membuat plot antara ε_{ij} dengan $\hat{Y}_{ij}$. Plot berpola acak menunjukkan bahwa galat percobaan saling bebas atau tidak berkorelasi dengan galat pengamatan lain (Montgomery, 1984).

Asumsi kebebasan galat biasanya terpenuhi dengan pengacakan yang baik. Akan tetapi, pada rancangan sistematis asumsi kebebasan galat akan dilanggar (Gomez dan Gomez, 1995).

2.6.3 Asumsi Kehomogenan Ragam Galat

Yitnosumarto (1993) menyatakan bahwa analisis ragam menghendaki ragam galat bersifat homogen dari satu pengamatan ke pengamatan lain sebesar $\boldsymbol{\sigma^2}$. Pengujian asumsi kehomogenan ragam galat dilakukan dengan menggunakan uji Bartlett berlandaskan hipotesis:

H_0 : $\boldsymbol{\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \cdots = \sigma_t^2 = \sigma^2; \sigma_i^2 = \sigma^2}$

H_1 : paling tidak terdapat satu i di mana $\boldsymbol{\sigma_i^2 \neq \sigma^2}$

Jika H_0 benar, statistik uji (su):

$$\frac{\left[\sum_{i=1}^{t}(n_i-1)\right]\ln s^2-\sum_{i=1}^{t}(n_i-1)\ln s_i^2}{c} \sim \chi^2_{(t-1)} \qquad (2.15)$$

di mana:

$$c = 1+\frac{1}{3(t-1)}\left[\sum_{i=1}^{t}(n_i-1)^{-1}-\left(\sum_{i=1}^{t}(n_i-1)\right)^{-1}\right]$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_t}\left(Y_{ij}-\bar{Y}_{..}\right)^2}{\sum_{i=1}^{t}n_i-1}$$

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij}-\bar{Y}_{i.}\right)^2}{n_i-1}$$

s^2 = ragam gabungan semua perlakuan (ragam umum)

s_i^2 = ragam perlakuan ke-i

Montgomery (1984) memberikan kriteria penolakan H_0 jika

$$\boldsymbol{P}\left(\chi^2_{(t-1)} > su\right) < \boldsymbol{\alpha}$$

Data tidak menyebar normal mempunyai ragam galat tidak homogen. Ketidakhomogenan ragam galat disebabkan oleh hubungan antara rata-rata dan ragam. Sugandi dan Sugiarto (1993) menyebutkan beberapa cara untuk membuat agar ragam galat menjadi homogen yakni dengan transformasi $\sqrt{\mathbf{Y}}$, log Y atau arscin.

Jika asumsi kehomogenan ragam galat tidak terpenuhi maka akan terjadi keheterogenan ragam galat yang berpengaruh terhadap hasil analisis ragam. Selain itu, keheterogenan ragam galat juga akan menyebabkan pelanggaran asumsi lain (Hanafiah, 1995).

2.6.4 Asumsi Kenormalan Galat

Pengujian asumsi kenormalan galat dilakukan untuk mengetahui apakah galat menyebar normal. Uji Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk menguji asumsi kenormalan galat berlandaskan hipotesis (Daniel, 1989):

H_0 : galat menyebar normal
H_1 : galat tidak menyebar normal

$$D_n = maks\left|F_n(x) - F_0(x)\right| \quad (2.16)$$

di mana:

D_n = jarak tengah maksimum antara fungsi sebaran empiris $\boldsymbol{F_n(x)}$ dengan fungsi sebaran normal $\boldsymbol{F_0(x)}$

$F_0(x)$ = sebaran kumulatif normal

$F_n(x)$ = sebaran kumulatif contoh

$D_{n(\alpha)}$ = titik kritis uji Kolmogorov-Smirnov

Hipotesis nol diterima (galat menyebar normal) jika $D_n < D_{n(\alpha)}$

2.7 Penanganan Data terhadap Pelanggaran Asumsi

Jika salah satu dari asumsi yang melandasi analisis ragam tidak terpenuhi, maka cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan transformasi. Steel dan Torrie (1989) menyarankan transformasi:

1. Transformasi Akar Kuadrat ($\sqrt{\boldsymbol{Y}}$)
   Transformasi akar kuadrat digunakan pada data berupa bilangan bulat kecil. Penggunaan transformasi ini dilakukan jika ragam setiap perlakuan sebanding dengan rata-rata. Jika terdapat nilai nol pada data, sebaiknya menggunakan $\sqrt{\boldsymbol{Y+1/2}}$ daripada $\sqrt{\boldsymbol{Y}}$.

2. Transformasi Logaritma (logY)
   Transformasi ini biasa digunakan untuk data yang mempunyai simpangan baku sebanding dengan rata-rata atau apabila pengaruh perlakuan bersifat multiplikatif. Jika terdapat respons yang bernilai kurang dari 10 (Y_{ij}<10), maka transormasi yang digunakan adalah log (Y+1).
3. Transformasi Sudut (arcsin $\sqrt{Y}$ atau $\sin^{-1}\sqrt{Y}$)
   Transformasi ini diterapkan pada data dengan satuan persentase dan proporsi.

2.8 Ortogonal Polinomial

Penggunaan metode ortogonal kontras maupun polinomial dilakukan pada penelitian terencana, karena pengujian didasarkan pada teori atau sifat perlakuan dalam analisis ragam. Berbeda dengan uji pembandingan berganda, di mana pengujian dilakukan apabila mempunyai informasi tertentu mengenai perlakuan yang akan dibandingkan. Pembandingan berganda merupakan pembandingan tidak terencana dan dilakukan sesudah analisis ragam.

Dalam Hanafiah (1995) dijelaskan bahwa metode ortogonal polinomial digunakan untuk menguji kecenderungan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan. Metode ini diterapkan pada hasil percobaan di mana perlakuan bersifat kuantitatif. Misal pada percobaan pemberian dosis pupuk nitrogen untuk tanaman padi (kg/ha): 0, 20, 40, 60, 80 dan 100.

Hubungan fungsional antara peubah respons dan peubah prediktor (taraf perlakuan kuantitatif) secara polinomial dinyatakan:

$$\begin{aligned} Y_i &= \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \ldots + \beta_{t-1} X_i^{t-1} + \varepsilon_i \\ &= \beta_0 + \sum_{k=1}^{t-1} \beta_k X_i^k + \varepsilon_i \end{aligned} \tag{2.17}$$

di mana:

i = 1, 2, …, t

k = 1, 2, …, t-1

t = banyaknya taraf perlakuan kuantitatif

β_0 = intersep

β_k = koefisien regresi yang berhubungan dengan polinomial derajat ke-k

Y_i = respons ke-i

$X_i =$ taraf perlakuan kuantitatif ke-*i*

Untuk mengetahui hubungan fungsional, maka pengaruh perlakuan diuraikan ke dalam tingkatan-tingkatan respons, yakni linier, kuadratik, kubik atau respons dengan tingkatan yang lebih tinggi. Karena respons merupakan fungsi dari perlakuan, maka metode ini didasarkan pada fungsi polinomial sampai derajat *t*-1 (Yitnosumarto, 1993).

Menurut Gomez dan Gomez (1995), bentuk umum persamaan polinomial adalah:

$$
\begin{aligned}
Z_1(X_i) &= X_i + a_1 && \text{(polinomial derajat satu)}\\
Z_2(X_i) &= X_i^2 + a_2 X_i + b_2 && \text{(polinomial derajat dua)}\\
Z_3(X_i) &= X_i^3 + a_3 X_i^2 + b_3 X_i^1 + c_3 && \text{(polinomial derajat tiga)}\\
&\vdots\\
Z_{t-1}(X_i) &= X_i^{t-1} + a_{t-1} X_i^{t-2} + \ldots + d_{t-1} && \text{(polinomial derajat } t\text{-1)}
\end{aligned}
\tag{2.18}
$$

di mana $Z_k(X_i)$ adalah polinomial derajat ke-*k* (*k* = 1, …, *t*-1), X_i adalah taraf perlakuan kuantitatif ke-*i* (*i* = 1, 2, …, *t*) dan *t* adalah banyaknya taraf perlakuan kuantitatif.

Hinkelmann and Kempthorne (2008) memaparkan bahwa suatu polinomial dikatakan ortogonal jika:

$$\sum_{i=1}^{t} Z_k(X_i) = 0 \qquad (k = 1, 2, \ldots, t-1) \tag{2.19}$$

dan

$$\sum_{i=1}^{t} Z_k(X_i) Z_{k'}(X_i) = 0 \qquad (k \neq k') \tag{2.20}$$

Di samping mencerminkan respons yang sesuai, setiap polinomial harus bebas dan ortogonal dengan polinomial lain. Oleh karena itu, diperlukan koefisien yang disesuaikan dengan polinomial setiap derajat dan dinamakan koefisien ortogonal polinomial.

Terdapat dua cara untuk menentukan koefisien ortogonal polinomial pada taraf perlakuan dengan jarak berbeda dan ulangan sama, yakni:

- Cara 1

Menghitung himpunan koefisien ortogonal polinomial dalam Gomez dan Gomez (1995) adalah:

1. Menduga parameter setiap persamaan polinomial menggunakan syarat kontras, yakni jumlah koefisien ortogonal polinomial harus sama dengan nol (persamaan 2.19) dan jumlah hasil kali koefisien untuk setiap pasangan polinomial juga sama dengan nol (persamaan 2.20).
2. Penduga parameter disubtitusikan ke dalam persamaan polinomial derajat *k* (persamaan 2.18) untuk menghitung koefisien ortogonal polinomial setiap taraf perlakuan kuantitatif.

- Cara 2

Transformasi matriks **X** menjadi suatu matriks dengan kolom-kolom ortogonal, yakni (Draper dan Smith, 1992):

$$\begin{aligned}\mathbf{Z}_{i(transformasi)} &= (\mathbf{I}-\mathbf{Z}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}')\mathbf{Z}_i \\ &= \mathbf{Z}_i - \mathbf{Z}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_i \end{aligned} \tag{2.21}$$

di mana:

$\mathbf{Z}$	=	matriks dengan vektor kolom yang sudah ditransformasi
$\mathbf{Z}_i$	=	vektor kolom yang akan ditransormasi
$\mathbf{Z}_{i(transformasi)}$	=	vektor yang sudah ditransformasi dan ortogonal terhadap vektor-vektor dalam $\mathbf{Z}$

Prosedur tranformasi matriks **X** adalah:

1. Membuat matriks **X**

$$\begin{array}{cc} & \begin{array}{ccccc} \mathbf{X^0} & \mathbf{X^1} & \mathbf{X^2} & \cdots & \mathbf{X^{t-1}} \end{array} \\ \underset{(t \times t)}{\mathbf{X}} = & \begin{bmatrix} 1 & X_1 & X_1^{\,2} & \cdots & X_1^{\,t-1} \\ 1 & X_2 & X_2^{\,2} & \cdots & X_2^{\,t-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_t & X_t^{\,2} & \cdots & X_t^{\,t-1} \end{bmatrix} \end{array}$$

$$\underset{(t \times t)}{\mathbf{X}} = \left[\mathbf{J}_t,\ \mathbf{X}_i,\ \mathbf{X}_i^2,\ \ldots,\ \mathbf{X}_i^{t-1}\right]$$

