

**KAJIAN ULANGAN TUNGGAL PADA RANCANGAN
FAKTORIAL TIGA FAKTOR**

**(Studi Kasus Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka dan
Daya Tahan Pelet Singkong)**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Statistika**

Oleh:

**MIFTACHUL ILMU
175090501111021**



**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021**



**KAJIAN ULANGAN TUNGGAL PADA RANCANGAN
FAKTORIAL TIGA FAKTOR**

**(Studi Kasus Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka dan
Daya Tahan Pelet Singkong)**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Statistika**

Oleh:

**MIFTACHUL ILMI
175090501111021**



**PROGRAM STUDI SARJANA STATISTIKA
JURUSAN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2021**





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
KAJIAN ULANGAN TUNGGAL PADA RANCANGAN
FAKTORIAL TIGA FAKTOR
(Studi Kasus Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka dan
Daya Tahan Pellet Singkong)

Oleh:
MIFTACHUL ILMI
175090501111021

Setelah dipertahankan di depan majelis penguji
pada tanggal 8 Juli 2021
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Statistika

Pembimbing,



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Statistika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Rahma Purhani, S.Si., M.Sc., Ph.D.
NIP. 197603281999032001





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : MIFTACHUL ILMU

NIM : 175090501111021

PROGRAM STUDI : STATISTIKA

JUDUL SKRIPSI :

**KAJIAN ULANGAN TUNGGAL PADA RANCANGAN
FAKTORIAL TIGA FAKTOR
(Studi Kasus Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka dan
Daya Tahan Pellet Singkong)**

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termasuk di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung risiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 8 Juli 2021

Yang menyatakan,



Miftachul Ilmu

NIM. 175090501111021



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

KAJIAN ULANGAN TUNGGAL PADA RANCANGAN FAKTORIAL TIGA FAKTOR

ABSTRAK

Percobaan faktorial merupakan percobaan yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh beberapa faktor beserta interaksinya. Semakin banyak faktor dan level yang digunakan dalam percobaan faktorial mengakibatkan kombinasi perlakuan semakin besar. Percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan sangat besar membutuhkan banyak sumber daya, waktu lama, biaya besar dan ketelitian ekstra sehingga sulit untuk dilakukan pengulangan. Selain itu, kombinasi perlakuan besar menghasilkan data dengan jangkauan besar dan beberapa perlakuan memberikan pengaruh tidak menentu sehingga seringkali beberapa asumsi tidak dapat terpenuhi. Beberapa metode analisis telah ditemukan oleh para ahli untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya adalah Rancangan Acak Kelompok Faktorial Ulangan Tunggal. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menunjukkan apakah terdapat perbedaan pengaruh perlakuan pada percobaan faktorial ulangan lengkap dengan *Aligned Rank Transform* (ART) dan ulangan tunggal menggunakan dua kasus data. Data sekunder yang digunakan yaitu data waktu pengeringan tepung tapioka dan daya tahan pellet singkong dari jurnal internasional. Data pertama, waktu pengeringan tepung tapioka, melibatkan 3 faktor yaitu lama pengepresan, suhu dan kecepatan udara, masing-masing faktor memiliki 5 level dengan 3 ulangan. Data kedua, daya tahan pellet singkong, melibatkan 3 faktor yaitu kadar air awal, kecepatan dan diameter, masing-masing faktor memiliki 4 level dengan 3 ulangan. Hasil perbandingan Kuadrat Tengah dan signifikansi kedua data tersebut menunjukkan pengaruh yang tidak jauh berbeda untuk setiap perlakuan pada penggunaan ulangan lengkap dan tunggal. Penggunaan ulangan tunggal lebih disarankan karena data asli memenuhi asumsi, berbeda dengan data ulangan lengkap yang telah dilakukan beberapa penanganan asumsi masih tidak terpenuhi sehingga digunakan analisis nonparametrik.

Kata kunci: *Aligned Rank Transform*, ANOVA Faktorial Tiga Faktor, Ulangan Tunggal





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

STUDY OF SINGLE REPLICATION ON A THREE-FACTOR FACTORIAL DESIGN

ABSTRACT

A factorial experiment is an experiment conducted to determine the effect of several factors and their interactions. The more factors and levels used in factorial experiments, the greater combination of treatments will be. A factorial experiment with huge treatment combinations requires a lot of resources, time, large cost, and extra accuracy so replication is difficult to do. In addition, the combination of large treatments produces data with a large range and some treatments have an erratic effect so that often some assumptions cannot be fulfilled. Several methods of analysis have been found by experts to overcome this problem, one of them is a single replication in a factorial randomized design. The purpose of this study is to show whether there is a difference in the effect of treatment in a complete replication factorial experiment with Aligned Rank Transform (ART) and a single replication using two cases. The secondary data used are the drying time of tapioca flour and the durability of cassava pellets from the international journals. The first data involves 3 factors, dewatering time, temperature and air velocity, each factor has 5 levels with 3 replications. The second data involves 3 factors, initial moisture content, speed and die diameter, each factor has 4 levels with 3 replications. The results of the comparison of Mean Squares and the significance of the two data showed a not much different effect for each treatment on the use of complete and single replications. The use of a single replication is preferable because the original data fulfills the assumptions, in contrast to the complete replication data that has been carried out several assumptions handling is still not fulfilled so that nonparametric transformation is used.

Key words: *Aligned Rank Transform, Three-Factor Factorial ANOVA, Single Replication*





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Kajian Ulangan Tunggal pada Rancangan Faktorial Tiga Faktor” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Statistika. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan doa berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Loekito Adi Soehono, M.Agr. selaku Dosen Pembimbing skripsi yang telah memberikan waktu, bimbingan, saran serta kesabaran selama proses penyusunan skripsi.
2. Ibu Dr. Suci Astutik, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan bimbingan dan saran selama proses penyusunan skripsi.
3. Ibu Luthfatul Amaliana S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan bimbingan dan saran dalam proses penyusunan skripsi.
4. Bapak Achmad Effendi, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Statistika Universitas Brawijaya.
5. Ibu Rahma Fitriani, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Statistika FMIPA Universitas Brawijaya.
6. Penyelenggara beasiswa dan para donatur yang telah memberikan bantuan finansial selama masa studi hingga selesai.
7. Bapak, Ibu dan seluruh anggota keluarga serta teman-teman yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan doa.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan bagi pembacanya.

Malang, 8 Juli 2021

Penulis





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Rancangan Percobaan.....	5
2.1.1 Prinsip Dasar.....	6
2.1.2 Peranan Ulangan	7
2.2 Rancangan Acak Kelompok.....	8
2.3 Rancangan Faktorial.....	9
2.4 Rancangan Acak Kelompok Faktorial Tiga Faktor.....	10
2.4.1 Model Matematika.....	11
2.4.2 Tabulasi Data	11
2.4.3 Analisis Ragam	13
2.4.4 Asumsi Analisis Ragam	17
2.4.5 Transformasi	21
2.5 RAKF Tiga Faktor Ulangan Tunggal.....	24
2.6 Metode Alternatif	27
2.6.1 Fraksional Faktorial dengan Blok Tak Lengkap dan Pembauran	27
2.6.2 Rancangan percobaan berseri	29



BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Data Penelitian.....	33
3.1.1 Data 1.....	33
3.1.2 Data 2.....	34
3.2 Metode Penelitian.....	34
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Pengujian Asumsi.....	37
4.2. Analisis Ragam Ulangan Penuh dan Ulangan Tunggal.....	41
4.2.1. Analisis Ragam Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka.....	41
4.2.2. Analisis Ragam Data Daya Tahan Pellet Singkong.....	44
4.3. Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Pengaruh Faktor antara Ulangan Penuh dan Ulangan Tunggal.....	47
4.3.1. Perbandingan Kuadrat Tengah Data 1.....	47
4.3.2. Perbandingan Kuadrat Tengah Data 2.....	49
BAB V PENUTUP.....	53
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN.....	59



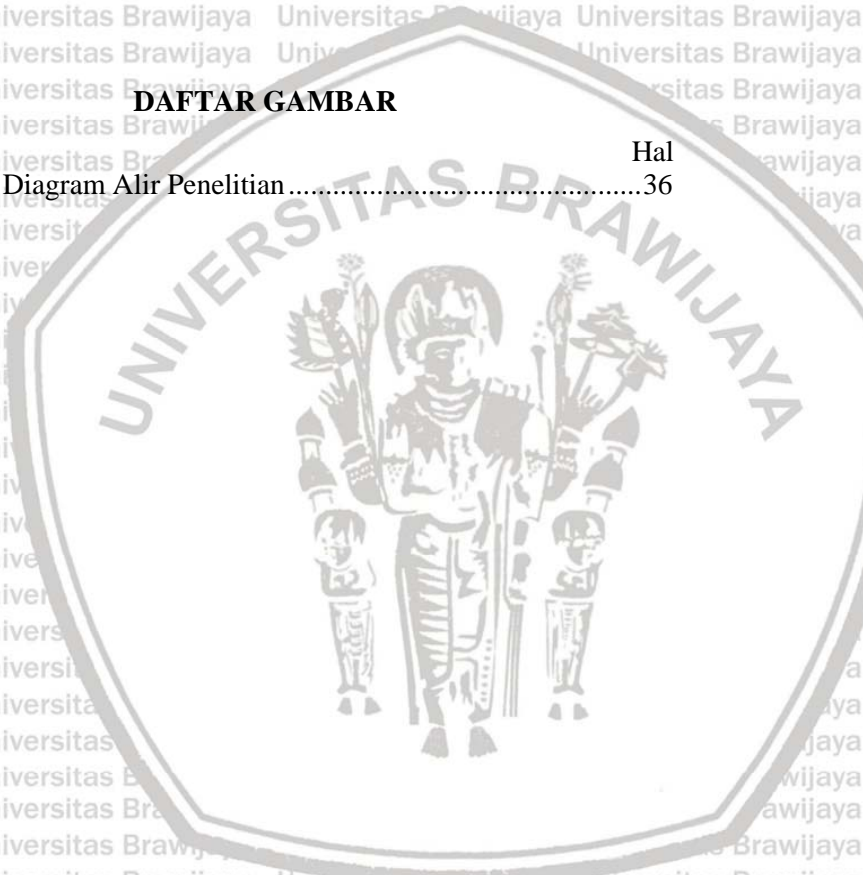
DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Tabulasi RAKF Tiga Faktor	12
Tabel 2.2 Tabel Dua Arah	13
Tabel 2.3 Analisis Ragam RAKF 3 Faktor	16
Tabel 2.4 Kelemahan Beberapa Metode Analisis Nonparametrik ...	22
Tabel 2.5 Rincian Derajat Bebas RAKF 3 ³ Satu Ulangan	26
Tabel 2.6 Analisis Ragam Percobaan Berseri	31
Tabel 4.1 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Penuh.....	37
Tabel 4.2 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Penuh (Setelah Penanganan <i>Outlier</i>)	38
Tabel 4.3 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Penuh (Setelah Transformasi Log)	38
Tabel 4.4 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Tunggal	39
Tabel 4.5 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Tunggal (Setelah Transformasi Log)	39
Tabel 4.6 Uji Asumsi Data 2 Ulangan Penuh.....	40
Tabel 4.7 Uji Asumsi Data 2 Ulangan Penuh (Setelah Transformasi Log)	40
Tabel 4.8 Uji Asumsi Data 2 Ulangan Tunggal	41
Tabel 4.9 Analisis Ragam Data 1 (Transformasi ART)	42
Tabel 4.10 Ringkasan ANOVA Data 1 Ulangan Tunggal	43
Tabel 4.11 Analisis Ragam Data 2 (Transformasi ART)	45
Tabel 4.12 Ringkasan ANOVA Data 2 Ulangan Tunggal	46
Tabel 4.13 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 1.47	
Tabel 4.14 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 1 (AC dan BC dikorbankan sebagai Galat).....	48
Tabel 4.15 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 2.49	
Tabel 4.16 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 2 (BC dikorbankan sebagai Galat)	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....36



DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran 1. Data Penelitian 1	59
Lampiran 2. Data Penelitian 2	63
Lampiran 3. Data 1 Setelah Penanganan Outlier	65
Lampiran 4. Data 1 Transformasi Log	66
Lampiran 5. Data 2 Transformasi Log	67
Lampiran 6. <i>Output</i> ARTool Data 1	68
Lampiran 7. <i>Output</i> ARTool Data 2	69
Lampiran 8. Uji Asumsi	70
Lampiran 9. Analisis Ragam Data 1 ART	87
Lampiran 10. Analisis Ragam Data 1 Ulangan Tunggal	91
Lampiran 11. Analisis Ragam Data 2 ART	93
Lampiran 12. Analisis Ragam Data 2 Ulangan Tunggal	97
Lampiran 13. <i>R code</i> ARTool	99
Lampiran 14. <i>Output</i> R	100





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu percobaan membutuhkan perancangan agar penelitian tersebut terarah dan sistematis serta hasil yang diperoleh akurat (Mattjik dan Sumertajaya, 2013). Oleh karena itu, rancangan percobaan yang dipilih harus sesuai dengan tujuan penelitian serta apa saja informasi yang ingin diambil dari percobaan tersebut. Pada kenyataannya, seringkali peneliti tidak hanya ingin mempelajari pengaruh satu faktor saja, tetapi dua atau lebih faktor secara serentak. Apabila percobaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh faktor secara serentak (beserta interaksi antar faktor), maka rancangan percobaan yang tepat adalah faktorial. Percobaan faktorial lengkap merupakan percobaan yang melibatkan semua kombinasi perlakuan yang mungkin dari faktor-faktor yang dicoba (Soehono, dkk., 2017).

Pada rancangan faktorial, kombinasi level dari masing-masing faktor disebut dengan kombinasi perlakuan (Nugroho, 2008). Menurut Soehono, dkk. (2017), misalnya pada percobaan dengan tiga faktor dan setiap faktor memiliki 3 level, maka percobaan tersebut dituliskan dengan percobaan faktorial $3 \times 3 \times 3$ atau 3^3 sehingga kombinasi perlakuan yang diperoleh sebanyak 27 perlakuan. Apabila setiap faktor tersebut memiliki 4 level, maka kombinasi perlakuan sebanyak 64 perlakuan. Begitu pula apabila setiap faktor memiliki 5 level, maka kombinasi perlakuan sebanyak 125 perlakuan. Pada percobaan dengan kombinasi perlakuan sebanyak 125 perlakuan, apabila dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali, maka unit percobaan yang dibutuhkan sebanyak 375 unit. Tidak hanya sumber daya yang besar, akan tetapi ketelitian yang tinggi juga sangat dibutuhkan untuk melakukan percobaan tersebut.

Menurut Cochran dan Cox (1957), banyaknya kombinasi perlakuan yang meningkat seiring dengan bertambahnya faktor ataupun level mengakibatkan pengulangan sulit dilakukan dalam percobaan faktorial. Percobaan dengan kombinasi perlakuan sangat besar membutuhkan banyak sumber daya, waktu yang lama dan biaya yang besar. Seringkali apabila percobaan tersebut hanya dilakukan oleh satu orang, di mana orang tersebut harus mengamati semua unit percobaan, maka hasil yang diperoleh menjadi kurang



teliti. Oleh karena itu, pengulangan sangat sulit untuk dilakukan pada percobaan dengan kombinasi perlakuan sangat besar.

Ulangan merupakan salah satu prinsip dasar dalam suatu percobaan. Ulangan berperan dalam meningkatkan keakuratan hasil penelitian. Unit-unit percobaan akan menghasilkan respon yang berbeda walaupun diberi perlakuan yang sama. Dengan adanya ulangan, maka galat (kesalahan penelitian) dapat diminimalkan sehingga hasil percobaan lebih akurat (Cochran dan Cox, 1957). Akan tetapi pada percobaan faktorial yang memiliki kombinasi perlakuan sangat besar, dengan keterbatasan sumber daya dan tingkat kesulitan tinggi tidak memungkinkan untuk dilakukan pengulangan. Tanpa adanya ulangan, maka tidak terdapat derajat bebas pada galat dan Kuadrat Tengah Galat tidak dapat dihitung, sehingga sulit untuk mengetahui pengaruh perlakuan serta interpretasinya (Box dan Meyer, 1986). Untuk mengatasi hal tersebut, pengulangan (replikasi) dari seluruh kombinasi perlakuan dapat diabaikan sehingga dapat dilakukan percobaan tanpa ulangan dengan mengorbankan interaksi lebih dari dua faktor sebagai galat (Federer, 1967).

Menurut Nugroho (2008), pada data yang memiliki jangkauan besar, sering kali simpangan baku memiliki nilai yang proporsional terhadap rata-rata. Beberapa perlakuan terkadang juga memberikan pengaruh yang tidak menentu terhadap respon sehingga mengakibatkan ragam galat tidak konstan (Cochran dan Cox, 1957). Data hasil pengamatan memiliki jangkauan besar dan beberapa perlakuan memberikan pengaruh yang tidak menentu sangat mungkin terjadi pada percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan besar, sehingga asumsi-asumsi ANOVA terutama homogenitas ragam sering kali tidak terpenuhi. Oleh karena itu, dibutuhkan transformasi untuk menangani hal tersebut. Tetapi adakalanya data yang telah ditransformasi tetap tidak memenuhi asumsi. Oleh sebab itu, analisis nonparametrik dapat dipertimbangkan sebagai solusi sehingga asumsi-asumsi tersebut dapat diabaikan. Salah satu transformasi data nonparametrik yang dapat digunakan untuk percobaan faktorial tiga faktor adalah *Aligned Rank Transform* (ART). ART merupakan suatu metode transformasi yang menggabungkan penyetaraan respon dan transformasi peringkat sederhana sehingga cocok digunakan untuk ANOVA faktorial



nonparametrik. Penyetaraan respon dilakukan untuk memastikan bahwa pengaruh faktor utama dan interaksi akurat (Wobbrock, dkk., 2011).

Penelitian yang melibatkan rancangan faktorial lengkap tiga faktor dengan tiga level salah satunya dilakukan oleh Arif, dkk. (2016) pada optimalisasi produksi bioetanol dari molases tebu menggunakan faktor waktu fermentasi, penambahan urea dan *S. cerevisiae* yang diulang 2 kali. Hasil penelitian menunjukkan setiap ulangan memberikan respon yang sama serta rendemen alkohol tertinggi diperoleh pada penambahan urea dan *S. cerevisiae* 2 gram dan waktu fermentasi 3 hari. Percobaan tersebut memiliki 27 kombinasi perlakuan dan melibatkan 54 unit percobaan sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan pengulangan karena kombinasi perlakuan tidak terlalu besar. Percobaan faktorial tiga faktor dengan kombinasi perlakuan besar dilakukan oleh Odetunmbi, dkk. (2017) pada industri pengeringan tepung tapioka dengan 5 level diulang tiga kali dan Oguntunde, dkk. (2018) pada produksi pellet singkong dengan 4 level diulang tiga kali. Masing-masing memiliki 375 dan 192 unit percobaan sehingga tidak mungkin apabila dilakukan oleh satu orang peneliti serta membutuhkan ketelitian ekstra. Oleh sebab itu, pada penelitian ini ingin diketahui apakah pada dua kasus tersebut dapat digunakan ulangan tunggal dan apakah terdapat perbedaan pengaruh faktor dan interaksi terhadap respon ulangan tunggal dengan ulangan penuh.

Pada semua analisis dalam rancangan percobaan, penduga ragam galat dapat diestimasi karena terdapat asumsi kehomogenan ragam untuk setiap perlakuan. Jika asumsi ini benar, maka tidak masalah ulangan mana yang memberikan dugaan ragam (Mead, dkk., 1993). Berdasarkan pernyataan tersebut, pada penelitian ini ingin diketahui bagaimana perbedaan besar pengaruh perlakuan terhadap respon pada percobaan faktorial tiga faktor menggunakan ulangan penuh dan ulangan tunggal. Hal ini dilakukan untuk mengkaji apakah percobaan faktorial dengan sumber daya terbatas dapat dilakukan hanya dengan satu ulangan, yaitu dengan membandingkan Kuadrat Tengah pada ulangan penuh dan ulangan tunggal sesuai dengan kasus penelitian, sehingga dapat diperoleh percobaan yang lebih sederhana, efisien dan efektif.



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan pada percobaan faktorial ulangan lengkap dengan prosedur ART dan ulangan tunggal terhadap respon untuk setiap kasus?
2. Apakah ulangan tunggal memberikan hasil dan ketelitian yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan ulangan penuh?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menunjukkan pengaruh perlakuan pada percobaan faktorial ulangan lengkap dengan prosedur ART dan ulangan tunggal terhadap respon untuk setiap kasus.
2. Mengetahui dan menunjukkan ulangan tunggal dapat memberikan hasil dan ketelitian yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan ulangan penuh.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui, memahami dan menunjukkan pengaruh perlakuan pada percobaan faktorial ulangan lengkap dengan prosedur ART dan ulangan tunggal terhadap respon untuk setiap kasus.
2. Dapat mengetahui, memahami dan memberikan informasi mengenai ulangan tunggal memberikan hasil dan ketelitian yang tidak jauh berbeda dengan penggunaan ulangan penuh.

1.5 Batasan Masalah

Batasan dari permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Pembahasan rancangan faktorial ini dilakukan menggunakan dua data sekunder yang bersumber dari jurnal.
2. Data yang digunakan adalah data penelitian di bidang industri.
3. Data yang digunakan terbatas pada data percobaan faktorial tiga faktor dengan minimal dua ulangan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rancangan Percobaan

Percobaan yaitu serangkaian kegiatan yang sengaja dilakukan dengan tujuan mendapatkan jawaban tentang permasalahan penelitian melalui pengujian hipotesis. Rancangan percobaan merupakan sebuah desain yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan suatu percobaan (Nugroho, 2008). Menurut Montgomery (2013), rancangan percobaan merujuk pada suatu proses perencanaan dalam suatu percobaan sehingga data yang layak dapat dikumpulkan dan dianalisis dengan metode statistika kemudian menghasilkan kesimpulan yang valid dan objektif. Peneliti merancang percobaan dengan sengaja berdasarkan kondisi tertentu. Hasil percobaan tersebut yang berupa respon kemudian diuji agar dapat diambil kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang ada (Nugroho, 2008). Rancangan percobaan merupakan suatu pola atau prosedur yang digunakan untuk mengumpulkan atau memperoleh data dalam penelitian, dengan kata lain prosedur untuk menempatkan perlakuan ke dalam satuan-satuan percobaan dengan tujuan utama untuk mendapatkan data yang memenuhi persyaratan ilmiah (Yitnosumarto, 1990).

Menurut Mattjik dan Sumertajaya (2013), dalam merancang suatu percobaan penting untuk menuliskan tujuan secara jelas. Tujuan tersebut dapat berupa pertanyaan yang jawabannya harus diperoleh melalui percobaan, hipotesis yang akan diuji, maupun berupa pengaruh yang ingin diketahui. Secara umum, tujuan dari perancangan percobaan yaitu memilih peubah terkendali (perlakuan) apa saja yang berpengaruh terhadap respon dan paling mendekati nilai harapan respon, serta memilih peubah yang menyebabkan keragaman respon dan pengaruh peubah tak terkendali paling kecil. Tujuan tersebut dapat dicapai dengan memperhatikan sifat rancangan percobaan. Rancangan percobaan yang baik yaitu yang sesuai dengan tujuan percobaan (efektif), memiliki ketepatan tinggi dan hemat sumber daya (efisien), serta mudah untuk diterapkan (sederhana).

Terdapat tiga jenis rancangan yang diklasifikasikan dalam rancangan percobaan menurut Mattjik dan Sumertajaya (2013), yaitu:



1. Rancangan perlakuan, yaitu rancangan yang berkaitan dengan bagaimana membentuk perlakuan-perlakuan berdasarkan fokus penelitian. Komposisi dari perlakuan dapat berupa satu faktor maupun kombinasi dari dua faktor atau lebih.
2. Rancangan lingkungan, yaitu rancangan yang berkaitan dengan bagaimana menempatkan perlakuan-perlakuan ke dalam unit percobaan berdasarkan kondisinya. Rancangan acak lengkap (RAL), rancangan acak kelompok (RAK) dan rancangan bujur sangkar latin (RBSL) termasuk dalam rancangan ini.
3. Rancangan pengukuran, yaitu rancangan yang berkaitan dengan proses pengambilan data hasil percobaan yang berupa respon dari unit-unit percobaan. Penggunaan alat ukur yang sesuai standar termasuk dalam rancangan ini.

