

ISBN : 979-99031-1-4

Prof. Dr. Ir. Sabam Malau

Perancangan Percobaan

Penerbit :
Universitas HKBP Nommensen
Fakutas Pertanian
Prodi Agroekoteknologi
Medan
16 Agustus 2023 (Edisi 6)

Perancangan Percobaan

Prof. Dr. Ir. Sabam Malau

*Dosen Tetap Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian
Universitas HKBP Nommensen
Medan*

**Penerbit :
Universitas HKBP Nommensen
Medan
16 Agustus 2023 (Edisi 6)**

Sabam Malau : "Perancangan Percobaan"

Sekilas Tentang Penulis

Setelah tamat pada tahun 1983 (Angkatan 16, S1) dari Jurusan Budi Daya Pertanian (Agronomi) Fakultas Pertanian *Institut Pertanian Bogor* (IPB), penulis memperoleh gelar Doktor (S3) tahun 1990 dalam bidang Pemuliaan Tanaman (*plant breeding*) sebagai *major*, dan Kimia Pertanian serta Pertanian Tropis dan Subtropis sebagai *minor*, dari *Georg-August Universität* Göttingen (Jerman).

Penulis pernah mempublikasikan hasil-hasil penelitiannya pada jurnal ilmiah dan majalah ilmiah. Selain buku ini, ia juga menulis buku *Biometrika Genetika dalam Pemuliaan Tanaman*.

Sejak tahun 1984 hingga sekarang, penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas HKBP Nommensen, Medan. Pada program S1, ia mengajar *Perancangan Percobaan, Pemuliaan Tanaman, Agronomi Tanaman Perkebunan Utama, Logika dan Filsafat*, dan *Metode Ilmiah*. Pada Program Magister Manajemen (S2) Universitas HKBP Nommensen, ia mengajar *Filsafat Ilmu*.

Penulis dilahirkan di Sidikalang, Kabupaten Dairi Sumatera Utara, pada tanggal 16 September 1959. Ia bersama dengan *Ir. Maria Rumondang Sihotang, MSi* dikaruniai dua anak.

Sabam Malau : "Perancangan Percobaan"

Kupersembahkan untuk

Putraku tercinta :

David Halomoan Malau, ST, MSi

Dan Putriku terkasih:

Sola Gratia Malau, ST

yang menyatakan rasa bangganya atas penerbitan buku ini diterbitkan, dan yang cemberut bahkan kadang menangis ketika mereka terpaksa dijauhkan ibunya dari sampingku ketika aku mengetik naskah buku ini,

Istriku tersayang :

Ir. Maria Rumondang Sihotang, MSi

yang telah memberikan semangat kepadaku untuk menyelesaikan buku ini,

Mantan promotorku yang kukagumi :

*Prof. Dr. Dr. (h.c.) G. Röbbelen
(Georg-August University, Göttingen, Jerman)*

yang berujar kepadaku di kamar kerjaku di perkantoran dosen Universitas HKBP Nommensen (UHN) saat beliau berkunjung ke UHN tahun 1990 : *"Herr Malau, schreiben Sie Bücher!"* ("Pak Malau, tulislah buku!").

Sabam Malau : "Perancangan Percobaan"

Kata Pengantar

Saya telah berusaha sekuat tenaga agar buku ini memuat tidak hanya berbagai teori tetapi juga aspek praktis dari perancangan percobaan. Dengan cara tersebut saya berharap perancangan percobaan terasa lebih hidup dan bermakna. Sebagai dosen pembimbing skripsi, pengasuh mata kuliah Perancangan Percobaan serta Metoda Ilmiah/Penelitian, saya sering mendeteksi kesulitan mahasiswa dalam merencanakan suatu percobaan. Mereka bahkan mengalami kesulitan yang lebih besar untuk menginterpretasi hasil sidik ragam. Mereka berharap ada buku perancangan percobaan yang secara singkat memadukan teori, gagasan dasar dan langkah praktis perancangan percobaan. Untuk itulah buku ini saya tulis.

Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak, khususnya kepada Bapak *Ir. Lie Jit Hoat* yang telah memberikan komentar konstruktif terhadap edisi pertama (Edisi I) yang diterbitkan tahun 2002. Dari mahasiswa pun saya memperoleh dorongan agar buku ini diterbitkan dengan jangkauan konsumen yang lebih luas.

Pro Deo et Patria

Medan, 16 Agustus 2023
Penulis,

Prof. Dr. Ir. Sabam Malau

Sabam Malau : "Perancangan Percobaan"

Kata Sambutan

Salah satu tugas dosen yang termaktup dalam Tri Dharma Perguruan Tinggi adalah melakukan pendidikan. Proses pembelajaran dapat dilakukan dengan baik apabila tersedia bahan bacaan. Oleh karena itu, saya sangat menyambut dan menghargai upaya dari Sdr. *Dr. Ir. Sabam Malau* yang menulis buku *Perancangan Percobaan* ini. Saya percaya, dengan penyajian yang lebih sederhana dan sistematis, buku ini akan sangat bermanfaat bukan saja bagi mahasiswa tetapi juga bagi berbagai pihak yang akan melakukan percobaan.

Saya berharap akan terbit buku-buku lainnya dari beliau di masa mendatang.

Medan, September 2005

Universitas HKBP Nommensen,
Rektor,

Ir. Patar M. Pasaribu, Dipl. Trop.

Daftar Isi

Kupersembahkan Untuk

Kata Pengantar

Kata Sambutan

Daftar Isi

I. Landasan Umum Perancangan Percobaan 1

1.1. Pengertian 1

1.2. Prosedur 2

II. Metoda Umum untuk Analisis 8

2.1. Model Matematik 10

2.2. Sidik Ragam 11

III. Rancangan Untuk Percobaan Non-faktorial 22

3.1. Rancangan Acak Lengkap Non Faktorial 23

3.1.1. Model Matematik 25

3.1.2. Hipotesis 25

3.1.3. Tahapan Pelaksanaan 26

3.1.3.1. Pengacakan dan Penataan 26

*3.1.3.2. Penyediaan Tabel Pengamatan dan Tabel Sidik Ragam
31*

3.1.3.3. Pembuatan Sidik Ragam 33

3.2. Rancangan Acak Kelompok Non Faktorial 40

3.2.1. Model Matematik RAKNF 41

3.2.2. Hipotesis 41

3.2.3. Tahapan Pelaksanaan 41

3.2.3.1. Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan 41

*3.2.3.2. Penyiapan tabel pengamatan dan tabel sisik ragam
45*

3.2.3.3. Pembuatan Sidik Ragam	48
3.3. Rancangan Bujur Sangkar Non Faktorial	55
3.3.1. Model Matematik RBSNF	58
3.3.2. Hipotesis	59
3.3.3. Tahapan Pelaksanaan	60
3.3.3.1. Pengelompokan, penataan dan pengacakan	60
3.3.3.2. Penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam	66
3.3.3.3. Pembuatan Sidik Ragam	70

IV. Rancangan Untuk Percobaan Faktorial 78

4.1. Pengertian	78
4.2. Rancangan Acak Kelompok	85
4.2.1. Model Matematik	85
4.2.2. Hipotesis	86
4.2.3. Tahapan Pelaksanaan	88
4.2.3.1. Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan	89
4.2.3.2. Penyediaan Tabel Pengamatan dan Tabel Sidik Ragam	92
4.2.3.3. Pembuatan Sidik Ragam	95
4.2.3.4. Interpretasi terhadap Sidik Ragam dan Uji Lanjutan	105
4.3. Rancangan Petak Terbagi	110
4.3.1. Model Matematik	112
4.3.2. Hipotesis	113
4.3.3. Tahapan Pelaksanaan	114
4.3.3.1. Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan	114
4.3.3.2. Penyediaan Tabel-tabel Pengamatan dan Tabel Sidik Ragam	116
4.3.3.3. Pembuatan Sidik Ragam	119

V. Uji Beda Antarrataan 130

5.1. Uji Beda Nyata Terkecil	131
------------------------------	-----

5.1.1. Pada Percobaan Non-faktorial	131
5.1.2. Uji BNT pada Percobaan Faktorial	141
5.1.2.1. Uji BNT pada Percobaan Faktorial dengan RKL	141
5.1.2.2. Uji BNT pada Percobaan Faktorial dengan RPT	150
5.2. Uji Duncan	159
5.2.1. Uji Duncan Pada Percobaan Non-faktorial	159
5.2.2. Uji Duncan Pada Percobaan Faktorial	169
5.3. Uji Kecenderungan	169
5.3.1. Uji Kecenderungan Pada Percobaan Non Faktorial	171
5.3.2. Uji Kecenderungan pada Percobaan Faktorial	176
Daftar Pustaka	189
Tabel Lampiran	190
Index Subjek	197
<i>Sekilas Tentang Penulis</i>	<i>(Sampul Belakang)</i>

I. Landasan Umum Perancangan Percobaan

1.1. Pengertian

Perancangan percobaan (*experimental design*) adalah serangkaian kegiatan yang terencana, bertahap dan terdefinisikan dengan memberikan perlakuan pada satuan percobaan untuk menjawab permasalahan yang diteliti melalui pengujian hipotesis yang menggunakan analisis statistik.

Antara perlakuan dengan satuan percobaan terdapat hubungan sebab-akibat. Perlakuan sebagai "sebab" menghasilkan "akibat" pada satuan percobaan. Terjadinya suatu akibat karena sesuatu sebab harus dapat diterangkan dengan logika ilmiah yang benar. Satuan percobaan (*experimental unit*) atau petak percobaan (*experimental plot*) adalah satuan bahan tempat percobaan diterapkan. Satuan percobaan antara lain lahan (tanah), tanaman, hewan atau bahan-bahan (produk). Perlakuan (*treatment*) adalah prosedur atau bahan yang akan diukur pengaruhnya.

Sebagai ilustrasi adalah sebagai berikut. Secara **teori**, unsur Nitrogen sangat penting bagi tanaman, yakni sebagai unsur utama klorofil yang dalam proses fotosintesis menghasilkan karbohidrat. Karbohidrat dibutuhkan tanaman dalam pembentukan organ-organ vegetatif dan generatif. Dengan demikian, tanaman harus menyerap Nitrogen dalam jumlah tertentu untuk memperoleh tingkat pertumbuhan dan produksi yang maksimal. Oleh karena itu, agar tanaman dapat menghasilkan produksi maksimal pada lahan yang kekurangan Nitrogen maka lahan tersebut perlu dipupuk dengan Nitrogen sebanyak yang dibutuhkan. Pertanyaan sekarang adalah :

- (1) apakah betul produksi lebih tinggi pada lahan yang diberikan Nitrogen dibandingkan produksi pada lahan yang tidak diberikan Nitrogen? dan
- (2) berapa banyakkah Nitrogen yang harus diberikan pada lahan tersebut agar produksinya maksimal?

1.2. Prosedur

Setelah suatu hipotesis disusun [termasuk kisaran (*range*) dosis perlakuan], maka tahap berikutnya adalah merancang (*design*) suatu prosedur untuk menjawab pertanyaan tersebut. Menurut Gomez dan Gomez (1984), suatu prosedur yang bersifat percobaan (*experimental procedure*) umumnya mengandung empat tahapan :

- (1) menyeleksi material-tanaman yang tepat untuk dicobakan
- (2) menetapkan karakter-karakter (fenotipe-fenotipe) tanaman untuk diukur
- (3) menyeleksi prosedur untuk mengukur karakter-karakter tersebut
- (4) menetapkan prosedur untuk menentukan (*determine*) apakah pengukuran-pengukuran yang dibuat tersebut mendukung hipotesis.