2. Untuk memulai proses awal, ambil kolom pertama pada matriks **X** dan nyatakan sebagai **Z**.

$$\mathbf{Z} = \underset{(t \times 1)}{\mathbf{Z}_0} = \mathbf{J} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

3. Menghitung koefisien ortogonal polinomial untuk polinomial derajat satu (linier), yaitu dengan mengambil vektor kolom $\mathbf{X}_i$ untuk ditransformasi dan nyatakan sebagai $\mathbf{Z}_1$.

$$\underset{(t \times 1)}{\mathbf{Z}_1} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_t \end{bmatrix}$$

4. Vektor kolom $\mathbf{Z}_1$ yang akan ditransformasi dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21).

$$\underset{(t \times 1)}{\mathbf{Z}_{1\ (transformasi)}} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_t \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} (\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_1$$

$$= \begin{bmatrix} Z_1(X_1) \\ Z_1(X_2) \\ \vdots \\ Z_1(X_t) \end{bmatrix}$$

5. Menghitung koefisien ortogonal polinomial untuk polinomial derajat dua (kuadratik), yaitu dengan mengambil vektor kolom $\mathbf{X}_i^2$ dan nyatakan sebagai $\mathbf{Z}_2$.

$$\underset{(t \times 1)}{\mathbf{Z}_2} = \begin{bmatrix} X_1^2 \\ X_2^2 \\ \vdots \\ X_t^2 \end{bmatrix}$$

Matriks $\mathbf{Z}$ yang akan digunakan untuk menghitung koefisien ortogonal polinomial derajat dua (kuadratik) adalah

$$\underset{(t \times 2)}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z}_0, \mathbf{Z}_1)} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1(X_1) \\ 1 & Z_1(X_2) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Z_1(X_t) \end{bmatrix}$$

Untuk menghitung koefisien ortogonal polinomial setiap polinomial dilakukan secara berurutan dan menggunakan matriks $\mathbf{Z}$ yang berbeda-beda.

6. Vektor kolom $\mathbf{Z}_2$ yang akan ditransformasi dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21).

$$\underset{(t \times 1)}{\mathbf{Z}_{2\,(transformasi)}} = \begin{bmatrix} X_1^2 \\ X_2^2 \\ \vdots \\ X_t^2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & Z_1(X_1) \\ 1 & Z_1(X_2) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Z_1(X_t) \end{bmatrix} (\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_2$$

$$= \begin{bmatrix} Z_2(X_1) \\ Z_2(X_2) \\ \vdots \\ Z_2(X_t) \end{bmatrix}$$

7. Ulangi langkah 5 dan 6 untuk mendapatkan koefisien ortogonal polinomial derajat tiga sampai dengan polinomial derajat t-1. Vektor kolom yang akan ditransformasi diambil secara berurutan, sehingga diperoleh matriks **X** baru dengan kolom-kolom ortogonal yakni:

$$\underset{(t \times t)}{\mathbf{X}_{baru}} = \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} \mathbf{Z_0} & \mathbf{Z_1} & \mathbf{Z_2} & \cdots & \mathbf{Z_{(t-1)}} \end{array} \\ \hline \begin{bmatrix} 1 & Z_1(X_1) & Z_2(X_1) & \cdots & Z_{t-1}(X_1) \\ 1 & Z_1(X_2) & Z_2(X_2) & \cdots & Z_{t-1}(X_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & Z_1(X_t) & Z_2(X_t) & \cdots & Z_{t-1}(X_t) \end{bmatrix} \end{array}$$

Setelah koefisien ortogonal polinomial diperoleh, jumlah kuadrat setiap sumber keragaman dihitung (Gomez dan Gomez, 1995):

$$JK_k = \frac{\left(\sum_{i=1}^{t} Z_k(X_i)Y_{i.}\right)^2}{\sum_{i=1}^{t} n_i Z_k^2(X_i)} \tag{2.22}$$

di mana:

i = 1, 2, …, t

k = 1, 2, …, t-1

t = banyaknya taraf perlakuan kuantitatif

n_i	=	banyaknya ulangan pada taraf perlakuan kuantitatif ke-*i*
$Z_k(X_i)$	=	koefisien ortogonal polinomial derajat *k*
$Y_{i.}$	=	total taraf perlakuan kuantitatif ke-*i*

Polinomial yang nyata diketahui melalui penguraian sumber keragaman perlakuan berlandaskan hipotesis:

H_0 : polinomial derajat ke-*k* tidak nyata (k = 1, 2, 3, …, t-1)

H_1 : polinomial derajat ke-*k* nyata (k = 1, 2, 3, …, t-1)

Jika H_0 benar, statistik uji (su):

$$\frac{JK_k/1}{JK_{Galat}/db_{Galat}} \sim F_{1,db_{Galat}} \qquad (2.23)$$

Tabel 2.4. Analisis Ragam Sesuai dengan Ortogonal Polinomial

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat
Antar grup (Perlakuan)	$t-1$	$\sum_{i=1}^{t} n_i\left(\bar{Y}_{i.}-\bar{Y}_{..}\right)^2$
Linier	1	JK_1
Kuadratik	1	JK_2
Kubik	1	JK_3
Kuartik	1	JK_4
Kuintik	1	JK_5
Dalam grup (Galat)	$\sum_{i=1}^{t} n_i - t$	$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij}-\bar{Y}_{i.}\right)^2$
Total	$\sum_{i=1}^{t} n_i - 1$	$\sum_{i=1}^{t}\sum_{j=1}^{n_i}\left(Y_{ij}-\bar{Y}_{..}\right)^2$

Kriteria pengujian yang melandasi keputusan adalah (Yitnosumarto, 1993):

$$P\left(F_{1,db_{Galat}} > su\right)\begin{cases} \geq \alpha, \textbf{terima } \mathbf{H_0} \\ < \alpha, \textbf{tolak } \mathbf{H_0} \end{cases}$$

Menurut Widiharih (2001), polinomial yang nyata akan mengarah pada analisis regresi (hubungan fungsional) antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Dalam penelitian ini digunakan dua data sekunder yang berasal dari rancangan acak lengkap (3 dan 4 ulangan) dan tersaji pada Lampiran 1. Data 1 bersumber pada Arisandy (2012) yaitu kadar Zn pada tikus wistar (*Rattus norvegicus*) yang diberi berbagai dosis serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*). Rancangan perlakuan berupa dosis serbuk albumin ikan gabus (g): 0, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5. Data 2 bersumber pada Haryuni (2007) yaitu kandungan serat kasar pada onggok yang diberi berbagai konsentrasi inokulum *Neurospora sithophila*. Rancangan perlakuan berupa konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* (%): 0, 10, 15, 20, 25, 30.

3.2 Metode Analisis

Prosedur analisis yang diterapkan pada data adalah:

1. Menduga parameter model rancangan percobaan dengan menggunakan persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9).
2. Menguji asumsi analisis ragam, yakni:
   a. Keaditifan, diuji menggunakan persamaan (2.14).
   b. Kebebasan galat, secara grafis asumsi ini diperiksa dengan membuat plot antara ε_{ij} dengan $\hat{Y}_{ij}$
   c. Kehomogenan ragam galat, diuji menggunakan persamaan (2.15).
   d. Kenormalan galat, diuji menggunakan persamaan (2.16).

   Jika salah satu dari asumsi analisis ragam tidak terpenuhi, maka dilakukan transformasi.
3. Pengujian pengaruh perlakuan menggunakan uji F (persamaan 2.13). Jika hasil analisis ragam menghasilkan H_0 ditolak, maka perlakuan berpengaruh terhadap respons. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian menggunakan metode ortogonal polinomial.
4. Menghitung koefisien ortogonal polinomial
   a. Cara 1
      - Menduga parameter setiap persamaan polinomial menggunakan syarat kontras, yakni jumlah koefisien ortogonal polinomial harus sama dengan nol

(persamaan 2.19) dan jumlah hasil kali koefisien untuk setiap pasangan polinomial juga sama dengan nol (persamaan 2.20).

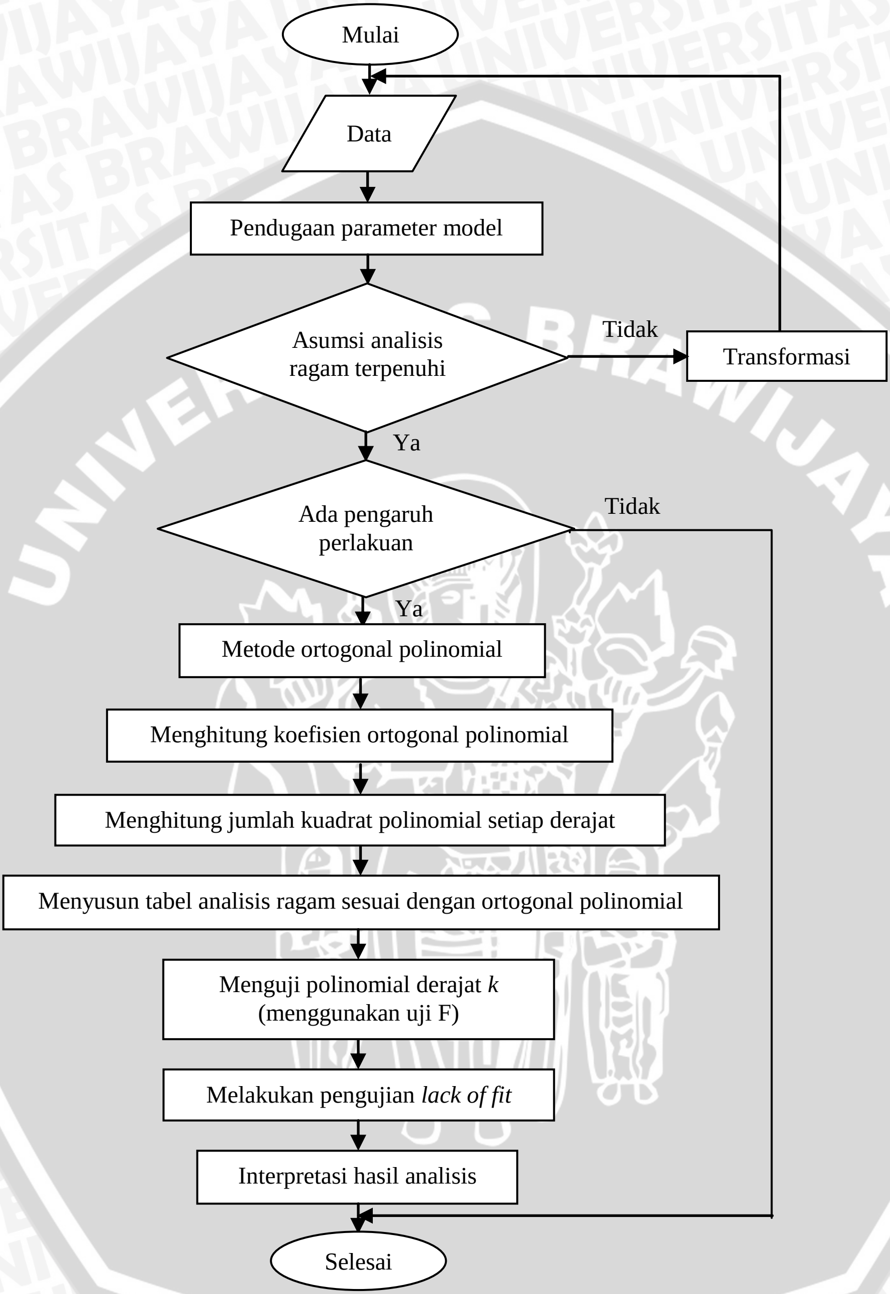
- Penduga parameter disubtitusikan ke dalam persamaan polinomial derajat *k* (persamaan 2.18) untuk menghitung koefisien ortogonal polinomial setiap taraf perlakuan kuantitatif.

b. Cara 2

Melakukan transformasi matriks **X** berdasarkan penjelasan pada Sub Bab 2.8, sehingga diperoleh matriks dengan kolom-kolom ortogonal.