2.1.1 Prinsip Dasar

Dalam suatu rancangan percobaan, agar percobaan menghasilkan data yang valid sehingga hasil analisis dapat menjawab permasalahan penelitian, maka perlu diperhatikan tiga prinsip dasar rancangan percobaan. Gagasan tersebut diutarakan oleh Fisher dan Yates dari pusat penelitian Rothamsted yang merupakan tokoh penting dalam pengembangan ilmu statistika (Mattjik dan Sumertajaya, 2013). Tiga prinsip dasar tersebut yaitu:

a. Pengacakan

Pengacakan perlu dilakukan agar tiap unit percobaan memiliki peluang yang sama untuk mendapatkan suatu perlakuan. Pengacakan dapat dilakukan menggunakan lotre secara manual maupun digital (komputer), serta dapat menggunakan tabel bilangan acak.

b. Pengulangan

Pengulangan merupakan pengalokasian perlakuan tertentu terhadap beberapa unit percobaan yang memiliki kondisi seragam. Tujuannya adalah untuk menduga ragam dari galat percobaan, meningkatkan keakuratan percobaan, memperluas presisi kesimpulan melalui pemilihan satuan-satuan percobaan yang bervariasi.



c. Pengendalian lingkungan (*local control*)

Pengendalian lingkungan dilakukan untuk meminimalisir keragaman yang muncul akibat perbedaan kondisi lingkungan. Salah satu usaha pengendalian lingkungan yang biasa dilakukan yaitu pengelompokan (*blocking*). Mattjik dan Sumertajaya (2013) menyebutkan bahwa jika keragaman antar objek di dalam kelompok lebih kecil daripada keragaman antar kelompok, maka pengelompokan tersebut dapat dikatakan baik.

2.1.2 Peranan Ulangan

Menurut Cochran dan Cox (1957) unit-unit percobaan akan menghasilkan respon yang berbeda walaupun diberi perlakuan yang sama. Pengulangan merupakan pengalokasian perlakuan tertentu terhadap beberapa unit percobaan yang memiliki kondisi seragam. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keakuratan percobaan dan memperluas presisi kesimpulan melalui pemilihan satuan-satuan percobaan yang bervariasi (Mattjik dan Sumertajaya, 2013).

Ulangan termasuk salah satu prinsip dasar rancangan percobaan karena ulangan berperan penting dalam meningkatkan keakuratan hasil penelitian. Di samping itu, ulangan juga berperan untuk memungkinkan adanya kesalahan atau galat percobaan. Tanpa adanya ulangan, maka besarnya kesalahan/penyimpangan dalam percobaan tidak dapat diukur, di mana penyimpangan tersebut memegang peranan penting dalam pengujian hipotesis maupun penentuan selang kepercayaan, koefisien keragaman dan sebagainya (Yitnosumarto, 1990). Oleh karena itu, ulangan berperan untuk menduga ragam dari galat percobaan. Tanpa adanya ulangan, maka tidak terdapat derajat bebas pada galat dan Kuadrat Tengah Galat tidak dapat dihitung, sehingga sulit untuk mengetahui pengaruh perlakuan serta interpretasinya (Box dan Meyer, 1986).

Menurut Yitnosumarto (1990), beberapa hal yang harus diperhatikan untuk menentukan banyak ulangan yang diperlukan agar percobaan akurat, di antaranya:

1. Tingkat presisi yang diinginkan dan sifat dari percobaan itu sendiri.
2. Sifat yang berhubungan dengan percobaan itu sendiri.
3. Keseragaman tempat (*media*) dan bahan percobaan.

Jenis percobaan, tenaga, biaya dan waktu juga menentukan banyaknya ulangan. Misalnya pada percobaan yang bersifat merusak seperti percobaan tingkat keausan, masalah biaya menjadi pertimbangan utama untuk dilakukan pengulangan. Idealnya memang dapat menetapkan banyaknya ulangan dengan rumus-rumus tertentu yang sebenarnya cenderung pada hal yang sifatnya dicari-cari saja. Akan tetapi pada kenyataannya, pertimbangan-pertimbangan lain yang justru lebih menonjol (Yitnosumarto, 1990).

2.2 Rancangan Acak Kelompok

Rancangan Acak Kelompok (RAK) merupakan rancangan yang digunakan sebagai bentuk pengendalian homogenitas pada lingkungan tertentu. Pada percobaan lapang, umumnya sulit untuk mendapatkan kondisi lingkungan yang benar-benar homogen (Hanafiah, 1997). Pengelompokan dilakukan berdasarkan kesamaan sifat, misalnya tingkat kesuburan tanah yang sama sehingga keragaman dalam kelompok sangat kecil. Setiap kelompok memiliki tingkat kesuburan tanah yang berbeda mengindikasikan besarnya keragaman antar kelompok. Oleh karena itu, sumber keragaman pada rancangan acak kelompok berupa perlakuan, kelompok, galat dan total. Dengan adanya kelompok, maka keragaman galat yang diperoleh lebih kecil.

Model linier umum RAK pada p perlakuan dan n kelompok didefinisikan pada Persamaan 2.1 (Nugroho, 2008).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (2.1)$$

Dengan $i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, n$

Keterangan:

Y_{ij} : Nilai amatan pada perlakuan ke- i kelompok ke- j

μ : Nilai tengah umum

α_i : Pengaruh perlakuan ke- i

τ_j : Pengaruh kelompok ke- j

ε_{ij} : Galat percobaan pada pengaruh ke- i kelompok ke- j

Menurut Nugroho (2008) penggunaan RAK mempunyai keuntungan dan kerugian. Keuntungan dari penggunaan RAK sebagai berikut:

1. Kemudahan dalam proses analisis dan dapat dilakukan secara langsung.



2. Apabila pengelompokan dilakukan dengan benar, maka hasil percobaan akan lebih akurat.
3. Lebih fleksibel karena tidak terdapat batasan berapa banyak perlakuan atau kelompok.

Kerugian dari penggunaan RAK sebagai berikut:

1. Apabila perlakuan sangat banyak, kelompok yang homogen akan sulit untuk didapatkan. Semakin banyak unit percobaan dalam satu kelompok, semakin besar kemungkinan keheterogenan unit-unit percobaan tersebut.
2. Jika terdapat interaksi antara kelompok dan perlakuan, maka penggunaan RAK kurang tepat.

2.3 Rancangan Faktorial

Percobaan faktorial merupakan suatu percobaan yang terdiri dari dua faktor atau lebih di mana antar level-level faktor tersebut saling dikombinasikan (Paiman, 2015). Suatu percobaan yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh beberapa faktor beserta interaksinya, maka rancangan perlakuan yang tepat digunakan adalah faktorial, sehingga percobaan tersebut dapat dikatakan sebagai percobaan faktorial. Percobaan faktorial lengkap merupakan percobaan yang melibatkan semua kombinasi perlakuan yang mungkin dari faktor-faktor yang dicoba (Soehono, dkk., 2017).

Menurut Nugroho (2008), faktor merupakan suatu gugus perlakuan dan level merujuk ke beberapa perlakuan dalam faktor tersebut. Sebagai contoh pada penelitian pertanian sering digunakan pupuk sebagai salah satu faktor dan pupuk tersebut menggunakan beberapa konsentrasi, misalnya 25%, 50% dan 100%, disebut dengan level. Menurut Soehono, dkk. (2017), berdasarkan banyaknya level tiap faktor, penamaan percobaan faktorial dilakukan dengan menambahkan perkalian antara banyaknya level faktor dengan faktor lainnya. Misalnya pada percobaan yang terdiri atas dua faktor, faktor A terdiri dari 3 level dan faktor B terdiri dari 2 level, maka percobaan tersebut dituliskan dengan percobaan faktorial 3×2 , sehingga diperoleh kombinasi perlakuan sebanyak 6 perlakuan.

Pada rancangan faktorial, kombinasi level dari masing-masing faktor disebut dengan kombinasi perlakuan (Paiman, 2015). Menurut Soehono, dkk. (2017), misalnya pada percobaan dengan tiga faktor dan setiap faktor memiliki tiga level, maka percobaan tersebut



dituliskan dengan percobaan faktorial $3 \times 3 \times 3$ atau 3^3 sehingga kombinasi perlakuan yang diperoleh sebanyak 27 perlakuan. Apabila setiap faktor memiliki level sama, maka dapat ditulis dengan notasi pangkat, misalnya terdapat n faktor dan setiap faktor memiliki 3 level maka disebut percobaan faktorial 3^n . Apabila terdapat n faktor dan setiap faktor memiliki p level disebut percobaan faktorial p^n .

Percobaan faktorial memiliki beberapa keuntungan yaitu fleksibel, dapat digunakan pada hampir semua percobaan, interaksi juga diteliti, serta apabila interaksi tidak nyata, percobaan faktorial sama dengan percobaan faktor tunggal yang dilakukan secara bersamaan. Akan tetapi, besarnya cakupan percobaan (sampai pada tingkat interaksi) yang seiring dengan semakin banyaknya faktor dan level yang digunakan, sehingga kesulitan dalam mendapatkan satuan percobaan yang homogen menjadi kelemahan percobaan faktorial. Pendugaan keragaman galat percobaan membutuhkan paling sedikit dua ulangan juga termasuk dalam kelemahan percobaan faktorial karena disamping besarnya ukuran percobaan akibat banyak faktor/level, ulangan juga mengakibatkan ukuran percobaan menjadi besar (Nugroho, 2008).

2.4 Rancangan Acak Kelompok Faktorial Tiga Faktor

Rancangan Acak Kelompok Faktorial (RAKF) merupakan percobaan faktorial dengan RAK sebagai rancangan lingkungannya (Paiman, 2015). Salah satu kelemahan percobaan faktorial, yaitu kesulitan dalam mendapatkan satuan percobaan yang homogen yang merupakan dasar digunakannya RAK. Suatu percobaan faktorial yang menggunakan tiga faktor dan RAK sebagai rancangannya disebut dengan RAKF tiga faktor. Misalnya percobaan faktorial dengan 3 faktor dan dua level setiap faktornya, maka dapat disebut sebagai RAKF 2^3 , begitu pula jika setiap faktor memiliki 3 level, maka dapat disebut RAKF 3^3 . Apabila banyaknya level tiap faktor tidak sama, penamaan percobaan faktorial dilakukan dengan menambahkan perkalian antara banyaknya level faktor dengan faktor lainnya, misalnya faktor pertama memiliki 4 level, faktor kedua 3 level dan faktor ketiga 2 level, ditulis sebagai RAKF $4 \times 3 \times 2$ (Soehono, dkk., 2017).



2.4.1 Model Matematika

Misalkan percobaan faktorial ABC dengan faktor A memiliki level sebanyak a level, faktor B memiliki level sebanyak b level, faktor C memiliki level sebanyak c level dan masing-masing diulang sebanyak n kali. Model aditif linier percobaan faktorial ini dengan rancangan lingkungan RAK didefinisikan pada persamaan 2.2 (Soehono dkk, 2017).

$$Y_{ijk r} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \tau_r + \varepsilon_{ijk r} \quad (2.2)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, a$; $j = 1, 2, \dots, b$; $k = 1, 2, \dots, c$; dan $r = 1, 2, \dots, n$

Keterangan:

$Y_{ijk r}$: Nilai amatan pada faktor A level ke- i , faktor B level ke- j , faktor C level ke- k dan ulangan ke- r

μ : Nilai tengah umum

α_i : Pengaruh utama faktor A pada level ke- i

β_j : Pengaruh utama faktor B pada level ke- j

γ_k : Pengaruh utama faktor C pada level ke- k

τ_r : Pengaruh ulangan ke- r

$\alpha\beta_{ij}$: Pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke- i dan faktor B pada level ke- j

$\alpha\gamma_{ik}$: Pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke- i dan faktor C pada level ke- k

$\beta\gamma_{jk}$: Pengaruh interaksi antara faktor B pada level ke- j dan faktor C pada level ke- k

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$: Pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke- i , faktor B level ke- j dan faktor C level ke- k

$\varepsilon_{ijk r}$: Galat percobaan pada faktor A level ke- i , faktor B level ke- j , faktor C level ke- k dan ulangan ke- r

2.4.2 Tabulasi Data

Tabulasi data merupakan proses penyajian data dalam bentuk tabel dengan susunan tertentu. Misalkan percobaan faktorial dengan tiga faktor, perlakuan pada faktor A didefinisikan sebagai $A_1, A_2,$ dan A_3 pada faktor B didefinisikan B_1, B_2, B_3 dan pada faktor C



didefinisikan C_1 , C_2 , dan C_3 dengan 3 ulangan, maka penyajian data dapat divisualisasikan pada Tabel 2.1 (Soehono, dkk., 2017).

Tabel 2.1 Tabulasi RAKF Tiga Faktor

A	B	Ulangan	C		
			C_1	C_2	C_3
A_1	B_1	1	Y_{1111}	Y_{1121}	Y_{1131}
		2	Y_{1112}	Y_{1122}	Y_{1132}
		3	Y_{1113}	Y_{1123}	Y_{1133}
	B_2	1	Y_{1211}	Y_{1221}	Y_{1231}
		2	Y_{1212}	Y_{1222}	Y_{1232}
		3	Y_{1213}	Y_{1223}	Y_{1233}
	B_3	1	Y_{1311}	Y_{1321}	Y_{1331}
		2	Y_{1312}	Y_{1322}	Y_{1332}
		3	Y_{1313}	Y_{1123}	Y_{1333}
A_2	B_1	1	Y_{2111}	Y_{2121}	Y_{2131}
		2	Y_{2112}	Y_{2122}	Y_{2132}
		3	Y_{2113}	Y_{2123}	Y_{2133}
	B_2	1	Y_{2211}	Y_{2221}	Y_{2231}
		2	Y_{2212}	Y_{2222}	Y_{2232}
		3	Y_{2213}	Y_{2223}	Y_{2233}
	B_3	1	Y_{2311}	Y_{2321}	Y_{2331}
		2	Y_{2312}	Y_{2322}	Y_{2332}
		3	Y_{2313}	Y_{2323}	Y_{2333}
A_3	B_1	1	Y_{3111}	Y_{3121}	Y_{3131}
		2	Y_{3112}	Y_{3122}	Y_{3132}
		3	Y_{3113}	Y_{3123}	Y_{3133}
	B_2	1	Y_{3211}	Y_{3221}	Y_{3231}
		2	Y_{3212}	Y_{3222}	Y_{3232}
		3	Y_{3213}	Y_{3223}	Y_{3233}
	B_3	1	Y_{3311}	Y_{3321}	Y_{3331}
		2	Y_{3312}	Y_{3322}	Y_{3332}
		3	Y_{3313}	Y_{3323}	Y_{3333}

Dalam penghitungan interaksi dua faktor, umumnya digunakan tabel dua arah seperti pada Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Tabel Dua Arah

A	B			Total ($Y_{i...}$)
	B_1	B_2	B_3	
A_1	$Y_{11..}$	$Y_{12..}$	$Y_{13..}$	$Y_{1...}$
A_2	$Y_{21..}$	$Y_{22..}$	$Y_{23..}$	$Y_{2...}$
A_3	$Y_{31..}$	$Y_{32..}$	$Y_{33..}$	$Y_{3...}$
Total ($Y_{.j.}$)	$Y_{.1.}$	$Y_{.2.}$	$Y_{.3.}$	$Y_{....}$

Begitu pula untuk interaksi antara faktor A dengan faktor C dan interaksi faktor B dengan faktor C (Soehono, dkk., 2017).

2.4.3 Analisis Ragam

Analisis ragam merupakan metode untuk menguraikan keragaman total menjadi komponen-komponen yang mengukur berbagai sumber keragaman, untuk menguji kesamaan beberapa nilai tengah secara bersamaan (Walpole, 1995). Dalam tabel analisis ragam, keragaman total terbagi menjadi beberapa komponen dengan sumber keragaman menyesuaikan rancangan lingkungan yang digunakan. Sebelum melakukan analisis data, diperlukan perumusan hipotesis terlebih dahulu agar tujuan dilakukannya percobaan menjadi jelas serta untuk memudahkan proses interpretasi hasil analisis data. Hipotesis pada RAKF tiga faktor sebagai berikut (Soehono dkk, 2017).

- a. Pengaruh kelompok
 $H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k = 0$ (Kelompok tidak berpengaruh)
 $H_1 : \text{Paling sedikit ada satu } k \text{ di mana } \tau_k \neq 0$ (Kelompok berpengaruh)
- b. Pengaruh utama faktor A
 $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i = 0$ (Faktor A tidak berpengaruh)
 $H_1 : \text{Paling sedikit ada satu } i \text{ di mana } \alpha_i \neq 0$ (Faktor A berpengaruh)
- c. Pengaruh utama faktor B
 $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0$ (Faktor B tidak berpengaruh)
 $H_1 : \text{Paling sedikit ada satu } j \text{ di mana } \beta_j \neq 0$ (Faktor B berpengaruh)



- d. Pengaruh utama faktor C
 $H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_k = 0$ (Faktor C tidak berpengaruh)
 H_1 : Paling sedikit ada satu k di mana $\gamma_k \neq 0$ (Faktor C berpengaruh)
- e. Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor B
 $H_0 : (\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$ (Interaksi faktor A dan B tidak berpengaruh)
 H_1 : Paling sedikit ada sepasang (i, j) di mana $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (Interaksi faktor A dan B berpengaruh)
- f. Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor C
 $H_0 : (\alpha\gamma)_{11} = (\alpha\gamma)_{12} = \dots = (\alpha\gamma)_{ik} = 0$ (Interaksi faktor A dan C tidak berpengaruh)
 H_1 : Paling sedikit ada sepasang (i, k) di mana $(\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$ (Interaksi faktor A dan C berpengaruh)
- g. Pengaruh interaksi faktor B dengan faktor C
 $H_0 : (\beta\gamma)_{11} = (\beta\gamma)_{12} = \dots = (\beta\gamma)_{jk} = 0$ (Interaksi faktor B dan C tidak berpengaruh)
 H_1 : Paling sedikit ada sepasang (j, k) di mana $(\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ (Interaksi faktor B dan C berpengaruh)
- h. Pengaruh interaksi faktor A, B dengan faktor C
 $H_0 : (\alpha\beta\gamma)_{11} = (\alpha\beta\gamma)_{112} = \dots = (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$ (Interaksi faktor A, B dan C tidak berpengaruh)
 H_1 : Paling sedikit ada sepasang (i, j, k) di mana $(\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ (Interaksi faktor A, B dan C berpengaruh)

Dalam analisis ragam, untuk memperoleh statistik uji F berupa Kuadrat Tengah dari data hasil percobaan faktorial, dibutuhkan penghitungan Jumlah Kuadrat dengan rumus sebagai berikut:

1. Faktor Koreksi

$$FK = \frac{(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{abcr} \quad (2.3)$$

2. Jumlah Kuadrat Kelompok

$$JKK = \frac{\sum_{r=1}^n (\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c Y_{ijklr})^2}{abc} - FK \quad (2.4)$$



3. Jumlah Kuadrat Perlakuan

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{r} - FK \quad (2.5)$$

4. Jumlah Kuadrat Faktor A

$$JKP_A = \frac{\sum_{i=1}^a (\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{bcn} - FK \quad (2.6)$$

5. Jumlah Kuadrat Faktor B

$$JKP_B = \frac{\sum_{j=1}^b (\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{acn} - FK \quad (2.7)$$

6. Jumlah Kuadrat Faktor C

$$JKP_C = \frac{\sum_{k=1}^c (\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{abn} - FK \quad (2.8)$$

7. Jumlah Kuadrat Interaksi Faktor A dan B

$$JKP_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\sum_{k=1}^c \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{cn} - FK - JKP_A - JKP_B \quad (2.9)$$

8. Jumlah Kuadrat Interaksi Faktor A dan C

$$JKP_{AC} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c (\sum_{j=1}^b \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{bn} - FK - JKP_A - JKP_C \quad (2.10)$$

9. Jumlah Kuadrat Interaksi Faktor B dan C

$$JKP_{BC} = \frac{\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c (\sum_{i=1}^a \sum_{r=1}^n Y_{ijklr})^2}{an} - FK - JKP_B - JKP_C \quad (2.11)$$

10. Jumlah Kuadrat Interaksi Faktor A, B dan C

$$JKP_{ABC} = JKP - FK - JKP_A - JKP_B - JKP_C - JKP_{AB} - JKP_{AC} - JKP_{BC} \quad (2.12)$$

11. Jumlah Kuadrat Total

$$JKT = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{r=1}^n (Y_{ijklr})^2 - FK \quad (2.13)$$



12. Jumlah Kuadrat Galat

$$JKG = JKT - JKK - JKP \quad (2.14)$$

Hasil penghitungan menggunakan rumus-rumus tersebut selanjutnya disajikan dalam tabel analisis ragam seperti pada Tabel 2.3 (Soehono dkk, 2017).

Tabel 2.3 Analisis Ragam RAKF 3 Faktor

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	Statistik Uji-F
Kelompok	$r-1$	JKK	JKK/db_K	KTK/KTG
Perlakuan	$abc-1$	JKP	JKP/db_P	KTP/KTG
A	$a-1$	JKP_A	JKP_A/db_A	KTA/KTG
B	$b-1$	JKP_B	JKP_B/db_B	KTB/KTG
C	$c-1$	JKP_C	JKP_C/db_C	KTC/KTG
AB	$(a-1)$ $(b-1)$	JKP_{AB}	JKP_{AB}/db_{AB}	KTAB/KTG
AC	$(a-1)$ $(c-1)$	JKP_{AC}	JKP_{AC}/db_{AC}	KTAC/KTG
BC	$(b-1)$ $(c-1)$	JKP_{BC}	JKP_{BC}/db_{BC}	KTBC/KTG
ABC	$(a-1)$ $(b-1)$ $(c-1)$	JKP_{ABC}	JKP_{ABC}/db_{ABC}	KTABC/KTG
Galat	$abc(n-1)$	JKG	JKG/db_G	
Total	$abcn-1$	JKT		

Statistik uji-F yang telah diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai F tabel dengan α tertentu. Apabila statistik uji-F lebih besar dari nilai F tabel, maka H_0 ditolak. Akan tetapi, jika statistik uji-F kurang dari atau sama dengan nilai F tabel, maka H_0 diterima sehingga perlakuan tidak berpengaruh terhadap respon (Soehono dkk, 2017). Pada *output software*, hasil analisis ragam sudah



dilengkapi dengan *p-value* sehingga keputusan menolak dan menerima H_0 juga dapat diambil dengan membandingkan *p-value* dengan nilai alfa (α) yang telah ditentukan, biasanya sebesar 5% atau 10%. Apabila *p-value* kurang dari α maka H_0 ditolak dan dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan berpengaruh terhadap respon.

Menurut Nugroho (2008), kriteria kebaikan model dapat dilihat dari proporsi keragaman total yang dapat diterangkan oleh model yang disebut dengan koefisien determinasi. Koefisien determinasi (R^2) dihitung berdasarkan pembagian jumlah kuadrat perlakuan dengan jumlah kuadrat total atau dapat didefinisikan pada persamaan 2.15.

$$R^2 = \frac{JK[\text{Perlakuan}]}{JK[\text{Total}]} = 1 - \frac{JK[\text{Galat}]}{JK[\text{Total}]} \quad (2.15)$$

Nilai koefisien determinasi berkisar dari 0 sampai 1. Nilai R^2 mendekati 0 berarti peubah prediktor memiliki kemampuan yang terbatas dalam menjelaskan keragaman peubah respon. Nilai R^2 mendekati 1 berarti peubah prediktor dapat memberikan hampir seluruh informasi yang dibutuhkan dalam penelitian dengan kata lain peubah prediktor yang digunakan dapat menjelaskan hampir seluruh keragaman peubah respon (Ghozali, 2013). Semakin besar nilai R^2 maka model yang digunakan semakin bagus karena kesalahan tak terkendali (galat) cukup kecil (Nugroho, 2008).