Pada umumnya, melakukan tahap 1 dan 2 tersebut relatif mudah. Pada ilustrasi tentang Nitrogen di atas, material-tanaman yang tepat (tampaknya) adalah varietas yang tingkat produksinya relatif sangat tinggi dibandingkan varietas lain. Tujuannya adalah agar pengaruh perbedaan dosis Nitrogen

terekspresikan dalam perbedaan produksi yang relatif terukur atau nyata (signifikan). Karakter tanaman yang diukur sebaiknya karakter produksi dan karakter pertumbuhan. Disamping produksi (kg/ha), perlu juga diukur komponen produksi (misalnya jumlah tongkol/tanaman, jumlah biji/tongkol, bobot 1000 biji) agar perbedaan dalam produksi dapat dijelaskan apakah disebabkan, misalnya, oleh perbedaan jumlah tongkol/tanaman, ataukah diakibatkan oleh perbedaan jumlah biji/tongkol, ataukah dihasilkan oleh perbedaan dalam bobot 1000 biji. Perlu juga diukur karakter lain yang menggambarkan pertumbuhan yang dapat dikaitkan dengan produksi, misalnya, total luas daun yang berkaitan dengan fotosintesis. Karakter ini diharapkan dapat menjelaskan apakah perbedaan produksi antar taraf perlakuan disebabkan oleh perbedaan dalam fotosintesis total (yang diduga melalui perbedaan total luas daun tanaman).

Fase 3 dan 4 tergantung pada teknik yang dikembangkan oleh ahli statistik. Kedua tugas tersebut umumnya tergantung pada pendefinisian suatu perancangan percobaan (*design of an experiment*). Sehubungan dengan pemilihan prosedur untuk pengukuran karakter-karakter serta pemilihan prosedur untuk pengujian hipotesis, perancangan percobaan mempunyai tiga komponen esensial, yakni (1) pendugaan galat (*estimate of error*), (2) pengendalian galat (*control of error*) dan (3) interpretasi yang tepat terhadap hasil (*proper interpretation of results*).

Pendugaan Galat

Sehubungan dengan ilustrasi mengenai hubungan antara pemberian Nitrogen dengan pertumbuhan dan produksi di atas, beberapa pertanyaan dapat muncul, misalnya, berkaitan dengan perbedaan dosis Nitrogen yang diberikan pada suatu jenis varietas : *Apakah dosis Nitrogen yang berbeda akan menghasilkan produksi yang berbeda pada satu varietas tanaman.* Untuk menjawab pertanyaan ini dilakukan penelitian dengan menanam satu varietas yang sama (misalnya jagung Varietas Arjuna) pada dua petakan (*plot*) yang berdampingan dengan ukuran (dan luas) yang sama. Kedua petakan tersebut diberikan Nitrogen dengan dosis yang berbeda, misalnya petak pertama tidak diberikan Nitrogen (0 kg/ha) dan petak kedua diberikan Nitrogen (300 kg/ha). Disini diasumsikan bahwa perbedaan produksi antar petakan semata-mata disebabkan oleh perbedaan dosis Nitrogen yang diberikan. **Asumsi ini tentu saja tidak benar**, sebab kedua petak tersebut mungkin juga berbeda dalam beberapa faktor yang turut menentukan tingkat produksi tanaman seperti kelembaban, kesuburan tanah serta tingkat serangan hama dan penyakit.

Seorang peneliti harus mampu menetapkan suatu prosedur yang dapat **memisahkan** (*separate*) pengaruh perlakuan (perbedaan dosis Nitrogen) dari pengaruh faktor-faktor lain terhadap produksi. Pengaruh faktor-faktor lain tersebut disebut **galat** (*experimental error*). Galat adalah dasar utama (*primary basis*) bagi penetapan apakah suatu perbedaan observasi adalah nyata (*real; karena pengaruh perlakuan*) atau hanya karena kebetulan (*due to chance; karena pengaruh diluar faktor perlakuan*). Oleh karena itu, setiap percobaan harus mempunyai suatu pengukuran terhadap galat, tetapi galat

tersebut perlu diupayakan relatif kecil (meskipun tidak mungkin nol) dibandingkan dengan rata-rata umum pengamatan.

Ulangan (replikasi) diperlukan untuk dapat menentukan besarnya galat. Pada setiap percobaan harus terdapat setidaknya dua petakan yang memperoleh perlakuan yang sama (artinya 2 ulangan). Berkaitan dengan ilustrasi di atas, haruslah terdapat dua petakan yang memperoleh perlakuan dengan dosis 0 kg N/ha dan dua petakan yang diberikan perlakuan 300 kg N/ha (lihat Bagan 1.1).

Ulangan I (Kelompok)

Ulangan II (Kelompok)

0 kg N/ha	300 kg N/ha
300 kg N/ha	0 kg N/ha

Bagan 1.1. Perlakuan dengan dua taraf N dengan dua ulangan

Jumlah ulangan tergantung pada jumlah perlakuan, jenis perlakuan, taraf akurat (ketelitian), kecukupan dana penelitian dan tempat percobaan (laboratorium atau lapangan). Bila percobaan di laboratorium, biasanya cukup 3 ulangan, di lapangan cukup 3 ulangan (4 ulangan bila dana tersedia). Secara umum, jumlah ulangan r dapat dikaitkan dengan jumlah perlakuan t dalam rumus $(t - 1)(r - 1) \geq 15$.

Pengacakan (Randomisasi) adalah tindakan penempatan perlakuan sehingga setiap perlakuan mendapat kesempatan yang sama untuk ditempatkan pada suatu petakan. Tujuannya adalah agar suatu perlakuan tidak dengan sengaja diuntungkan dengan merugikan perlakuan lainnya. Misalnya, bila varietas A dengan sengaja ditempatkan pada petakan yang subur, dan varietas B ditempatkan pada petakan yang tidak subur, maka tingginya produksi varietas A dibandingkan varietas B belum tentu diakibatkan keunggulan varietas A tetapi bisa saja semata-mata disebabkan perbedaan tingkat kesuburan tanahnya.

Pengendalian Galat

Seperti yang telah dikemukakan terdahulu galat harus diupayakan sekecil mungkin agar perbedaan pengaruh antar perlakuan semakin dapat dideteksi. Dengan demikian, pengendalian galat sangat penting dilakukan. Hal ini dapat dilakukan dengan tiga teknik yaitu teknik pengelompokan, teknik penanganan petak dan analisis data.

Melalui teknik pengelompokan, satuan-satuan percobaan yang serupa/mirip dikelompokkan kedalam satu kelompok yang sama. Oleh karena itu, variasi dalam lahan percobaan dapat dihitung dan sekaligus dipisahkan dari variasi total. Berdasarkan teknik pengelompokan dikembangkan atau dikenal berbagai rancangan percobaan seperti Rancangan Acak Lengkap, Rancangan Acak Kelompok, Rancangan Bujur Sangkar Latin dan lain sebagainya.

Pada teknik penanganan petak lebih ditekankan pada penciptaan lingkungan yang relatif homogen antar petak dalam satu kelompok dan antar tanaman dalam petak. Hal ini terkait dengan berbagai faktor, misalnya ukuran dan bentuk petak, ukuran dan bentuk kelompok dan jumlah kelompok.

Melalui analisis data dapat diminimalkan galat. Apabila teknik pengelompokan belum dapat meminimalkan galat, maka dapat dilakukan, misalnya, analisis Kovarians. Melalui analisis tersebut, nilai pengamatan disesuaikan (*adjusted*).

Interpretasi Hasil

Hasil suatu percobaan harus diinterpretasikan dalam konteks waktu, musim dan jenis lahan percobaan. Sering dikeluhkan adanya perbedaan yang besar antara hasil percobaan dengan terapannya di lapang (di tingkat petani). Hal ini barangkali terletak pada berbagai faktor, misalnya, pemeliharaan pada waktu percobaan biasanya intensif. Waktu tanam dan jenis tanah dapat juga menyebabkan perbedaan hasil yang diperoleh peneliti dan petani. Oleh karena itu, penerapan hasil percobaan perlu mempertimbangkan kesepadanan waktu, lokasi dan musim dari percobaan dan penerapan hasil percobaan. Untuk mengurangi kesenjangan antara hasil percobaan dan penerapan di tingkat petani, percobaan biasanya dilakukan di berbagai tempat pada berbagai musim (tahun).

II. Metoda Umum untuk Analisis

Sebuah nilai pengamatan bisa dipengaruhi oleh berbagai faktor. Perubahan pada faktor-faktor dapat merubah nilai pengamatan. Dengan kata lain, keragaman nilai pengamatan dipengaruhi oleh keragaman faktor-faktor. Hubungan antar nilai pengamatan dengan faktor-faktor tersebut dapat dinyatakan dalam sebuah model matematik. Penyidikan terhadap sumber-sumber keragaman suatu nilai pengamatan adalah proses yang sangat penting dalam perancangan percobaan. Melalui sidik ragam dapat ditentukan peranan suatu faktor terhadap nilai pengamatan.

Misalkan, sebuah percobaan tentang pengaruh Nitrogen (N) yang diberikan pada dua kelompok menunjukkan bahwa Varietas Arjuna yang diberikan Nitrogen dengan dosis 0 kg N/ha mempunyai produksi biji (pipilan) kering 6 t/ha pada Kelompok I dan 6,2 t/ha pada Kelompok II. Pada perlakuan dengan 300 kg N/ha diperoleh produksi biji kering 9 t/ha pada Kelompok I dan 9,6 t/ha pada Kelompok II (Lihat Bagan 2.1). Pada percobaan tersebut rata-rata umum produksi Varietas Arjuna adalah $(6 + 9 + 9,6 + 6,2)/4 = 7,7$ t/ha.

Kelompok I	Kelompok II
0 kg N/ha 6 t/ha	300 kg N/ha 9,6 t/h
300 kg N/ha 9 t/ha	0 kg N/ha 6,2 t/ha

Bagan 2.1. Produksi Biji Jagung Varietas Arjuna yang dipupuk dengan N pada Kelompok I dan II (dalam kasus ini, kelompok berfungsi juga sebagai ulangan)

Perhatikanlah bahwa setiap nilai pengamatan menyimpang dari rata-rata umum produksi tersebut. Dengan perkataan lain, setiap nilai pengamatan (produksi) pada setiap petak selain mencerminkan rata-rata umum produksi, juga mencerminkan pengaruh perlakuan, pengaruh kelompok dan pengaruh galat percobaan. Karenanya, setiap nilai pengamatan mengekspresikan jumlah dari 4 komponen berikut :

- (1) rata-rata umum atau nilai tengah (μ , baca : mu). Semua nilai pengamatan berfluktuasi dari rata-rata umum
- (2) komponen yang mewakili pengaruh dari perlakuan yang diberikan (τ , baca : tau)
- (3) komponen yang mewakili pengaruh dari lingkungan tertentu yang dapat ditetapkan melalui perancangan

- percobaan (β , baca : beta)
- (4) komponen yang mewakili semua faktor-faktor lain yang mempengaruhi nilai-nilai pengamatan (ϵ , baca : epsilon). Komponen yang terjadi secara kebetulan ini disebut juga sebagai komponen residu atau komponen sisa atau galat atau penyimpangan (*experimental error*).

2.1. Model Matematik

Dengan menggunakan keempat komponen tersebut, nilai pengamatan dapat dinyatakan dalam sebuah model matematik berbentuk persamaan linear aditif (*additive*) berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij} \text{ dengan ketentuan}$$

Y_{ij} = pengamatan pada perlakuan ke-i pada kelompok ke-j

μ = nilai tengah

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i ($i = 1, 2, 3 \dots t$)

β_j = pengaruh kelompok ke-j ($j = 1, 2, 3 \dots r$)

ϵ_{ij} = galat pada perlakuan ke-i pada kelompok ke-j

Pada persamaan tersebut, pengaruh perlakuan dan pengaruh kelompok bersifat aditif.