5. Menghitung jumlah kuadrat polinomial setiap derajat menggunakan persamaan (2.22).
6. Menyusun tabel analisis ragam sesuai dengan ortogonal polinomial seperti pada Tabel 2.4.
7. Menguji polinomial setiap derajat menggunakan statistik uji F sesuai persamaan (2.23).
8. Melakukan pengujian *lack of fit*.
9. Interpretasi hasil analisis.

Alat bantu analisis yang digunakan adalah GENSTAT 16, MAPLE 13, MINITAB 14 dan Microsoft Excel 2007. Diagram alir prosedur analisis disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metode Analisis

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Asumsi Analisis Ragam

Dalam analisis ragam terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi, yakni asumsi keaditifan, kebebasan galat, kehomogenan ragam galat dan kenormalan galat (Steel dan Torrie, 1989).

4.1.1 Asumsi Keaditifan

Pengujian asumsi keaditifan bertujuan untuk mengetahui apakah pengaruh perlakuan dan lingkungan bersifat aditif. Nugroho (1990) memaparkan bahwa pengujian asumsi keaditifan dilakukan dengan menggunakan uji Tukey berdasarkan persamaan (2.14) dan hipotesis yang melandasi pengujian adalah:
H_0 : pengaruh perlakuan dan lingkungan bersifat aditif
H_1 : pengaruh perlakuan dan lingkungan tidak bersifat aditif
Hasil pengujian asumsi keaditifan disajikan pada Lampiran 2 dan ringkasan hasil pengujian tersaji dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Ringkasan Hasil Pengujian Keaditifan

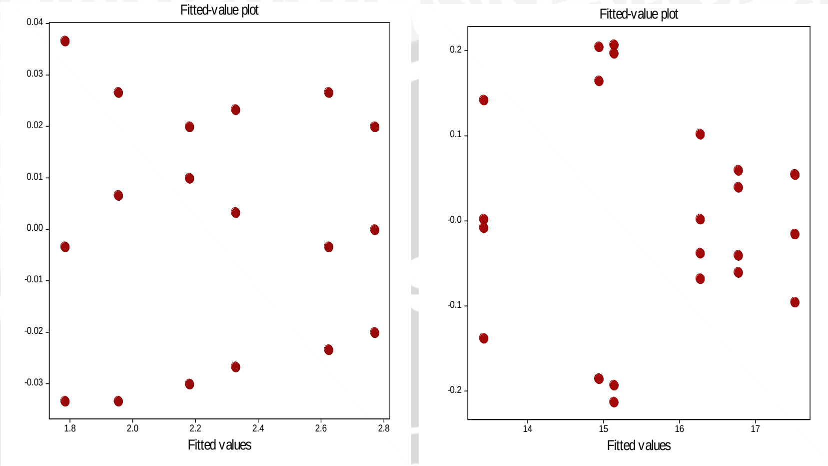
Data	Statistik Uji F	Nilai-p
1	2.1708	0.1687
2	0.0997	0.7560

Hasil pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kedua data memiliki nilai-p > 0.05 maka H_0 diterima sehingga pengaruh perlakuan dan lingkungan untuk Data 1 dan Data 2 bersifat aditif.

4.1.2 Asumsi Kebebasan Galat

Pemeriksaan asumsi kebebasan galat dilakukan secara grafis dengan membuat plot antara ε_{ij} dengan $\hat{Y}_{ij}$. Nilai ε_{ij} dan $\hat{Y}_{ij}$ disajikan pada Lampiran 3. Menurut Montgomery (1984), asumsi kebebasan galat terpenuhi apabila plot antara ε_{ij} dan $\hat{Y}_{ij}$ berpola acak.

Kedua plot pada Gambar 4.1 memperlihatkan pola acak. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi kebebasan galat terpenuhi atau galat percobaan saling bebas.



(a) (b)

Gambar 4.1. Plot ε_{ij} dan $\hat{Y}_{ij}$ Data 1 (a) dan Data 2 (b)

4.1.3 Asumsi Kehomogenan Ragam Galat

Asumsi kehomogenan ragam galat dapat dideteksi dengan menggunakan uji Bartlett sesuai persamaan (2.15) (Steel dan Torrie, 1989). Hipotesis yang melandasi pengujian adalah:

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = ... = \sigma_6^2 = \sigma^2 ; \sigma_i^2 = \sigma^2$

H_1 : paling tidak terdapat satu *i* di mana $\sigma_i^2 \neq \sigma^2$ (i =1, 2, …, 6)

Hasil pengujian asumsi kehomogenan ragam galat disajikan pada Lampiran 4 dan secara ringkas tersaji dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Bartlett

Data	χ^2	Nilai-p
1	0.61	0.9875
2	8.96	0.1107

Berdasarkan hasil pengujian asumsi kehomogenan ragam galat pada Tabel 4.2, diperoleh nilai-p > 0.05 untuk kedua data sehingga ragam galat bersifat homogen.

4.1.4 Asumsi Kenormalan Galat

Dalam Daniel (1989) dijelaskan bahwa uji Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk menguji asumsi kenormalan galat berlandaskan hipotesis:

H_0 : galat menyebar normal
H_1 : galat tidak menyebar normal

Pengujian asumsi ini dilakukan karena penggunaan analisis ragam menghendaki galat menyebar normal dengan rata-rata nol dan ragam $\boldsymbol{\sigma^2}$ atau $\boldsymbol{\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)}$. Hasil pengujian asumsi kenormalan galat tersaji pada Lampiran 5 dan disajikan secara ringkas pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Uji Kolmogorov-Smirnov

Data	D_n	$D_{n(0.05)}$
1	0.140	$D_{18(0.05)} = 0.3094$
2	0.076	$D_{24(0.05)} = 0.2693$

Tabel 4.3 memperlihatkan nilai D_n baik untuk Data 1 maupun Data 2 lebih kecil dari $D_{n(0.05)}$ sehingga H_0 diterima (galat kedua data menyebar normal).

4.2 Ortogonal Polinomial

Seperti pemaparan pada Sub Bab 2.8, penggunaan metode ortogonal polinomial bertujuan untuk mengetahui hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif (Hanafiah, 1995). Langkah awal dalam penggunaan metode ortogonal polinomial adalah menentukan koefisien ortogonal polinomial.

Pada penelitian dengan jarak antar taraf perlakuan sama dan ulangan sama, koefisien ortogonal polinomial sudah ditabelkan. Sedangkan untuk taraf perlakuan dengan jarak berbeda dan ulangan sama, diperoleh melalui perhitungan.

4.2.1 Koefisien Ortogonal Polinomial

Terdapat dua cara untuk menentukan koefisien ortogonal polinomial pada taraf perlakuan dengan jarak berbeda dan ulangan sama, yakni:

a. Cara 1

Sesuai dengan prosedur ortogonal polinomial dalam Gomez dan Gomez (1995), langkah pertama adalah menduga parameter setiap persamaan polinomial. Pendugaan parameter dilakukan dengan menggunakan syarat kontras yaitu jumlah koefisien ortogonal polinomial sama dengan nol (persamaan 2.19) dan jumlah hasil kali koefisien setiap pasangan polinomial sama dengan nol (persamaan 2.20).

Data 1 dan Data 2 mempunyai enam taraf perlakuan kuantitatif, sehingga derajat polinomial tertinggi yang mungkin terjadi adalah polinomial derajat lima (kuintik). Hasil pendugaan parameter setiap persamaan polinomial untuk kedua data disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pendugaan Parameter Setiap Polinomial

Derajat Polinomial	Parameter	Penduga	
		Data 1	Data 2
Linier	a_1	-0.833	-16.667
Kuadratik	a_2	0.313	125.000
	b_2	-1.500	-30.000
Kubik	a_3	-0.047	-375.000
	b_3	1.213	485.000
	c_3	-2.250	-45.000
Kuartik	a_4	0.004	605.590
	b_4	-0.956	-7647.516
	c_4	3.119	1247.671
	d_4	-3.152	-63.043
Kuintik	a_5	-0.000	-505.391
	b_5	0.804	128662.399
	c_5	-3.690	-29516.509
	d_5	5.973	2389.151
	e_5	-4.080	-81.604

Kemudian penduga parameter pada Tabel 4.4 disubtitusikan pada persamaan polinomial derajat k (persamaan 2.18), sehingga diperoleh koefisien ortogonal polinomial setiap taraf perlakuan kuantitatif. Hasil koefisien ortogonal polinomial untuk kedua data berturut-turut disajikan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5. Koefisien Ortogonal Polinomial (Data 1)

Dosis Serbuk Albumin (g)	Koefisien Ortogonal Polinomial				
	Linier	Kuadratik	Kubik	Kuartik	Kuintik
0	-0.833	0.313	-0.047	0.004	0.000
0.50	-0.333	-0.188	0.122	-0.026	0.002
0.75	-0.083	-0.250	0.019	0.028	-0.006
1.00	0.167	-0.188	-0.084	0.015	0.007
1.25	0.417	0.000	-0.094	-0.033	-0.004
1.50	0.667	0.313	0.084	0.012	0.001

Tabel 4.6. Koefisien Ortogonal Polinomial (Data 2)

Konsentrasi Inokulum (%)	Koefisien Ortogonal Polinomial				
	Linier	Kuadratik	Kubik	Kuartik	Kuintik
0	-16.667	125.000	-375.000	605.590	-505.391
10	-6.667	-75.000	975.000	-4145.963	7580.863
15	-1.667	-100.000	150.000	4472.050	-20215.633
20	3.333	-75.000	-675.000	2375.776	22742.588
25	8.333	0.000	-750.000	-5217.391	-12129.380
30	13.333	125.000	675.000	1909.938	2526.954

b. Cara 2

Cara lain yang digunakan untuk menentukan koefisien ortogonal polinomial adalah transformasi matriks **X** menjadi suatu matriks dengan kolom-kolom ortogonal sesuai persamaan (2.21). Proses transformasi matriks **X** disajikan pada Lampiran 6 untuk Data 1 dan Lampiran 7 untuk Data 2. Matriks hasil transformasi untuk kedua data berturut-turut disajikan pada matriks (4.1) dan (4.2).

$$\underset{(6x6)}{\mathbf{X}_{baru}} = \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 & -0.047 & 0.004 & 0.000 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 & 0.122 & -0.026 & 0.002 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 & 0.019 & 0.028 & -0.006 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 & -0.084 & 0.015 & 0.007 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 & -0.094 & -0.033 & -0.004 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 & 0.084 & 0.012 & 0.001 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

$$\underset{(6x6)}{\mathbf{X}_{baru}} = \begin{bmatrix} 1.000 & -16.667 & 125.000 & -375.000 & 605.590 & -505.391 \\ 1.000 & -6.667 & -75.000 & 975.000 & -4145.963 & 7580.863 \\ 1.000 & -1.667 & -100.000 & 150.000 & 4472.050 & -20215.633 \\ 1.000 & 3.333 & -75.000 & -675.000 & 2375.776 & 22742.588 \\ 1.000 & 8.333 & 0.000 & -750.000 & -5217.391 & -12129.380 \\ 1.000 & 13.333 & 125.000 & 675.000 & 1909.938 & 2526.954 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

di mana vektor kolom kedua, ketiga, keempat, kelima dan keenam secara berturut-turut merupakan himpunan koefisien ortogonal polinomial untuk respons linier, kuadratik, kubik, kuartik dan kuintik.