2.4.4 Asumsi Analisis Ragam

Analisis ragam yang dilakukan tanpa memperhatikan asumsi-asumsi yang mendasari, maka dapat memberikan hasil yang mengecoh atau bertolak-belakang dengan keadaan sebenarnya (Hanafiah, 1997). Menurut Yitnosumarto (1990), asumsi atau andaian-andaian merupakan persyaratan yang harus dipenuhi agar penggunaan analisis ragam terhadap suatu gugus data dapat dipercaya. Beberapa asumsi tersebut, yaitu:

1. Normalitas

Menurut Mead, dkk. (1993), asumsi normalitas berarti bahwa harus ada alasan yang masuk akal untuk mengasumsikan sampel observasi diperoleh dari distribusi populasi observasi yang mendekati normal. Salah satu prosedur yang sering digunakan untuk uji normalitas yaitu Uji Kolmogorov Smirnov.



Hipotesis:

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Statistik Uji:

$$D = \max|F_0(x) - S_N(x)| \quad (2.16)$$

dengan $F_0(x)$ merupakan fungsi distribusi kumulatif normal baku dan $S(x)$ fungsi distribusi kumulatif empiris. Apabila $p\text{-value} \geq \alpha$, maka H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal (Fernandes dan Solimun, 2018).

Selain itu, normalitas juga dapat dilihat dari sebaran data pada Q-Q plot. Q-Q plot membandingkan fungsi sebaran sampel dengan fungsi sebaran teoritisnya. Apabila data menyebar mengikuti garis diagonal pada plot, maka dapat dikatakan data menyebar normal (Nugroho, 2008). Salah satu penyebab asumsi normalitas tidak terpenuhi yaitu terdapat *outlier*.

Pencilan (*outlier*) adalah satu atau beberapa pengamatan yang nilainya jauh dari pengamatan-pengamatan lain. Salah satu metode pendeteksian *outlier* yaitu *Grubb's Test* dimana nilai amatan yang menyimpang sangat jauh dari rata-rata yang disebut sebagai *outlier* (Grubbs, 1950). Menurut Hartono (2016), data yang mengandung *outlier* cenderung menjulur ke arah keberadaan *outlier* sehingga asumsi normalitas tidak terpenuhi. Pada beberapa penelitian, data *outlier* tidak boleh dibuang karena akan mengurangi informasi hasil analisis. Dalam kasus tertentu, transformasi terhadap data yang mengandung *outlier* kadang tidak dapat mengurangi nilai *leverage outlier* sehingga penduga menjadi bias (Hartono, 2016).

2. Homogenitas ragam

Uji homogenitas ragam bertujuan untuk mengetahui kombinasi perlakuan memiliki ragam yang sama atau tidak. Salah satu prosedur yang sering digunakan untuk uji kehomogenan ragam yaitu uji Bartlett dengan derajat bebas sebesar $(a - 1)$.

Hipotesis:

H_0 : $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma^2$ (Ragam perlakuan homogen)

H_1 : Paling sedikit ada satu $\sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$

Statistik Uji:

$$\chi^2 = 2.3026 \frac{q}{c} \quad (2.17)$$

dengan



$$q = (N - a) \log_{10} S_p^2 - \sum_{i=1}^a (n_i - 1) \log_{10} S_i^2 \quad (2.18)$$

$$S_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^a (n_i - 1) S_i^2}{N - a} \quad (2.19)$$

$$c = 1 + \frac{1}{3(a-1)} \left(\sum_{i=1}^a \frac{1}{(n_i-1)} - \frac{1}{N-a} \right)$$

Apabila $p\text{-value} \geq \alpha$, maka H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi homogenitas ragam terpenuhi (Montgomery, 2013).

Menurut Mead, dkk. (1993), asumsi ini diperlukan untuk 'mengumpulkan' estimasi ragam sehingga uji-t dan selang kepercayaan dapat dihitung. Selama proses analisis ragam, ragam dari semua perlakuan telah dikumpulkan tanpa peneliti tahu apakah realistis untuk mengasumsikan bahwa varians populasi adalah sama. Misalnya, pada penelitian pengaruh perlakuan insektisida A, B dan C, jelas dalam hal ini varians untuk insektisida C tidak dapat lebih dari sekitar 3 dan untuk insektisida B tidak lebih dari sekitar 40. Akan tetapi dugaan ragam gabungan, σ^2 , harus sekitar 200 untuk memberikan standar error sekitar 6.4 dan oleh karena itu ragam untuk perlakuan lain harus berkisar antara 200-500, yang agak berbeda jauh dari 3 atau bahkan 40 (Mead, dkk., 1993). Oleh karena itu, apabila ragam perlakuan tidak homogen, maka dimungkinkan setiap perlakuan berasal dari populasi yang berbeda (uji-t dengan ragam populasi tidak sama), sehingga penggunaan ragam gabungan (uji-t pasti) kurang tepat dan menghasilkan selang kepercayaan yang berbeda dari yang seharusnya.

3. Kebebasan unit percobaan

Asumsi ini bertujuan untuk menunjukkan bahwa setiap hasil pengukuran tidak tergantung dari hasil pengukuran yang lain, baik dalam kelompok maupun antar kelompok. (Mattjik dan Sumertajaya, 2013). Salah satu prosedur yang sering digunakan untuk mengetahui apakah data menyebar secara acak yaitu *Run Test* (Fernandes dan Solimun, 2018).

Hipotesis:

H_0 : Data menyebar secara acak

H_1 : Data tidak menyebar secara acak

r merupakan banyaknya *run*, μ merupakan rata-rata *run* dan σ merupakan simpangan baku *run*.

$$\mu = \frac{2n_1 n_2}{N} + 1 \quad (2.20)$$



$$\sigma = \sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2-N)}{N^2(N-1)}} \quad (2.21)$$

dengan n_1 merupakan banyaknya unit percobaan (Y_i) yang memiliki nilai lebih dari Y_{i-1} , n_2 merupakan banyaknya unit yang memiliki nilai kurang dari Y_{i-1} dan N merupakan banyaknya unit percobaan, maka diperoleh statistik uji:

$$Z = \frac{(r+h)-\mu}{\sigma} \quad (2.22)$$

Apabila $Z_{hitung} < Z_{\alpha}$ atau $p\text{-value} \geq \alpha$, maka H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa data menyebar secara acak (Fernandes dan Solimun, 2018).

Menurut Azwar (2001), apabila setiap subjek ditempatkan secara acak ke dalam kelompok perlakuan dan hanya dikenai pengukuran satu kali, maka pada umumnya asumsi kebebasan dapat terpenuhi. Asumsi ini merupakan asumsi yang paling penting, apabila terjadi pelanggaran asumsi maka akan berakibat fatal bagi validitas inferensi dari penggunaan statistik F dalam ANOVA.

4. Aditifitas pengaruh-pengaruh utama

Setiap rancangan percobaan memiliki model matematika yang disebut model aditif linier. Untuk RAK, model aditif liniernya menyatakan bahwa nilai suatu unit percobaan merupakan gabungan dari rata-rata umum, pengaruh kelompok, pengaruh perlakuan dan galat. Model ini menyatakan bahwa pengaruh suatu perlakuan sama pada semua kelompok begitu pula pengaruh kelompok sama pada semua perlakuan. Hal tersebut menunjukkan bahwa rancangan percobaan dirancang berdasarkan pola aditif, sehingga analisis ragam hanya valid jika diterapkan pada data yang bersifat aditif (Hanafiah, 1997).

Menurut Nugroho (2008), tidak adanya interaksi antara perlakuan dan kelompok setara dengan kalimat pengaruh kelompok dan pengaruh perlakuan bersifat aditif. Oleh karena itu, hipotesis dari asumsi aditifitas dapat ditulis sebagai berikut.

H_0 : Kelompok dan perlakuan bersifat aditif

H_1 : Kelompok dan perlakuan bersifat nonaditif

Statistik Uji:

$$F_{1,q} = \frac{JK[\text{Nonaditifitas}]}{JK[\text{Sisa Galat Percobaan}]/q} \quad (2.23)$$

Dengan $JK[\text{Sisa Galat Percobaan}] = JK[\text{Galat Percobaan}] - JK[\text{Nonaditifitas}]$



$$JK[\text{Nonaditifitas}] = \frac{rt \left[\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^t Y_{ij} (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})(\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..}) \right]}{JK[\text{Perlakuan}]JK[\text{Kelompok}]} \quad (2.24)$$

Derajat bebas nonaditifitas = 1 dan derajat bebas sisa galat percobaan $q = (r - 1)(t - 1) - 1$.

Apabila $p\text{-value} \geq \alpha$, maka H_0 diterima, sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi aditifitas model terpenuhi (Nugroho, 2008).

2.4.5 Transformasi

Transformasi data merupakan salah satu cara untuk mengatasi pelanggaran asumsi normalitas dan kehomogenan ragam. Dalam proses transformasi, data diubah menjadi skala baru sehingga diharapkan dapat memenuhi asumsi kehomogenan ragam. Tipe hubungan ragam dan rata-rata menjadi syarat jenis transformasi yang tepat digunakan. Salah satu transformasi yang sering digunakan yaitu transformasi logaritma. Transformasi logaritma cocok digunakan pada data yang memiliki simpangan baku yang proporsional terhadap rata-rata ($\sigma_y^2 \propto \mu^2$). Hal ini sering terjadi pada data yang memiliki jangkauan besar (Nugroho, 2008).

Transformasi data parametrik bukan satu-satunya solusi untuk mengatasi pelanggaran asumsi. Adakalanya data yang telah ditransformasi tetap tidak memenuhi asumsi. Oleh sebab itu, analisis nonparametrik dapat dipertimbangkan sebagai solusi sehingga asumsi-asumsi tersebut dapat diabaikan. Menurut Wobbrock dkk. (2011), beberapa prosedur analisis nonparametrik memiliki kekurangan masing-masing seperti pada Tabel 2.4.



Tabel 2.4 Kelemahan Beberapa Metode Analisis Nonparametrik

Metode	Kelemahan
Mann Whitney U, Kruskal-Wallis, Wilcoxon dan Friedman	Tidak dapat digunakan untuk menganalisis interaksi pada percobaan faktorial.
Chi-kuadrat, Regresi Logistik dan <i>Generalized Linear Models</i> (GZLM)	Dapat digunakan pada percobaan faktorial akan tetapi tidak dapat menangani data pengukuran berulang.
<i>Generalized Linear Mixed Models</i> (GLMM) dan <i>Generalized Estimating Equations</i> (GEE)	Dapat digunakan pada percobaan faktorial dan mengatasi data pengukuran berulang, akan tetapi tidak tersedia secara umum dan membutuhkan proses analisis yang sangat kompleks.

Transformasi peringkat (*Rank Transformation*) telah banyak ditemukan dan dikembangkan, salah satunya yaitu *Rank Transform* oleh Conover dan Iman (1983) , yaitu prosedur analisis faktorial nonparametrik di mana data yang telah diubah dalam bentuk peringkat dianalisis menggunakan uji-F parametrik seperti pada analisis ragam. Akan tetapi, Salter dan Fawcett (1993) menemukan kelemahan dari metode tersebut, yaitu efek interaksi yang tidak akurat karena menyebabkan tingkat kesalahan Tipe I meningkat. Untuk melengkapi kekurangan tersebut, satu tahun kemudian ditemukan metode ART yang dapat digunakan untuk menganalisis efek interaksi oleh Higgins dkk. (1994).

ART merupakan suatu metode transformasi yang menggabungkan penyetaraan respon dan transformasi peringkat sederhana sehingga cocok digunakan untuk ANOVA faktorial nonparametrik. Penyetaraan respon dilakukan untuk memastikan bahwa pengaruh faktor utama dan interaksi akurat (Wobbrock, dkk., 2011). Langkah-langkah analisis menggunakan prosedur ART sebagai berikut.

1. Menghitung sisa (residual) dengan rumus:

$$e_{ijkl} = Y_{ijkl} - \mu_{ijk}. \quad (2.25)$$

dengan μ_{ijk} . Merupakan rata-rata sel, yaitu rata-rata respon dari kombinasi perlakuan yang sama. Misalnya pada percobaan tiga faktor A, B dan C dengan 3 ulangan, maka rata-rata sel untuk kombinasi perlakuan $a_1 b_1 c_1$ yaitu



$\mu_{111} = \frac{y_{1111} + y_{1112} + y_{1113}}{3}$, sehingga rata-rata sel sama untuk ulangan pertama, kedua maupun ketiga.

2. Menghitung estimasi pengaruh utama dan interaksi Pada percobaan tiga faktor A, B dan C, dimisalkan sebagai berikut.

- A_i : rata-rata respon hanya pada faktor A level ke- i
- B_j : rata-rata respon hanya pada faktor B level ke- j
- C_k : rata-rata respon hanya pada faktor C level ke- k
- $A_i B_j$: rata-rata respon hanya pada faktor A level ke- i dan faktor B level ke- j
- $A_i C_k$: rata-rata respon hanya pada faktor A level ke- i dan faktor C level ke- k
- $B_j C_k$: rata-rata respon hanya pada faktor B level ke- j dan faktor C level ke- k
- $A_i B_j C_k$: rata-rata respon hanya pada faktor A level ke- i dan faktor B level ke- j

Maka, estimasi pengaruh faktor utama yaitu sebagai berikut.

$$Y_i = A_i - \mu \quad (2.26)$$

$$Y_j = B_j - \mu \quad (2.27)$$

$$Y_k = C_k - \mu \quad (2.28)$$

Estimasi pengaruh interaksi dua faktor yaitu sebagai berikut.

$$Y_{ij} = A_i B_j - A_i - B_j + \mu \quad (2.29)$$

$$Y_{ik} = A_i C_k - A_i - C_k + \mu \quad (2.30)$$

$$Y_{jk} = B_j C_k - B_j - C_k + \mu \quad (2.31)$$

Estimasi pengaruh interaksi tiga faktor yaitu sebagai berikut.

$$Y_{ijk} = A_i B_j C_k - A_i B_j - A_i C_k - B_j C_k + A_i + B_j + C_k - \mu \quad (2.32)$$

3. Menghitung nilai respon yang disejajarkan ($Y_{aligned}$) dengan rumus:

$$Y_{aligned} = e_{ijkl} + \text{estimasi efek} \quad (2.33)$$

di mana e_{ijkl} merupakan hasil dari langkah 1 dan estimasi efek hasil dari langkah 2. Hasil dari langkah 2 terdapat estimasi untuk pengaruh utama setiap faktor utama dan interaksi. Oleh sebab itu, nilai respon yang telah disejajarkan berbeda untuk setiap faktor utama dan interaksi, sehingga pada percobaan 3 faktor akan menghasilkan 7 kolom $Y_{aligned}$.



4. Menentukan peringkat (Y_{ART}) berdasarkan data $Y_{aligned}$. Apabila terdapat nilai $Y_{aligned}$ yang sama, maka peringkat disebut peringkat rata-rata, dihitung dari jumlah peringkat (dengan nilai $Y_{aligned}$ sama) dibagi dengan banyaknya $Y_{aligned}$ yang sama.
5. Menganalisis ragam dengan ANOVA Faktorial Lengkap seperti pada subbab 2.4.3 dengan respon Y_{ART} . Karena setiap faktor dan interaksi memiliki Y_{ART} yang berbeda, maka ANOVA dilakukan terpisah untuk setiap faktor dan interaksi. Untuk percobaan faktorial 3 faktor, dengan model input yang sama digunakan 7 respon berbeda. Misalnya untuk mengetahui pengaruh faktor A, cukup melihat pengaruh A pada table ANOVA dengan respon Y_{ART} khusus A. Hal tersebut juga berlaku untuk faktor yang lain. Akibatnya, Kuadrat Tengah Galat untuk ANOVA Faktorial Lengkap juga berbeda untuk setiap faktor.

Ketika asumsi normalitas terlanggar dan ukuran sampel besar, ART menunjukkan performa yang lebih baik daripada ANOVA klasik (Oliver-Rodriguez dan Wang, 2015). Kelebihan dari prosedur ART yaitu pada kesederhanaan dan kemudahan serta telah tersedia program *ARTool* dan *ARTweb* untuk proses penyetaraan dan pemeringkatan respon yang dapat digunakan untuk n faktor. Selain itu, telah terdapat paket program *ARTool* pada R dengan output hasil ringkasan ANOVA setiap faktor dan interaksi sehingga lebih cepat dan singkat (Wobbrock, dkk., 2011).

2.5 RAKF Tiga Faktor Ulangan Tunggal

Percobaan faktorial memiliki kelemahan yaitu semakin banyak faktor yang digunakan, semakin besar kombinasi perlakuan. Begitu pula dengan semakin banyak level pada setiap faktor. Untuk menduga keragaman galat percobaan, dibutuhkan paling sedikit dua ulangan (Nugroho, 2008). Apabila percobaan tersebut memiliki kombinasi perlakuan sangat besar, kemungkinan sulit untuk dilakukan pengulangan karena membutuhkan sumber daya (waktu, biaya dan tenaga) yang lebih besar pula. Banyaknya kombinasi perlakuan yang meningkat seiring dengan bertambahnya faktor ataupun level mengakibatkan pengulangan sulit dilakukan dalam



percobaan faktorial. Ulangan yang homogen sebagai tempat susunan blok yang diacak juga sulit untuk didapatkan (Cochran dan Cox, 1957).

Percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan sangat besar membutuhkan banyak sumber daya, waktu yang lama dan biaya yang besar. Oleh karena itu, percobaan dengan kombinasi perlakuan sangat besar sulit untuk dilakukan pengulangan. Tanpa adanya ulangan, maka tidak terdapat derajat bebas pada galat dan Kuadrat Tengah Galat tidak dapat dihitung, sehingga sulit untuk mengetahui pengaruh perlakuan serta interpretasinya (Box dan Meyer, 1986). Untuk mengatasi hal tersebut, pengulangan (replikasi) dari seluruh kombinasi perlakuan dapat diabaikan sehingga dapat dilakukan percobaan tanpa ulangan dengan mengorbankan interaksi lebih dari dua faktor sebagai galat (Federer, 1967).

Menurut Yitnosumarto (1990), percobaan faktorial yang memiliki kombinasi perlakuan yang besar, sehingga secara umum penggunaan ulangan tunggal sudah cukup memadai dengan memperlakukan interaksi tingkat tinggi (tiga faktor atau lebih) sebagai galat percobaan untuk menguji pengaruh utama dan interaksi yang mudah diinterpretasikan. Hal ini disebabkan karena berdasarkan pengalaman, interaksi tingkat tinggi (interaksi lebih dari dua faktor) seringkali kecil dan termasuk dalam golongan variasi acak. Jika demikian, maka dapat diasumsikan bahwa variasi interaksi ABC disebabkan oleh galat acak daripada pengaruh yang signifikan dan sistematis. Di bawah asumsi ini, kuadrat tengah interaksi ABC (KT_{ABC}) dapat diambil sebagai perkiraan KTG, sehingga signifikansi pengaruh lain dapat diuji (Li, 1964). Hal ini termasuk dalam prinsip *sparsity of effects*. Prinsip *sparsity of effects* menyatakan bahwa sebagian besar sistem didominasi oleh faktor tunggal dan interaksi dua faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon sehingga sebagian besar interaksi tingkat tinggi dapat diabaikan (Montgomery, 2013).

Penelitian Li, Sudarsanam dan Frey (2006) dalam Montgomery (2013) mengkaji 113 variabel respon yang diperoleh dari 43 percobaan yang telah diterbitkan di berbagai bidang ilmu. Semua percobaan tersebut adalah percobaan faktorial penuh dan sebagian besar percobaan memiliki tiga atau empat faktor. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sekitar 40% dari faktor



tunggal berpengaruh signifikan, sementara hanya sekitar 11% dari interaksi dua faktor yang signifikan. Interaksi tiga faktor yang berpengaruh nyata juga sangat jarang terjadi, yaitu hanya sekitar 5% (Montgomery, 2013).

Model aditif linier percobaan faktorial tiga faktor dengan satu ulangan didefinisikan pada persamaan 2.34.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.34)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, a; j = 1, 2, \dots, b; k = 1, 2, \dots, c$; dan $\varepsilon_{ijk} = (\alpha\beta\gamma)_{ijk}$

Keterangan:

Y_{ijk} : Nilai amatan pada faktor A level ke- i , faktor B level ke- j , faktor C level ke- k

μ : Nilai tengah umum

α_i : Pengaruh utama faktor A pada level ke- i

β_j : Pengaruh utama faktor B pada level ke- j

γ_k : Pengaruh utama faktor C pada level ke- k

$\alpha\beta_{ij}$: Pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke- i dan faktor B pada level ke- j

$\alpha\gamma_{ik}$: Pengaruh interaksi antara faktor A pada level ke- i dan faktor C pada level ke- k

$\beta\gamma_{jk}$: Pengaruh interaksi antara faktor B pada level ke- j dan faktor C pada level ke- k

ε_{ijk} : Galat percobaan pada faktor A level ke- i , faktor B level ke- j , faktor C level ke- k ($\alpha\beta\gamma_{ijk}$)

Berikut merupakan rincian derajat bebas untuk RAKF 3^3 dengan satu ulangan pada Tabel 2.5 (Federer, 1967).

Tabel 2.5 Rincian Derajat Bebas RAKF 3^3 Satu Ulangan

Sumber Keragaman	Derajat Bebas
A	2
B	2
C	2
AB	4
AC	4
BC	4
Galat (interaksi 3 faktor ABC)	8
Total (perlakuan)	26



Pada semua analisis dalam rancangan percobaan, penduga ragam dapat diestimasi karena terdapat asumsi kehomogenan ragam untuk setiap perlakuan. Jika asumsi ini benar, maka tidak masalah ulangan mana yang memberikan dugaan ragam (Mead, dkk., 1993). Untuk mengetahui apakah setiap ulangan memberikan dugaan ragam yang sama, maka digunakan uji F seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.4.3.

Pada saat menganalisis data dari rancangan faktorial ulangan tunggal, interaksi tingkat tinggi yang tidak berpengaruh nyata dapat diabaikan dan dikorbkan sebagai galat. Menurut Daniel (1959) dalam Montgomery (2013) faktor yang berpengaruh signifikan memiliki rata-rata bukan nol dan tidak terletak di sepanjang garis lurus pada plot probabilitas sedangkan faktor yang diabaikan berdistribusi normal, dengan rata-rata nol dan ragam σ^2 serta akan cenderung terletak di sepanjang garis lurus. Oleh karena itu, pengaruh faktor yang tidak signifikan tampaknya dapat diabaikan dan digabungkan sebagai estimasi galat (Montgomery, 2013).

2.6 Metode Alternatif

Pada semua analisis dalam rancangan percobaan, penduga ragam dapat diestimasi karena terdapat asumsi kehomogenan ragam untuk setiap perlakuan. Jika asumsi ini benar, maka tidak masalah ulangan mana yang memberikan dugaan ragam. Akan tetapi, jika asumsi tersebut tidak benar maka harus mempertimbangkan metode lain (Mead, dkk., 1993). Beberapa metode yang digunakan untuk mengatasi kombinasi perlakuan yang terlalu besar dalam percobaan faktorial dijelaskan pada subbab berikut.

2.6.1 Fraksional Faktorial dengan Blok Tak Lengkap dan Pembauran

Fraksional faktorial pertama kali diusulkan oleh Finney pada tahun 1945 dalam Cochran dan Cox (1957) berupa penguraian metode konstruksi untuk rancangan faktorial 2^n dan 3^n serta dijabarkan penerapan setengah ulangan (*half-replicate*) dari hasil penelitian lapang bidang pertanian yang telah dilakukan pada tahun 1942. Sebelumnya, algoritma Yates juga telah diperkenalkan oleh Yates pada tahun 1937 untuk mengestimasi efek dan jumlah kuadrat



husus untuk rancangan faktorial yang memiliki 2 level (faktorial 2^n). Algoritma inilah yang sering digunakan sebagai dasar dalam fraksional faktorial. Pada tahun 1946 Plackett dan Burman menemukan desain untuk ukuran minimum yang mungkin dari percobaan faktorial p^n dengan $p = 2, 3, 4, 5$ dan 7 dan menunjukkan kegunaannya dalam penelitian bidang fisika dan industri (Cochran dan Cox, 1957).