Karena nilai μ , τ_i dan β_j serta ϵ_{ij} tidak diketahui maka nilai-nilai tersebut diduga dengan m , t_i dan b_j serta e_{ij} .

Berdasarkan asumsi terdahulu (bahwa semua nilai pengamatan berfluktuasi dari rata-rata umum) maka nilai m adalah sama untuk semua pengamatan. Akibatnya, keragaman m sama dengan 0 (nol). Karena itu, perbedaan antar nilai pengamatan disebabkan oleh pengaruh t_i dan b_i serta e_{ij} . Dengan kata lain, perlakuan dan kelompok serta galat adalah sumber keragaman (*source of variance*) bagi keragaman pengamatan.

2.2. Sidik Ragam

Karena perlakuan, kelompok dan galat percobaan adalah sumber keragaman terhadap nilai-nilai pengamatan, maka total keragaman (variasi) pengamatan terdiri dari keragaman akibat perlakuan, keragaman akibat kelompok dan keragaman akibat galat. Baik keragaman karena perlakuan maupun keragaman karena kelompok dapat dijelaskan. Sedangkan keragaman lain yang tidak dapat dijelaskan mengakibatkan galat (penyimpangan). Keragaman yang dapat dijelaskan dapat dibandingkan dengan keragaman yang tidak dapat dijelaskan. Besarnya perbandingan ini (F) digunakan untuk menentukan apakah suatu perbedaan observasi adalah nyata (*real*, artinya dikarenakan pengaruh perlakuan) atau hanya karena kebetulan (*due to chance*, artinya disebabkan pengaruh diluar perlakuan).

$$F = \frac{\text{Keragaman yang dapat dijelaskan}}{\text{Keragaman yang tidak dapat dijelaskan}}$$

Semakin besar nilai F , maka semakin besar peranan perlakuan terhadap keragaman pengamatan.

Dengan metoda jumlah kuadrat terkecil (*method of least squares*), jumlah kuadrat (*sum of square*) total adalah jumlah kuadrat komponen-komponen penyebab keragaman pengamatan. Hal itu dinyatakan dalam persamaan matematik berikut :

$$JK_{\text{Total}} = JK_{\text{Perlakuan}} + JK_{\text{Kelompok}} + JK_{\text{Galat}}$$

$$JK_T = JKP + JKK + JKG$$

Keragaman diperoleh dari hasil perbandingan antara jumlah kuadrat (JK) dengan derajat bebasnya (db) (keragaman disebut juga sebagai ragam, varians, kuadrat tengah, atau **rataan kuadrat** disingkat **RK**, *mean of square*).

$$RK = \frac{JK}{db}$$

Maka,

$$F = \frac{RK}{\text{Keragaman yang tidak dapat dijelaskan}}$$

Penguraian keragaman sangat penting dalam sebuah percobaan. Penguraian keragaman disebut sidik ragam (*analysis of variance*, dalam bahasa Inggris disingkat dengan ANOVA). Dari sidik ragam diketahui besar keragaman yang disumbangkan oleh masing-masing sumber keragaman terhadap keragaman nilai pengamatan.

Berikut ini dipaparkan metoda umum untuk menghitung keragaman. Misalkan nilai pengamatan Y_{ij} disebabkan oleh perlakuan P_i dan kelompok K_j seperti tercantum pada Tabel 2.1.

Ada 4 keragaman yang mungkin muncul :

- (1) keragaman antar nilai pengamatan ($Y_{11} \neq Y_{12} \neq Y_{13} \dots \neq Y_{tr}$)
- (2) keragaman antar perlakuan ($\bar{P}_1 \neq \bar{P}_2 \neq \bar{P}_3 \dots \neq \bar{P}_t$)
- (3) keragaman antar kelompok ($\bar{K}_1 \neq \bar{K}_2 \neq \bar{K}_3 \dots \neq \bar{K}_r$)
- (4) keragaman karena pengaruh faktor-faktor di luar faktor perlakuan dan pengelompokan.

Tabel 2.1. Nilai pengamatan Y_{ij} yang disebabkan oleh perlakuan P_i dan kelompok K_j

Perla- kuan (P) ($i = 1, 2, \dots$ $\dots t$)	Kelompok (K) ($j = 1, 2, \dots, r$)				Total Perla- kuan P_i	Rataan Perla- kuan \bar{P}
	1	2	4	$\dots r$		
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	$\dots Y_{1r}$	P_1	\bar{P}_1
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	$\dots Y_{2r}$	P_2	\bar{P}_2
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	$\dots Y_{3r}$	P_3	\bar{P}_3
\cdot \cdot t	\cdot \cdot Y_{t1}	\cdot \cdot Y_{t2}	\cdot \cdot Y_{t3}	\dots \dots $\dots Y_{tr}$	P_t	\bar{P}_t
Total Kelompok	K_1	K_2	K_3	$\dots K_r$	G	
Rataan Kelompok	\bar{K}_1	\bar{K}_2	\bar{K}_3	$\dots \bar{K}_r$		\bar{Y}

Keterangan :

\bar{P} dibaca P bar = rata-rata P

Y_{tr} = nilai pengamatan pada perlakuan ke-i, kelompok ke-j,
misalnya

Y_{32} = nilai pengamatan pada perlakuan ketiga, kelompok kedua

G = total umum (*grand total*)

$\bar{Y} = G / (tr) =$ rataan umum = rataan total = nilai tengah umum
(*grand mean*)

(tr) = jumlah keseluruhan satuan percobaan

Menghitung Jumlah Kuadrat Total (JKT)

Bila penyimpangan setiap nilai pengamatan dari rataan umum ($Y - \bar{Y}$) dikuadratkan dan dijumlahkan maka diperoleh Jumlah Kuadrat Total (JKT).

$$\begin{aligned} \text{JKT} &= \sum (Y_{ij} - \bar{Y})^2 \\ &= \sum Y_{ij}^2 - G^2 / (tr) \end{aligned}$$

dengan ketentuan

$G^2/(tr)$ = disebut juga sebagai faktor koreksi (*correction factor*, disingkat **FK**).

(tr) = jumlah keseluruhan satuan percobaan

Menghitung Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP) dan Rataan Kuadrat Perlakuan (RKP)

Bila penyimpangan setiap rata-rata perlakuan dari rata-rata umum $(\bar{T} - \bar{Y})$ dikuadratkan dan dijumlahkan maka diperoleh Jumlah Kuadrat Perlakuan (**JKP**).

$$\text{JKP} = \sum (\bar{P}_i - \bar{Y})^2$$

$$= \frac{\sum P_i^2}{r} - \text{FK}$$

$$\text{RKP} = \frac{\text{JKP}}{\text{dbP}}$$

dengan ketentuan **dbP** adalah derajat bebas perlakuan.

Menghitung Jumlah Kuadrat Kelompok (JKK) dan Rataan Kuadrat Kelompok (RKK)

Bila penyimpangan setiap rataian kelompok dari rataian umum ($\bar{K} - \bar{Y}$) dikuadratkan dan dijumlahkan maka diperoleh Jumlah Kuadrat Kelompok (JKK).

$$\begin{aligned} \text{JKK} &= \sum (\bar{K}_j - \bar{Y})^2 \\ &= \frac{\sum K_j^2}{t} - \text{FK} \end{aligned}$$

$$\text{RKK} = \frac{\text{JKK}}{\text{dbK}}$$

dengan ketentuan **dbK** adalah derajat bebas kelompok.

Menghitung Jumlah Kuadrat Galat (JKG) dan Rataan Kuadrat Galat (RKG)

Biasanya JKG dihitung dari persamaan berikut :

Karena $JKT = JKP + JKK + JKG$

maka

$$JKG = JKT - JKP - JKK$$

$$RKG = \frac{JKG}{dbG}$$

dengan ketentuan **dbG** adalah derajat bebas galat.

Menguji Hipotesis

Pada contoh di atas (Lihat Tabel 2.1), hipotesis yang ditetapkan adalah tidak ada perbedaan pengaruh perlakuan terhadap nilai pengamatan. Dengan kata lain, hipotesisnya adalah pengaruh setiap perlakuan terhadap nilai pengamatan adalah sama. Dengan bahasa matematik, hipotesis ini ditulis sebagai berikut :

Hipotesis nol (=H₀) : $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t = 0$

Hipotesis tandingan (=H₁) : sekurang-kurangnya satu τ_i tidak sama dengan nol

Hipotesis dapat juga dinyatakan dengan cara lain yaitu :

H₀ : $\bar{P}_1 = \bar{P}_2 = \bar{P}_3 \dots = \bar{P}_t$ (berarti tidak ada perbedaan

diantara perlakuan)

H_1 : setidaknya ada satu taraf perlakuan yang pengaruhnya berbeda nyata (ataupun sangat nyata) dari pengaruh perlakuan lain.

Untuk menguji apakah H_0 bisa diterima maka dihitung nilai F (ditulis sebagai F_{hitung} atau F_{hit}) dengan rumus :

$$F_{hit} = \frac{RKP}{RKG}$$

Kemudian nilai F_{hit} dibandingkan dengan nilai F (F adalah singkatan dari nama Fisher) dari sebuah Tabel (ditulis sebagai F_{tabel} atau F_{tab}). Besarnya nilai F_{tab} tergantung pada derajat bebas dan peluang (*probability* = P). Biasanya digunakan $P = 95\%$ (atau $\alpha = 0,05$) dan $P = 99\%$ (atau $\alpha = 0,01$). Misalkan pengujian dilakukan pada taraf $\alpha = 0,05$, ada 2 kemungkinan hasilnya :

(1) $F_{hit} \leq F_{tab 0,05}$ berarti H_0 diterima, yaitu pengaruh setiap perlakuan terhadap nilai pengamatan adalah sama. Dengan kata lain, percobaan tidak mendeteksi adanya perbedaan yang nyata dari perlakuan (tidak ada perbedaan yang nyata di antara

pengaruh perlakuan).

- (2) $F_{hit} > F_{tab\ 0,05}$ berarti H_0 ditolak atau H_1 yang diterima, yaitu setidaknya ada satu perlakuan yang pengaruhnya berbeda nyata dari pengaruh perlakuan lain pada taraf $\alpha = 0,05$. Dengan kata lain, percobaan mendeteksi adanya perbedaan yang nyata (*significant*) diantara perlakuan.

Pengujian bisa dilakukan dengan ketelitian yang lebih tinggi, yaitu pada taraf $\alpha = 0,01$.

- $F_{hit} > F_{tab\ 0,01}$ berarti H_0 ditolak atau H_1 yang diterima, yaitu setidaknya ada satu perlakuan yang besar pengaruhnya sangat berbeda dari perlakuan lain pada taraf $\alpha = 0,01$. Dengan kata lain, percobaan mendeteksi adanya perbedaan yang sangat nyata (*highly significant*) diantara perlakuan.

Akan tetapi, Uji F tidak menunjukkan mana diantara perlakuan yang berbeda nyata/sangat nyata pengaruhnya. Untuk mengidentifikasi rata-rata yang berbeda nyata/sangat nyata dengan rata-rata lainnya diperlukan uji lainnya yang disebut Uji Beda Antar Rataan Perlakuan (*comparison between treatment means*) (Lihat Bab V).