Koefisien ortogonal polinomial yang diperoleh dengan kedua cara menunjukkan hasil yang sama. Dari setiap persamaan polinomial, apabila koefisien ortogonal polinomial dijumlahkan akan menghasilkan nilai nol $(\sum_{i=1}^{t} Z_k(X_i) = 0)$ seperti pada Lampiran 8. Selain itu, jumlah hasil kali koefisien setiap pasangan polinomial juga akan sama dengan nol $(\sum_{i=1}^{t} Z_k(X_i) Z_{k'}(X_i) = 0)$ seperti yang disajikan pada Lampiran 9, sehingga dapat disimpulkan bahwa koefisien ortogonal polinomial yang diperoleh sudah tepat. Plot koefisien ortogonal polinomial setiap persamaan polinomial tersaji pada Lampiran 10.

4.3 Analisis Ragam

Menurut Gomez dan Gomez (1995), dengan menggunakan koefisien ortogonal polinomial yang diperoleh kemudian dihitung jumlah kuadrat setiap sumber keragaman sesuai persamaan (2.22). Sumber-sumber keragaman disusun dalam tabel analisis ragam yang digunakan untuk menguji pengaruh perlakuan berlandaskan hipotesis:

H_0 : $\tau_1 = \tau_2 = \ldots = \tau_6$; $\tau_i = 0$ (perlakuan tidak berpengaruh terhadap respons)

H_1 : paling tidak terdapat satu *i* di mana $\tau_i \neq 0$ (i =1, 2, …, 6) (perlakuan berpengaruh terhadap respons)

Tabel 4.7. Analisis Ragam Sesuai dengan Ortogonal Polinomial (Data 1)

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	Nilai-p
Antar grup (Perlakuan)	5	2.1697	0.4339	574.3309	<0.0001
Linier	1	2.0927	2.0927	2769.6188	<0.0001
Kuadratik	1	0.0520	0.0520	68.8216	<0.0001
Kubik	1	0.0129	0.0129	17.0786	0.0014
Kuartik	1	0.0008	0.0008	1.0238	0.3316
Kuintik	1	0.0113	0.0113	14.9427	0.0022
Dalam grup (Galat)	12	0.0091	0.0008		
Total	17	2.1788			

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Tabel 4.7 disimpulkan bahwa pengaruh berbagai dosis serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*) terhadap kadar Zn bersifat sangat nyata sampai derajat lima. Hal ini menunjukkan bahwa percobaan pada Data 1 dapat membentuk respons sampai dengan tingkat kuintik (derajat lima) karena nilai-p < 0.05 untuk respons linier, kuadratik, kubik dan kuintik.

Tabel 4.8. Analisis Ragam Sesuai dengan Ortogonal Polinomial (Data 2)

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	Nilai-p
Antar grup (Perlakuan)	5	43.4955	8.6991	187.8855	<0.0001
Linier	1	16.1186	16.1186	348.1339	<0.0001
Kuadratik	1	0.9483	0.9483	20.4816	<0.0001
Kubik	1	21.9942	21.9942	475.0367	<0.0001
Kuartik	1	1.6406	1.6406	35.4341	<0.0001
Kuintik	1	2.7938	2.7938	60.3413	<0.0001
Dalam grup (Galat)	18	0.8334	0.0463		
Total	23	44.3289			

Terlihat pada Tabel 4.8 bahwa nilai-p (Data 2) < 0.05, maka konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* berpengaruh terhadap kandungan serat kasar pada fermentasi onggok. Hasil analisis ragam pada Tabel 4.8 juga menunjukkan nilai-p < 0.05 untuk respons linier, kuadratik, kubik, kuartik dan kuintik, maka Data 2 dapat membentuk respons hingga tingkat kuintik (derajat lima).

4.4 Hubungan Fungsional antara Respons dan Taraf Perlakuan

Hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif didekati dengan analisis regresi polinomial, yakni meregresikan antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif sebagai peubah prediktor (Gomez dan Gomez, 1995).

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 diperoleh kesimpulan bahwa Data 1 dapat membentuk hubungan fungsional pada respons linier, kuadratik, kubik, kuintik dan Data 2 pada respons linier, kuadratik, kubik, kuartik dan kuintik. Hasil regresi polinomial untuk kedua data menghasilkan persamaan regresi:

- Data 1
  $\hat{Y} = 1.6964 + 0.6916\,X$ (linier)
  $\hat{Y} = 1.7683 - 0.3469\,X + 0.2298\,X^2$ (kuadratik)
  $\hat{Y} = 1.7835 - 0.0468\,X + 0.9638\,X^2 - 0.3262\,X^3$ (kubik)
  $\hat{Y} = 1.7833 - 4.4447\,X + 21.5119\,X^2 - 34.1570\,X^3 + 23.4548\,X^4 - 5.8216\,X^5$ (kuintik)

- Data 2
  $\hat{Y} = 14.28770 + 0.08311\,X$ (linier)
  $\hat{Y} = 14.55330 - 0.01936\,X + 0.00213\,X^2$ (kuadratik)
  $\hat{Y} = 15.10000 - 0.68765\,X + 0.06772\,X^2 - 0.00146\,X^3$(kubik)
  $\hat{Y} = 15.14500 - 1.25670\,X + 0.16057\,X^2 - 0.00615\,X^3 - 0.00007\,X^4$ (kuartik)
  $\hat{Y} = 15.13250 + 1.93200\,X - 0.57095\,X^2 + 0.05306\,X^3 - 0.00195\,X^4 + 0.00002\,X^5$ (kuintik)

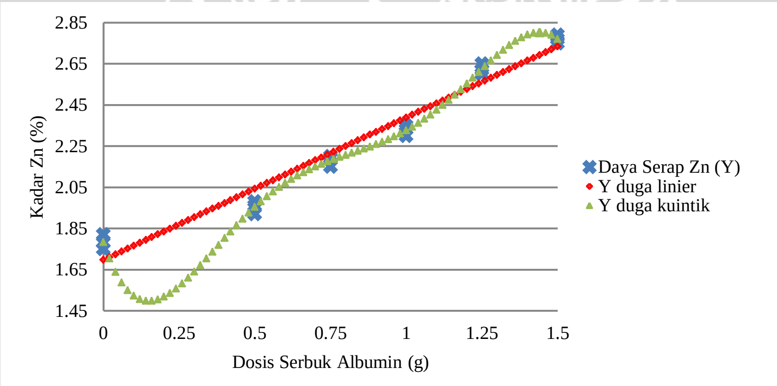
Hasil koefisien determinasi disesuaikan (R^2*adjusted)* untuk kedua data disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Koefisien Determinasi Disesuaikan (*R^2adjusted)* untuk Data 1 dan Data 2

Polinomial	*R^2adjusted*	
	Data 1	Data 2
Linier	95.8	33.1
Kuadratik	98.2	33.9
Kubik	98.8	87.4
Kuartik	-	91.2
Kuintik	99.4	98.9

Hasil pengujian *lack of fit* pada Lampiran 11 menunjukkan bahwa model yang sesuai untuk menjelaskan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif pada Data 1 adalah model linier, sedangkan pada Data 2 model kubik. Hal ini juga dapat dilihat dari nilai *R^2adjusted*.

Dengan meregresikan antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif diperoleh penduga koefisien regresi, kemudian dibentuk hubungan fungsional seperti pada Gambar 4.2 untuk Data 1 dan Gambar 4.3 untuk Data 2.



Gambar 4.2. Kurva Ortogonal Polinomial Data 1

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk hubungan fungsional antara kadar Zn dan dosis serbuk albumin ikan gabus (*Ophiocephalus striatus*). Hubungan tersebut menerangkan bahwa semakin tinggi dosis serbuk albumin yang diberikan pada tikus wistar (*Rattus norvegicus*), akan semakin tinggi pula penyerapan kadar Zn.

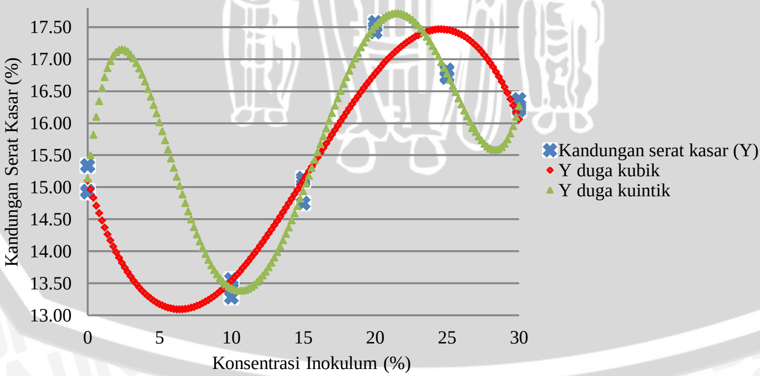
Berdasarkan hasil analisis ragam pada Tabel 4.7, pengaruh dosis serbuk albumin ikan gabus terhadap kadar Zn bersifat nyata sampai derajat lima (kuintik). Tetapi secara teori apabila dilihat dari aspek biologis, kurva respons cenderung memperlihatkan bentuk kurva linier. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian *lack of fit*, di mana model linier tidak nyata pada α = 0.05, sehingga model yang sesuai untuk menerangkan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif pada Data 1 adalah:

$$\hat{Y} = 1.6964 + 0.6916\, X$$

Jadi, disimpulkan bahwa dalam kisaran dosis serbuk albumin 0-1.5g yang dicobakan, rata-rata banyaknya kadar Zn yang diserap meningkat secara linier seiring dengan meningkatnya dosis serbuk albumin ikan gabus. Jika tidak diberi dosis serbuk albumin maka rata-rata kadar Zn yang diserap tikus wistar adalah 1.6964%. Setiap peningkatan 1g dosis serbuk albumin akan meningkatkan kadar Zn sebesar 0.6916%.

Sesuai yang telah dijelaskan Arisandy (2012) bahwa pemberian dosis serbuk albumin ikan gabus mampu mempercepat penyembuhan luka pada tikus wistar. Albumin merupakan protein yang mengalir dalam darah dan nilai albumin dalam plasma merupakan penentu utama penyerapan kadar Zn. Albumin dan Zn berperan penting dalam penyembuhan luka, karena albumin memiliki kemampuan mengikat dan mengangkut Zn dalam plasma darah. Kadar Zn yang sedikit dalam tubuh akan memperlambat penyembuhan luka.