Fraksional faktorial membantu untuk mengurangi banyaknya perlakuan karena pada rancangan ini hanya sebagian dari kombinasi perlakuan yang akan dicobakan, akan tetapi tidak menghilangkan informasi penting yang diperlukan (Box dan Meyer, 1986). Rancangan fraksional faktorial biasa digunakan dalam proses *screening experiment* yaitu percobaan yang melibatkan banyak faktor untuk mencari faktor-faktor apa saja yang memiliki pengaruh besar terhadap respon (Montgomery, 2013).

Pada rancangan fraksional faktorial, faktor dan level disusun menjadi bentuk kombinasi perlakuan, kemudian dibagi ke dalam beberapa blok, sehingga menjadi lebih sederhana. Perbedaan struktur rancangan ditentukan oleh struktur *generator*, *defining relation*, *alias*, dan resolusi yang digunakan. Struktur *generator* dan *defining relation* menentukan struktur *alias* yang berkaitan dengan faktor yang dianalisis. *Alias* adalah hubungan pendugaan pengaruh yang saling terpaut (*confounded*). Apabila banyaknya kombinasi perlakuan tidak dapat dibagi habis oleh banyaknya blok, maka digunakan blok tak lengkap (Cochran dan Cox, 1957).

Rancangan fraksional faktorial tiga level dengan fraksi (p) dinotasikan 3^{n-p} merupakan rancangan yang hanya melibatkan 3^{n-p} kombinasi perlakuan dari seluruh 3^n kombinasi perlakuan lengkap. Pada percobaan ini dikenal istilah fraksi percobaan, yaitu jumlah proporsi total kombinasi perlakuan yang akan dicobakan. Fraksi percobaan yang sering digunakan dalam percobaan faktorial tiga level yaitu fraksi sepertiga dan fraksi sepersembilan. Fraksi sepertiga hanya melibatkan sepertiga bagian dari kombinasi perlakuan lengkap dengan bentuk rancangan dinotasikan 3^{n-1} . Misalkan percobaan yang melibatkan 4 faktor dan setiap faktornya memiliki 3 level, maka percobaan ini dapat dilakukan dengan 3^{4-1} kombinasi perlakuan, yaitu sebanyak 27 kombinasi perlakuan dari 81 kombinasi perlakuan lengkap. Fraksi sepersembilan hanya melibatkan sepersembilan



bagian dari kombinasi perlakuan. Misalkan pada kasus percobaan yang sama, maka percobaan ini dapat dilakukan dengan 3^{4-2} kombinasi perlakuan, yaitu sebanyak 9 kombinasi perlakuan dari 81 kombinasi perlakuan lengkap (Box dan Hunter, 1961).

Solusi untuk rancangan faktorial asimetrik ditemukan oleh Adepoju dan Ipinoyomi (2016) dengan mengidentifikasi struktur *alias* pada rancangan faktorial asimetrik $2 \times 3 \times 3 \times 3$ dan $4 \times 3 \times 2$ diperoleh hasil struktur mirip dengan Resolusi IV dan Resolusi III. Salah satu penelitian yang menggunakan rancangan fraksional faktorial adalah penelitian yang dilakukan oleh Ariski, dkk. (2014). Penelitian tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi faktor yang signifikan terhadap panjang kecambah tanaman kacang hijau menggunakan metode Bissel dengan fraksi sepertiga, sepersembilan dan seperduapuluh tujuh, diperoleh hasil faktor yang signifikan yaitu faktor cahaya dari 6 faktor yang digunakan.

2.6.2 Rancangan Percobaan Berseri

Dalam suatu percobaan faktorial dengan sumber daya terbatas, apabila interaksi tingkat tinggi antar faktor menjadi hal penting untuk diteliti, maka peneliti harus memutuskan untuk merevisi tujuan penelitian. Misalnya, pada percobaan tiga faktor hanya mempelajari pengaruh dari dua faktor pada level faktor ketiga yang ditentukan. Dalam hal ini faktor yang berada pada tingkat tetap (salah satu level faktor yang digunakan sebagai kontrol) dipilih berdasarkan hasil percobaan sebelumnya. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan percobaan yang lebih sederhana, praktis dan sesuai kondisi (Mead, dkk., 1993).

Dalam kegiatan penelitian, sangat umum untuk mengulangi percobaan yang sama di sejumlah tempat maupun kesempatan berbeda. Mungkin ada beberapa alasan untuk hal ini, salah satunya yaitu ketidakmungkinan untuk dilakukan ulangan dalam satu kali percobaan karena suatu keterbatasan. Tujuan penelitian yaitu untuk menghasilkan rekomendasi yang dapat diterapkan pada populasi yang luas baik dalam ruang, waktu atau keduanya. Oleh karena itu, dalam percobaan bidang pertanian banyak proyek yang dilakukan dengan harapan hasilnya dapat diterapkan dalam praktek pertanian yang sesungguhnya. Kesimpulan yang diambil dari penelitian semacam itu harus valid setidaknya untuk beberapa musim di masa

depan dan di area lahan pertanian yang cukup luas agar dapat dirasakan kemanfaatannya. Sebaik apapun suatu percobaan, biasanya hanya menyediakan informasi tentang satu tempat dan satu musim. Akibatnya percobaan dilakukan di beberapa tempat berbeda di kawasan yang membutuhkan rekomendasi, dan diulangi untuk sejumlah musim untuk dapat menjadi sebuah rekomendasi. Percobaan model ini yang disebut percobaan berseri, baik itu dalam waktu yang berbeda, tempat yang berbeda maupun kombinasi keduanya (Cohran dan Cox, 1957).

Percobaan berseri pernah dilakukan oleh Bliss pada tahun 1944 dalam Cohran dan Cox (1957) percobaan kolaboratif pada uji biologis di beberapa laboratorium. Tujuannya adalah untuk memperoleh informasi tentang keakuratan sehingga potensi obat dapat diperkirakan dan untuk menemukan apakah laboratorium yang berbeda mencapai kesimpulan yang sama tentang potensi relatif obat yang berbeda. Contoh penelitian menggunakan percobaan berseri dijelaskan dalam Gomez (1984), sebelumnya telah dilakukan percobaan pendahuluan untuk mengetahui apakah tiap varietas memiliki pengaruh berbeda di setiap lokasi. Percobaan menggunakan perlakuan 7 varietas terhadap hasil panen padi di 9 lokasi menunjukkan hasil bahwa selain varietas keempat, semua varietas berpengaruh nyata di semua lokasi.

Percobaan dilakukan dengan mengombinasikan percobaan petak terbagi (*split-plot*) berseri di m lokasi dengan percobaan faktorial yang melibatkan dua varietas padi dan enam tingkat nitrogen yang diuji di tiga lokasi, setiap lokasi memiliki tiga ulangan. Faktor A yaitu nitrogen ($N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$) sebagai petak utama dan Faktor B yaitu varietas (V_1 dan V_2) anak petak. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa varietas memberikan pengaruh nyata di semua lokasi. Oleh karena itu, percobaan berseri dilakukan di tiga lokasi berbeda dapat diterapkan.

Berikut merupakan gambaran analisis ragam dengan kombinasi lokasi, berdasarkan rancangan petak terbagi pada Tabel 2.6 (Gomez, 1984).



Tabel 2.6 Analisis Ragam Percobaan Berseri

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F hitung
Lokasi (<i>L</i>)	$m - 1$	KTL	KTL / KTU
Ulangan (setiap lokasi)	$m(r - 1)$	KTU	
Faktor Petak Utama (<i>A</i>)	$a - 1$	KTA	KTA / KTE _a
<i>L x A</i>	$(m - 1)(a - 1)$	KTLA	KTLA / KTE _a
Galat (<i>a</i>)	$m(r - 1)$ $(a - 1)$	KTE _a	
Faktor Anak Petak (<i>B</i>)	$b - 1$	KTB	KTB / KTE _b
<i>L x B</i>	$(m - 1)(b - 1)$	KTLB	KTLB / KTE _b
<i>A x B</i>	$(a - 1)(b - 1)$	KTAB	KTAB / KTE _b
<i>L x A x B</i>	$(m - 1)(a - 1)$ $(b - 1)$	KTLAB	KTLAB / KTE _b
Galat (<i>b</i>)	$ma(r - 1)$ $(b - 1)$	KTE _b	
Total	$mrb - 1$		

Hasil dari percobaan tersebut yaitu diperoleh kesimpulan bahwa varietas kedua memberikan pengaruh lebih baik daripada varietas pertama di semua lokasi dan tingkat nitrogen yang memaksimalkan hasil panen yaitu 118 kg/ha pada lokasi pertama, 116 kg/ha pada lokasi kedua dan 94 kg/ha pada lokasi ketiga (Gomez, 1984). Percobaan tersebut membuktikan bahwa dengan keterbatasan sumber daya yaitu tempat penelitian, percobaan tetap dapat dilakukan dengan penggunaan lokasi sebagai pengganti ulangan.





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data sekunder yang diperoleh dari jurnal dan dipilih berdasarkan kriteria berikut:

- a. Data hasil percobaan yang menggunakan 3 faktor.
- b. Banyaknya level untuk setiap faktor paling sedikit 3 level.
- c. Percobaan tersebut diulang minimal sebanyak 2 kali.
- d. Memiliki pengaruh faktor yang signifikan.

Data penelitian disajikan pada lampiran 1 dan lampiran 2. Uraian singkat mengenai faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian disajikan pada subbab 3.1.1 dan 3.1.2.

3.1.1 Data 1

Data 1 merupakan data sekunder hasil penelitian Odetunmibi, dkk. (2017) “*Drying kinetic of industrial cassava flour: Experimental data in view*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama pengurangan kadar air awal (*dewatering*), suhu dan kecepatan udara terhadap waktu pengeringan tepung tapioka (detik). Percobaan ini melibatkan 3 faktor dan masing-masing faktor memiliki 5 level dengan 3 ulangan sehingga total unit percobaan sebanyak 375 unit.

A : *dewatering* (60, 90, 120, 150 dan 180 menit)

B : suhu (40°C, 55°C, 70°C, 85°C dan 100°C)

C : kecepatan udara (1, 1.5, 2, 2.5 dan 3 m/s)

Proses *dewatering* yaitu proses pengepresan sawut basah (singkong yang telah dirajang) untuk mengurangi kadar air dan HCN. Sawut yang telah dipres membutuhkan waktu pengeringan selama 10-16 jam, sedangkan sawut yang tidak dipres membutuhkan waktu pengeringan (penjemuran) selama 30-40 jam (Widowati, 2011). Hal tersebut menunjukkan bahwa pengepresan sangat berpengaruh terhadap lama pengeringan. Berdasarkan hasil penelitian oleh Siswanto dan Wanito (2017), tepung kacang tanah hasil pengepresan memiliki mutu yang lebih baik daripada tanpa pengepresan. Oleh karena itu, proses pengepresan berguna untuk mempercepat waktu pengeringan serta meningkatkan mutu dalam industri produksi tepung.



3.1.2 Data 2

Data 2 merupakan data sekunder hasil penelitian Oguntunde, dkk. (2018) “*Data analysis on physical and mechanical properties of cassava pellets*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar air awal (*moisture content*), kecepatan mesin dan diameter *die* terhadap daya tahan pellet singkong (%). Percobaan ini melibatkan 3 faktor dan masing-masing faktor memiliki 4 level dengan 3 ulangan sehingga total unit percobaan sebanyak 192 unit.

A : kadar air (48.5%, 50.5%, 52.5% dan 54.5% wb)

B : kecepatan (1.5, 2.5, 3.5 dan 4.5 mm/menit)

C : diameter (6, 8, 10 dan 12 mm)

Kadar air awal tepung singkong yaitu 10%wb. Untuk menentukan kadar air adonan pellet sesuai yang diinginkan yaitu dengan rumus sebagai berikut.

$$W_w = \left[\frac{100 - M_p}{100 - M_g} - 1 \right] \tilde{n} W_g$$

di mana

W_w : Massa air yang ditambahkan (liter)

M_p : kadar air sekarang (%)

M_g : kadar air yang diinginkan (%)

\tilde{n} : 1000

W_g : massa sampel (gr)

Mesin pencetak pellet yang digunakan pada percobaan ini memiliki kisaran kecepatan pemotongan sekitar 0.001 sampai 500 mm/menit. Kecepatan tersebut dapat diatur sesuai yang diinginkan. *Die* merupakan bagian dari alat pencetak pellet yang berupa saringan melingkar dengan beberapa lubang. *Die* dapat diganti dengan yang lain sesuai diameter yang diinginkan (Oguntunde, dkk., 2018).

3.2 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

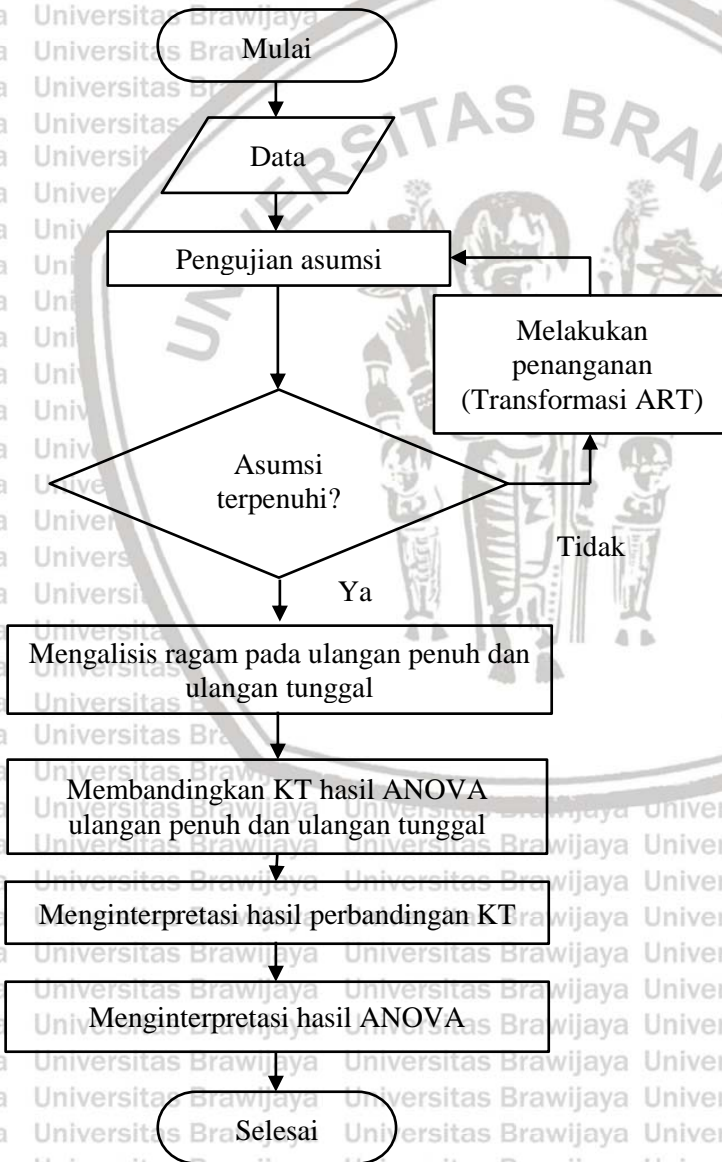
1. Menginput data.
2. Menguji asumsi dengan statistik uji pada persamaan 2.16, 2.17, 2.22 dan 2.23. Apabila terdapat asumsi yang terlanggar, maka dilakukan penanganan yang sesuai, salah satunya dengan transformasi ART seperti pada subbab 2.4.5.



3. Melakukan analisis ragam Rancangan Acak Kelompok Faktorial Tiga Faktor ulangan penuh dengan perhitungan jumlah kuadrat menggunakan rumus pada persamaan 2.3 sampai 2.14 dan disajikan dalam tabel analisis ragam seperti pada Tabel 2.3.
4. Melakukan analisis ragam pada ulangan tunggal, dengan mengorbankan interaksi tiga faktor sebagai galat. Untuk percobaan faktorial 3^3 derajat bebas pada analisis ragam sesuai dengan Tabel 2.5 dan untuk bentuk lainnya menyesuaikan banyaknya level.
5. Membandingkan KT dan *p-value* hasil ANOVA pada ulangan penuh dan ulangan tunggal dilihat dari signifikansi tiap pengaruh faktor utama dan interaksi.
6. Menginterpretasi hasil perbandingan sesuai dengan kasus.
7. Menginterpretasi hasil ANOVA dan didukung dengan penelitian yang sejenis.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Urutan langkah-langkah penelitian ini diringkas dan disajikan dalam diagram alir seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Asumsi

Pemeriksaan asumsi-asumsi yang mendasari analisis ragam perlu dilakukan untuk mencegah hasil analisis ragam bertolak-belakang dengan keadaan sebenarnya (Hanafiah, 1997). Oleh karena itu, penting untuk memeriksa apakah data sudah memenuhi seluruh asumsi atau masih memerlukan penanganan.

4.1.1. Uji Asumsi Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka

Hasil uji asumsi data waktu pengeringan tepung tapioka disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Penuh

Asumsi	<i>p-value</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	< 0.001	Tidak
Homogenitas Ragam	< 0.001	Tidak
Kebebasan	< 0.001	Tidak
Aditifitas	< 0.001	Tidak

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa data waktu pengeringan tepung tapioka tidak menyebar secara bebas/acak, tidak berdistribusi normal, tidak memiliki ragam yang sama (heterogen) dan perlakuan tidak bersifat aditif. Salah satu penyebab ketiga asumsi tersebut tidak terpenuhi yaitu adanya pencilan (*outlier*). Menurut Hartono (2016), data yang mengandung *outlier* cenderung menjulur ke arah keberadaan *outlier* sehingga asumsi normalitas tidak terpenuhi. Oleh sebab itu, dilakukan pendeteksian *outlier* menggunakan *Grubb's Test* agar dapat dilakukan penanganan yang sesuai.

Hasil uji *outlier* pada Lampiran 8 menunjukkan bahwa waktu pengeringan tepung tapioka 33000 detik hasil dari perlakuan lama proses dewatering 180 menit, suhu 40°C dan kecepatan udara 1 m/s terdeteksi sebagai *outlier* sehingga diperlukan penanganan lebih lanjut. Akan tetapi, enam unit percobaan, yaitu respon waktu pengeringan tepung tapioka hasil perlakuan lama proses dewatering 180 menit, suhu 40°C, kecepatan udara 1 dan 1.5 m/s memiliki nilai



yang hampir sama, sehingga dilakukan penanganan menggunakan pendugaan data hilang lebih dari satu.

Data hasil pendugaan tersebut ditunjukkan pada lampiran 3 kemudian diuji asumsi kembali untuk mengetahui apakah asumsi telah terpenuhi. Hasil uji asumsi data waktu pengeringan tepung tapioka setelah dilakukan penanganan *outlier* disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Penuh (Setelah Penanganan *Outlier*)

Asumsi	<i>p-value</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	< 0.001	Tidak
Homogenitas Ragam	0.02	Tidak
Kebebasan	< 0.001	Tidak
Aditifitas	< 0.001	Tidak

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa data waktu pengeringan tetap tidak memenuhi semua asumsi, sehingga diperlukan transformasi. Berdasarkan hasil statistika deskriptif pada Lampiran 8, data waktu pengeringan tepung tapioka memiliki nilai rata-rata hampir setara dengan standar deviasi, serta histogram data 1 menunjukkan bahwa sebaran data waktu pengeringan tepung tapioka menjulur ke kanan, sehingga transformasi yang tepat digunakan yaitu transformasi log. Transformasi logaritma cocok digunakan pada data yang memiliki simpangan baku yang proporsional terhadap rata-ran ($\sigma_y^2 \propto \mu^2$). Hal ini sering terjadi pada data yang memiliki jangkauan besar (Nugroho, 2008). Menurut Cochran dan Cox (1957), beberapa perlakuan terkadang juga memberikan pengaruh yang tidak menentu terhadap respon sehingga mengakibatkan ragam galat tidak konstan.

Tabel 4.3 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Penuh (Setelah Transformasi Log)

Asumsi	<i>p-value</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	< 0.001	Tidak
Homogenitas Ragam	< 0.001	Tidak
Kebebasan	< 0.001	Tidak
Aditifitas	< 0.001	Tidak

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa data waktu pengeringan tepung tapioka tetap tidak memenuhi semua asumsi, sehingga diperlukan penanganan lain yang sesuai. Transformasi data yang dilakukan tetap tidak dapat menangani pelanggaran asumsi. Alternatif solusi permasalahan ini yaitu digunakan transformasi ART (*Aligned Rank Transform*) pada subbab 2.4.5. Hasil analisis ragam data 1 yang telah ditransformasi ART disajikan pada lampiran 9.

Hasil uji asumsi data waktu pengeringan tepung tapioka ulangan tunggal disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Tunggal

Asumsi	<i>p-value</i> <i>r1</i>	<i>p-value</i> <i>r2</i>	<i>p-value</i> <i>r3</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	< 0.001	< 0.001	< 0.001	Tidak
Kebebasan	< 0.001	< 0.001	< 0.001	Tidak
Aditifitas	< 0.001	< 0.001	< 0.001	Tidak

Berdasarkan Tabel 4.4 dan hasil uji *Levene* dan *Barttlet* pada Lampiran 8, dapat diketahui bahwa data waktu pengeringan tepung tapioka ulangan tunggal tidak memenuhi semua asumsi, sehingga diperlukan penanganan yaitu transformasi. Berdasarkan histogram data 1 pada Lampiran 8, dapat diketahui bahwa sebaran data waktu pengeringan tepung tapioka menjulur ke kanan, sehingga transformasi yang tepat digunakan yaitu transformasi log.

Tabel 4.5 Uji Asumsi Data 1 Ulangan Tunggal (Setelah Transformasi Log)

Asumsi	<i>p-value</i> <i>r1</i>	<i>p-value</i> <i>r2</i>	<i>p-value</i> <i>r3</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	> 0.01	> 0.01	> 0.01	Ya
Kebebasan	0.668	0.668	0.668	Ya
Aditifitas	< 0.001	< 0.001	< 0.001	Tidak

Berdasarkan Tabel 4.5 Berdasarkan Tabel 4.8 dan hasil uji *Levene* dan *Barttlet* pada Lampiran 8, data waktu pengeringan tepung tapioka ulangan tunggal memenuhi dua dari empat asumsi, sehingga dapat disimpulkan bahwa data waktu pengeringan tepung tapioka mengikuti sebaran normal dan menyebar secara bebas/acak serta tidak membentuk suatu pola tertentu.

4.1.2. Uji Asumsi Data Daya Tahan Pellet Singkong

Hasil uji asumsi data daya tahan pellet singkong disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Uji Asumsi Data 2 Ulangan Penuh

Asumsi	<i>p-value</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	< 0.01	Tidak
Homogenitas Ragam	0.006	Tidak
Kebebasan	< 0.001	Tidak
Aditifitas	0.884	Ya

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa data daya tahan pellet singkong tidak menyebar secara bebas/acak, tidak berdistribusi normal dan tidak memiliki ragam yang sama (heterogen). Salah satu penyebab data tidak menyebar normal yaitu adanya penciliran (*outlier*). Oleh sebab itu, dilakukan pendeteksian *outlier* menggunakan metode *Grubb's Test* agar dapat dilakukan penanganan yang sesuai. Hasil uji *outlier* menunjukkan bahwa tidak terdapat *outlier* pada data 2 sehingga diperlukan penanganan lain, yaitu transformasi. Transformasi logaritma cocok digunakan pada data yang memiliki simpangan baku proporsional terhadap rataan ($\sigma_y^2 \propto \mu^2$) (Nugroho, 2008). Berdasarkan hasil analisis deskriptif, nilai rata-rata daya tahan pellet singkong proporsional terhadap simpangan baku, sehingga digunakan transformasi log. Hasil pengecekan asumsi data setelah ditransformasi log disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Uji Asumsi Data 2 Ulangan Penuh (Setelah Transformasi Log)

Asumsi	<i>p-value</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	< 0.01	Tidak
Homogenitas Ragam	< 0.001	Tidak
Kebebasan	< 0.001	Tidak
Aditifitas	< 0.001	Tidak

Berdasarkan hasil uji asumsi pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa transformasi data yang dilakukan tetap tidak dapat menangani



pelanggaran asumsi. Alternatif solusi permasalahan ini yaitu digunakan transformasi data nonparametrik ART (*Aligned Rank Transform*) seperti pada data 1. Hasil uji asumsi data daya tahan pellet singkong ulangan tunggal disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Uji Asumsi Data 2 Ulangan Tunggal

Asumsi	<i>p-value</i> <i>r1</i>	<i>p-value</i> <i>r2</i>	<i>p-value</i> <i>r3</i>	Asumsi terpenuhi
Normalitas	> 0.15	> 0.15	0.089	Ya
Kebebasan	0.45	0.208	0.454	Ya
Aditifitas	0.978	0.5	0.802	Ya

Berdasarkan Tabel 4.8 dan hasil uji *Levene* dan *Bartlett* pada Lampiran 8, data daya tahan pellet singkong ulangan tunggal memenuhi semua asumsi, sehingga dapat disimpulkan bahwa data daya tahan pellet singkong mengikuti sebaran normal, menyebar secara bebas/acak serta tidak membentuk suatu pola tertentu, memiliki ragam homogen dan perlakuan bersifat aditif.