Semua hasil perhitungan di atas dicantumkan ke dalam

sebuah tabel Sidik Ragam seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Sidik Ragam

Sumber Kera-gaman	Dera-jat Bebas (db)	Jum-lah Kua-drat (JK)	Rata-an Kua-drat (RK)	F_{hit}	$F_{tab\ 0,05}$	$F_{tab\ 0,01}$
Kelom-pok						
Perla-kuan						
Galat						
Total						

Dibelakang angka F_{hit} biasanya dibubuhi tanda tn ataupun * (atau n) ataupun ** (atau sn) untuk mengekpresikan hasil Uji F yang berarti :

tn = tidak nyata

*** = n = nyata ($\alpha = 0,05$)**

**** = sn = sangat nyata ($\alpha = 0,01$)**

III. Rancangan Untuk Percobaan Non-faktorial

Percobaan non-faktorial (nir-faktorial) terdiri atas empat jenis, yaitu :

- (1) Percobaan yang menggunakan **satu faktor perlakuan** (*single-factor experiment*) tetapi terdiri dari **beberapa taraf perlakuan**, contohnya :
 - (a) Percobaan untuk membuktikan perbedaan tingkat produksi jagung antar varietas Arjuna, Pioneer dan CPI-1. Dalam hal ini, terdapat satu faktor perlakuan yaitu varietas dengan 3 taraf perlakuan yaitu varietas Arjuna, Pioneer dan CPI-1.
 - (b) Percobaan untuk membuktikan pengaruh pupuk Urea (= satu faktor perlakuan) pada beberapa dosis yang berbeda (misalnya 0, 150, 300 dan 450 kg Urea/ha).
 - (c) Percobaan tentang pengaruh bahan pengawet Tocoferol pada beberapa konsentrasi yang berbeda (misalnya 0, 100, 200 dan 300 ppm) terhadap mutu minyak olein selama penyimpanan.

- (2) Percobaan yang terdiri dari beberapa factor mandiri yang berbeda.
- (3) Percobaan yang menggunakan beberapa faktor yang **tidak dikombinasikan**; artinya tiap-tiap faktor boleh saja terdiri atas beberapa taraf.
- (4) Gabungan dari ketiga butir di atas ataupun gabungan dua dari tiga butir di atas.

Secara garis besar ada 2 kelompok rancangan lingkungan untuk satu faktor perlakuan yaitu Rancangan Kelompok Lengkap (*complete block designs*, disingkat RKL) dan Rancangan Kelompok Tidak Lengkap (*incomplete block designs*, disingkat RKTL). Bila jumlah perlakuan sedikit digunakan RKL. Pada setiap kelompok dari RKL terdapat satu set perlakuan secara lengkap. Rancangan yang termasuk RKL misalnya Rancangan Acak Lengkap (*completely randomized design*), Rancangan Acak Kelompok (*randomized complete block design*) dan Rancangan Bujur Sangkar Latin (*latin square design*).

RKTL digunakan bila jumlah perlakuan banyak. Pada satu kelompok terdapat hanya satu fraksi dari perlakuan. Rancangan yang termasuk RKTL misalnya Rancangan Kisi (*lattice design*) dan Rancangan Kelompok Grup Seimbang (*group balanced block design*). Karena memiliki kekhususan tersendiri, hanya Rancangan Petak Terbagi dibahas dalam buku ini. Rancangan Petak Terbagi (*split plot design*) yang digunakan untuk percobaan faktorial termasuk ke dalam RKTL.

3.1. Rancangan Acak Lengkap Non Faktorial

Pada Rancangan Acak Lengkap (*completely randomized design*, disingkat RAL) satuan percobaan diasumsikan relatif seragam (homogen). Artinya, tidak terdapat perbedaan yang nyata antar satuan percobaan. Oleh karena itu, setiap satuan percobaan harus mempunyai kesempatan yang sama untuk menerima setiap perlakuan dan setiap perlakuan harus mendapat kesempatan yang sama untuk ditempatkan pada setiap satuan percobaan. Hal mana bisa dicapai melalui pemilihan secara acak (*random*). Galat percobaan hanyalah berasal dari perbedaan antar satuan percobaan yang menerima perlakuan yang sama (pengaruh ulangan). Dengan demikian, keragaman antar nilai pengamatan disebabkan oleh pengaruh perlakuan dan galat percobaan.

Rancangan Acak Lengkap (RAL) hanya cocok diterapkan pada satuan-satuan percobaan yang relatif seragam, misalnya pada percobaan-percobaan di laboratorium, rumah kaca dan kandang ternak di mana lingkungan dapat dikendalikan. Akan tetapi, tidak semua penelitian yang dilakukan pada ketiga tempat tersebut otomatis dilakukan dengan RAL. Bila diyakini bahwa letak suatu satuan percobaan dapat menguntungkan atau merugikan satuan percobaan tersebut dibandingkan dengan satuan percobaan lainnya, maka RAL jangan gunakan. Misalnya penelitian dalam rumah kaca untuk mengidentifikasi pengaruh konsentrasi fungisida terhadap serangan cendawan. Perubahan cuaca (misalnya perubahan temperatur atau kelembaban) dari tanaman yang paling dekat ke dinding akan berbeda dari tanaman yang jauh

dari dinding. Oleh karena temperatur dan kelembaban berpengaruh terhadap efektifitas fungisida dan perkembangan cendawan, maka tanaman yang paling dekat ke dinding "lebih dirugikan" atau "lebih diuntungkan" dibandingkan dengan tanaman lain yang jauh dari dinding. Dalam kasus ini, penelitian tersebut sebaiknya dilakukan bukan dengan RAL tetapi dengan, misalnya, Rancangan Acak Kelompok. RAL tidak digunakan pada percobaan lapangan karena satuan percobaan biasanya tidak homogen.

3.1.1. Model Matematik

Dari uraian di atas, jelaslah bahwa sumber keragaman pada RAL adalah perlakuan dan galat. Oleh karena itu, model matematik linear aditif untuk Rancangan Acak Lengkap Non Faktorial (RALNF) yang ditetapkan adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \text{ dengan ketentuan}$$

Y_{ij} = nilai pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

μ = nilai tengah

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i ($i = 1, 2, 3 \dots t$)

ε_{ij} = galat pada perlakuan ke-i, ulangan ke-j ($j = 1, 2, 3 \dots r$)

3.1.2. Hipotesis

Misalkan kita ingin menguji pengaruh lama penyimpanan terhadap kadar air minyak olein. Telah diketahui secara umum bahwa minyak olein yang disimpan menjadi rusak (=minyak rusak) yang ditandai dengan timbulnya bau tengik dan pembentukan air. Karena banyaknya minyak olein yang dihidrolisis bertambah sejalan dengan pertambahan waktu, maka kadar air dalam minyak juga bertambah. Hal ini perlu dibuktikan melalui sebuah percobaan dengan lama penyimpanan 0, 14, 28, 42 dan 56 hari. Taraf perlakuan tersebut secara berturut-turut disimbolkan dengan L_0 , L_1 , L_2 , L_3 dan L_4 . Percobaan dilakukan dengan menggunakan wadah botol kaca yang berukuran sama. Hipotesis yang diuji adalah :

H_0 : $\bar{L}_0 = \bar{L}_1 = \bar{L}_2 = \bar{L}_3 = \bar{L}_4$ (berarti tidak ada perbedaan kandungan air minyak olein yang disimpan dengan lama penyimpanan yang berbeda).

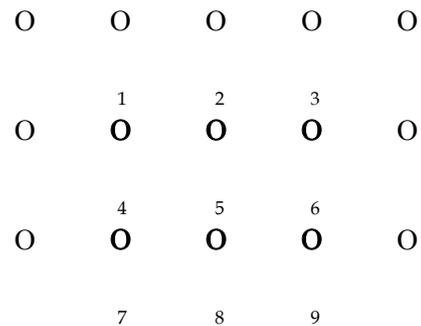
H_1 : setidaknya ada satu taraf perlakuan yang besar pengaruhnya terhadap kandungan air dalam minyak olein berbeda nyata (atau sangat nyata) dari pengaruh taraf perlakuan lain.

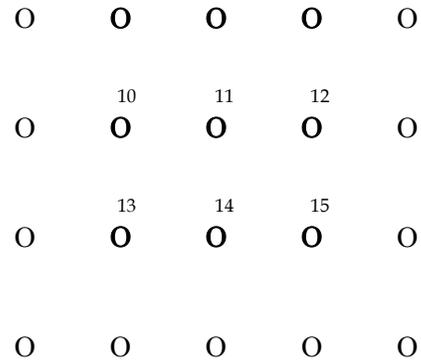
3.1.3. Tahapan Pelaksanaan

Tahapan-tahapan dalam pelaksanaan RAL adalah (1) pengacakan dan penataan, (2) penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam dan (3) pembuatan sidik ragam.

3.1.3.1. Pengacakan dan Penataan

- ♣ **Langkah 1** : Tetapkan jumlah ulangan (r) lalu kalikan dengan taraf perlakuan (t) untuk memperoleh jumlah satuan percobaan (tr). Untuk 3 ulangan dan 5 taraf perlakuan (dari hipotesis di atas), maka perlu disediakan $5 \times 3 = 15$ satuan percobaan.
- ♣ **Langkah 2** : Lakukan penataan letak botol-botol pada rak botol (sesuaikan dengan keadaan rak botol). Nomori lobang-lobang botol pada rak botol secara berturut mulai dari nomor 1 sampai dengan 15 (lihat Bagan 3.1).





Bagan 3.1. Nomor lubang-lubang botol pada rak botol

- ♣ **Langkah 3** : Secara acak tentukan satu perlakuan untuk setiap satuan percobaan. Pengacakan dapat dilakukan dengan salah satu dari 3 cara berikut, yaitu (1) menggunakan tabel nomor-nomor acak (*table of random numbers*), (2) menggunakan kartu *bridge* dan (3) menggunakan gulungan kertas. Cara ketiga lebih mudah dilakukan. Siapkan kertas dengan ukuran yang sama sebanyak satuan percobaan. Dalam contoh di atas, siapkan 15 potongan kertas. Tuliskan L_0 pada kertas 1, 2 dan 3 (= 3 ulangan), L_1 pada kertas 4, 5 dan 6, L_2 pada kertas 7, 8 dan 9, L_3 pada kertas 10, 11 dan 12, L_4 pada kertas 13, 14 dan 15. Setelah masing-masing kertas digulung, gulungan dimasukkan ke dalam wadah (misalnya mangkok). Setelah wadah digoyang-goyang

beberapa kali, cabutlah satu kertas dan baca perlakuan yang tertulis pada kertas tersebut, misalnya L₃. Ini berarti perlakuan pada botol pertama adalah L₃. Tanpa memasukkan kembali ke dalam wadah kertas yang sudah dicabut, goyang kembali wadah agar kertas-kertas tercampur. Lakukan pencabutan kedua, misalnya diperoleh kertas bertulis L₀. Ini berarti pada botol kedua terdapat perlakuan L₀. Dengan proses yang sama sebanyak 15 kali, dapat ditentukan taraf perlakuan pada setiap botol (Lihat Tabel 3.1).