Menurut Harper *et al*., (1996) dalam Arisandy (2012), selama masa pertumbuhan dan perbaikan jaringan yang rusak harus disediakan kalori tambahan. Pada kondisi kekurangan protein, tubuh akan berusaha menarik cadangan energi dalam jaringan dan protein plasma termasuk meningkatkan kadar Zn untuk proses metabolisme.



Gambar 4.3. Kurva Ortogonal Polinomial Data 2

Dilihat dari aspek statistik, hasil analisis ragam pada Tabel 4.8 menunjukkan bahwa konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* berpengaruh terhadap kandungan serat kasar hingga membentuk respons sampai dengan tingkat kuintik (derajat lima). Sedangkan secara teori dilihat dari aspek biologis, kurva respons cenderung memperlihatkan bentuk kurva kubik. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian *lack of fit*, di mana model kubik tidak nyata pada $\alpha = 0.05$. Dengan demikian, model yang sesuai untuk menjelaskan hubungan fungsional antara kandungan serat kasar dan konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* adalah:

$$\hat{Y} = 15.10000 - 0.68765\,X + 0.06772\,X^2 - 0.00146\,X^3$$

Berdasarkan model kubik diketahui bahwa rata-rata kandungan serat kasar jika tidak diberi konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* adalah 15.1%. Dalam kisaran konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* 0-10%, banyaknya kandungan serat pada fermentasi onggok menurun sebesar 0.68765%. Perubahan kandungan serat kasar jika diberi konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* 10-20% adalah 0.06772%. Sedangkan dalam kisaran konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* 20-30%, banyaknya kandungan serat menurun sebesar 0.00146%.

Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa di awal proses fermentasi kandungan serat kasar menurun dan setelah itu akan mengalami peningkatan seiring meningkatnya konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* sampai mencapai titik tertentu kemudian setelah melewati titik puncak kandungan serat kasar akan menurun. Hal ini dikarenakan aktivitas mikroba yang menghasilkan selulase dan enzim mampu memecah ikatan kompleks serat kasar menjadi lebih sederhana. Menurut Purwadaria *et al*. (1998) dalam Haryuni (2007) pada proses awal fermentasi, inokulum *Neurospora sitophila* akan menghasilkan enzim invertase, zimase, karboksilase, maltose, heksokinase dan dehidrogenase. Di mana enzim tersebut mampu mendegradasi karbohidrat yang terdapat dalam substrat, sehingga menurunkan kandungan serat kasar.

Selama proses fermentasi inokulum *Neurospora sitophila* mudah tumbuh dan berkembang biak secara cepat dengan membentuk konidia (spora). Pertumbuhan dan perkembangan inokulum yang cepat menyebabkan metabolisme menjadi tinggi sehingga akan berakibat pada peningkatan kandungan serat kasar.

Hal ini didukung oleh pendapat Supriyati (1998) dalam Haryuni (2007) bahwa salah satu penyusun dinding sel inokulum adalah polisakarida (serat kasar)

Setelah mencapai titik maksimum, penambahan konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* akan menurunkan kandungan serat kasar. Penurunan ini disebabkan metabolisme organisme yang terlalu tinggi, sehingga akan menaikkan suhu dan menurunkan nilai pH. Enzim yang bekerja untuk mendegradasi serat kasar menjadi rusak atau inaktif. Penurunan kandungan serat kasar juga disebabkan oleh kerja enzim selulase yang merombak serat kasar substrat. Perbedaan tingkat penurunan atau peningkatan kandungan serat kasar kemungkinan disebabkan oleh aktivitas enzim yang berbeda-beda pada masing-masing perlakuan (Haryuni, 2007).

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan metode ortogonal polinomial dapat disimpulkan:

1. Koefisien ortogonal polinomial yang dihasilkan dengan dua cara adalah sama
2. Model untuk menggambarkan hubungan fungsional antara respons dan taraf perlakuan kuantitatif pada Data 1 adalah:
$$\hat{Y} = 1.6964 + 0.6916\ X$$
Semakin tinggi dosis serbuk albumin ikan gabus yang diberikan pada tikus wistar (*Rattus norvegicus*) akan semakin tinggi pula penyerapan kadar Zn. Sedangkan pada Data 2 adalah:
$$\hat{Y} = 15.10000 - 0.68765\ X + 0.06772\ X^2 - 0.00146\ X^3$$
Kandungan serat kasar pada proses awal fermentasi menurun dan setelah itu mengalami peningkatan seiring peningkatan konsentrasi inokulum *Neurospora sitophila* sampai mencapai titik tertentu kemudian setelah melewati titik puncak kandungan serat kasar akan menurun.

5.2 Saran

Bagi peneliti yang akan menggunakan metode ortogonal polinomial, sebaiknya gunakan transformasi matriks. Karena cara ini dianggap lebih mudah dalam menentukan koefisien ortogonal polinomial untuk taraf perlakuan dengan jarak berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Arisandy, H.D. 2012. *Pengaruh Dosis Serbuk Albumin Ikan Gabus (Ophiocephalus striatus) terhadap Penyerapan Albumin dan Zn pada Penyembuhan Luka Tikus Wistar (Rattus norvegicus)*. Skripsi. Program Studi Teknologi Industri Hasil Perikanan Jurusan Manajemen Sumberdaya Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya. Malang (tidak dipublikasikan).

Daniel, W.W. 1989. *Statistika Nonparametrik Terapan*. Terjemahan: Alex Tri Kantjono W. PT Gramedia. Jakarta.

Draper, N.R. dan H. Smith. 1992. *Analisis Regresi Terapan*. Edisi Kedua. Terjemahan: Ir. Bambang Sumantri. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Gomez, K.A. dan A.A. Gomez. 1995. *Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian*. Terjemahan: Endang Sjamsuddin dan Justika S. Baharsjah. UI Press. Jakarta.

Hanafiah, K.A. 1995. *Rancangan Percobaan: Teori dan Aplikasi*. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.

Haryuni, N. 2007. *Pengaruh Konsentrasi Inokulum Neurospora sitophila dalam Fermentasi terhadap Kandungan Zat Makanan Onggok*. Skripsi. Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Brawijaya. Malang (tidak dipublikasikan).

Hinkelmann, K. and O. Kemptorne. 2008. *Design and Analysis of Experiments Second Edition*. John Wiley and Sons, Inc. New York.

Mattjik, A.A. dan I.M. Sumertajaya. 2006. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. IPB Press. Bogor.

Montgomery, D.C. 1984. *Design and Analysis of Experiments Second Edition*. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey.

Nugroho, W.H. 1990. *Perancangan dan Analisis Percobaan.* Edisi Pertama. Ganesa Exact. Bandung.

Pratiwi, D.A. 2013. *Analisis Ortogonal Polinomial Berderajat Empat Pada Rancangan Acak Lengkap (RAL)*. Skripsi. Program Studi Statistika Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya. Malang (tidak dipublikasikan).

Steel, R.G.D. dan J.H. Torrie. 1989. *Prinsip dan Prosedur Statistika.* Terjemahan: Ir. Bambang Sumantri. PT Gramedia. Jakarta.

Sugandi, E. dan Sugiarto. 1994. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi*. Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.

Walpole, R.E. 1995. *Pengantar Statistika*. Edisi Ketiga. Terjemahan: Ir. Bambang Sumantri. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Widiharih, T. 2001. *Pendekatan Regresi Polinomial Orthogonal Pada Rancangan Dua Faktor (Dengan Aplikasi SAS dan Minitab).* Jurnal Matematika dan Komputer, Hal. 1-10, Vol. 4, No. 1. Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro. Semarang. http://eprints.undip.ac.id/2091/1/Isi_Makalah_1_(Tatik_Widiharih.pdf. Diakses pada tanggal 27 Oktober 2013.

Yitnosumarto, S. 1993. *Percobaan: Perancangan, Analisis dan Interpretasinya*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Lampiran 1. Data Sekunder

Kadar Zn (%) pada Tikus Wistar (*Rattus norvegicus)* (Data 1)

Dosis Serbuk Albumin (g)	Ulangan			Total	Rata-rata
	1	2	3		
0	1.75	1.82	1.78	5.35	1.78
0.50	1.96	1.98	1.92	5.86	1.95
0.75	2.20	2.15	2.19	6.54	2.18
1.00	2.30	2.33	2.35	6.98	2.33
1.25	2.62	2.60	2.65	7.87	2.62
1.50	2.79	2.77	2.75	8.31	2.77
				40.91	2.27

Kandungan Serat Kasar (%) pada Onggok (Data 2)

Konsentrasi Inokulum (%)	Ulangan				Total	Rata-rata
	1	2	3	4		
0	14.92	14.94	15.34	15.33	60.53	15.13
10	13.41	13.42	13.56	13.28	53.67	13.42
15	14.75	14.75	15.10	15.14	59.74	14.94
20	17.42	17.50	17.57	17.57	70.06	17.52
25	16.73	16.71	16.83	16.81	67.08	16.77
30	16.20	16.27	16.37	16.23	65.07	16.27
					376.15	15.67

Lampiran 2. Hasil Pengujian Asumsi Keaditifan

Tabel Analisis Ragam untuk Uji Non-Aditifitas (Data 1)

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F
Antar grup (Perlakuan)	5	2.1697	0.4339	574.3309
Dalam grup (Galat)	12	0.0091	0.0008	
NAT	1	0.0015	0.0015	2.1708
Galat*	11	0.0076	0.0007	
Total	17	2.1788		

Tabel Analisis Ragam untuk Uji Non-Aditifitas (Data 2)

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F
Antar grup (Perlakuan)	5	43.4955	8.6991	187.8855
Dalam grup (Galat)	18	0.8334	0.0463	
NAT	1	0.0049	0.0049	0.0997
Galat*	17	0.8285	0.0487	
Total	23	44.3289		

Lampiran 3. Nilai $\hat{Y}_{ij}$ dan ε_{ij}

Data 1			Data 2		
Y_{ij}	$\hat{Y}_{ij}$	ε_{ij}	Y_{ij}	$\hat{Y}_{ij}$	ε_{ij}
1.75	1.7833	-0.0333	14.92	15.1325	-0.2125
1.82	1.7833	0.0367	14.94	15.1325	-0.1925
1.78	1.7833	-0.0033	15.34	15.1325	0.2075
1.96	1.9533	0.0067	15.33	15.1325	0.1975
1.98	1.9533	0.0267	13.41	13.4175	-0.0075
1.92	1.9533	-0.0333	13.42	13.4175	0.0025
2.20	2.1800	0.0200	13.56	13.4175	0.1425
2.15	2.1800	-0.0300	13.28	13.4175	-0.1375
2.19	2.1800	0.0100	14.75	14.9350	-0.1850
2.30	2.3267	-0.0267	14.75	14.9350	-0.1850
2.33	2.3267	0.0033	15.10	14.9350	0.1650
2.35	2.3267	0.0233	15.14	14.9350	0.2050
2.62	2.6233	-0.0033	17.42	17.5150	-0.0950
2.60	2.6233	-0.0233	17.50	17.5150	-0.0150
2.65	2.6233	0.0267	17.57	17.5150	0.0550
2.79	2.7700	0.0200	17.57	17.5150	0.0550
2.77	2.7700	0.0000	16.73	16.7700	-0.0400
2.75	2.7700	-0.0200	16.71	16.7700	-0.0600
			16.83	16.7700	0.0600
			16.81	16.7700	0.0400
			16.20	16.2675	-0.0675
			16.27	16.2675	0.0025
			16.37	16.2675	0.1025
			16.23	16.2675	-0.0375