4.2. Analisis Ragam Data Ulangan Penuh dan Ulangan Tunggal

4.2.1. Analisis Ragam Data Waktu Pengeringan Tepung Tapioka

Faktor-faktor yang dilibatkan dalam penelitian waktu pengeringan tepung tapioka yaitu lama proses *dewatering* (A), suhu (B) dan kecepatan udara (C). Analisis ragam pada 7 respon waktu pengeringan tepung tapioka hasil ART (Y_{ART}) untuk setiap faktor dan interaksi menghasilkan 7 tabel ANOVA yang berbeda (disajikan pada lampiran 9), sehingga KTG yang digunakan juga berbeda-beda. Oleh karena itu, keterangan mengenai KTG masing-masing faktor dimasukkan dalam ringkasan pada tabel 4.9 sebagai informasi tambahan.



Tabel 4.9 Analisis Ragam Data 1 (Transformasi ART)

SK	Db	KT	KTG	F-Hitung	F-Tabel	P-Value
Dewatering (A)	4	1054687	144.66	7290.48	2.41	<0.001
Suhu (B)	4	1054687	168	6283.87	2.41	<0.001
Kecepatan udara (C)	4	1054687	174	6070.95	2.41	<0.001
Dewatering*Suhu(AB)	16	200814	5	38880.09	1.68	<0.001
Dewatering* Kecepatan udara (AC)	16	236155	19	12204.59	1.68	<0.001
Suhu*Kecepatan udara (BC)	16	252344	15	16690.15	1.68	<0.001
Dewatering*Suhu* Kecepatan udara (ABC)	64	47021.8	3.5	13610.55	1.36	<0.001
Galat	248					
Total	374					

Berdasarkan Tabel 4.9, dapat disimpulkan bahwa pada $\alpha=5\%$, lama waktu proses *dewatering*, suhu dan kecepatan udara pengeringan berpengaruh sangat nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka. Begitu pula dengan interaksi antara lama waktu proses *dewatering* dengan suhu (AB), lama waktu proses *dewatering* dengan kecepatan udara (AC), suhu dengan kecepatan udara (BC), serta interaksi ketiganya (ABC) juga berpengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka.

Salah satu kelemahan ART yaitu penyetaraan dan pemeringkatan respon pada pengaruh ulangan/kelompok tidak dapat dihitung dalam program ARTool sehingga pengaruh ulangan tidak dapat diketahui dari hasil analisis ragam. Apabila kelompok diikutsertakan menjadi faktor dalam program *ARTool*, maka program akan mengidentifikasi data tersebut menjadi 4 faktor dan menghasilkan respon Y_{ART} sebanyak 14 respon. Analisis ragam dengan 14 respon tersebut tidak dapat menunjukkan hasil F-hitung dan *p-value* karena jumlah kuadrat galat terhitung nol untuk semua respon.



Tabel 4.10 Ringkasan ANOVA Data 1 Ulangan Tunggal

SK	Db		r1	r2	r3
Dewatering (A)	4	KT	3.70225**	3.70255**	3.70232**
		p-value	<0.001	<0.001	<0.001
Suhu (B)	4	KT	0.14829**	0.14829**	0.14828**
		p-value	<0.001	<0.001	<0.001
Kecepatan udara (C)	4	KT	0.00713**	0.00711**	0.00712**
		p-value	<0.001	<0.001	<0.001
Dewatering* Suhu(AB)	16	KT	0.00259**	0.00259**	0.00259**
		p-value	<0.001	<0.001	<0.001
Dewatering* Kecepatan udara (AC)	16	KT	0.00022	0.00022	0.00038
		p-value	0.711	0.712	0.712
Suhu*Kecepatan udara (BC)	16	KT	0.00039	0.00038	0.00038
		p-value	0.197	0.197	0.199
Galat	64	KT	0.00029	0.00028	0.00028
Total	124				

Keterangan: **= sangat nyata, *= nyata, “ “ = tidak nyata

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat disimpulkan bahwa pada $\alpha=5\%$ lama proses *dewatering*, suhu, kecepatan udara pengeringan serta interaksi dua factor berpengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka baik pada penggunaan ulangan pertama, kedua maupun ketiga. Interaksi antara lama waktu proses *dewatering* dengan kecepatan udara (AC) dan suhu dengan kecepatan udara (BC) tidak berpengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka ulangan tunggal. Nilai R^2 terkoreksi pada Lampiran 10 sebesar 98% baik pada ulangan pertama, kedua maupun ketiga yang berarti hampir seluruh keragaman dalam penelitian ini dapat dijelaskan oleh model.

Pada proses pengeringan tepung menggunakan mesin pengering, suhu dan kecepatan udara dapat ditentukan variasinya. Salah satu jenis mesin tersebut yaitu tipe pneumatik (*flash drying*) yang digunakan pada penelitian “pemodelan proses pengeringan mekanis tepung kasava” oleh Witdarko, dkk. (2016). Mesin tersebut menggunakan sumber pemanas gas LPG dan dirancang untuk dapat dilakukan pengaturan-pengaturan pada kecepatan pemasukan bahan, suhu dan aliran udara pengering. Penggunaan mesin menyebabkan faktor suhu dan kecepatan udara menjadi faktor terkendali,



sedangkan pada pengeringan manual dengan bantuan sinar matahari, suhu dan kecepatan udara termasuk dalam faktor tak terkendali. Menurut Taib dkk. (1987) dalam Khatir dkk. (2011), proses pengeringan tepung dengan dijemur di bawah sinar matahari memiliki keterbatasan yaitu suhu dan kelembapan tidak dapat dikontrol. Hal tersebut disebabkan oleh pengeringan di bawah sinar matahari sangat bergantung pada kondisi cuaca dan kecepatan angin. Oleh karena itu interaksi antara suhu dan kecepatan udara dapat memberikan pengaruh tidak signifikan terhadap lama waktu pengeringan.

Menurut Odetunmibi, dkk. (2017), lama proses *dewatering* (*dewatering*) berperan atas kadar air awal. Berdasarkan hasil penelitian Permatasari, dkk. (2013), semakin sedikit kadar air maka kandungan uap air yang harus dihilangkan semakin sedikit. Oleh karena itu, penggunaan suhu rendah pada kadar air awal tinggi mengakibatkan pengeringan tepung membutuhkan waktu yang lama. Sebaliknya, penggunaan suhu tinggi pada kadar air awal rendah menyebabkan proses pengeringan membutuhkan waktu singkat sehingga interaksi antara lama proses *dewatering* dan suhu berpengaruh nyata terhadap lama waktu pengeringan.

4.2.2. Analisis Ragam Data Daya Tahan Pellet Singkong

Faktor-faktor yang dilibatkan dalam penelitian daya tahan pellet singkong yaitu kadar air awal (A), kecepatan mesin (B) dan diameter (C). Analisis ragam dengan respon daya tahan pellet singkong hasil ART (Y_{ART}) untuk setiap faktor dan interaksi menghasilkan 7 tabel ANOVA ditunjukkan pada lampiran 11 dan diringkas dalam tabel 4.11.



Tabel 4.11 Analisis Ragam Data 2 (Transformasi ART)

SK	Db	KT	KTG	F-Hitung	F-Tabel	P-Value
Kadar air (A)	3	176268	412	427.65	2.68	<0.001
Kecepatan (B)	3	123724	1465	84.47	2.68	<0.001
Diameter (C)	3	149504	998	149.74	2.68	<0.001
Kadar air* Kecepatan(AB)	9	44838.2	1184.5	37.85	1.95	<0.001
Kadar air* Diameter (AC)	9	40774.2	1533.2	26.59	1.95	<0.001
Kecepatan* Diameter (BC)	9	29942.8	2264.5	13.22	1.95	<0.001
Kadar air* Kecepatan* Diameter (ABC)	27	15466.7	1176.3	13.15	1.57	<0.001
Galat	126					
Total	191					

Berdasarkan hasil analisis ragam nonparametrik pada Tabel 4.11, dapat disimpulkan bahwa pada $\alpha=5\%$, kadar air awal, kecepatan dan diameter pellet berpengaruh sangat nyata terhadap daya tahan pellet singkong. Begitu pula dengan interaksi antara kadar air awal dengan kecepatan, kadar air awal dengan diameter, kecepatan dengan diameter, serta interaksi ketiganya juga berpengaruh nyata terhadap daya tahan pelet singkong.

Pada analisis ragam Data 2, pengaruh ulangan juga tidak dapat diketahui. Salah satu kelemahan ART yaitu penyetaraan dan pemerinkatan respon pada pengaruh ulangan/kelompok tidak dapat dihitung dalam program ARTool sehingga pengaruh ulangan tidak dapat diketahui dari hasil analisis ragam. Apabila kelompok diikutsertakan menjadi faktor dalam program ARTool, maka program akan mengidentifikasi data tersebut menjadi 4 faktor dan menghasilkan respon Y_{ART} sebanyak 14 respon. Analisis ragam dengan 14 respon tersebut tidak dapat menunjukkan hasil F-hitung dan *p-value* karena jumlah kuadrat galat terhitung nol untuk semua respon.



Tabel 4.12 Ringkasan ANOVA Data 2 Ulangan Tunggal

SK	Db		r1	r2	r3
Kadar air (A)	3	KT	1839.61**	1809.42**	1801.87**
		p-value	<0.001	<0.001	<0.001
Kecepatan (B)	3	KT	216.84**	137.35**	97.22*
		p-value	<0.001	0.014	0.051
Diameter (C)	3	KT	423.07**	445.41**	405.75**
		p-value	<0.001	<0.001	<0.001
Kadar air* Kecepatan (AB)	9	KT	77.64**	61.53*	83.94**
		p-value	<0.001	0.097	0.03
Kadar air* Diameter (AC)	9	KT	40.68	67.85*	55.44
		p-value	0.129	0.068	0.145
Kecepatan* Diameter (BC)	9	KT	14.10	26.15	15.36
		p-value	0.784	0.616	0.886
Galat	27		23.42	32.52	33.14
Total	63				

Keterangan: **= sangat nyata, *= nyata, “ “ = tidak nyata

Berdasarkan Tabel 4.12, dapat disimpulkan bahwa pada $\alpha=5\%$, kadar air awal dan diameter pellet berpengaruh sangat nyata terhadap daya tahan pellet singkong, baik pada penggunaan ulangan pertama, kedua maupun ketiga. Pada $\alpha=10\%$ kecepatan dan interaksi antara kadar air awal dengan kecepatan berpengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong. Interaksi antara kadar air awal dengan diameter dan kecepatan dengan diameter tidak berpengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong ulangan tunggal. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena perbedaan kecepatan dan diameter yang kecil sehingga menghasilkan pellet dengan daya tahan yang hampir sama. Kadar air sangat mempengaruhi mutu pellet. Pellet dengan kadar air yang rendah memiliki daya tahan lebih tinggi sehingga lebih awet dan dapat disimpan lebih lama (Retnani, dkk., 2011). Nilai R^2 terkoreksi pada Lampiran 12 sekitar 74-86% baik pada ulangan pertama, kedua maupun ketiga yang berarti hampir seluruh keragaman dalam penelitian ini dapat dijelaskan oleh model.



4.3. Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Pengaruh Faktor antara Ulangan Penuh dan Ulangan Tunggol

4.3.1. Perbandingan Kuadrat Tengah Data 1

Ringkasan perbandingan Kuadrat Tengah ulangan penuh dan ulangan tunggal data waktu pengeringan tepung tapioka disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 1

SK	Db _p	Db _t		r ₁ r ₂ r ₃	r ₁	r ₂	r ₃
Dewatering (A)	4	4	KT	1054688**	3.70225**	3.70255**	3.70232**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Suhu (B)	4	4	KT	1054687**	0.14829**	0.14829**	0.14828**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kecepatan udara (C)	4	4	KT	1054687**	0.00713**	0.00711**	0.00712**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Dewatering* Suhu(AB)	16	16	KT	242662**	0.00259**	0.00259**	0.00259**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Dewatering* Kecepatan udara (AC)	16	16	KT	244603**	0.00022	0.00022	0.00038
			p-value	<0.001	0.711	0.712	0.712
Suhu* Kecepatan udara (BC)	16	16	KT	267375**	0.00039	0.00038	0.00038
			p-value	<0.001	0.197	0.197	0.199
Galat	248	64	KTG		0.00029	0.00028	0.00028

Berdasarkan Tabel 4.13, pada tingkat $\alpha=5\%$ lama proses *dewatering*, suhu dan kecepatan udara memberikan pengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka. Begitupula interaksi antara *dewatering* dengan suhu (AB) berpengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka. Pada penggunaan ulangan tunggal, interaksi antara *dewatering* dengan kecepatan udara (AC) dan suhu dengan kecepatan udara (BC) tidak berpengaruh nyata. Menurut Montgomery (2013), pengaruh faktor yang tidak signifikan tampaknya dapat diabaikan dan digabungkan sebagai estimasi galat. Oleh karena itu, interaksi BC dan AC dikorbankan menjadi galat.



Tabel 4.14 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 1 (AC dan BC dikorbankan sebagai Galat)

SK	Db _p	Db _t		r1r2r3	r1	r2	r3
Dewatering (A)	4	4	KT	1054688**	3.7023**	3.7026**	3.7023**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Suhu (B)	4	4	KT	1054687**	0.1483**	0.1483**	0.1483**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kecepatan udara (C)	4	4	KT	1054687**	0.0071**	0.0071**	0.0071**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Dewatering* Suhu(AB)	16	16	KT	242662**	0.0026**	0.0026**	0.0026**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Galat	280	96	KTG		0.00029	0.00029	0.00029

Berdasarkan Tabel 4.14, pada tingkat $\alpha=5%$ *dewatering*, suhu dan kecepatan udara memberikan pengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka. Begitupula interaksi antara *dewatering* dengan suhu berpengaruh nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka baik pada ulangan penuh maupun ulangan tunggal. Tidak terdapat perbedaan pengaruh faktor terhadap respon sehingga dapat disimpulkan bahwa data 1 waktu pengeringan tepung tapioka mendukung tujuan penelitian, yaitu percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan besar dapat dilakukan tanpa ulangan, dengan syarat interaksi ABC, AC dan BC dikorbankan sebagai galat. Pengaruh faktor yang tidak signifikan tampaknya dapat diabaikan dan digabungkan sebagai estimasi galat (Montgomery, 2013).

Apabila peneliti ingin tetap melakukan pengulangan pada percobaan faktorial tiga faktor, maka cara lain yang dapat dilakukan untuk mempermudah penelitian yaitu dengan melakukan percobaan pendahuluan dengan salah satu faktor. Pada kasus data 1, proses *dewatering* dan proses pengeringan menggunakan mesin yang berbeda. Oleh karena itu, akan lebih mudah apabila dilakukan percobaan pendahuluan dengan perlakuan lama *dewatering*. Kemudian percobaan faktorial dilakukan dengan faktor suhu dan kecepatan udara pada level lama *dewatering* terbaik.



4.3.2. Perbandingan Kuadrat Tengah Data 2

Hasil perbandingan Kuadrat Tengah ulangan penuh dan ulangan tunggal Data 2 disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 2

SK	Db _p	Db _t		r123	r1	r2	r3
Kadar air (A)	3	3	KT	176268**	1839.61**	1809.42**	1801.87**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kecepatan (B)	3	3	KT	123724**	216.84**	137.35**	97.22*
			p-value	<0.001	<0.001	0.014	0.051
Diameter (C)	3	3	KT	149504**	423.07**	445.41**	405.75**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kadar air* Kecepatan (AB)	9	9	KT	44838.2**	77.64**	61.53*	83.94**
			p-value	<0.001	<0.001	0.097	0.03
Kadar air* Diameter (AC)	9	9	KT	40774.2**	40.68	67.85*	55.44
			p-value	<0.001	0.129	0.068	0.145
Kecepatan* Diameter (BC)	9	9	KT	29942.8**	14.10	26.15	15.36
			p-value	<0.001	0.784	0.616	0.886
Galat	126	63	KTG		23.42	32.52	33.14

Berdasarkan Tabel 4.15, pada tingkat $\alpha=5\%$ kadar air awal dan diameter memberikan pengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong baik pada penggunaan ulangan penuh maupun ulangan tunggal. Pada ulangan penuh, semua faktor beserta interaksi memberikan pengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong. Pada ulangan tunggal, interaksi antara kadar air awal dengan diameter dan interaksi kecepatan dengan diameter tidak berpengaruh nyata terhadap daya tahan. Pada $\alpha=10\%$ kadar air awal, kecepatan, diameter serta interaksi antara kadar air dengan kecepatan memberikan pengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong baik pada ulangan penuh maupun ulangan tunggal. Menurut Montgomery (2013), pengaruh faktor yang tidak signifikan tampaknya dapat diabaikan dan digabungkan sebagai estimasi galat. Oleh karena itu, interaksi antara kecepatan dengan diameter (BC) dikorbankan menjadi galat.



Tabel 4.16 Perbandingan Kuadrat Tengah dan Signifikansi Data 2 (BC dikorbankan sebagai Galat)

SK	db _p	db _t		r123	r1	r2	r3
Kadar air (A)	3	3	KT	176268**	1839.61**	1809.42**	1801.87**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kecepatan (B)	3	3	KT	123724**	216.84**	137.35**	97.22**
			p-value	<0.001	<0.001	0.009	0.028
Diameter (C)	3	3	KT	149504**	423.07**	445.41**	405.75**
			p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Kadar air* Kecepatan (AB)	9	9	KT	44838.2**	77.64**	61.53*	83.94**
			p-value	<0.001	0.002	0.070	0.01
Kadar air* Diameter (AC)	9	9	KT	40774.2**	40.68*	67.85**	55.44*
			p-value	<0.001	0.079	0.046	0.078
Galat	135	72	KTG		21.09	30.93	28.7

Berdasarkan Tabel 4.16, pada tingkat $\alpha=5\%$ kadar air awal, kecepatan dan diameter memberikan pengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong. Begitupula pada $\alpha=10\%$ interaksi antara kadar air awal dengan kecepatan dan kadar air awal dengan diameter juga berpengaruh nyata terhadap daya tahan pellet singkong baik pada ulangan penuh maupun ulangan tunggal. Pengorbanan interaksi kecepatan mesin dan diameter (BC) mengakibatkan derajat bebas galat meningkat sehingga nilai KTG menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, nilai F hitung dari pengaruh faktor tunggal dan interaksi lain meningkat. Tidak terdapat perbedaan pengaruh faktor terhadap respon sehingga dapat disimpulkan bahwa data 2 daya tahan pellet singkong mendukung tujuan penelitian, yaitu percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan besar dapat dilakukan tanpa ulangan, dengan syarat interaksi ABC dan BC dikorbankan sebagai galat.

Kecepatan dan diameter merupakan bagian mesin yang dapat diatur sesuai yang diinginkan sehingga mudah untuk diubah untuk tujuan penelitian. Kadar air susah untuk ditentukan karena harus dilakukan perhitungan terlebih dahulu menggunakan rumus seperti yang telah dijelaskan pada subbab 3.1. Oleh karena itu, apabila peneliti ingin tetap melakukan pengulangan pada percobaan faktorial tiga faktor, maka cara lain yang dapat dilakukan untuk mempermudah penelitian yaitu dengan melakukan percobaan



pendahuluan dengan salah satu faktor. Pada kasus data 2, kadar air lebih sulit untuk diatur daripada dua faktor lainnya. Oleh karena itu, akan lebih mudah apabila dilakukan percobaan pendahuluan dengan perlakuan kadar air awal. Kemudian percobaan faktorial dilakukan dengan faktor kecepatan dan diameter pada level kadar air terbaik.

Berdasarkan hasil penelitian Odetunmibi, dkk. (2017) dengan mengabaikan asumsi, lama proses *dewatering*, suhu dan kecepatan udara serta interaksi berpengaruh sangat nyata terhadap waktu pengeringan tepung tapioka. Berdasarkan uji lanjut Duncan yang dilakukan pada faktor utama serta disajikan plot interaksi dua faktor, dapat disimpulkan bahwa kombinasi optimal yang menghasilkan waktu pengeringan tepung tapioka terbaik (paling singkat) yaitu lama proses *dewatering* 180 menit, suhu 100°C dan kecepatan udara 3 m/s.

Kasus kedua, yaitu penelitian Oguntunde, dkk. (2018), dengan mengabaikan asumsi, kadar air awal, kecepatan mesin dan diameter serta interaksi berpengaruh sangat nyata terhadap daya tahan pellet singkong. Berdasarkan uji lanjut Duncan yang dilakukan pada faktor utama serta disajikan plot interaksi dua faktor, dapat disimpulkan bahwa kombinasi faktor yang menghasilkan daya tahan pellet singkong terbaik (presentase paling besar) yaitu kadar air awal sebesar 48.5% wb, kecepatan mesin 1.5 mm/min dan diameter 6 mm.

Berdasarkan hasil uji asumsi pada subbab 4.1 dapat diketahui bahwa data dengan ulangan penuh tidak memenuhi semua asumsi. Apabila data dipisah menjadi data ulangan tunggal maka asumsi terpenuhi. Hal ini dimungkinkan terjadi karena semakin besar ukuran sampel maka jangkauannya juga semakin besar sehingga distribusi yang normal dan ragam yang homogen sulit untuk dipenuhi data percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan besar. Ketika asumsi normalitas terlanggar dan ukuran sampel besar, ART menunjukkan performa yang lebih baik daripada ANOVA klasik (Oliver-Rodriguez dan Wang, 2015). Oleh sebab itu, data ulangan lengkap ditransformasi menggunakan ART terlebih dahulu kemudian dianalisis ragam. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada percobaan faktorial dengan kombinasi perlakuan besar, penambahan ulangan malah mengakibatkan asumsi tidak terpenuhi sehingga penggunaan satu ulangan lebih disarankan.



Berdasarkan hasil perbandingan kuadrat tengah dan signifikansi faktor pada data sekunder sebagaimana dijelaskan di subbab 4.3.1 dan 4.3.2, dapat diketahui bahwa percobaan pengeringan tepung tapioka dan daya tahan pellet singkong memiliki kesamaan yaitu penggunaan mesin sebagai unit percobaan, sehingga ulangan/kelompok tidak memberikan pengaruh nyata. Hal tersebut dikarenakan percobaan laboratorium atau industri dilakukan di lingkungan yang terkendali, sehingga diperoleh galat percobaan seminimum mungkin. Data waktu pengeringan tepung tapioka dan data tahan pellet singkong menunjukkan hasil penggunaan ulangan tunggal pada percobaan faktorial tiga faktor lebih baik daripada penggunaan ulangan penuh karena dianalisis menggunakan metode nonparametrik.