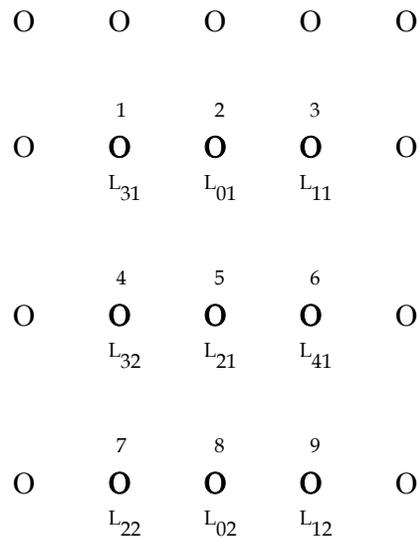
Tabel 3.1. Hasil Pengundian dan Pemberian Label

Nomor Satuan Percobaan	Perlakuan	Label##)
1	L ₃	L ₃₁
2	L ₀	L ₀₁
3	L ₁	L ₁₁
4	L ₃	L ₃₂
5	L ₂	L ₂₁
6	L ₄	L ₄₁
7	L ₂	L ₂₂
8	L ₀	L ₀₂
9	L ₁	L ₁₂

10	L_2	L_{23}
11	L_4	L_{42}
12	L_4	L_{43}
13	L_0	L_{03}
14	L_1	L_{13}
15	L_3	L_{33}

##) Angka kedua pada indeks L menunjukkan ulangan, misalnya L_{31} = perlakuan L_3 pada ulang 1.

Berikan label pada setiap botol sesuai dengan label pada Tabel 3.1. Tempatkanlah botol-boto berlabel tersebut pada rak botol sesuai dengan nomor satuan percobaannya; hasilnya dapat dilihat pada Bagan 3.2.



	10	11	12	
O	O	O	O	O
	L_{23}	L_{42}	L_{43}	
	13	14	15	
O	O	O	O	O
	L_{03}	L_{13}	L_{33}	
O	O	O	O	O

Bagan 3.2. Hasil pengacakan perlakuan

3.1.3.2. Penyediaan Tabel Pengamatan dan Tabel Sidik Ragam

- ♣ **Langkah 1** : Siapkan tabel-tabel pengamatan, yaitu tabel-tabel yang digunakan untuk merekam nilai-nilai pengamatan dan hasil pengolahan data secara sederhana seperti jumlah dan rata-rata. Bentuk tabel, baris dan kolom tergantung pada percobaan yang dilakukan. Tabel contoh untuk percobaan di atas adalah lihat Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Kadar Air (%) Minyak Olein

Tang- gal Penga- matan	Perla- kuan (Lama Penyim- panan) (Hari)	Kadar Air (%)			Total Perla- kuan P_i	Rataan Perla- kuan \bar{P}
		Ulangan				
		I	II	III		
01 Mei 2000	0					
15 Mei 2000	14					
29 Mei 2000	28					
12 Juni 2000	42					
26 Juni 2000	56					
		Total Umum (G)				
		Rataan Umum(\bar{y})				

♣ **Langkah 2** : Sediakan pula tabel Sidik Ragam seperti Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3. Sidik Ragam Kadar Air Minyak Olein

Sumber Keragaman	Db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Perlakuan (P)						
Galat (G)						
Total (T)						

Koefisien Keragaman (KK) = %

3.1.3.3. Pembuatan Sidik Ragam

♣**Langkah 1** : Hitung derajat bebas (db).

$$\text{db Total} = (\text{tr}) - 1 = (5 \times 3) - 1 = 14$$

$$\text{db Perlakuan} = t - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{db Galat} = \text{dbT} - \text{dbP} = 14 - 4 = 10.$$

♣**Langkah 2** : Hitung total perlakuan, rata-rata perlakuan, total

umum dan nilai tengah. Misalkan data nilai pengamatan dan rekapitulasi sederhana dari percobaan di atas seperti tercantum pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang Berbeda^{##})

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%) Ulangan			Total Perlakuan P_i	Rataan Perlakuan \bar{P}_i
	I	II	III		
0 (L_0)	0,055	0,065	0,060	0,180	0,060
14 (L_1)	0,076	0,070	0,070	0,216	0,072
28 (L_2)	0,086	0,090	0,088	0,264	0,088
42 (L_3)	0,089	0,098	0,092	0,279	0,093
56 (L_4)	0,305	0,310	0,294	0,909	0,303
	Total Umum (G)			1,848	
	Rataan Umum (\bar{Y})				0,1232

^{##})Catatan : Angka-angka di atas adalah rekaan

Langkah 3 : Hitung Jumlah Kuadrat (JK)

$$G^2$$

$$\text{Faktor Koreksi} = \text{FK} = \frac{G^2}{tr}$$

$$= \frac{(1,848)^2}{5 \times 3} = 0,2276736$$

$$\text{JK Total} = \text{JKT} = \sum Y_{ij}^2 - \text{FK}$$

$$= (0,055)^2 + (0,065)^2 + (0,060)^2 + (0,076)^2 + (0,070)^2 \\ + (0,070)^2 + (0,086)^2 + (0,090)^2 + (0,088)^2 + (0,089)^2 \\ + (0,098)^2 + (0,092)^2 + (0,305)^2 + (0,310)^2 + (0,294)^2 \\ - 0,2276736 \\ = 0,1235424$$

$$\text{JK Perlakuan} = \text{JKP} = \frac{\sum P_i^2}{r} - \text{FK}$$

$$= \frac{(0,180)^2 + (0,216)^2 + (0,264)^2 + (0,279)^2 + (0,909)^2}{3} - 0,2276736 \\ = 0,1232844$$

$$\text{JK Galat} = \text{JK Total} - \text{JK Perlakuan}$$

$$= 0,1235424 - 0,1232844$$

$$= 0,000258$$

♣ **Langkah 4** : Hitung Rataan Kuadrat (RK)

$$\text{RK Perlakuan} = \text{JKP/dbP}$$

$$= 0,1232844/4$$

$$= 0,0308211$$

$$\text{RK Galat} = \text{JKG/dbG}$$

$$= 0,000258/10$$

$$= 0,0000258$$

♣ **Langkah 5** : Hitung dan bandingkan F_{hit} dengan $F_{\text{tab } 0,05}$ dan $F_{\text{tab } 0,01}$

$$F_{\text{hit}} \text{ untuk perlakuan} = \text{RKP/RKG}$$

$$= 0,0308211/0,0000258$$

$$= \mathbf{1194,62}$$
 (dibulatkan)

Dari Tabel F pada Lampiran 1 diperoleh nilai $F_{\text{tab } 0,05}$ (cetak biasa) dan $F_{\text{tab } 0,01}$ (**cetak tebal**) dengan menggunakan dbP (= 4) sebagai $db_1 = f_1$ dan dbG (= 10) sebagai $db_2 = f_2$:

$$F_{\text{tab } 0,05} = 3,48 \text{ dan } F_{\text{tab } 0,01} = 5,99$$

Karena nilai F_{hit} lebih besar dari $F_{tab 0,01}$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya, setidaknya ada satu perlakuan yang pengaruhnya terhadap kandungan air dalam minyak olein berbeda sangat nyata dari pengaruh perlakuan yang lain. Untuk mengidentifikasi mana perlakuan yang berbeda sangat nyata dengan perlakuan lain perlu dilakukan Uji Perbandingan Antar Rataan (Lihat BAB V).

♣ **Langkah 6** : Hitung Koefisien Keragaman

Koefisien keragaman (*coefficient of variation, dalam bahasa Inggris disingkat cv*) (KK) mengindikasikan derajat akurat penelitian. Semakin kecil KK semakin tinggi reliabilitas percobaan; artinya percobaan semakin dapat dipercaya. Biasanya KK tergantung kepada tipe percobaan, jenis tanaman dan karakter yang diukur (Gomez dan Gomez 1984). Untuk percobaan yang mengukur produksi, nilai KK yang dapat diterima adalah 6 - 8% untuk percobaan varietas, 10 - 12% untuk percobaan pemupukan dan 13 - 15% untuk percobaan insektisida dan herbisida.

Koefisien Keragaman dihitung dengan rumus :

$$KK = \frac{\sqrt{RKG}}{\bar{Y}} \times 100\%$$

$$KK = \frac{\sqrt{0,0000258}}{0,1232} \times 100\% = \mathbf{4,1\%}$$

Dengan KK 4,1%, penelitian di atas tergolong teliti. Cantumkan KK pada Tabel Sidik Ragam. KK biasanya ditempatkan di luar tabel di bagian bawah tabel.

- ♣ **Langkah 7** : Masukkan semua hasil perhitungan JK, RK dan F ke dalam tabel Sidik Ragam (Tabel 3.5).

Tabel 3.5. Sidik Ragam Kadar Air Minyak Olein

Sumber Variasi	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab} 0,05	F _{tab} 0,01
Perlakuan (P)	4	0,1232844	0,0308211	1194,62**	3,48	5,99
Galat (G)	10	0,000258	0,0000258			
Total (G)	14	0,1235424				

Koefisien Keragam (KK) = 4,1%

3.2. Rancangan Acak Kelompok Non Faktorial

Bila antar satuan percobaan diyakini tidak seragam maka satuan percobaan dibagi ke dalam kelompok-kelompok. Setiap kelompok mengandung **satu set** satuan percobaan. Setiap satuan percobaan pada satu kelompok memperoleh lingkungan yang relatif seragam. Pengelompokan ini bertujuan untuk membuat sebahagian keragaman lingkungan menjadi keragaman yang dapat dijelaskan dan keragaman yang tidak dapat dijelaskan (galat). Dengan cara tersebut percobaan menjadi lebih akurat.

Sumber keragaman dapat disebabkan oleh perbedaan kesuburan tanah, letak tanah terhadap sungai dan jalan, kemiringan lahan, arah sumber cahaya dan arah migrasi insekta. Kunci keberhasilan penggunaan RAK terletak pada (1) kemampuan untuk mengenal secara tepat sumber keragaman dan (2) kemampuan melakukan pengelompokan (*blocking*) keragaman tersebut secara tepat. **Pengelompokan harus mampu memaksimalkan perbedaan antar kelompok dan sekaligus meminimalkan perbedaan antara satuan percobaan di dalam tiap-tiap kelompok.**

RAK sangat sering digunakan pada percobaan di lapang (*field experiments*). RAK cocok digunakan bila jumlah perlakuan relatif sedikit sebab setiap peningkatan jumlah perlakuan akan meningkatkan keragaman yang bersumber dari pengaruh lingkungan akibat meningkatnya luas lahan yang digunakan. RAK dapat juga diterapkan pada percobaan di laboratorium, rumah kaca atau kandang ternak apabila dapat ditemukan adanya pola keragaman yang jelas. Untuk dua jenis keragaman yang berbeda arah, sebaiknya digunakan Rancangan Bujur Sangkar Latin (lebih lengkapnya lihat Rancangan Bujur

Sangkar Latin pada Bahagian 3.3.).

3.2.1. Model Matematik RAKNF

Dari uraian di atas, jelaslah bahwa keragaman nila-nilai pengamatan (total keragaman) pada RAK Non-Fakorial (RAKNF) bersumber dari (1) keragaman akibat perlakuan, (2) keragaman akibat pengelompokan dan (3) keragaman akibat galat. Model matematik linear aditif yang ditetapkan adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{dengan ketentuan}$$

Y_{ij} = nilai pengamatan pada perlakuan ke-i di kelompok ke-j

μ = nilai tengah

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i ($i = 1, 2, 3 \dots t$)

β_j = pengaruh kelompok ke-j ($j = 1, 2, 3 \dots r$)

ε_{ij} = pengaruh galat pada perlakuan ke-i di kelompok ke-j

3.2.2. Hipotesis

Misalkan kita hendak menguji pengaruh Nitrogen terhadap produksi kailan. Batang dan daun kailan muda (umur kurang dari 14 hari) sangat digemari sebagai sayur, meskipun harganya relatif mahal. Nitrogen adalah unsur penyusun

korofil, protein, enzim-enzim dan fitohormon serta berbagai senyawa penting lainnya. Klorofil melakukan fotosintesis yang menghasilkan karbohidrat. Karbohidrat ini digunakan sel tanaman sebagai sumber energi serta sebagai salah satu bahan dasar pembentukan senyawa-senyawa penting lainnya seperti pati dan gula. Dibantu berbagai enzim dan fitohormon, ketersediaan energi dan senyawa-senyawa tersebut memungkinkan terjadinya pembentukan sel-sel baru (pembelahan sel) dan sekaligus pembesaran sel. Pertambahan sel dan pembesaran sel mengakibatkan pertambahan jumlah dan bobot jaringan tanaman serta organ-organ tanaman seperti daun dan batang, artinya bobot tanaman bertambah. Dengan demikian secara teoritis bobot tanaman akan bertambah sejalan dengan bertambahnya jumlah Nitrogen yang diserap tanaman. Hal ini perlu dibuktikan melalui percobaan pemupukan Urea (sebagai sumber Nitrogen) pada tanaman kailan. Pupuk Urea diberikan 4 taraf, yaitu 0 (N_0), 150 (N_1), 300 (N_2) dan 450 (N_3) kg/ha. Hipotesis yang ditetapkan untuk diuji adalah :

H_0 : $\bar{N}_0 = \bar{N}_1 = \bar{N}_2 = \bar{N}_3$ (= tidak ada perbedaan produksi secara nyata meskipun tanaman kailan dipupuk dengan dosis Urea dosis yang berbeda).