Lampiran 4. Hasil Pengujian Asumsi Kehomogenan Ragam Galat

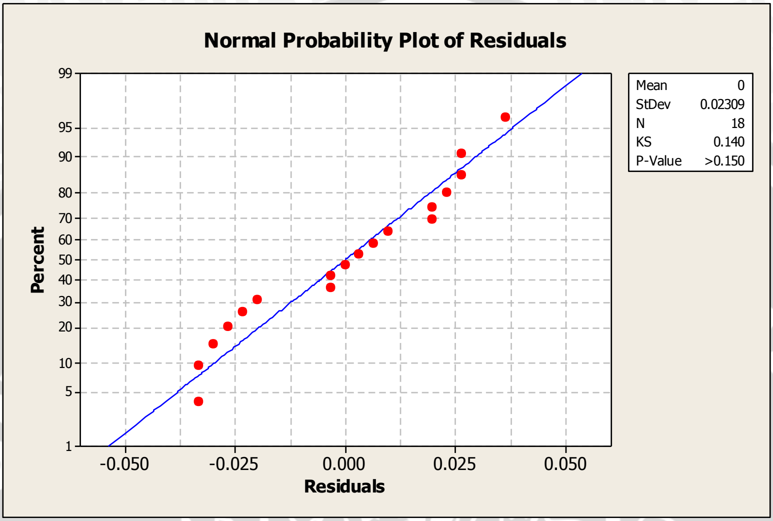
Hasil Uji Bartlett (Data 1)

Bartlett's test for homogeneity of variances
Chi-square 0.61 on 5 degrees of freedom: probability 0.988

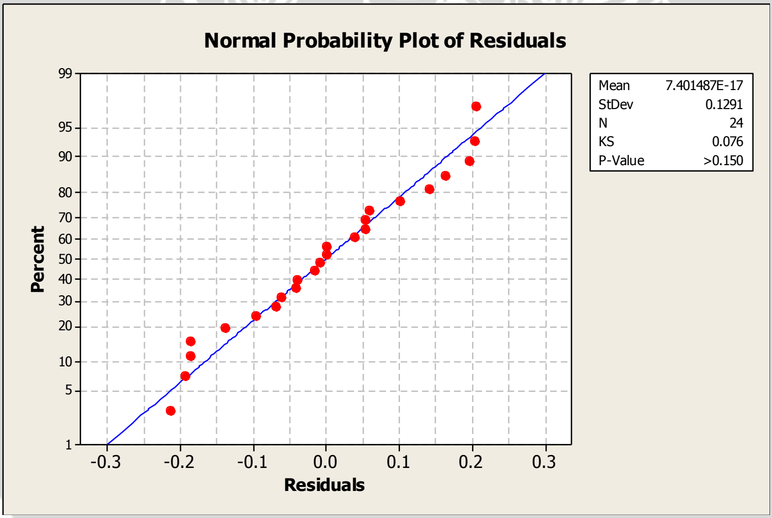
Hasil Uji Bartlett (Data 2)

Bartlett's test for homogeneity of variances
Chi-square 8.96 on 5 degrees of freedom: probability 0.110

Lampiran 5. Hasil Pengujian Asumsi Kenormalan Galat



(a)



(b)

Gambar 1. Plot Kenormalan Galat Data 1 (a) dan Data 2 (b)

Lampiran 6. Transformasi Matriks X (Data 1)

$$\underset{(6x6)}{\mathbf{X}} = \begin{array}{cccccc} \mathbf{X^0} & \mathbf{X^1} & \mathbf{X^2} & \mathbf{X^3} & \mathbf{X^4} & \mathbf{X^5} \\ \hline \end{array}$$
$$\begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.000 & 0.500 & 0.250 & 0.125 & 0.063 & 0.031 \\ 1.000 & 0.750 & 0.563 & 0.422 & 0.316 & 0.237 \\ 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 1.000 & 1.250 & 1.563 & 1.953 & 2.441 & 3.052 \\ 1.000 & 1.500 & 2.250 & 3.375 & 5.063 & 7.594 \end{bmatrix}$$

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Satu (Linier)

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z} = \mathbf{Z_0} = \mathbf{J}} = \begin{bmatrix} 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \end{bmatrix} \qquad \underset{(6x1)}{\mathbf{Z_1}} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.500 \\ 0.750 \\ 1.000 \\ 1.250 \\ 1.500 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(1x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = [0.167] \qquad \underset{(1x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_1)} = [5.000] \qquad \underset{(1x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_1} = [0.833]$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{1(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.500 \\ 0.750 \\ 1.000 \\ 1.250 \\ 1.500 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \\ 1.000 \end{bmatrix} [0.833]$$
$$= \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.500 \\ 0.750 \\ 1.000 \\ 1.250 \\ 1.500 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.833 \\ 0.833 \\ 0.833 \\ 0.833 \\ 0.833 \\ 0.833 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.833 \\ -0.333 \\ -0.083 \\ 0.167 \\ 0.417 \\ 0.667 \end{bmatrix}$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Dua (Kuadratik)

$$\underset{(6x2)}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1)} = \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 \\ 1.000 & -0.333 \\ 1.000 & -0.083 \\ 1.000 & 0.167 \\ 1.000 & 0.417 \\ 1.000 & 0.667 \end{bmatrix} \qquad \underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_2} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.250 \\ 0.563 \\ 1.000 \\ 1.563 \\ 2.250 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(2x2)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 \\ 0.000 & 0.686 \end{bmatrix} \qquad \underset{(2x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_2)} = \begin{bmatrix} 5.625 \\ 2.188 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(2x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_2)} = \begin{bmatrix} 0.9375 \\ 1.5000 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{2(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.250 \\ 0.563 \\ 1.000 \\ 1.563 \\ 2.250 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 \\ 1.000 & -0.333 \\ 1.000 & -0.083 \\ 1.000 & 0.167 \\ 1.000 & 0.417 \\ 1.000 & 0.667 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.938 \\ 1.500 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.250 \\ 0.563 \\ 1.000 \\ 1.563 \\ 2.250 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.313 \\ 0.438 \\ 0.813 \\ 1.188 \\ 1.563 \\ 1.938 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.313 \\ -0.188 \\ -0.250 \\ -0.188 \\ 0.000 \\ 0.313 \end{bmatrix}$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Tiga (Kubik)

$$\underset{(6x3)}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2)} = \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 \end{bmatrix} \qquad \underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_3} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.125 \\ 0.422 \\ 1.000 \\ 1.953 \\ 3.375 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(3x3)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.688 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 3.048 \end{bmatrix} \qquad \underset{(3x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_3)} = \begin{bmatrix} 6.875 \\ 3.154 \\ 0.738 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(3x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_3)} = \begin{bmatrix} 1.146 \\ 2.163 \\ 2.250 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{3(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.125 \\ 0.422 \\ 1.000 \\ 1.953 \\ 3.375 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.146 \\ 2.163 \\ 2.250 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.125 \\ 0.422 \\ 1.000 \\ 1.953 \\ 3.375 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.047 \\ 0.003 \\ 0.403 \\ 1.084 \\ 2.047 \\ 3.291 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.047 \\ 0.122 \\ 0.019 \\ -0.084 \\ -0.094 \\ 0.084 \end{bmatrix}$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Empat (Kuartik)

$$\underset{(6x4)}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \mathbf{Z}_3)} = \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 & -0.047 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 & 0.122 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 & 0.019 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 & -0.084 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 & -0.094 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 & 0.084 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_4} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.063 \\ 0.316 \\ 1.000 \\ 2.441 \\ 5.063 \end{bmatrix} \qquad \underset{(4x4)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.686 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 3.048 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 24.734 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(4x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_4)} = \begin{bmatrix} 8.883 \\ 4.512 \\ 1.304 \\ 0.127 \end{bmatrix} \qquad \underset{(4x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_4)} = \begin{bmatrix} 1.480 \\ 3.094 \\ 3.973 \\ 3.152 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{4(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.063 \\ 0.316 \\ 1.000 \\ 2.441 \\ 5.063 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 & -0.047 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 & 0.122 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 & 0.019 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 & -0.084 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 & -0.094 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 & 0.084 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.480 \\ 3.094 \\ 3.973 \\ 3.152 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.063 \\ 0.316 \\ 1.000 \\ 2.441 \\ 5.063 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -0.004 \\ 0.088 \\ 0.288 \\ 0.985 \\ 2.474 \\ 5.051 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.004 \\ -0.026 \\ 0.028 \\ 0.015 \\ -0.033 \\ 0.012 \end{bmatrix}$$

Lampiran 6. (Lanjutan)

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Lima (Kuintik)

$$\underset{(6x5)}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \mathbf{Z}_3, \mathbf{Z}_4)} = \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 & -0.047 & 0.004 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 & 0.122 & -0.026 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 & 0.019 & 0.028 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 & -0.084 & 0.015 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 & -0.094 & -0.033 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 & 0.084 & 0.012 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_5} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.031 \\ 0.237 \\ 1.000 \\ 3.052 \\ 7.594 \end{bmatrix} \qquad \underset{(5x5)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.686 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 3.048 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 24.734 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 345.627 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(5x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_5)} = \begin{bmatrix} 11.914 \\ 6.471 \\ 2.120 \\ 0.279 \\ 0.012 \end{bmatrix} \qquad \underset{(5x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_5)} = \begin{bmatrix} 1.9857 \\ 4.4369 \\ 6.4621 \\ 6.8886 \\ 4.0802 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{5(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.031 \\ 0.237 \\ 1.000 \\ 3.052 \\ 7.594 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1.000 & -0.833 & 0.313 & -0.047 & 0.004 \\ 1.000 & -0.333 & -0.188 & 0.122 & -0.026 \\ 1.000 & -0.083 & -0.250 & 0.019 & 0.028 \\ 1.000 & 0.167 & -0.188 & -0.084 & 0.015 \\ 1.000 & 0.417 & 0.000 & -0.094 & -0.033 \\ 1.000 & 0.667 & 0.313 & 0.084 & 0.012 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.986 \\ 4.437 \\ 6.462 \\ 6.889 \\ 4.080 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.031 \\ 0.237 \\ 1.000 \\ 3.052 \\ 7.594 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.029 \\ 0.244 \\ 0.993 \\ 3.056 \\ 7.593 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.000 \\ 0.002 \\ -0.006 \\ 0.007 \\ -0.004 \\ 0.001 \end{bmatrix}$$

Lampiran 7. Transformasi Matriks X (Data 2)

$$\underset{(6x6)}{\mathbf{X}} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \mathbf{X^0} & \mathbf{X^1} & \mathbf{X^2} & \mathbf{X^3} & \mathbf{X^4} & \mathbf{X^5} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 10 & 100 & 1000 & 10000 & 100000 \\ 1 & 15 & 225 & 3375 & 50625 & 759375 \\ 1 & 20 & 400 & 8000 & 160000 & 3200000 \\ 1 & 25 & 625 & 15625 & 390625 & 9765625 \\ 1 & 30 & 900 & 27000 & 810000 & 24300000 \end{bmatrix} \end{array}$$