Sebaik-baiknya hasil analisis nonparametrik, masih lebih baik hasil analisis parametrik. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan para ahli yang telah dipaparkan pada subbab 2.6. Menurut Yitnosumarto (1990), percobaan faktorial yang memiliki kombinasi perlakuan yang besar, sehingga secara umum penggunaan ulangan tunggal sudah cukup memadai dengan memperlakukan interaksi tingkat tinggi (tiga faktor atau lebih) sebagai galat percobaan untuk menguji pengaruh utama dan interaksi yang mudah diinterpretasikan. Disamping itu, menurut Li (1964), interaksi tingkat tinggi (interaksi lebih dari dua faktor) seringkali kecil dan termasuk dalam golongan variasi acak. Jika demikian, maka dapat diasumsikan bahwa variasi interaksi ABC disebabkan oleh galat acak daripada pengaruh yang signifikan dan sistematis. Menurut Montgomery (2013), pengaruh faktor yang tidak signifikan dapat diabaikan dan digabungkan sebagai estimasi galat.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada percobaan faktorial yang melibatkan kombinasi perlakuan sangat besar, seperti percobaan faktorial dengan tiga faktor dan lebih dari tiga level, dengan tiga ulangan sulit untuk dilakukan serta pada saat analisis ragam banyak ditemukan pelanggaran asumsi. Berdasarkan dua kasus pada penelitian ini, penggunaan ulangan penuh tidak memenuhi semua asumsi. Oleh sebab itu, digunakan transformasi ART untuk data ulangan penuh. Pada ulangan tunggal hampir semua asumsi analisis ragam terpenuhi.
2. Hasil analisis ragam menunjukkan pengaruh faktor tunggal dan interaksi yang signifikan terhadap respon tidak jauh berbeda pada penggunaan ulangan penuh maupun ulangan tunggal. Penggunaan ulangan tunggal lebih disarankan daripada ulangan penuh karena selain asumsi terpenuhi, pengaruh faktor dan interaksi terhadap respon juga tidak jauh berbeda.
3. Kombinasi faktor yang menghasilkan waktu pengeringan tepung tapioka terbaik (paling singkat) yaitu lama proses *dewatering* 180 menit, suhu 100°C dan kecepatan udara 3 m/s. Kombinasi faktor yang menghasilkan daya tahan pellet singkong terbaik (presentase paling besar) yaitu kadar air awal sebesar 48.5% wb, kecepatan mesin 1.5 mm/min dan diameter 6 mm.



5.2. Saran

1. Apabila peneliti tetap ingin melakukan pengulangan, maka dapat menggunakan percobaan berseri seperti pada subbab 2.6.2 atau dengan percobaan pendahuluan menggunakan salah satu faktor (misalnya kadar air), sehingga percobaan faktorial selanjutnya dapat dilakukan menggunakan dua faktor lainnya (kecepatan dan diameter) pada level kadar air yang terbaik sehingga percobaan lebih ringkas dan sederhana.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data percobaan faktorial dengan kombinasi besar yang memenuhi semua asumsi, sehingga dapat diuji untuk dibandingkan besarnya perbedaan pengaruh perlakuan pada penggunaan ulangan penuh dan tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adepoju, J. A. dan Ipinoyomi, R. A. 2016. Construction of Asymmetric Fractional Faktorial Design. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, Vol. 3, No. 6.
- Arif, A. B., Diyono, W., Budiyanto, A. dan Richana, N. 2016. Rancangan Faktorial Tiga Faktor untuk Optimalisasi Produksi Bioetanol dari Molases Tebu. *Informatika Pertanian* No. 25, No. 1, 145-154.
- Ariski, N., Annisa dan Sirajang, N. 2014. Rancangan Fractional Factorial (FF) 3^{k-p} dan Penggunaan Metode Bissel untuk Mengidentifikasi Faktor Signifikan. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi* Vol. 11, No. 1, 28-38.
- Azwar, S. 2001. Asumsi-asumsi dalam Inferensi Statistika. *Buletin Psikologi, Tahun IX, No. 1*, 8-17.
- Box, G. E. P. dan Hunter, J. S. 1961. *The Fractional Factorial Design*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Box, G. E. P. dan Meyer, R. D. 1986. An Analysis for Unreplicated Fractional Factorials. *Technometrics* Vol. 28 No. 1, 11-18.
- Cochran, W. G. dan Cox, G. M. 1957. *Experimental Designs Second Edition*. New York: Wiley.
- Conover, W. J. dan Iman, R. L. 1981. Rank Transformations as a Bridge Between Parametric and Nonparametric Statistics. *The American Statistician* Vol. 35 No. 3, 124.
- Federer, W. T. 1967. *Experimental Design Theory and Application*. Calcutta: Oxford & IBH Publishing Co.
- Fernandes, A. A. R. dan Solimun. 2018. *Analisis Statistika Nonparametrik: Pendekatan Teoritis dan Praktis*. Malang: UB Press.
- Ghozali, I. 2013. *Aplikasi Analisis Multivariat dengan Program SPSS*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Gomez, K. A., Gomez, A. A. dan Gomez, K. A. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. New York: Wiley.
- Grubbs, F. E. 1950. Sample Criteria for Testing Outlying Observations. *Ann. Math. Statist.* Vol. 21 No. 1, 27-58.
- Hanafiah, K. A. 1997. *Rancangan Percobaan Teori dan Aplikasi Edisi Kedua*. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.



- Hartono, N. B. 2016. Analisis *Outlier* dan Heteroskedastisitas dengan Menggunakan Regresi Robust Weight Least Square. *Skripsi*.<http://lib.unnes.ac.id/26615/1/4111412055.pdf>. Diakses pada 1 Juni 2021 pukul 22.21 WIB.
- Higgins, J. J. dan Tashtoush, S. 1994. An aligned rank transform test for interaction. *Nonlinear World Vol. 1 No. 2*, 201-211.
- Khatir, Ratna dan Wardani. 2011. Karakteristik Pengeringan Tepung Beras Menggunakan Alat Pengering Tipe Rak. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi, Biologi Edukasi Vol. 3 No. 2*, 1-4.
- Li, C. C. 1964. *Introduction to Experimental Statistics*. New York: McGraw-Hill.
- Mattjik, A. A. dan Sumertajaya, I. 2013. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. Bogor: IPB Press.
- Mead, R., Curnow, R.N. dan Hasted, A.M., 1993. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology Second Edition*. London: Chapman & Hall.
- Montgomery, D. C. 2013. *Design and Analysis of Faktorial Experiments Eighth Edition*. New York: Wiley.
- Nugroho, S. 2008. *Dasar-Dasar Rancangan Percobaan*. Bengkulu: UNIB Press.
- Odetunmibi, O. A., Adejumo, O. A., Oguntunde, P. E., Okagbue, H. I., Adejumo, A. O. dan Suleiman, E. A. 2017. Drying kinetic of industrial cassava flour: Experimental data in view. *Data in Brief, Vol. 15*, 501-510.
- Oguntunde, P. E., Adejumo, O. A., Odetunmibi, O. A., Okagbue, H. I. dan Adejumo, A. O. 2018. Data analysis on physical and mechanical properties of cassava pellets. *Data in Brief, Vol. 16*, 286-302.
- Oliver-Rodriguez, J. C. dan Wang, X. T. 2015. Non-parametric three-way mixed ANOVA with aligned rank tests. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology Vol. 68 No. 1*, 23-42.
- Paiman. 2015. *Rancangan Percobaan Untuk Pertanian*. Yogyakarta: UPY Press.
- Permatasari, I., Eugenia, L. K. dan Suherman. 2013. Pengaruh Initial Moisture Content dan Massa Tepung pada Proses Pengeringan Tepung Tapioka Menggunakan Pengering Unggun Fluidisasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri Vol. 2 No. 3*, 43-50.

- Retnani, Y., Herawati, L. dan Khusniati, S. 2011. Uji Sifat Fisik Ransum Broiler Strarter Bentuk Crumble Berperekat Tepung Tapioka, Bentonit dan Onggok. *JITP Vol. 1 No. 2*, 88-97.
- Salter, K. C. dan Fawcett, R. F. 1993. The art test of interaction: a robust and powerful rank test of interaction in factorial models. *Communications in Statistics - Simulation and Computation Vol. 22 No. 1*, 137-153.
- Siswanto, N. dan Wanito, Y. P. 2017. Pengaruh Cara Pengeringan dan Proses Pengepresan terhadap Mutu Tepung Kacang Tanah. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi Balitkabi*, 472-481.
- Soehono, L. A., Mitakda, M. B. T. dan Masrokhah, D. 2017. *Percobaan Faktorial dengan Analisis Data Menggunakan Software GENSTAT*. Malang: UB Press.
- Walpole, R. E. 1995. *Pengantar Statistika*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Witdarko, Y., Bintoro, N., Suratmo, B. dan Rahardjo, B. 2016. Pemodelan Proses Pengeringan Mekanis Tepung Kasava dengan Menggunakan Pneumatic Dryer: Hubungan Kapasitas Output dengan Variabel Proses Pengeringan. *AGRITECH Vol. 36, No. 2*, 233-239.
- Wobbrock, J. O., Findlater, L., Gergle, D. dan Higgins, J. J. 2011. The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11) New York: ACM Press*, 143-166. Online. <https://faculty.washington.edu/wobbrock/pubs/chi-11.06.pdf> diakses pada 27 April 2021 pukul 14.56 WIB.
- Yitnosumarto, S. 1990. *Percobaan: Perancangan, Analisis dan Interpretasinya*. Malang: Universitas Brawijaya.





-Halaman ini sengaja dikosongkan-

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Penelitian 1

Respon : Waktu Pengeringan Tepung Tapioka (detik)

Dewatering (menit)	Suhu (Celcius)	Kecepatan udara (m/s)	Ulangan			
			1	2	3	
	b_1	c_1	33300	33290	33300	
		c_2	33280	33270	33275	
		c_3	19800	19820	19830	
		c_4	19200	19199	19204	
		c_5	17162	17166	17165	
	b_2	c_1	16560	16560	16560	
		c_2	15960	15960	15960	
		c_3	15955	15953	15940	
		c_4	13700	13778	13800	
		c_5	13650	13650	13650	
	a_1	b_3	c_1	13645	13642	13643
			c_2	13560	13560	13560
			c_3	13500	13500	13500
			c_4	12840	12840	12840
			c_5	12740	12740	12710
	b_4	c_1	12570	12570	12570	
		c_2	12090	12090	12090	
		c_3	11970	11970	11970	
		c_4	10710	10710	10710	
		c_5	10350	10350	10350	
b_5	c_1	10260	10260	10260		
	c_2	10200	10200	10200		
	c_3	9510	9510	9510		
	c_4	9420	9420	9420		
	c_5	9360	9360	9360		
a_2	b_1	c_1	8640	8640	8640	
		c_2	8280	8280	8280	
		c_3	8250	8250	8250	
		c_4	8220	8220	8220	
		c_5	8160	8160	8160	
	b_2	c_1	8130	8130	8130	
		c_2	7830	7830	7830	
		c_3	7620	7620	7620	
		c_4	7560	7560	7560	
		c_5	7350	7350	7350	
	b_3	c_1	7290	7290	7290	
		c_2	6690	6690	6690	

Lampiran 1. Data Penelitian 1 (Lanjutan)

Dewatering (menit)	Suhu (Celcius)	Kecepatan udara (m/s)	Ulangan		
			1	2	3
a_2	b_3	c_3	6660	6660	6660
		c_4	6600	6600	6600
		c_5	6540	6540	6540
	b_4	c_1	6420	6420	6420
		c_2	6390	6390	6390
		c_3	6330	6330	6330
		c_4	6030	6030	6030
		c_5	6000	6000	6000
	b_5	c_1	5880	5880	5880
		c_2	5850	5850	5850
		c_3	5820	5820	5820
		c_4	5790	5790	5790
		c_5	5760	5760	5760
	b_1	c_1	5745	5745	5745
		c_2	5730	5730	5730
c_3		5550	5550	5550	
c_4		5520	5520	5520	
c_5		5460	5460	5460	
a_3	b_2	c_1	5440	5440	5440
		c_2	5430	5430	5430
		c_3	5220	5220	5220
		c_4	4980	4980	4980
		c_5	4890	4890	4890
	b_3	c_1	4860	4860	4860
		c_2	4830	4830	4830
		c_3	4800	4800	4800
		c_4	4800	4800	4800
		c_5	4790	4790	4790
a_4	b_4	c_1	4770	4770	4770
		c_2	4740	4740	4740
		c_3	4440	4440	4440
		c_4	4410	4410	4410
		c_5	4380	4380	4380
	b_5	c_1	4350	4350	4350
		c_2	4260	4260	4260
		c_3	4020	4020	4020
		c_4	3840	3840	3840
		c_5	3150	3150	3150
a_4	b_1	c_1	3090	3090	3090
		c_2	3000	3000	3000

Lampiran 1. Data Penelitian 1 (Lanjutan)

Dewatering (menit)	Suhu (Celcius)	Kecepatan udara (m/s)	Ulangan		
			1	2	3
a_4	b_1	c_3	2970	2970	2970
		c_4	2910	2910	2910
		c_5	2850	2850	2850
	b_2	c_1	2790	2790	2790
		c_2	2550	2550	2550
		c_3	2520	2520	2520
		c_4	2490	2490	2490
		c_5	2460	2460	2460
	b_3	c_1	2430	2430	2430
		c_2	2400	2400	2400
		c_3	2340	2340	2340
		c_4	2310	2310	2310
		c_5	2280	2280	2280
	b_4	c_1	2250	2250	2250
		c_2	2220	2220	2220
		c_3	2190	2190	2190
		c_4	2160	2160	2160
		c_5	2100	2100	2100
	b_5	c_1	2070	2070	2070
		c_2	1980	1980	1980
c_3		1980	1980	1980	
c_4		1950	1950	1950	
c_5		1890	1890	1890	
a_5	b_1	c_1	1800	1800	1800
		c_2	1770	1770	1770
		c_3	1740	1740	1740
		c_4	1710	1710	1710
		c_5	1650	1650	1650
	b_2	c_1	1620	1620	1620
		c_2	1590	1590	1590
		c_3	1575	1575	1575
		c_4	1570	1570	1570
		c_5	1560	1560	1560
	b_3	c_1	1530	1530	1530
		c_2	1495	1495	1495
		c_3	1465	1465	1465
		c_4	1440	1440	1440
		c_5	1380	1380	1380
	b_4	c_1	1365	1365	1365
		c_2	1350	1350	1350



Lampiran 1. Data Penelitian 1 (Lanjutan)

Dewatering (menit)	Suhu (Celcius)	Kecepatan udara (m/s)	Ulangan			
			1	2	3	
b_4		c_3	1230	1230	1230	
		c_4	1140	1140	1140	
		c_5	1110	1110	1110	
		a_5	c_1	1080	1080	1080
			c_2	1020	990	1020
b_5	c_3		990	990	1021	
	c_4	960	990	960		
	c_5	870	890	870		

Keterangan:

A : Lama proses *dewatering*

$$A = \begin{cases} a_1 = 180 \text{ menit} \\ a_2 = 150 \text{ menit} \\ a_3 = 120 \text{ menit} \\ a_4 = 90 \text{ menit} \\ a_5 = 60 \text{ menit} \end{cases}$$

B : Suhu

$$B = \begin{cases} b_1 = 40^\circ\text{C} \\ b_2 = 55^\circ\text{C} \\ b_3 = 70^\circ\text{C} \\ b_4 = 85^\circ\text{C} \\ b_5 = 100^\circ\text{C} \end{cases}$$

C : Kecepatan udara

$$C = \begin{cases} c_1 = 1 \text{ m/s} \\ c_2 = 1.5 \text{ m/s} \\ c_3 = 2 \text{ m/s} \\ c_4 = 2.5 \text{ m/s} \\ c_5 = 3 \text{ m/s} \end{cases}$$



Lampiran 2. Data Penelitian 2

Respon : Durabilitas pellet singkong (%)

Kadar air	Kecepatan	Diameter	Ulangan		
			1	2	3
a_1	b_1	c_1	61.22	54.42	61.64
		c_2	46.15	46.15	46.15
		c_3	56	56	56
		c_4	45.45	33.33	41.67
	b_2	c_1	40	40	40
		c_2	50	49.3	51.41
		c_3	38.46	38.46	38.46
		c_4	43.48	41.74	40.87
	b_3	c_1	32.43	33.78	39.19
		c_2	43.08	43.08	43.85
		c_3	30.3	37.4	36.36
		c_4	34.38	36.22	32
	b_4	c_1	60	60	60
		c_2	47.62	47.62	47.62
		c_3	46.97	46.21	46.97
		c_4	34.62	34.62	34.62
a_2	b_1	c_1	40	40	40
		c_2	35.71	35.71	35.71
		c_3	30.77	30.77	30.77
		c_4	25	25	25
	b_2	c_1	33.33	36.67	38.67
		c_2	34.01	34.01	34.01
		c_3	31.43	34.78	28.99
		c_4	32	28.46	40
	b_3	c_1	33.33	33.11	34.67
		c_2	31.25	31.03	31.03
		c_3	25.18	22.22	28.15
		c_4	23.08	23.08	23.08
	b_4	c_1	46.67	46.67	46.67
		c_2	40	33.78	47.62
		c_3	35.71	37.04	35.71
		c_4	42.86	42.86	42.86
a_3	b_1	c_1	35	34.29	34.29
		c_2	35.71	28.57	31.16
		c_3	37.8	50.78	30.65
		c_4	36.67	36.67	36.67
	b_2	c_1	33.33	33.33	33.33
		c_2	27.59	28.57	27.59
		c_3	23.08	23.08	23.08
		c_4	20.83	16.67	25



Lampiran 2. Data Penelitian 2 (Lanjutan)

Kadar air	Kecepatan	Diameter	Ulangan		
			1	2	3
a_3	b_3	c_1	29.03	37.58	33.11
		c_2	28.57	27.59	27.59
		c_3	25.93	25.93	25.93
		c_4	16	16.67	16.67
	b_4	c_1	33.33	33.33	33.33
		c_2	27.59	28.57	28.57
		c_3	22.22	22.22	23.08
		c_4	20.83	24.17	29.17
a_4	b_1	c_1	26.67	26.67	26.67
		c_2	28.57	27.59	28.57
		c_3	7.69	7.69	7.69
		c_4	8.33	8.33	8.33
	b_2	c_1	26.67	26.67	26.67
		c_2	29.63	28.57	29.63
		c_3	15.38	12	8.46
		c_4	8.33	8.33	8.33
	b_3	c_1	26.67	23.33	23.33
		c_2	23.33	28.57	27.59
		c_3	9.23	11.54	10.77
		c_4	12	7.69	33.6
	b_4	c_1	26.67	23.33	26.67
		c_2	27.59	27.59	27.59
		c_3	11.54	8.46	7.69
		c_4	10.83	10.83	12.5

Keterangan :

$$A = \begin{cases} a_1 = 48.5\% \text{ wb} \\ a_2 = 50.5\% \text{ wb} \\ a_3 = 52.5\% \text{ wb} \\ a_4 = 54.5\% \text{ wb} \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} b_1 = 1.5 \text{ mm/menit} \\ b_2 = 2.5 \text{ mm/menit} \\ b_3 = 3.5 \text{ mm/menit} \\ b_4 = 4.5 \text{ mm/menit} \end{cases}$$

C : Kecepatan udara

$$C = \begin{cases} c_1 = 6 \text{ mm} \\ c_2 = 8 \text{ mm} \\ c_3 = 10 \text{ mm} \\ c_4 = 12 \text{ mm} \end{cases}$$



Lampiran 3. Data 1 Setelah Penanganan Outlier

Respon: Waktu Pengeringan Tepung Tapioka (detik)

Dewatering (menit)	Suhu (Celcius)	Kecepatan udara (m/s)	Ulangan		
			1	2	3
a_1	b_1	c_1	16577.26	16578.35	16578.66
		c_2	16567.22	16568.42	16568.71
		c_3	19819.35	19820	19819.88
		c_4	19200	19199	19204
		c_5	17162	17166	17165
	b_2	c_1	16560	16560	16560
		c_2	15960	15960	15960
		c_3	15955	15953	15940
		c_4	13700	13778	13800
		c_5	13650	13650	13650
	b_3	c_1	13645	13642	13643
		c_2	13560	13560	13560
		c_3	13500	13500	13500
		c_4	12840	12840	12840
		c_5	12740	12740	12710
b_4	c_1	12570	12570	12570	
	c_2	12090	12090	12090	
	c_3	11970	11970	11970	
	c_4	10710	10710	10710	
	c_5	10350	10350	10350	
b_5	c_1	10260	10260	10260	
	c_2	10200	10200	10200	
	c_3	9510	9510	9510	
	c_4	9420	9420	9420	
	c_5	9360	9360	9360	
a_5	b_4	c_1	1365	1365	1365
		c_2	1350	1350	1350
		c_3	1230	1230	1230
		c_4	1140	1140	1140
		c_5	1110	1110	1110
	b_5	c_1	1080	1080	1080
		c_2	989.19	990.00	989.96
		c_3	1020.23	1020.79	1021
		c_4	989.44	990.00	990.45
		c_5	889.20	890.00	890.21

Lampiran 4. Data 1 Transformasi Log

Respon: Waktu Pengeringan Tepung Tapioka (detik)

Dewatering (menit)	Suhu (Celcius)	Kecepatan udara (m/s)	Ulangan		
			1	2	3
a_1	b_1	c_1	4.2195	4.2195	4.2195
		c_2	4.2192	4.2193	4.2193
		c_3	4.2967	4.2971	4.2973
		c_4	4.2833	4.2833	4.2834
		c_5	4.2346	4.2347	4.2346
	b_2	c_1	4.2191	4.2191	4.2191
		c_2	4.2030	4.2030	4.2030
		c_3	4.2029	4.2028	4.2025
		c_4	4.1367	4.1392	4.1399
		c_5	4.1351	4.1351	4.1351
	b_3	c_1	4.1350	4.1349	4.1349
		c_2	4.1323	4.1323	4.1323
		c_3	4.1303	4.1303	4.1303
		c_4	4.1086	4.1086	4.1086
		c_5	4.1052	4.1052	4.1041
	b_4	c_1	4.0993	4.0993	4.0993
		c_2	4.0824	4.0824	4.0824
		c_3	4.0781	4.0781	4.0781
		c_4	4.0298	4.0298	4.0298
		c_5	4.0149	4.0149	4.0149
b_5	c_1	4.0111	4.0111	4.0111	
	c_2	4.0086	4.0086	4.0086	
	c_3	3.9782	3.9782	3.9782	
	c_4	3.9741	3.9741	3.9741	
	c_5	3.9713	3.9713	3.9713	
a_5	b_4	c_1	3.1351	3.1351	3.1351
		c_2	3.1303	3.1303	3.1303
		c_3	3.0899	3.0899	3.0899
		c_4	3.0569	3.0569	3.0569
		c_5	3.0453	3.0453	3.0453
	b_5	c_1	3.0334	3.0334	3.0334
		c_2	2.9953	2.9956	2.9956
		c_3	3.0087	3.0089	3.0090
		c_4	2.9954	2.9956	2.9958
		c_5	2.9490	2.9494	2.9495



Lampiran 5. Data 2 Transformasi Log
Respon: Daya Tahan Pellet Singkong (%)

Kadar air	Kecepatan	Die diameter	Ulangan		
			1	2	3
a_1	b_1	c_1	1.79	1.74	1.79
		c_2	1.66	1.66	1.66
		c_3	1.75	1.75	1.75
		c_4	1.66	1.52	1.62
	b_2	c_1	1.60	1.60	1.60
		c_2	1.70	1.69	1.71
		c_3	1.59	1.59	1.59
		c_4	1.64	1.62	1.61
	b_3	c_1	1.51	1.53	1.59
		c_2	1.63	1.63	1.64
		c_3	1.48	1.57	1.56
		c_4	1.54	1.56	1.51
	b_4	c_1	1.78	1.78	1.78
		c_2	1.68	1.68	1.68
		c_3	1.67	1.66	1.67
		c_4	1.54	1.54	1.54
a_2	b_1	c_1	1.60	1.60	1.60
		c_2	1.55	1.55	1.55
		c_3	1.49	1.49	1.49
		c_4	1.40	1.40	1.40
	b_2	c_1	1.52	1.56	1.59
		c_2	1.53	1.53	1.53
		c_3	1.50	1.54	1.46
		c_4	1.51	1.45	1.60
	b_3	c_1	1.52	1.52	1.54
		c_2	1.49	1.49	1.49
		c_3	1.40	1.35	1.45
		c_4	1.36	1.36	1.36
	b_4	c_1	1.67	1.67	1.67
		c_2	1.60	1.53	1.68
		c_3	1.55	1.57	1.55
		c_4	1.63	1.63	1.63
.
.
a_4	b_4	c_1	1.43	1.37	1.43
		c_2	1.44	1.44	1.44
		c_3	1.06	.93	.89
		c_4	1.03	1.03	1.10