H_1 : setidaknya ada satu dosis Urea yang pengaruhnya berbeda nyata (atau sangat nyata) terhadap produksi.

3.2.3. Tahapan Pelaksanaan

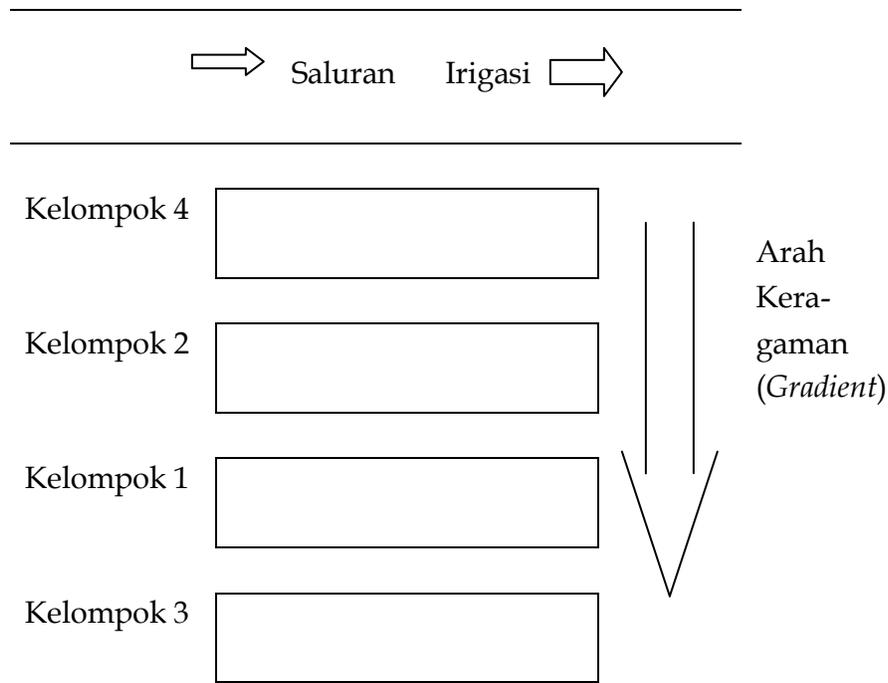
Tahapan pelaksanaan percobaan di atas adalah (1)

pengelompokan, penataan dan pengacakan, (2) penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam dan (3) pembuatan sidik ragam.

3.2.3.1. *Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan*

♣ **Langkah 1** : Prediksilah arah keragaman (*gradient*). Misalkan lahan penelitian terletak di sisi kanan saluran irigasi. Saluran tersebut tidak disemen sehingga air dapat merembes ke dalam tanah di sekitar saluran tersebut. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa (1) semakin dekat ke tepi saluran semakin tinggi kandungan air tanah, dan (2) tanah-tanah yang jaraknya sama dari sisi saluran mempunyai kandungan air yang sama jumlahnya. Jadi, arah keragaman tegak lurus terhadap sisi saluran irigasi. Berdasarkan asumsi ini, maka arah pengelompokan haruslah sejajar dengan sisi saluran irigasi (dengan kata lain : arah kelompok harus tegak lurus terhadap arah keragaman sehingga tiap-tiap unit percobaan cukup seragam di dalam kelompoknya). Lihat Bagan 3.3.

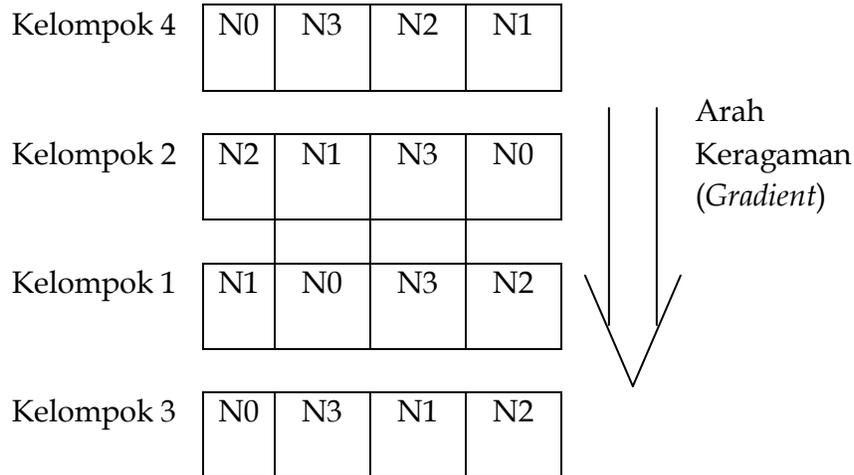
♣ **Langkah 2** : Pengacakan pertama adalah pengacakan terhadap letak kelompok (misalkan 4 kelompok). Dengan menggunakan cara pengacakan pada Bagian 3.1. diperoleh hasil seperti pada Bagan 3.3.



Bagan 3.3. Letak kelompok hasil pengacakan

- ♣ **Langkah 3** : Pengacakan kedua adalah pengacakan terhadap satuan percobaan (taraf perlakuan) di dalam masing-masing kelompok. Pengacakan dimulai pada Kelompok I, lalu kelompok II, III dan IV. Hasilnya dicantumkan pada Bagan 3.4.

⇒ Saluran Irigasi ⇒



Bagan 3.4. Letak Satuan Percobaan (Perlakuan) pada tiap-tiap Kelompok

3.2.3.2. *Penyiapan tabel pengamatan dan tabel sisik ragam*

- ♣ **Langkah 1** : Siapkan tabel pengamatan untuk produksi setiap petak (lihat Tabel 3.6 di bawah).

Tabel 3.6. Produksi Kailan (kg/petak)

Perlakuan Urea (kg/ha)	Produksi (kg/petak) Kelompok			
	I	II	III	IV
0 (N ₀)				
150 (N ₁)				
300 (N ₂)				
450 (N ₃)				

- ♣ **Langkah 2** : Siapkan juga tabel hasil konversi produksi per petak (kg/petak) menjadi produksi per hektar (t/ha) (lihat Table 3.7). Pada berbagai percobaan, luas petak percobaan bisa saja berbeda. Karena itu, produksi harus dikonversikan ke dalam satuan yang berlaku secara umum, yaitu per hektar.

Tabel 3.7. Produksi Kailan (t/ha)

Perlakuan Urea (kg/ha) (P)	Produksi (t/ha) Kelompok (K)				Total Perlakuan P_i	Rataan Perlakuan \bar{P}_i
	I	II	III	IV		
0 (N_0)						
150 (N_1)						
300 (N_2)						
450 (N_3)						
Total Kelompok (K)						
Total Umum (G)						
Rataan Umum \bar{Y}						

♣ **Langkah 3** : Siapkan tabel sidik ragam produksi (t/ha).

Tabel 3.8. Sidik Ragam Produksi Kailan per Hektar

Sumber Keragaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Kelompok (K)						
Perlakuan (P)						
Galat (G)						
Total (T)						

Koefisien Keragam (KK) = %

3.2.3.3. Pembuatan Sidik Ragam

Dengan menggunakan data produksi per hektar, lakukan sidik ragam.

♣ **Langkah 1** : Hitung derajat bebas.

Karena percobaan dilakukan dengan 4 kelompok ($r = 4$) dan Nitrogen 4 taraf ($t = 4$), maka :

$$\text{db Total} = \text{dbT} = (\text{tr}) - 1 = (4 \times 4) - 1 = 15$$

$$\text{db Kelompok} = \text{dbK} = (r - 1) = 4 - 1 = 3$$

$$\text{db Perlakuan} = \text{dbP} = (t - 1) = 4 - 1 = 3$$

$$\text{db Galat} = \text{dbT} - \text{dbK} - \text{dbP} = 15 - 3 - 3 = 9$$

- ♣ **Langkah 2 :** Lengkapi tabel dengan Total Perlakuan, Rataan Perlakuan dan sebagainya. Misalkan hasil percobaan seperti pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Produksi Kailan (t/ha)^{##}

Perlakuan Urea (kg/ha) (P)	Produksi (t/ha) Kelompok (K)				Total Perla- kuan	Rataan Perla- kuan
					P_i	\bar{P}_i
	I	II	III	IV		
0 (N ₀)	6,0	6,5	5,4	6,1	24,0	6,0
150 (N ₁)	7,0	7,5	6,6	7,3	28,4	7,1
300 (N ₂)	8,4	8,9	8,0	8,7	34,0	8,5
450 (N ₃)	8,7	9,6	8,3	9,0	35,6	8,9
Total Kelompok (K)	30,1	32,5	28,3	31,1		
Total Umum (G)					122,0	
Rataan Umum (\bar{y})						7,625

^{##}) Catatan : Angka-angka dalam Tabel 3.9 adalah angka-angka rekaan.

♣ **Langkah 3** : Hitung Jumlah Kuadrat (JK)

Faktor Koreksi = FK = $G^2/(tr)$

$$= (122,0)^2 / (4 \times 4)$$

$$= 930,25$$

$$\text{JK Total} = \text{JKT} = \sum Y_{ij}^2 - \text{FK}$$

$$\begin{aligned} &= (6,0)^2 + (6,5)^2 + (5,4)^2 + (6,1)^2 + (7,0)^2 + (7,5)^2 \\ &\quad + (6,6)^2 + (7,3)^2 + (8,4)^2 + (8,9)^2 + (8,0)^2 + (8,7)^2 \\ &\quad + (8,7)^2 + (9,6)^2 + (8,3)^2 + (9,0)^2 - 930,25 \\ &= 23,67 \end{aligned}$$

$$\text{JK Kelompok} = \text{JKK} = \frac{\sum K_j^2}{t} - \text{FK}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(30,1)^2 + (32,5)^2 + (28,3)^2 + (31,1)^2}{4} - 930,25 \\ &= 2,34 \end{aligned}$$

$$\text{JK Perlakuan} = \text{JKP} = \frac{\sum P_i^2}{r} - \text{FK}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(24,0)^2 + (28,4)^2 + (34,0)^2 + (35,6)^2}{4} - 930,25 \\ &= 21,23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JK Galat} &= \text{JKT} - \text{JKK} - \text{JKP} \\
 &= 23,67 - 2,34 - 21,23 \\
 &= 0,10
 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 4** : Hitung Rataan Kuadrat (RK)

$$\begin{aligned}
 \text{RK Kelompok} &= \text{RKK} = \text{JKK}/\text{dbK} \\
 &= 2,34/3 \\
 &= 0,78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{RK Perlakuan} &= \text{RKP} = \text{JKP}/\text{dbP} \\
 &= 21,23/3 \\
 &= 7,076667
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{RK Galat} &= \text{RKG} = \text{JKG}/\text{dbG} \\
 &= 0,10/9 \\
 &= 0,011111
 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 5** : Hitung F_{hit} Kelompok dan Perlakuan dan bandingkan dengan F_{tab} .

$$\begin{aligned}
 F_{\text{hit}} \text{ Kelompok} &= \text{RKK}/\text{RKG} \\
 &= 0,78/0,011111
 \end{aligned}$$

$$= 70,20 \text{ (dibulatkan).}$$

$$F_{\text{hit Perlakuan}} = RKP/RKG$$

$$= 7,076667/0,011111$$

$$= 636,91 \text{ (dibulatkan).}$$

Sekarang kita tentukan nilai F tabel untuk kelompok dan perlakuan. Dengan dbK sebagai $db_1 = f_1 (= 3)$ dan dbG sebagai $db_2 = f_2 (= 9)$, maka dari Tabel F pada Lampiran 1 diperoleh :

$$F_{0,05} = 3,86$$

$$F_{0,01} = 6,99$$

Dengan dbP sebagai $db_1 = f_1 (= 3)$ dan dbG sebagai $db_2 = f_2 (= 9)$, maka dari Tabel F pada Lampiran 1 diperoleh :

$$F_{0,05} = 3,86$$

$$F_{0,01} = 6,99$$

Karena $F_{\text{hit Perlakuan}}$ lebih besar dari kedua F_{tabel} , maka H_0 ditolak atau H_1 diterima. Artinya, setidaknya ada satu dosis Urea yang pengaruhnya terhadap produksi berbeda sangat nyata dibandingkan dengan pengaruh dosis-dosis lainnya.