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Satu (Linier)

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z} = \mathbf{Z_0} = \mathbf{J}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \underset{(6x1)}{\mathbf{Z_1}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(1x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = [0.167] \qquad \underset{(1x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_1)} = [100] \qquad \underset{(1x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_1)} = [16.667]$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{1(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} [16.667]$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 16.667 \\ 16.667 \\ 16.667 \\ 16.667 \\ 16.667 \\ 16.667 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -16.667 \\ -6.667 \\ -1.667 \\ 3.333 \\ 8.333 \\ 13.333 \end{bmatrix}$$

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Dua (Kuadratik)

$$\underset{(6x2)}{\mathbf{Z}} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1) = \begin{bmatrix} 1 & -16.667 \\ 1 & -6.667 \\ 1 & -1.667 \\ 1 & 3.333 \\ 1 & 8.333 \\ 1 & 13.333 \end{bmatrix} \qquad \underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_2} = \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 225 \\ 400 \\ 625 \\ 900 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(2x2)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 \\ 0.000 & 0.002 \end{bmatrix} \qquad \underset{(2x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_2)} = \begin{bmatrix} 2250 \\ 17500 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(2x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_2)} = \begin{bmatrix} 375 \\ 30 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{2(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 225 \\ 400 \\ 625 \\ 900 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & -16.667 \\ 1 & -6.667 \\ 1 & -1.667 \\ 1 & 3.333 \\ 1 & 8.333 \\ 1 & 13.333 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 375 \\ 30 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 100 \\ 225 \\ 400 \\ 625 \\ 900 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -125.000 \\ 175.000 \\ 325.000 \\ 475.000 \\ 625.000 \\ 775.000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 125.000 \\ -75.000 \\ -100.000 \\ -75.000 \\ 0.000 \\ 125.000 \end{bmatrix}$$

Lampiran 7. (Lanjutan)

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Tiga (Kubik)

$$\underset{\textbf{(6x3)}}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2)} = \begin{bmatrix} 1 & -16.667 & 125.000 \\ 1 & -6.667 & -75.000 \\ 1 & -1.667 & -100.000 \\ 1 & 3.333 & -75.000 \\ 1 & 8.333 & 0.000 \\ 1 & 13.333 & 125.000 \end{bmatrix} \qquad \underset{\textbf{(6x1)}}{\mathbf{Z}_3} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1000 \\ 3375 \\ 8000 \\ 15625 \\ 27000 \end{bmatrix}$$

$$\underset{\textbf{(3x3)}}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.002 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix} \qquad \underset{\textbf{(3x1)}}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_3)} = \begin{bmatrix} 55000 \\ 504583 \\ 2362500 \end{bmatrix}$$

$$\underset{\textbf{(3x1)}}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_3)} = \begin{bmatrix} 9167 \\ 865 \\ 45 \end{bmatrix}$$

$$\underset{\textbf{(6x1)}}{\mathbf{Z}_{3(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1000 \\ 3375 \\ 8000 \\ 15625 \\ 27000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & -16.667 & 125.000 \\ 1 & -6.667 & -75.000 \\ 1 & -1.667 & -100.000 \\ 1 & 3.333 & -75.000 \\ 1 & 8.333 & 0.000 \\ 1 & 13.333 & 125.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 9166 \\ 865 \\ 45 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 1000 \\ 3375 \\ 8000 \\ 15625 \\ 27000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 375.000 \\ 25.000 \\ 3225.000 \\ 8675.000 \\ 16375.000 \\ 26325.000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -375.000 \\ 975.000 \\ 150.000 \\ -675.000 \\ -750.000 \\ 675.000 \end{bmatrix}$$

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Empat (Kuartik)

$$\underset{(6x4)}{\mathbf{Z}} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \mathbf{Z}_3) = \begin{bmatrix} 1 & -16.667 & 125.000 & -375.000 \\ 1 & -6.667 & -75.000 & 975.000 \\ 1 & -1.667 & -100.000 & 150.000 \\ 1 & 3.333 & -75.000 & -675.000 \\ 1 & 8.333 & 0.000 & -750.000 \\ 1 & 13.333 & 125.000 & 675.000 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_4} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10000 \\ 50625 \\ 160000 \\ 390625 \\ 810000 \end{bmatrix} \qquad \underset{(4x4)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.002 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(4x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_4)} = \begin{bmatrix} 1421250 \\ 14437500 \\ 83437500 \\ 163125000 \end{bmatrix} \qquad \underset{(4x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_4)} = \begin{bmatrix} 236875 \\ 24750 \\ 1589 \\ 63 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{4(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 10000 \\ 50625 \\ 160000 \\ 390625 \\ 810000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & -16.667 & 125.000 & -375.000 \\ 1 & -6.667 & -75.000 & 975.000 \\ 1 & -1.667 & -100.000 & 150.000 \\ 1 & 3.333 & -75.000 & -675.000 \\ 1 & 8.333 & 0.000 & -750.000 \\ 1 & 13.333 & 125.000 & 675.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 236875 \\ 24750 \\ 1589 \\ 63 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 10000 \\ 50625 \\ 160000 \\ 390625 \\ 810000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -605.590 \\ 14145.963 \\ 46152.950 \\ 157624.224 \\ 395842.391 \\ 808090.062 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 605.590 \\ -4145.963 \\ 4472.049 \\ 2375.776 \\ -5217.391 \\ 1909.938 \end{bmatrix}$$

Lampiran 7. (Lanjutan)

- Perhitungan Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Polinomial Derajat Lima (Kuintik)

$$\underset{(6x5)}{\mathbf{Z} = (\mathbf{Z_0}, \mathbf{Z}_1, \mathbf{Z}_2, \mathbf{Z}_3, \mathbf{Z}_4)} = \begin{bmatrix} 1 & -16.667 & 125.000 & -375.000 & 605.590 \\ 1 & -6.667 & -75.000 & 975.000 & -4145.963 \\ 1 & -1.667 & -100.000 & 150.000 & 4472.049 \\ 1 & 3.333 & -75.000 & -675.000 & 2375.776 \\ 1 & 8.333 & 0.000 & -750.000 & -5217.391 \\ 1 & 13.333 & 125.000 & 675.000 & 1909.938 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_5} = \begin{bmatrix} 0 \\ 100000 \\ 759375 \\ 3200000 \\ 9765625 \\ 24300000 \end{bmatrix} \qquad \underset{(5x5)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}} = \begin{bmatrix} 0.167 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.002 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(5x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_5)} = \begin{bmatrix} 38125000 \\ 414114583 \\ 2714062500 \\ 7129687500 \\ 6044254658 \end{bmatrix} \qquad \underset{(5x1)}{(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}_5)} = \begin{bmatrix} 6354167 \\ 709911 \\ 51696 \\ 2755 \\ 82 \end{bmatrix}$$

$$\underset{(6x1)}{\mathbf{Z}_{5(transformasi)}} = \begin{bmatrix} 0 \\ 100000 \\ 759375 \\ 3200000 \\ 9765625 \\ 24300000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & -16.667 & 125.000 & -375.000 & 605.590 \\ 1 & -6.667 & -75.000 & 975.000 & -4145.963 \\ 1 & -1.667 & -100.000 & 150.000 & 4472.049 \\ 1 & 3.333 & -75.000 & -675.000 & 2375.776 \\ 1 & 8.333 & 0.000 & -750.000 & -5217.391 \\ 1 & 13.333 & 125.000 & 675.000 & 1909.938 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 6354166 \\ 709911 \\ 51696 \\ 2755 \\ 82 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 100000 \\ 759375 \\ 3200000 \\ 9765625 \\ 24300000 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 505.391 \\ 92419.137 \\ 779590.633 \\ 3177257.412 \\ 9777754.380 \\ 24297473.046 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -505.391 \\ 7580.863 \\ -20215.633 \\ 22742.588 \\ -12129.380 \\ 2526.954 \end{bmatrix}$$

Lampiran 8. Hasil Penjumlahan Koefisien Ortogonal Polinomial

a. Data 1

Linier	: $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)$ = (-0.833) + (-0.333) + … + 0.667 = 0
Kuadratik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)$ = 0.313 + (-0.188) + … + 0.313 = 0
Kubik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_3(X_i)$ = (-0.047) + 0.122 + … + 0.084 = 0
Kuartik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_4(X_i)$ = 0.004 + (-0.026) + … + 0.012 = 0
Kuintik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_5(X_i)$ = 0.000 + 0.002 + … + 0.001 = 0

b. Data 2

Linier	: $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)$ = (-16.667) + (-6.667) + … + 13.333 = 0
Kuadratik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)$ = 125.000 + (-75.000) + … + 125.000 = 0
Kubik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_3(X_i)$ = (-375.000) + 975.000 + … + 675.000 = 0
Kuartik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_4(X_i)$ = 605.590 + (-4145.963) + … + 1909.938 = 0
Kuintik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_5(X_i)$ = (-505.391) + 7580.863 + … + 2526.954 = 0

Lampiran 9. Penjumlahan Hasil Kali Koefisien Ortogonal Polinomial untuk Setiap Pasangan Polinomial

a. Data 1

Linier*Kuadratik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_2(X_i)$ = (-0.833)(0.313) + (-0.333)(-0.188) + … + (0.667)(0.313) = 0
Linier*Kubik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_3(X_i)$ = (-0.833)(-0.047) + (-0.333)(0.122) + … + (0.667)(0.084) = 0
Linier*Kuartik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_4(X_i)$ = (-0.833)(0.004) + (-0.333)(-0.026) + … + (0.667)(0.012) = 0
Linier*Kuintik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_5(X_i)$ = (-0.833)(0.000) + (-0.333)(0.002) + … + (0.667)(0.001) = 0
Kuadratik*Kubik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)Z_3(X_i)$ = (0.313)(-0.047) + (-0.188)(0.122) + … + (0.313)(0.084) = 0
Kuadratik*Kuartik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)Z_4(X_i)$ = (0.313)(0.004) + (-0.188)(-0.026) + … + (0.313)(0.012) = 0
Kuadratik*Kuintik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)Z_5(X_i)$ = (0.313)(0.000) + (-0.188)(0.002) + … + (0.313)(0.001) = 0
Kubik*Kuartik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_3(X_i)Z_4(X_i)$ = (-0.047)(0.004) + (0.122)(-0.026) + … + (0.084)(0.012) = 0
Kubik*Kuintik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_3(X_i)Z_5(X_i)$ = (-0.047)(0.000) + (0.122)(0.002) + … + (0.0844)(0.001) = 0
Kuartik*Kuintik	: $\sum_{i=1}^{6} Z_4(X_i)Z_5(X_i)$ = (0.004)(0.000) + (-0.026)(0.002) + … + (0.012)(0.001) = 0

Lampiran 9. (Lanjutan)

b. Data 2

Linier*Kuadratik : $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_2(X_i)$ = (-16.667)(125.000) + (-6.667)(-75.000) + … + (13.333)(125.000) = 0

Linier*Kubik : $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_3(X_i)$ = (-16.667)(-375.000) + (-6.667)(975.000) + … + (13.333)(675.000) = 0

Linier*Kuartik : $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_4(X_i)$ = (-16.667)(605.590) + (-6.667)(-4145.963) + … + (13.333)(1909.938) = 0