Lampiran 6. Output ARTool Data 1

Ulangan	Dewatering	Suhu	Kecepatan udara	Waktu pengeringan	Yaligned for A	...	Yaligned for ABC	Yart for A	Yart for B	Yart for AB	Yart for C	Yart for AC	Yart for BC	Yart for ABC
1	180	40	1	33300	...	...	366	372	372	374.5	374.5	359.5	371.5
2	180	40	1	33290	...	...	305	302	362	301	361	346	370
3	180	40	1	33300	...	...	366	372	372	374.5	374.5	359.5	371.5
1	180	40	1.5	33280	...	...	369	374	374	298	360	375	375
2	180	40	1.5	33270	...	...	306	303	363	227	346	361	373
3	180	40	1.5	33275	...	...	336	337	367	262.5	353	368	374
1	180	40	2	19800	...	...	303	301	361	151	31	16	4
2	180	40	2	19820	...	...	366	372	372	221	42	29	5
3	180	40	2	19830	...	...	373	375	375	224	60	30	6
1	180	40	2.5	19200	...	...	310	306	366	80	18	32	8
2	180	40	2.5	19199	...	...	308	305	365	79	17	31	7
3	180	40	2.5	19204	...	...	364	370	370	147	28	45	9
1	180	40	3	17162	...	...	307	304	364	4	2	1	1
2	180	40	3	17166	...	...	362.5	369	369	72	13	15	3
3	180	40	3	17165	...	...	361	368	368	71	12	14	2
.	
.	
.	
.	
1	60	100	3	870	-4693.9	...	-320.65	6.5	6.5	351.5	2.5	316.5	287.5	76.5
2	60	100	3	890	-4673.9	...	-300.65	73	73	358	75	345	329	81
3	60	100	3	870	-4693.9	...	-320.65	6.5	6.5	351.5	2.5	316.5	287.5	76.5

Lampiran 7. Output ARTool Data 2

Ulangan	Kadar air	Kecepatan	Diameter	Daya tahan	Yaligned for A	...	Yaligned for ABC	Yart for A	Yart for B	Yart for AB	Yart for C	Yart for AC	Yart for BC	Yart for ABC
1	48.5	1.5	6	61.22	14.919	...	5.9825	188	184	180	184	123	179	178
2	48.5	1.5	6	54.42	8.1197	...	-0.8175	143	51	88	97	11	13	83
3	48.5	1.5	6	61.64	15.3397	...	6.4025	189	185	183	188	130	182	185
1	48.5	1.5	8	46.15	12.7931	...	-4.80208	168	157.5	152.5	125	79.5	31.5	24
2	48.5	1.5	8	46.15	12.7931	...	-4.80208	168	157.5	152.5	125	79.5	31.5	24
3	48.5	1.5	8	46.15	12.7931	...	-4.80208	168	157.5	152.5	125	79.5	31.5	24
1	48.5	1.5	10	56	12.7931	...	3.234583	168	157.5	152.5	68.5	162.5	174	155
2	48.5	1.5	10	56	12.7931	...	3.234583	168	157.5	152.5	68.5	162.5	174	155
3	48.5	1.5	10	56	12.7931	...	3.234583	168	157.5	152.5	68.5	162.5	174	155
1	48.5	1.5	12	45.45	18.0931	...	3.011667	192	189	189	94	173	186	151
2	48.5	1.5	12	33.33	5.9731	...	-9.10833	142	21	45	3	4	2	1
3	48.5	1.5	12	41.67	14.3131	...	-0.76833	185	182	171	54	111	103	84
1	48.5	2.5	6	40	12.7931	...	-5.24146	168	75	98.5	164.5	68.5	44	20
2	48.5	2.5	6	40	12.7931	...	-5.24146	168	75	98.5	164.5	68.5	44	20
3	48.5	2.5	6	40	12.7931	...	-5.24146	168	75	98.5	164.5	68.5	44	20
1	54.5	4.5	12	10.83	-13.2821	...	-0.3373	13.5	103.5	54.5	15.5	35.5	86.5	92.5
2	54.5	4.5	12	10.83	-13.2821	...	-0.3373	13.5	103.5	54.5	15.5	35.5	86.5	92.5
3	54.5	4.5	12	12.5	-11.6121	...	1.3327	43	180	86	48	74	136	129

Lampiran 8. Uji Asumsi

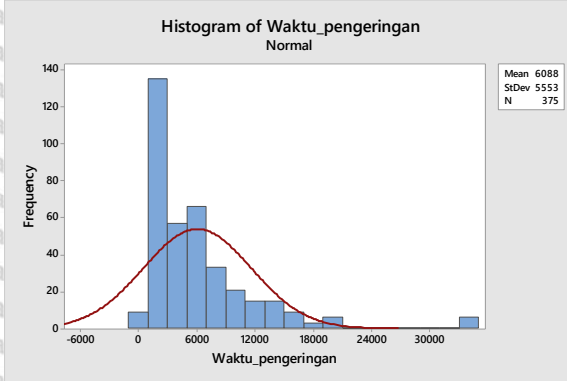
Statistika deskriptif Data 1

Descriptive Statistics: waktu_asli

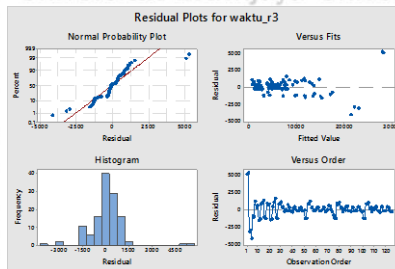
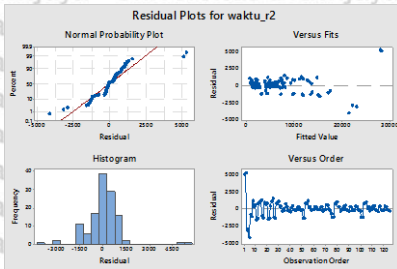
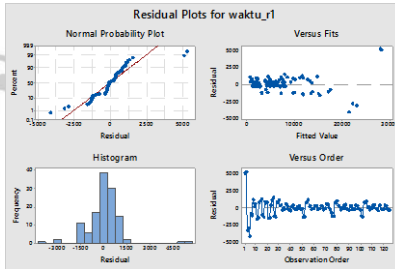
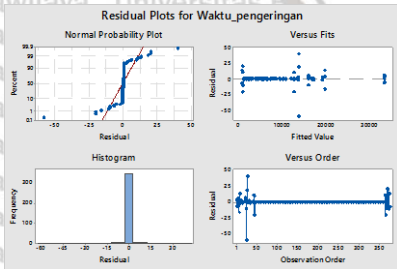
Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum	Skewness	Kurtosis
waktu_asli	375	0	6088	287	5553	870	4800	33300	2.33	7.68

Histogram Data 1

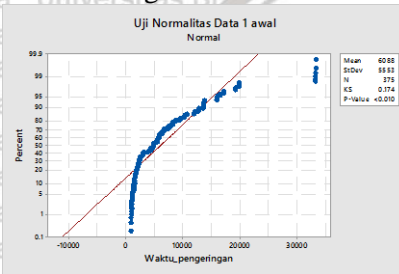


Plot Residual Data 1



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Data 1 Ulangan Penuh



Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.005
Levene	1.55	0.002

Runs Test: Waktu_pengeringan

Descriptive Statistics

N	K	Number of Observations	
		≤ K	> K
375	6088.38	246	129

K = sample mean

Test

Null hypothesis H₀: The order of the data is random
Alternative hypothesis H_a: The order of the data is not random

Number of Runs

Observed	Expected	P-Value
2	170.25	0.000

```
> m.lin=lm(waktu_pengeringan~X1+X2+X3, data=lama_kering)
> yhat=m.lin$fitted.values
> nonadd=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add=lm(waktu_pengeringan~X1+X2+X3+nonadd, data=lama_kering)
> anova(m.lin.add)
```

Analysis of variance Table

Response: waktu_pengeringan

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
X1	4	8605453106	2151363277	1172.504	< 2.2e-16	***
X2	4	761941023	190485256	103.815	< 2.2e-16	***
X3	4	85531010	21382752	11.654	6.535e-09	***
nonadd	1	1418421744	1418421744	773.047	< 2.2e-16	***
Residuals	361	662379333	1834846			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Pengecekan outlier

Outlier Test: waktu_asli

Method

Null hypothesis All data values come from the same normal population
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier
 Significance level $\alpha = 0.05$

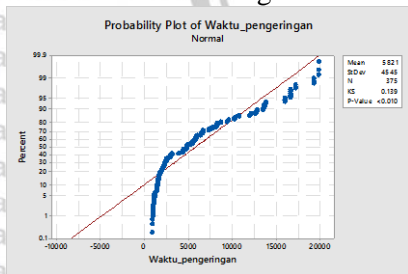
Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
waktu_asli	375	6088	5553	870	33300	4.90	0.000

Outlier

Variable	Row	Outlier
waktu_asli	3	33300

Data 1 Setelah Penanganan Outlier



Tests

Method	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	1.91	0.000

```
> m.lin1=lm(waktu_pengeringan~A+B+C, data=d1)
> yhat=m.lin1$fitted.values
> nonadd=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin1.add=lm(waktu_pengeringan~A+B+C+nonadd, data=d1)
> anova(m.lin1.add)
```

Analysis of variance table

Response: waktu_pengeringan

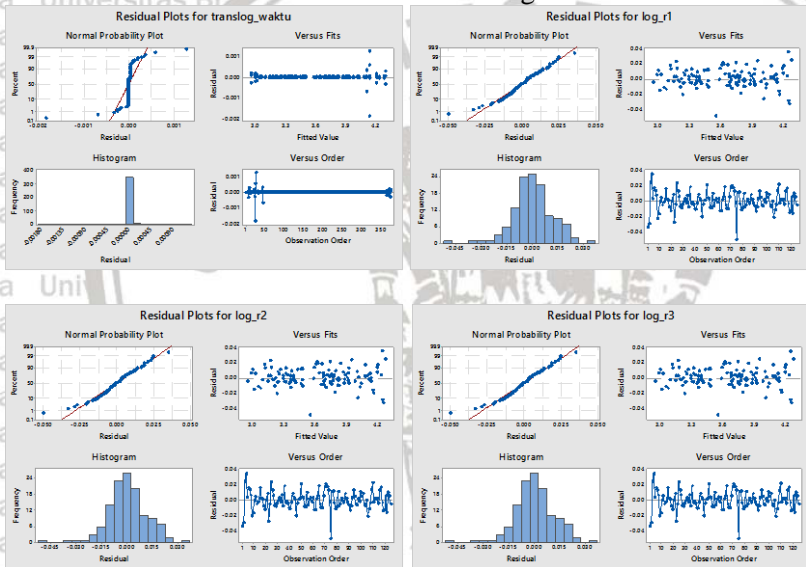
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
A	4	6953896505	1738474126	8713.566	< 2.2e-16 ***
B	4	358814524	89703631	449.612	< 2.2e-16 ***
C	4	13639211	3409803	17.091	7.562e-13 ***
nonadd	1	328932877	328932877	1648.675	< 2.2e-16 ***
Residuals	361	72024374	199514		

 signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

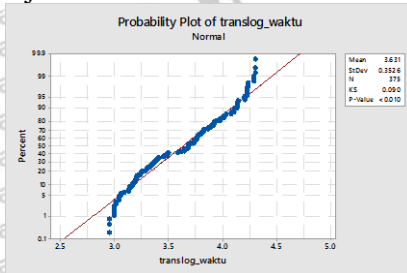


Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Plot residual Data 1 setelah transformasi Log



Uji Asumsi Data 1 Setelah Transformasi Log



Tests		
Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	1.85	0.000

Runs Test: Waktu_pengerangan, translog_waktu

Descriptive Statistics

Variable	N	Number of Observations		
		K	≤ K	> K
Waktu_pengerangan	375	5821.24	234	141
translog_waktu	375	3.63	162	213

K = sample mean

Test

Null hypothesis H_0 : The order of the data is random
 Alternative hypothesis H_1 : The order of the data is not random

Variable	Number of Runs		P-Value
	Observed	Expected	
Waktu_pengerangan	2	176.97	0.000
translog_waktu	2	185.03	0.000



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

```
> m.log=lm(log10(waktu_pengeringan)~X1+X2+X3, data=lama_kering)
> yhat=m.log$fitted.values
> nonadd=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.log.add=lm(log(waktu_pengeringan)~X1+X2+X3+nonadd, data=lama_kering)
> anova(m.log.add)
```

Analysis of variance Table

Response: log(waktu_pengeringan)

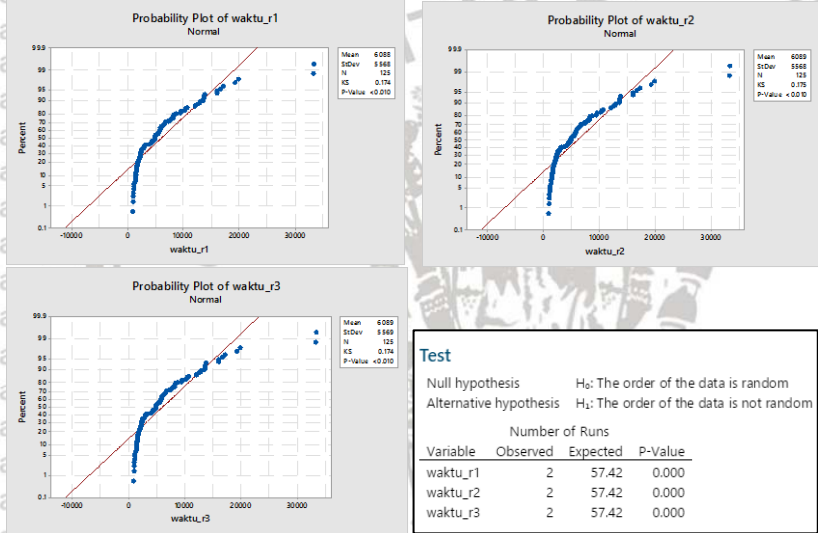
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
X1	4	245.421	61.355	7447.119	< 2.2e-16 ***
X2	4	11.507	2.877	349.166	< 2.2e-16 ***
X3	4	0.821	0.205	24.925	< 2.2e-16 ***
nonadd	1	0.360	0.360	43.701	1.378e-10 ***
Residuals	361	2.974	0.008		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Uji Asumsi Data 1 Ulangan Tunggal



Test for Equal Variances: waktu_r1 versus Pengurangan_kadar_air, Suhu

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	3.60	0.000

Test for Equal Variances: waktu_r1 versus ... kadar_air, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.002
Levene	1.85	0.018

Test for Equal Variances: waktu_r1 versus Suhu, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.980
Levene	0.41	0.992



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Test for Equal Variances: waktu_r2 versus ... gurangan_kadar_air, Suhu

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	3.62	0.000

Test for Equal Variances: waktu_r2 versus ... adar_air, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.002
Levene	1.86	0.018

Test for Equal Variances: waktu_r2 versus Suhu, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.980
Levene	0.41	0.992

Test for Equal Variances: waktu_r3 versus ... gurangan_kadar_air, Suhu

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	3.63	0.000

Test for Equal Variances: waktu_r3 versus ... adar_air, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.002
Levene	1.86	0.018

Test for Equal Variances: waktu_r3 versus Suhu, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.980
Levene	0.41	0.992



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

```
> yhat=m.lin.d1r1$fitted.values
> nonadd.r1=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add.r1=lm(waktu_r1~X1+X2+X3+nonadd.r1, data=d1r)
> anova(m.lin.add.r1)
```

Analysis of Variance Table

Response: waktu_r1

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
X1	4	2867702999	716925750	359.8082	< 2.2e-16	***
X2	4	253929021	63482255	31.8602	< 2.2e-16	***
X3	4	28592345	7148086	3.5875	0.008631	**
nonadd.r1	1	472635031	472635031	237.2044	< 2.2e-16	***
Residuals	111	221169967	1992522			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> #untuk r2#
> m.lin.d1r2=lm(waktu_r2~X1+X2+X3, data=d1r)
> yhat=m.lin.d1r2$fitted.values
> nonadd.r2=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add.r2=lm(waktu_r2~X1+X2+X3+nonadd.r2, data=d1r)
> anova(m.lin.add.r2)
```

Analysis of Variance Table

Response: waktu_r2

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
X1	4	2868847783	717211946	360.8802	< 2.2e-16	***
X2	4	253936247	63484062	31.9433	< 2.2e-16	***
X3	4	28419250	7104813	3.5749	0.008801	**
nonadd.r2	1	472647115	472647115	237.8223	< 2.2e-16	***
Residuals	111	220600953	1987396			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> #untuk r3#
> m.lin.d1r3=lm(waktu_r3~X1+X2+X3, data=d1r)
> yhat=m.lin.d1r3$fitted.values
> nonadd.r3=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add.r3=lm(waktu_r3~X1+X2+X3+nonadd.r3, data=d1r)
> anova(m.lin.add.r3)
```

Analysis of Variance Table

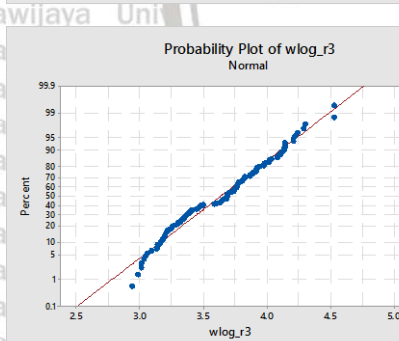
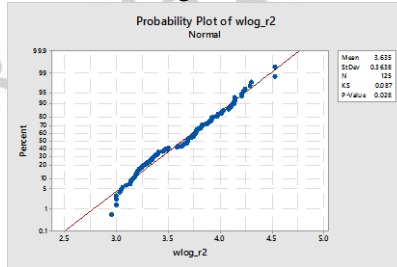
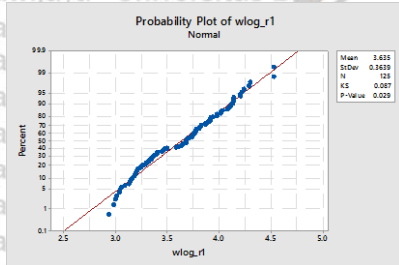
Response: waktu_r3

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
X1	4	2868902456	717225614	360.8774	< 2e-16	***
X2	4	254075938	63518985	31.9601	< 2e-16	***
X3	4	28519786	7129947	3.5875	0.00863	**
nonadd.r3	1	473140373	473140373	238.0641	< 2e-16	***
Residuals	111	220606890	1987449			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Data 1 Ulangan Tunggal Setelah Transformasi Log



Runs Test: wlog_r1, wlog_r2, wlog_r3

Descriptive Statistics

Variable	N	Number of Observations		
		≤ K	> K	
wlog_r1	125	3.63534	54	71
wlog_r2	125	3.63545	54	71
wlog_r3	125	3.63547	54	71

K = sample mean

Test

Null hypothesis H₀: The order of the data is random
Alternative hypothesis H_a: The order of the data is not random

Variable	Number of Runs		P-Value
	Observed	Expected	
wlog_r1	60	62.34	0.668
wlog_r2	60	62.34	0.668
wlog_r3	60	62.34	0.668

Test for Equal Variances: wlog_r1 versus Pengurangan_kadar_air, Suhu

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	2.74	0.000

Test for Equal Variances: wlog_r1 versus ... _kadar_air, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.926
Levene	0.71	0.836

Test for Equal Variances: wlog_r1 versus Suhu, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	1.000
Levene	0.03	1.000



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Test for Equal Variances: wlog_r2 versus Pengurangan_kadar_air, Suhu

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	2.74	0.000

Test for Equal Variances: wlog_r2 versus ... _kadar_air, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.926
Levene	0.70	0.839

Test for Equal Variances: wlog_r2 versus Suhu, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	1.000
Levene	0.03	1.000

Test for Equal Variances: wlog_r3 versus Pengurangan_kadar_air, Suhu

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	2.72	0.000

Test for Equal Variances: wlog_r3 versus ... _kadar_air, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.926
Levene	0.71	0.831

Test for Equal Variances: wlog_r3 versus Suhu, Kecepatan_udara

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	1.000
Levene	0.03	1.000



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

```
> #log r1#
> m.log.d1r1=lm(log10(waktu_r1)~X1+X2+X3, data=d1r)
> yhat=m.log.d1r1$fitted.values
> nonadd.r1=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.log.add.r1=lm(log10(waktu_r1)~X1+X2+X3+nonadd.r1, data=d1r)
> anova(m.log.add.r1)
Analysis of Variance Table

Response: log10(waktu_r1)
      Df Sum Sq Mean Sq  F value    Pr(>F)
X1      4 15.4359  3.8590 2276.1680 < 2.2e-16 ***
X2      4  0.7249  0.1812  106.8983 < 2.2e-16 ***
X3      4  0.0522  0.0130   7.6929 1.651e-05 ***
nonadd.r1 1  0.0220  0.0220  12.9846 0.0004716 ***
Residuals 111  0.1882  0.0017
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> #log r2#
> m.log.d1r2=lm(log10(waktu_r2)~X1+X2+X3, data=d1r)
> yhat=m.log.d1r2$fitted.values
> nonadd.r2=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.log.add.r2=lm(log10(waktu_r2)~X1+X2+X3+nonadd.r1, data=d1r)
> anova(m.log.add.r2)
Analysis of Variance Table

Response: log10(waktu_r2)
      Df Sum Sq Mean Sq  F value    Pr(>F)
X1      4 15.4283  3.8571 3298.124 < 2.2e-16 ***
X2      4  0.7230  0.1807  154.548 < 2.2e-16 ***
X3      4  0.0507  0.0127   10.837 1.876e-07 ***
nonadd.r1 1  0.0795  0.0795   67.960 3.715e-13 ***
Residuals 111  0.1298  0.0012
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> #log r3#
> m.log.d1r3=lm(log10(waktu_r3)~X1+X2+X3, data=d1r)
> yhat=m.log.d1r3$fitted.values
> nonadd.r3=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.log.add.r3=lm(log10(waktu_r3)~X1+X2+X3+nonadd.r3, data=d1r)
> anova(m.log.add.r3)
Analysis of Variance Table

Response: log10(waktu_r3)
      Df Sum Sq Mean Sq  F value    Pr(>F)
X1      4 15.4251  3.8563 2295.5253 < 2.2e-16 ***
X2      4  0.7224  0.1806  107.5105 < 2.2e-16 ***
X3      4  0.0521  0.0130   7.7501 1.518e-05 ***
nonadd.r3 1  0.0229  0.0229  13.6277 0.0003472 ***
Residuals 111  0.1865  0.0017
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

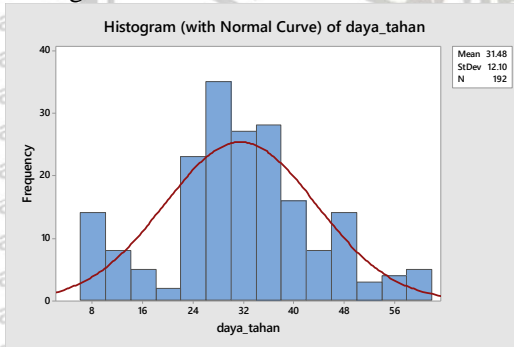
Statistika Deskriptif

Descriptive Statistics: daya_tahan

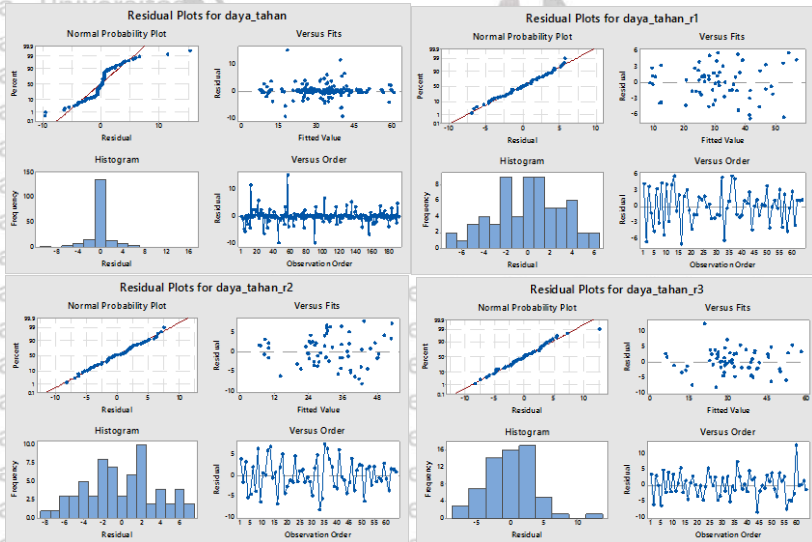
Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum	Skewness	Kurtosis
daya_tahan	192	0	31.484	0.873	12.098	7.690	31.340	61.640	0.02	0.05

Histogram Data 2



Plot Residual Data 2



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Runs Test: daya_tahan

Descriptive Statistics

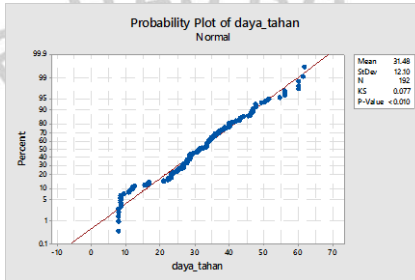
		Number of Observations	
N	K	≤ K	> K
192	31.4840	97	95

K = sample mean

Test

Null hypothesis H_0 : The order of the data is random
 Alternative hypothesis H_1 : The order of the data is not random

Number of Runs		
Observed	Expected	P-Value
24	96.99	0.000



Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	1.70	0.006