Uji F yang sangat nyata untuk kelompok menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat nyata antar kelompok. Ini mengindikasikan bahwa kita telah berhasil melakukan pengelompokan. Akan tetapi, andaikan Uji F-nya tidak nyata,

tidak berarti percobaan telah gagal. Tidak nyatanya Uji-F untuk kelompok mengindikasikan bahwa apabila pada lahan tersebut kelak akan dilakukan percobaan, maka percobaan dapat dilakukan secara RAL.

♣ **Langkah 6** : Hitunglah Koefisien Keragaman (KK).

$$\begin{aligned} \text{KK} &= \frac{\sqrt{\text{RKG}}}{\bar{Y}} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0,011}}{7,625} \times 100\% \\ &= 1,38\% \end{aligned}$$

♣ **Langkah 7** : Masukkan semua hasil perhitungan di atas ke dalam tabel sidik ragam.

Tabel 3.10. Sidik Ragam Produksi Kailan per Hektar

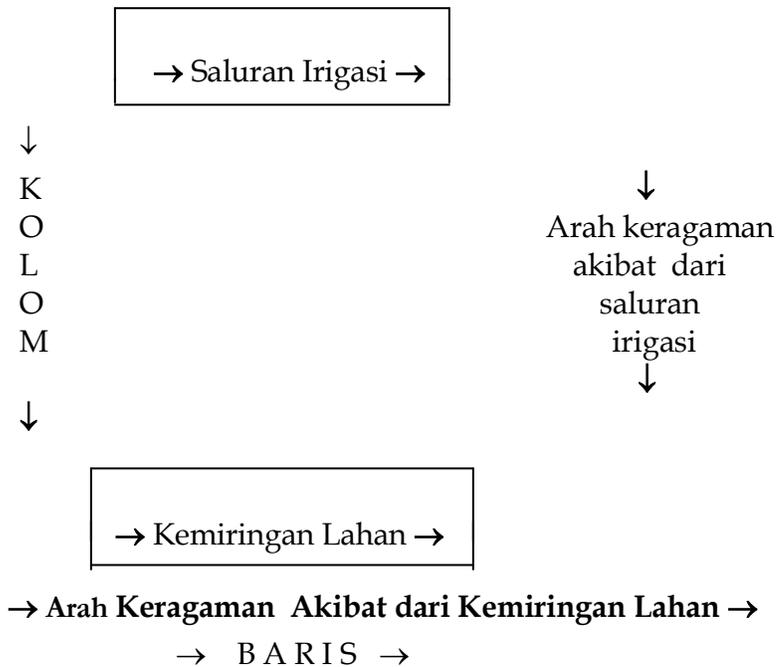
Sumber Keragaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Kelompok (K)	3	2,34	0,78	70,20**	3,86	6,99
Perlakuan (P)	3	21,23	7,076667	636,91**	3,86	6,99
Galat (G)	9	0,10	0,011111			
Total (T)	15	23,67				

Koefisien Keragaman (KK) = 1,38%

3.3. Rancangan Bujur Sangkar Non Faktorial

Ada kalanya terdapat dua arah keragaman lingkungan. Untuk jelasnya lihat Bagan 3.5. Keragaman lingkungan yang pertama adalah kemiringan lahan yang searah dengan arus saluran irigasi. Erosi lapisan atas tanah (*top soil*), pencucian unsur menyebabkan tanah di tempat lebih rendah lebih subur dibanding tanah di sebelah atasnya. Keragaman lingkungan yang kedua tegak lurus saluran irigasi (untuk penjelasan

rincinya lihat RAK).



Bagan 3.5. Dua Arah Keragaman Lingkungan

Untuk kasus seperti di atas, sebuah rancangan percobaan yang diterapkan harus memisahkan pengaruh lingkungan saluran irigasi maupun pengaruh lingkungan kemiringan lahan dari galat. Dengan kata lain, baik keragaman yang disebabkan oleh kemiringan lahan maupun keragaman yang disebabkan oleh saluran irigasi harus dijadikan sumber keragaman yang dapat dijelaskan. Dengan cara tersebut, galat dapat diperkecil sehingga memperbesar peluang mendeteksi pengaruh nyata dari perlakuan.

Pada sumber keragaman lingkungan pertama, yaitu kemiringan lahan (selanjutnya disebut "**kolom**"), dilakukan

pengelompokan (*blocking*), dan pada setiap kelompok terdapat semua perlakuan t (untuk jelasnya lihat prinsip pengelompokan pada RAK). Pada sumber keragaman lingkungan kedua, yaitu saluran irigasi (selanjutnya disebut "**baris**"), juga dilakukan pengelompokan, dan pada setiap kelompok terdapat semua perlakuan t . Irisan kelompok-kelompok dari sumber keragaman pertama dengan kelompok-kelompok dari sumber keragaman kedua membentuk sebanyak $t \times t = t^2$ satuan (petak) percobaan, atau sebuah bujur sangkar. Perhatikanlah bahwa pada setiap baris (*row*) dan setiap kolom (*column*) terdapat semua perlakuan secara lengkap. Rancangan percobaan seperti ini disebut Rancangan Bujur Sangkar (*Latin Square*, disingkat dengan **RBS**). RBS sering diikuti dengan jumlah perlakuan dan ulangannya, misalnya RBS 5×5 .

Karena sebuah percobaan haruslah memiliki ulangan r , dan agar terdapat t^2 satuan percobaan, maka pada RBS jumlah perlakuan t haruslah sama dengan jumlah ulangan r , atau $t = r$. Bila jumlah perlakuan bertambah maka jumlah ulangan juga bertambah, dan sekaligus luas lahan percobaan juga bertambah. Peningkatan luas lahan percobaan mengakibatkan bukan saja peningkatan biaya percobaan tetapi juga peningkatan galat. Karena itu, RBS hanya efektif pada percobaan dengan 5 – 9 perlakuan.

RBS, walaupun tidak sesering RAK, sering diterapkan pada percobaan di lapang. RBS dapat diterapkan pada percobaan di laboratorium (misalnya hari percobaan dan laboran), rumah kaca atau peternakan apabila ada dua arah yang berbeda dari keragaman lingkungan.

3.3.1. Model Matematik RBSNF

Dari keterangan terdahulu jelaslah bahwa pada RBS keragaman nilai pengamatan bersumber dari pengaruh perlakuan, baris, kolom dan galat. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan linear aditif berikut

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \rho_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk} \text{ dengan ketentuan}$$

Y_{ijk} = nilai pengamatan pada perlakuan ke-i di baris ke-j, kolom ke-k

μ = nilai tengah

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i ($i = 1, 2, 3 \dots t$)

ρ_j = pengaruh baris ke-j ($j = 1, 2, 3 \dots t$)

β_k = pengaruh kolom ke-k ($k = 1, 2, 3 \dots t$)

ε_{ijk} = pengaruh galat pada perlakuan ke-i di baris ke-j, kolom ke-k

3.3.2. Hipotesis

Misalkan kita hendak menguji pengaruh Nitrogen terhadap produksi biji jagung varietas Arjuna. Pemupukan dengan Nitrogen membuat tanaman jagung bertumbuh lebih baik ditandai, misalnya, oleh pertambahan jumlah daun atau

oleh pertambahan total luas daun tanaman (penjelasan teoritis tentang pengaruh Nitrogen terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman telah disajikan pada RAK). Bila kedua fenotipe tersebut bertambah, bertambah pula karbohidrat yang dihasilkan fotosintesis untuk pembentukan dan pembesaran biji jagung. Dengan demikian, tanaman yang memperoleh banyak unsur N akan menghasilkan lebih banyak biji dibandingkan dengan tanaman yang mendapat lebih sedikit Nitrogen. Hal ini perlu dibuktikan melalui percobaan dengan menggunakan Urea sebagai sumber N. Pupuk Urea diberikan 5 taraf, yaitu 0 (N₀), 150 (N₁), 300 (N₂), 450 (N₃) dan 600 (N₄) kg Urea/ha. Hipotesis yang ditetapkan untuk diuji adalah :

H₀ : $\bar{N}_0 = \bar{N}_1 = \bar{N}_2 = \bar{N}_3 = \bar{N}_4$ (= tidak ada perbedaan yang nyata antar produksi biji meskipun tanaman dipupuk dengan dosis Urea yang berbeda).

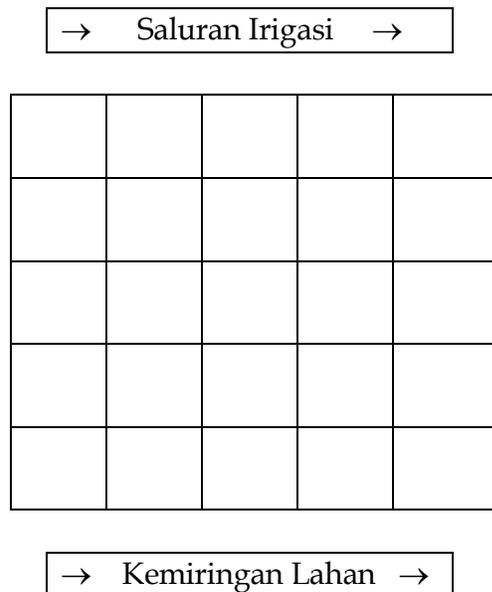
H₁ : setidaknya ada satu dosis Urea yang pengaruhnya terhadap produksi biji berbeda nyata (ataupun sangat nyata) dibandingkan dengan dosis-dosis Urea lainnya.

3.3.3. Tahapan Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan RBSNF meliputi (1) pengelompokan, penataan dan pengacakan, (2) penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam dan (3) pembuatan sidik ragam.

3.3.3.1. Pengelompokan, penataan dan pengacakan.

- ♣ **Langkah 1** : Kenali arah keragaman pada lahan percobaan.
Misalkan sumber dan arah keragaman yang ditemukan adalah seperti pada Bagan 3.5 di atas sehingga rancangan lingkungan yang cocok dipakai adalah RBS.
- ♣ **Langkah 2** : Bagi lahan percobaan menjadi $t \times t$ petak percobaan. Karena $t = 5$, maka terdapat $5 \times 5 = 25$ petak percobaan. Lihat hasilnya pada Bagan 3.6 berikut.