Linier*Kuintik : $\sum_{i=1}^{6} Z_1(X_i)Z_5(X_i)$ = (-16.667)(-505.391) + (-6.667)(7580.863) + … + (13.333)(2526.954) = 0

Kuadratik*Kubik : $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)Z_3(X_i)$ = (125.000)(-375.000) + (-75.000)(975.000) + … + (125.000)(675.000) = 0

Kuadratik*Kuartik : $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)Z_4(X_i)$ = (125.000)(605.590) + (-75.000)(-4145.963) + … + (125.000)(1909.938) = 0

Kuadratik*Kuintik : $\sum_{i=1}^{6} Z_2(X_i)Z_5(X_i)$ = (125.000)(-505.391) + (-75.000)(7580.863) + … + (125.000)(2526.954) = 0

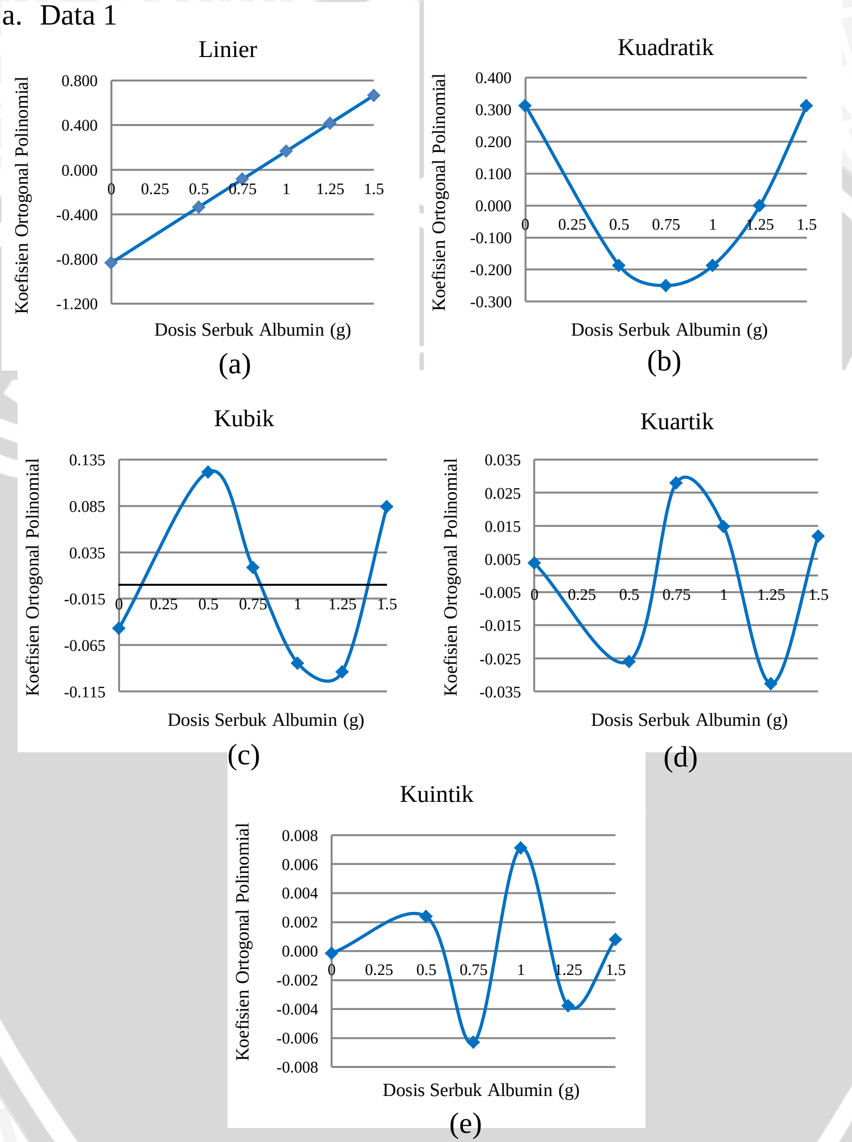
Kubik*Kuartik : $\sum_{i=1}^{6} Z_3(X_i)Z_4(X_i)$ = (-375.000)(605.590) + (975.000)(-4145.963) + … + (675.000)(1909.938) = 0

Kubik*Kuintik : $\sum_{i=1}^{6} Z_3(X_i)Z_5(X_i)$ = (-375.000)(-505.391) + (975.000)(7580.863) + … + (675.000)(2526.954) = 0

Kuartik*Kuintik : $\sum_{i=1}^{6} Z_4(X_i)Z_5(X_i)$ = (605.590)(-505.391) + (-4145.963)(7580.863) + … + (1909.938)(2526.954) = 0

Lampiran 10. Plot Koefisien Ortogonal Polinomial

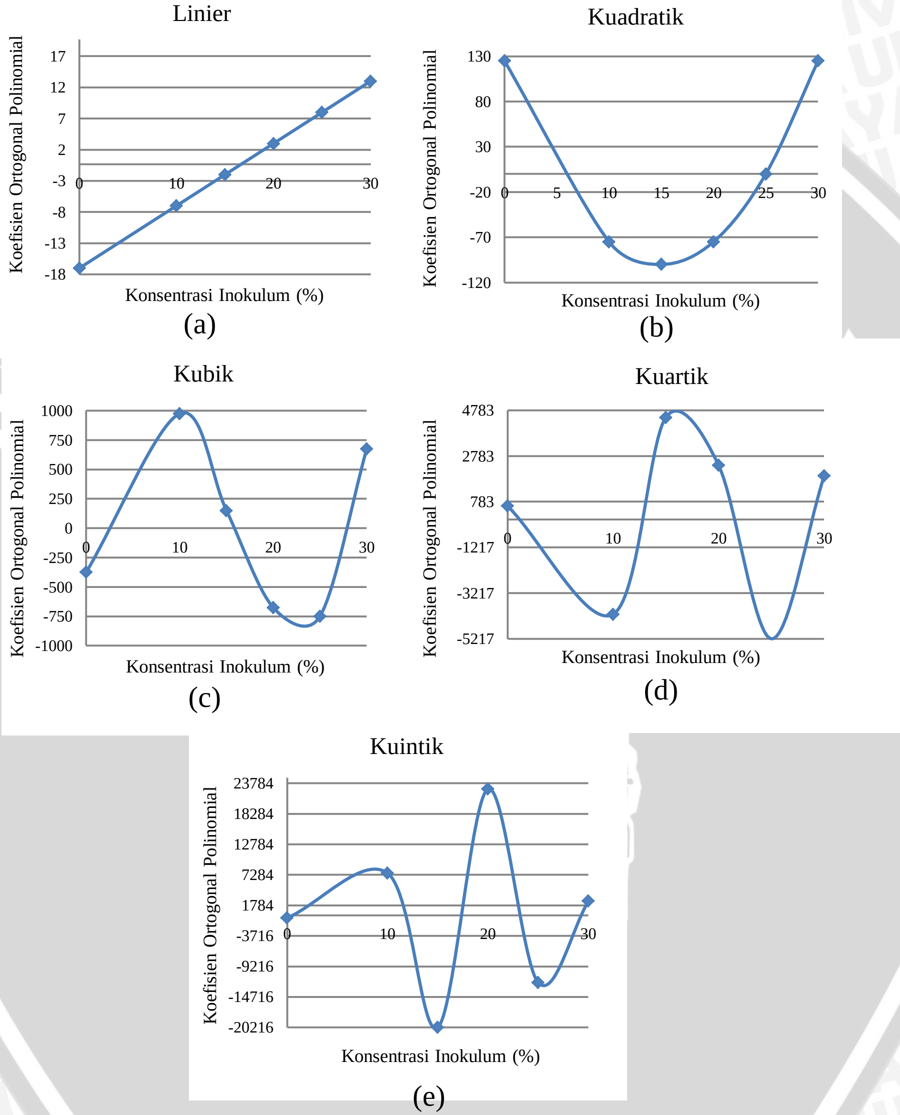
a. Data 1



Gambar 2. Plot Koefisien Ortogonal Polinomial Linier (a), Kuadratik (b), Kubik (c), Kuartik (d) dan Kuintik (e)

Lampiran 10. (Lanjutan)

b. Data 2



Gambar 3. Plot Koefisien Ortogonal Polinomial Linier (a), Kuadratik (b), Kubik (c), Kuartik (d) dan Kuintik (e)

Lampiran 11. Hasil Analisis Regresi Polinomial

a. Data 1

Regression analysis

Response variate: Kadar_Zn
Fitted terms: Constant + C1
Submodels: POL(C1; 5)

Summary of analysis

Source	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	5	2.169694	0.4339389	574.33	<.001
Residual	12	0.009067	0.0007556		
Total	17	2.178761	0.1281624		

Percentage variance accounted for 99.4
Standard error of observations is estimated to be 0.0275.

Estimates of parameters

Parameter	estimate	s.e.	t(12)	t pr.
Constant	1.7833	0.0159	112.37	<.001
Lin	-4.44	1.25	-3.56	0.004
Quad	21.51	5.63	3.82	0.002
Cub	-34.16	9.04	-3.78	0.003
Quart	23.45	6.15	3.81	0.002
Quint	-5.82	1.51	-3.87	0.002

Lampiran 11. (Lanjutan)

b. Data 2

Regression analysis

Response variate: Serat_Kasar
Fitted terms: Constant + Lin
Submodels: POL(C1; 5)

Summary of analysis

Source	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regression	5	43.4955	8.69909	187.88	<.001
Residual	18	0.8334	0.04630		
Total	23	44.3289	1.92734		

Percentage variance accounted for 98.9
Standard error of observations is estimated to be 0.146.

Estimates of parameters

Parameter	estimate	s.e.	t(18)	t pr.
Constant	15.1325	0.0730	207.37	<.001
Lin	1.932	0.287	6.73	<.001
Quad	-0.5709	0.0648	-8.81	<.001
Cub	0.05306	0.00520	10.21	<.001
Quart	-0.001948	0.000177	-11.02	<.001
Quint	0.00002478	0.00000216	11.45	<.001

Lampiran 12. Hasil Pengujian *Lack of Fit*

a. Data 1

Tabel Analisis Ragam untuk Pengujian *Lack of Fit* (LOF)

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	Nilai-p
Antar grup (Perlakuan)	5	2.1697	0.4339	574.3309	<0.0001
Linier	1	2.0927	2.0927	2769.6188	<0.0001
Dalam grup (Galat)	12	0.0091	0.0008		
LOF Linier	4	0.0770	0.0193	2.1154	0.1416
Total	17	2.1788			

b. Data 2

Tabel Analisis Ragam untuk Pengujian *Lack of Fit* (LOF)

Sumber Keragaman	derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji F	Nilai-p
Antar grup (Perlakuan)	5	43.4955	8.6991	187.8855	<0.0001
Linier	1	16.1186	16.1186	348.1339	<0.0001
Kuadratik	1	0.9483	0.9483	20.4816	<0.0001
Kubik	1	21.9942	21.9942	475.0367	<0.0001
Dalam grup (Galat)	18	0.8334	0.0463		
LOF Linier	4	27.3769	6.84423	8.2124	0.0006
LOF Kuadratik	3	26.4286	8.8095	10.5706	0.0003
LOF Kubik	2	4.4344	2.2172	2.6604	0.0972
Total	23	44.3289			