```
> yhat=m.lin$fitted.values
> nonadd=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add=lm(daya_tahan~ulangan+A+B+C+nonadd, data=d2)
> anova(m.lin.add)
```

Analysis of Variance Table

Response: daya_tahan

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
ulangan	2	35.6	17.8	0.4842	0.6170
A	3	16320.7	5440.2	147.8975	< 2.2e-16 ***
B	3	1296.5	432.2	11.7487	4.609e-07 ***
C	3	3716.8	1238.9	33.6813	< 2.2e-16 ***
nonadd	1	0.8	0.8	0.0213	0.8842
Residuals	179	6584.3	36.8		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Outlier Test: daya_tahan

Method

Null hypothesis All data values come from the same normal population
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier
 Significance level $\alpha = 0.05$

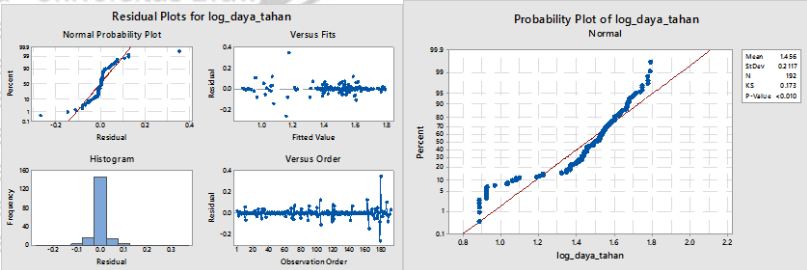
Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
daya_tahan	192	31.484	12.098	7.690	61.640	2.49	1.000

* NOTE * No outlier at the 5% level of significance



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)



Runs Test: log_daya_tahan

Descriptive Statistics

N	K	Number of Observations	
		$\leq K$	$> K$
192	1,45580	73	119

K = sample mean

Test

Null hypothesis H_0 : The order of the data is random
 Alternative hypothesis H_1 : The order of the data is not random

Number of Runs	P-Value	
	Observed	Expected
28	91.49	0.000

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	2.18	0.000

```
> yhat=m.log$fitted.values
> nonadd=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.log.add=lm(log10(daya_tahan)~A+B+C+nonadd, data=d2)
> anova(m.log.add)
```

Analysis of Variance Table

Response: log10(daya_tahan)

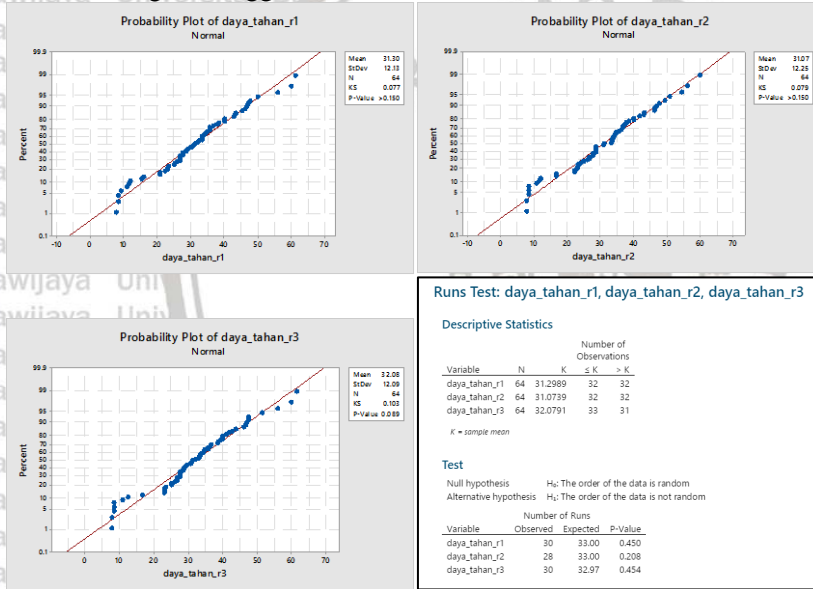
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
A	3	4.6501	1.55003	156.2065	< 2.2e-16	***
B	3	0.1510	0.05033	5.0724	0.00214	**
C	3	1.3884	0.46280	46.6389	< 2.2e-16	***
nonadd	1	0.5710	0.57099	57.5424	1.676e-12	***
Residuals	181	1.7961	0.00992			

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Data 2 Ulangan Tunggal



Test for Equal Variances: daya_tahan_r1 versus kadar_air, Kecepatan

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	20.72	0.146

Test for Equal Variances: daya_tahan_r1 versus kadar_air, Die_diameter

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	25.94	0.026

Test for Equal Variances: daya_tahan_r1 versus ... epatan, Die_diameter

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	13.42	0.570



Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

Test for Equal Variances: daya_tahan_r2 versus kadar_air, Kecepatan

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	9.81	0.832

Test for Equal Variances: daya_tahan_r2 versus kadar_air, Die_diameter

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	1.87	0.051

Test for Equal Variances: daya_tahan_r2 versus ... epatan, Die_diameter

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	10.23	0.805

Test for Equal Variances: daya_tahan_r3 versus kadar_air, Kecepatan

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	12.73	0.623

Test for Equal Variances: daya_tahan_r3 versus kadar_air, Die_diameter

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.000
Levene	2.95	0.002

Test for Equal Variances: daya_tahan_r3 versus ... epatan, Die_diameter

Tests

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Bartlett	9.18	0.868

Lampiran 8. Uji Asumsi (lanjutan)

```
> nonadd.r1=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add.d2r1=lm(daya_tahan_r1~A+B+C+nonadd.r1, data=d21r)
> anova(m.lin.add.d2r1)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: daya_tahan_r1
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
A       3  5518.8  1839.61  53.4527  4.815e-16 ***
B       3   650.5   216.84   6.3007  0.0009781 ***
C       3  1269.2   423.07  12.2931  3.228e-06 ***
nonadd.r1 1     0.0     0.03  0.0008  0.9781136
Residuals 53 1824.0    34.42
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> #r2#
> yhat=m.lin.d2r2$fitted.values
> nonadd.r2=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add.r2=lm(daya_tahan_r2~A+B+C+nonadd.r2, data=d21r)
> anova(m.lin.add.r2)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: daya_tahan_r2
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
A       3  5428.3  1809.42  42.4681  3.987e-14 ***
B       3   412.1   137.35   3.2237   0.02976 *
C       3  1336.2   445.41  10.4541  1.654e-05 ***
nonadd.r2 1    19.6    19.65   0.4611   0.50007
Residuals 53 2258.1    42.61
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> yhat=m.lin.d2r3$fitted.values
> nonadd.r3=(yhat^2)/(2*(mean(yhat)))
> m.lin.add.r3=lm(daya_tahan_r3~A+B+C+nonadd.r3, data=d21r)
> anova(m.lin.add.r3)
Analysis of Variance Table
```

```
Response: daya_tahan_r3
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
A       3  5405.6  1801.87  41.7958  5.359e-14 ***
B       3   291.7    97.22   2.2552   0.09262 .
C       3  1217.2   405.75   9.4117  4.364e-05 ***
nonadd.r3 1     2.7     2.73   0.0633   0.80232
Residuals 53 2284.9    43.11
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



Lampiran 9. Analisis Ragam Data 1 ART

General Linear Model: Yart_A versus ulangan, ... uhu, Kecepatan_udara

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	47	23	0.16	0.851
Pengurangan_kadar_air	4	4218750	1054687	7290.48	0.000
Suhu	4	191	48	0.33	0.858
Kecepatan_udara	4	25	6	0.04	0.996
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	463	29	0.20	1.000
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	444	28	0.19	1.000
Suhu*Kecepatan_udara	16	592	37	0.26	0.999
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	2024	32	0.22	1.000
Error	248	35877	144.6653		
Total	374	4258413			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12.0277	99.16%	98.73%	98.07%

General Linear Model: Yart_B versus ulangan, ... uhu, Kecepatan_udara

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	38	19	0.11	0.892
Pengurangan_kadar_air	4	360	90	0.54	0.709
Suhu	4	4218750	1054687	6283.87	0.000
Kecepatan_udara	4	39	10	0.06	0.994
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	540	34	0.20	1.000
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	519	32	0.19	1.000
Suhu*Kecepatan_udara	16	671	42	0.25	0.999
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	2322	36	0.22	1.000
Error	248	41624	168		
Total	374	4264864			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12.9553	99.02%	98.53%	97.77%



Lampiran 9. Analisis Ragam Data 1 ART (Lanjutan)

General Linear Model: Yart_C versus ulangan, ... uhu, Kecepatan_udara

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	46	23	0.13	0.876
Pengurangan_kadar_air	4	297	74	0.43	0.789
Suhu	4	169	42	0.24	0.913
Kecepatan_udara	4	4218750	1054687	6070.95	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	440	28	0.16	1.000
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	605	38	0.22	0.999
Suhu*Kecepatan_udara	16	733	46	0.26	0.998
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	2567	40	0.23	1.000
Error	248	43084	174		
Total	374	4266692			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
13.1806	98.99%	98.48%	97.69%

General Linear Model: Yart_AB versus ulangan, ... hu, Kecepatan_udara

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	2	1	0.19	0.830
Pengurangan_kadar_air	4	399156	99789	19320.39	0.000
Suhu	4	774900	193725	37507.57	0.000
Kecepatan_udara	4	4	1	0.20	0.937
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	3213024	200814	38880.09	0.000
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	18	1	0.21	1.000
Suhu*Kecepatan_udara	16	22	1	0.27	0.998
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	87	1	0.26	1.000
Error	248	1281	5		
Total	374	4388494			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.27265	99.97%	99.96%	99.93%



Lampiran 9. Analisis Ragam Data 1 ART (Lanjutan)

General Linear Model: Yart_AC versus ulangan, ... hu, Kecepatan_udara

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	10	5	0.25	0.780
Pengurangan_kadar_air	4	85392	21348	1103.27	0.000
Suhu	4	86	21	1.11	0.353
Kecepatan_udara	4	519132	129783	6707.25	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	253	16	0.82	0.665
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	3778476	236155	12204.59	0.000
Suhu*Kecepatan_udara	16	202	13	0.65	0.838
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	674	11	0.54	0.998
Error	248	4799	19		
Total	374	4389023			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.39883	99.89%	99.84%	99.75%

General Linear Model: Yart_BC versus ulangan, ... hu, Kecepatan_udara

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	7	3	0.22	0.800
Pengurangan_kadar_air	4	52	13	0.85	0.492
Suhu	4	89704	22426	1483.27	0.000
Kecepatan_udara	4	257538	64384	4258.42	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	108	7	0.45	0.968
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	111	7	0.46	0.964
Suhu*Kecepatan_udara	16	4037505	252344	16690.15	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	465	7	0.48	1.000
Error	248	3750	15		
Total	374	4389239			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.88836	99.91%	99.87%	99.80%



Lampiran 9. Analisis Ragam Data 1 ART (Lanjutan)

General Linear Model: Yart_ABC versus ulangan, ... u, Kecepatan_udara
 Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ulangan	2	6	3.1	0.90	0.409
Pengurangan_kadar_air	4	6192	1548.1	448.11	0.000
Suhu	4	19246	4811.5	1392.69	0.000
Kecepatan_udara	4	660	165.0	47.76	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	84196	5262.3	1523.17	0.000
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	591950	36996.9	10708.81	0.000
Suhu*Kecepatan_udara	16	681769	42610.6	12333.70	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu*Kecepatan_udara	64	3009397	47021.8	13610.55	0.000
Error	248	857	3.5		
Total	374	4394273			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.85871	99.98%	99.97%	99.96%



Lampiran 10. Analisis Ragam Data 1 Ulangan Tunggal

Log_waktu_R1

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Pengurangan_kadar_air	4	14.8090	3.70225	12922.18	0.000
Suhu	4	0.5932	0.14829	517.59	0.000
Kecepatan_udara	4	0.0285	0.00713	24.88	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	0.0414	0.00259	9.03	0.000
Pengurangan_kadar_air*	16	0.0035	0.00022	0.77	0.711
Kecepatan_udara					
Suhu*Kecepatan_udara	16	0.0062	0.00039	1.35	0.197
Error	64	0.0183	0.00029		
Total	124	15.5001			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0169264	99.88%	99.77%	99.55%

Log_Waktu_R2

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Pengurangan_kadar_air	4	14.8102	3.70255	13005.83	0.000
Suhu	4	0.5932	0.14829	520.90	0.000
Kecepatan_udara	4	0.0284	0.00711	24.98	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	0.0414	0.00259	9.08	0.000
Pengurangan_kadar_air*	16	0.0035	0.00022	0.77	0.712
Kecepatan_udara					
Suhu*Kecepatan_udara	16	0.0061	0.00038	1.35	0.197
Error	64	0.0182	0.00028		
Total	124	15.5011			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0168726	99.88%	99.77%	99.55%



Lampiran 10. Analisis Ragam Data 1 Ulangan Tunggal (Lanjutan)

Log_Waktu_R3

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Pengurangan_kadar_air	4	14.8093	3.70232	13024.37	0.000
Suhu	4	0.5931	0.14828	521.65	0.000
Kecepatan_udara	4	0.0285	0.00712	25.04	0.000
Pengurangan_kadar_air*Suhu	16	0.0414	0.00259	9.09	0.000
Pengurangan_kadar_air*Kecepatan_udara	16	0.0035	0.00022	0.77	0.712
Suhu*Kecepatan_udara	16	0.0061	0.00038	1.34	0.199
Error	64	0.0182	0.00028		
Total	124	15.5001			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0168601	99.88%	99.77%	99.55%

Lampiran 11. Analisis Ragam Data 2 ART

General Linear Model: Yart_A versus Ulangan, kadar_air, ... ie_diameter					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	2162	1081	2.62	0.077
kadar_air	3	528805	176268	427.65	0.000
Kecepatan	3	200	67	0.16	0.922
Die_diameter	3	156	52	0.13	0.944
kadar_air*Kecepatan	9	595	66	0.16	0.997
kadar_air*Die_diameter	9	431	48	0.12	0.999
Kecepatan*Die_diameter	9	1180	131	0.32	0.968
kadar_air*Kecepatan*Die_diameter	27	1645	61	0.15	1.000
Error	126	51935	412		
Total	191	587110			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
20.3023	91.15%	86.59%	79.46%		

General Linear Model: Yart_B versus Ulangan, kadar_air, ... ie_diameter					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	10258	5129	3.50	0.033
kadar_air	3	2223	741	0.51	0.679
Kecepatan	3	371173	123724	84.47	0.000
Die_diameter	3	613	204	0.14	0.936
kadar_air*Kecepatan	9	3225	358	0.24	0.987
kadar_air*Die_diameter	9	2502	278	0.19	0.995
Kecepatan*Die_diameter	9	1544	172	0.12	0.999
kadar_air*Kecepatan*Die_diameter	27	9905	367	0.25	1.000
Error	126	184550	1465		
Total	191	585994			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
38.2712	68.51%	52.26%	26.87%		



Lampiran 11. Analisis Ragam Data 2 ART (Lanjutan)

General Linear Model: Yart_C versus Ulangan, kadar_air, ... ie_diameter

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	4294	2147	2.15	0.121
kadar_air	3	495	165	0.17	0.920
Kecepatan	3	181	60	0.06	0.981
Die_diameter	3	448512	149504	149.74	0.000
kadar_air*Kecepatan	9	2311	257	0.26	0.984
kadar_air*Die_diameter	9	661	73	0.07	1.000
Kecepatan*Die_diameter	9	2107	234	0.23	0.989
kadar_air*Kecepatan* Die_diameter	27	2741	102	0.10	1.000
Error	126	125804	998		
Total	191	587105			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
31.5982	78.57%	67.52%	50.24%

General Linear Model: Yart_AB versus Ulangan, kadar_air, ... _diameter

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	6484	3241.9	2.74	0.069
kadar_air	3	2460	819.8	0.69	0.558
Kecepatan	3	5809	1936.2	1.63	0.185
Die_diameter	3	750	250.0	0.21	0.889
kadar_air*Kecepatan	9	403544	44838.2	37.85	0.000
kadar_air*Die_diameter	9	3660	406.7	0.34	0.959
Kecepatan*Die_diameter	9	4425	491.7	0.42	0.925
kadar_air*Kecepatan* Die_diameter	27	13056	483.6	0.41	0.996
Error	126	149249	1184.5		
Total	191	589436			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
34.4168	74.68%	61.62%	41.21%



Lampiran 11. Analisis Ragam Data 2 ART (Lanjutan)

General Linear Model: Yart_AC versus Ulangan, kadar_air, ... _diameter					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	7873	3936.6	2.57	0.081
kadar_air	3	149	49.8	0.03	0.992
Kecepatan	3	436	145.3	0.09	0.963
Die_diameter	3	6401	2133.5	1.39	0.248
kadar_air*Kecepatan	9	3272	363.6	0.24	0.988
kadar_air*Die_diameter	9	366968	40774.2	26.59	0.000
Kecepatan*Die_diameter	9	4013	445.8	0.29	0.976
kadar_air*Kecepatan* Die_diameter	27	7268	269.2	0.18	1.000
Error	126	193189	1533.2		
Total	191	589568			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
39.1567	67.23%	50.33%	23.91%		
General Linear Model: Yart_BC versus Ulangan, kadar_air, ... _diameter					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	8711	4355.5	1.92	0.150
kadar_air	3	1261	420.5	0.19	0.906
Kecepatan	3	86	28.7	0.01	0.998
Die_diameter	3	519	172.9	0.08	0.973
kadar_air*Kecepatan	9	4932	548.0	0.24	0.988
kadar_air*Die_diameter	9	4888	543.1	0.24	0.988
Kecepatan*Die_diameter	9	269485	29942.8	13.22	0.000
kadar_air*Kecepatan* Die_diameter	27	14258	528.1	0.23	1.000
Error	126	285324	2264.5		
Total	191	589465			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
47.5865	51.60%	26.63%	0.00%		



Lampiran 11. Analisis Ragam Data 2 ART (Lanjutan)

General Linear Model: Yart_ABC versus Ulangan, ... atan, Die_diameter
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ulangan	2	5233	2616.7	2.22	0.112
kadar_air	3	1108	369.5	0.31	0.815
Kecepatan	3	259	86.5	0.07	0.974
Die_diameter	3	1513	504.3	0.43	0.733
kadar_air*Kecepatan	9	5499	610.9	0.52	0.858
kadar_air*Die_diameter	9	4435	492.8	0.42	0.923
Kecepatan*Die_diameter	9	5882	653.6	0.56	0.831
kadar_air*Kecepatan* Die_diameter	27	417600	15466.7	13.15	0.000
Error	126	148217	1176.3		
Total	191	589747			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
34.2976	74.87%	61.90%	41.64%



Lampiran 12. Analisis Ragam Data 2 Ulangan Tunggal

Analysis of Variance daya_tahan_r1

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	P-Value
kadar_air	3	5518.8	1839.61	78.56	<0.001
Kecepatan	3	650.5	216.84	9.26	<0.001
Die_diameter	3	1269.2	423.07	18.07	<0.001
kadar_air*Kecepatan	9	698.8	77.64	3.32	<0.001
kadar_air*Die_diameter	9	366.1	40.68	1.74	0.129
Kecepatan*Die_diameter	9	126.9	14.10	0.60	0.784
Error	27	632.3	23.42		
Total	63	9262.6			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.83917	93.17%	84.07%	61.65%

Analysis of Variance daya_tahan_r2

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	P-Value
kadar_air	3	5428.3	1809.42	55.64	<0.001
Kecepatan	3	412.1	137.35	4.22	0.014
Die_diameter	3	1336.2	445.41	13.70	<0.001
kadar_air*Kecepatan	9	553.7	61.53	1.89	0.097
kadar_air*Die_diameter	9	610.6	67.85	2.09	0.068
Kecepatan*Die_diameter	9	235.4	26.15	0.80	0.616
Error	27	878.0	32.52		
Total	63	9454.3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.70257	90.71%	78.33%	47.82%

Lampiran 12. Analisis Ragam Data 2 Ulangan Tunggal (Lanjutan)

Analysis of Variance *daya_tahan_r3*

Sumber Keragaman	DB	JK	KT	F Hitung	P-Value
kadar_air	3	5405.6	1801.87	54.36	<0.001
Kecepatan	3	291.7	97.22	2.93	0.051
Die_diameter	3	1217.2	405.75	12.24	<0.001
kadar_air*Kecepatan	9	755.5	83.94	2.53	0.030
kadar_air*Die_diameter	9	499.0	55.44	1.67	0.145
Kecepatan*Die_diameter	9	138.3	15.36	0.46	0.886
Error	27	894.9	33.14		
Total	63	9202.1			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.75715	90.27%	77.31%	45.36%



Lampiran 13. R code ARTool

#DATA 1#

```
d1=read.csv("E:/apps/ARTool/ARToolExe/Data1.csv", sep=";", header=T)
head(d1)
A=factor(d1$Pengurangan_kadar_air)
B=factor(d1$Suhu)
C=factor(d1$Kecepatan_udara)
ulangan=factor(d1$Unit)
```

```
m.art=art(Waktu_pengeringan~A*B*C+(1|ulangan),
data=d1)
anova(m.art)
```

#DATA 2#

```
d2=read.csv("E:/apps/ARTool/ARToolExe/Data2.csv", sep=";", header=T)
head(d2)
A=factor(d2$kadar_air)
B=factor(d2$Kecepatan)
C=factor(d2$Die_diameter)
ulangan=factor(d2$Ulangan)
```

```
m2.art=art(daya_tahan~A*B*C+(1|ulangan),
data=d2)
anova(m2.art)
```



Lampiran 14. Output R

Analysis of Variance of Aligned Rank Transformed Data

Table Type: Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)

Model: Mixed Effects (1mer)

Response: art(waktu_pengerinan)

	F	Df	Df.res	Pr(>F)
1 X1	7339.7	4	248	< 2.22e-16 ***
2 X2	6328.7	4	248	< 2.22e-16 ***
3 X3	6113.4	4	248	< 2.22e-16 ***
4 X1:X2	39134.9	16	248	< 2.22e-16 ***
5 X1:X3	12278.4	16	248	< 2.22e-16 ***
6 X2:X3	16794.6	16	248	< 2.22e-16 ***
7 X1:X2:X3	13621.6	64	248	< 2.22e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> m2.art=art(daya_tahan~A*B*C+(1|ulangan), data=d2)
> anova(m2.art)
```

Analysis of Variance of Aligned Rank Transformed Data

Table Type: Analysis of Deviance Table (Type III Wald F tests with Kenward-Roger df)

Model: Mixed Effects (1mer)

Response: art(daya_tahan)

	F	Df	Df.res	Pr(>F)
1 A	427.646	3	126	< 2.22e-16 ***
2 B	84.472	3	126	< 2.22e-16 ***
3 C	149.736	3	126	< 2.22e-16 ***
4 A:B	37.854	9	126	< 2.22e-16 ***
5 A:C	26.593	9	126	< 2.22e-16 ***
6 B:C	13.223	9	126	1.0431e-14 ***
7 A:B:C	13.148	27	126	< 2.22e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1