Bagan 3.6. Sumber dan Arah Keragaman Lahan Percobaan

- ♣ **Langkah 3** : Siapkan tabel pembantu untuk menampung hasil pengacakan. Tabel terdiri dari t baris dan t kolom. Karena pada percobaan ini $t = 5$, maka tabel pembantu seperti pada Tabel 3.11 berikut.

Table 3.11. Borang Untuk Menampung Hasil Pengacakan

Nomor Baris (B)	Nomor Kolom (K)				
	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					

- ♣ **Langkah 4** : Lakukan pengacakan. Siapkan 5 lembar kertas yang masing-masing bertuliskan salah satu taraf perlakuan (Prinsip-prinsip pengacakan dapat dilihat pada RAL). Mulailah pengacakan untuk baris 1. Misalkan kertas yang tercabut pertama adalah N_4 . Hal ini berarti perlakuan pada baris 1 kolom 1 adalah N_4 . Tuliskan N_4 pada baris 1 kolom 1 pada

Tabel 3.12. Tanpa mengikutsertakan N_4 lakukan lagi pengacakan, dan misalnya diperoleh N_0 . Tuliskan N_0 pada Tabel 3.12. Dengan cara yang sama lakukan lagi pengacakan hingga semua kolom pada baris 1 terisi. Hasil pengacakan keseluruhan misalnya seperti tertera pada baris 1 Tabel 3.12.

Tabel 3.12. Hasil Pengacakan Untuk Baris 1

Nomor Baris (B)	Nomor Kolom (K)				
	1	2	3	4	5
1	N_4	N_0	N_1	N_3	N_2
2					
3					
4					
5					

Selanjutnya, lakukan pengacakan untuk kolom 1 agar diperoleh perlakuan untuk baris 2, 3, 4 dan 5 pada kolom tersebut. Karena pada kolom 1 baris 1 telah ada N_4 maka N_4 tidak lagi diikutsertakan dalam pengacakan. Dengan cara yang sama dilakukan pengacakan berulang kali, dan hasilnya seperti pada kolom 1 Tabel 3.13.

Tabel 3.13. Hasil Pengacakan Untuk Baris 1 dan Kolom 1

Nomor Baris (B)	Nomor Kolom (K)				
	1	2	3	4	5
1	N_4	N_0	N_1	N_3	N_2
2	N_2				
3	N_0				
4	N_3				
5	N_1				

Selanjutnya, lakukan pengacakan untuk baris 2 untuk mengisi kolom 2, 3, 4 dan 5 pada baris tersebut. Karena pada baris 2 telah terdapat N_2 dan pada kolom 2 terdapat N_0 , maka N_2 dan N_0 tidak diikutsertakan dalam pengacakan. Seterusnya dilakukan pengacakan dengan memperhatikan perlakuan apa yang sudah ada pada baris dan kolom terkait. Misalkan hasil keseluruhan pengacakan dicantumkan pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14. Hasil keseluruhan Pengacakan

Nomor Baris (B)	Nomor Kolom (K)				
	1	2	3	4	5
1	N ₄	N ₀	N ₁	N ₃	N ₂
2	N ₂	N ₁	N ₄	N ₀	N ₃
3	N ₀	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁
4	N ₃	N ₂	N ₀	N ₁	N ₄
5	N ₁	N ₃	N ₂	N ₄	N ₀

Perhatikanlah dengan cermat : tidak ada dua atau lebih taraf perlakuan pada baris yang sama atau kolom yang sama.

- ♣ **Langkah 5** : Pindahkan hasil pengacakan tersebut ke denah petak percobaan, seperti pada Bagan 3.7 berikut.

→ Saluran Irigasi →

N ₄	N ₀	N ₁	N ₃	N ₂
N ₂	N ₁	N ₄	N ₀	N ₃
N ₀	N ₄	N ₃	N ₂	N ₁
N ₃	N ₂	N ₀	N ₁	N ₄
N ₁	N ₃	N ₂	N ₄	N ₀

→ Kemiringan Lahan →

Bagan 3.7. Denah Petak Percobaan RBS 5x5

3.3.3.2. Penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam

- ♣ **Langkah 1** : Siapkan tabel pengamatan untuk produksi per petak (Tabel 3.15) dan produksi per hektar (Tabel 3.16) serta tabel produksi akibat perlakuan (Tabel 3.17).

Tabel 3.15. Produksi Biji (kg/petak)

Nomor Baris (B)	Produksi (kg/petak) Nomor Kolom (K)				
	1	2	3	4	5
1	(N ₄)	(N ₀)	(N ₁)	(N ₃)	(N ₂)
2	(N ₂)	(N ₁)	(N ₄)	(N ₀)	(N ₃)
3	(N ₀)	(N ₄)	(N ₃)	(N ₂)	(N ₁)
4	(N ₃)	(N ₂)	(N ₀)	(N ₁)	(N ₄)
5	(N ₁)	(N ₃)	(N ₂)	(N ₄)	(N ₀)

Tabel 3.16. Produksi Biji (t/ ha)

Nomor Baris (B)	Produksi (t/ha) Nomor Kolom (K)					Total Baris (B _j)
	1	2	3	4	5	
1	(N ₄)	(N ₀)	(N ₁)	(N ₃)	(N ₂)	
2	(N ₂)	(N ₁)	(N ₄)	(N ₀)	(N ₃)	
3	(N ₀)	(N ₄)	(N ₃)	(N ₂)	(N ₁)	
4	(N ₃)	(N ₂)	(N ₀)	(N ₁)	(N ₄)	
5	(N ₁)	(N ₃)	(N ₂)	(N ₄)	(N ₀)	
Total Kolom (K)						
Total Umum (G)						
Rataan Umum (\bar{Y})						

Tabel 3.17. Total dan Rataan Perlakuan (t/ha)

Perlakuan	Total Perlakuan (t/ha) P_i	Rataan Perlakuan (t/ha) \bar{P}_i
N_0		
N_1		
N_2		
N_3		
N_4		

♣ **Langkah 2** : Siapkan Tabel Sidik Ragam (Tabel 3.18)

Tabel 3.18. Sidik Ragam

Sumber Keragaman	db	JK	RK	F_{hit}	$F_{tab\ 0,05}$	$F_{tab\ 0,01}$
Baris (B)						
Kolom (K)						
Perlakuan (P)						
Galat (G)						
Total (T)						

Koefisien Keragam (KK) = %

3.3.3.3. Pembuatan Sidik Ragam

♣ Langkah 1 : Hitung derajat bebas.

$$\text{db Total} = \text{dbT} = t^2 - 1 = 25 - 1 = 24$$

$$\text{db Baris} = \text{dbB} = t - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{db Kolom} = \text{dbK} = t - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{db Perlakuan} = \text{dbP} = t - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{db Galat} = \text{dbG} = \text{dbT} - \text{dbB} - \text{dbK} - \text{dbP}$$

$$= 24 - 4 - 4 - 4 = 12$$

♣ Langkah 2 : Lengkapi tabel pengamatan dengan Total Baris, Total Kolom, Total Umum dan Rataan Umum. Misalkan hasil pengamatan seperti tercantum pada Tabel 3.19 berikut.

Tabel 3.19. Produksi Biji (t/ ha)

No-mor Baris	Produksi (t/ha) Nomor Kolom (K)					Total Baris (B _i)
	1	2	3	4	5	
1	8,8 (N ₄)	4,1 (N ₀)	5,7 (N ₁)	8,0 (N ₃)	7,5 (N ₂)	34,1
2	6,5 (N ₂)	5,2 (N ₁)	8,0 (N ₄)	4,0 (N ₀)	8,7 (N ₃)	32,4
3	3,7 (N ₀)	7,9 (N ₄)	7,9 (N ₃)	7,0 (N ₂)	6,4 (N ₁)	32,9
4	7,0 (N ₃)	5,5 (N ₂)	3,8 (N ₀)	5,5 (N ₁)	9,4 (N ₄)	31,2
5	4,7 (N ₁)	7,9 (N ₃)	6,0 (N ₂)	8,2 (N ₄)	4,4 (N ₀)	31,2
Total Kolom (K)	30,7	30,6	31,4	32,7	36,4	
Total Umum (G)						161,8
Rataan Umum (\bar{Y})						6,472

Hitung juga Total dan Rataan Perlakuan (Lihat Tabel 3.20)

Tabel 3.20. Total dan Rataan Perlakuan (t/ha)

Perlakuan	Total Perlakuan (t/ha)	Rataan Perlakuan (t/ha)
	P_i	\bar{P}_i
N_0	20,0	4,0
N_1	27,5	5,5
N_2	32,5	6,5
N_3	39,5	7,9
N_4	42,3	8,46

♣ **Langkah 3** : Hitung Jumlah Kuadrat (JK)

Faktor Koreksi = FK = G^2/t^2

$$= (161,8)^2 / (5)^2$$

$$= \mathbf{1047,1696}$$

JK Total = JKT = $\sum Y_{ij}^2 - FK$

$$= (8,8)^2 + (4,1)^2 + (5,7)^2 + (8,0)^2 + (7,5)^2 + (6,5)^2 + (5,2)^2$$

$$+ (8,0)^2 + (4,0)^2 + (8,7)^2 + (3,7)^2 + (7,9)^2 + (7,9)^2$$

$$+ (7,0)^2 + (6,4)^2 + (7,0)^2 + (5,5)^2 + (3,8)^2 + (5,5)^2$$

$$\begin{aligned}
 &+ (9,4)^2 + (4,7)^2 + (7,9)^2 + (6,0)^2 + (8,2)^2 + (4,4)^2 \\
 &- 1047,1696 \\
 &= \mathbf{72,6704}
 \end{aligned}$$

$$\text{JK Baris} = \text{JKB} = \frac{\sum B_j^2}{t} - \text{FK}$$

$$= \frac{(34,1)^2 + (32,4)^2 + (32,9)^2 + (31,2)^2 + (31,2)^2}{5} - 1047,1696$$

$$= \mathbf{1,2024}$$

$$\text{JK Kolom} = \text{JKK} = \frac{\sum K_k^2}{t} - \text{FK}$$

$$= \frac{(30,7)^2 + (30,6)^2 + (31,4)^2 + (32,7)^2 + (36,4)^2}{5} - 1047,1696$$

$$= \mathbf{4,6424}$$

$$\text{JK Perlakuan} = \text{JKP} = \frac{\sum P_i^2}{t} - \text{FK}$$

$$\text{RK Galat} = \text{RKG} = \text{JKG/dbG}$$

$$= 1,5872/12$$

$$= 0,132267$$

- ♣ **Langkah 5** : Hitung Nilai F dan bandingkan dengan F dari tabel.

$$\text{F}_{\text{hit}} \text{ Perlakuan} = \text{RKP/RKG}$$

$$= 16,3096/0,132267$$

$$= 123,31 \text{ (dibulatkan)}$$

$$\text{F}_{0,05} = 3,26$$

$$\text{F}_{0,01} = 5,41$$

Karena F hitung lebih besar dari $F_{0,01}$, maka disimpulkan bahwa setidaknya ada satu taraf perlakuan yang pengaruhnya sangat nyata dibandingkan dengan pengaruh taraf-taraf perlakuan lainnya.

$$\text{F}_{\text{hit}} \text{ Baris} = \text{RKB/RKG}$$

$$= 0,3006/0,132267$$

$$= 2,27 \text{ (dibulatkan)}$$

$$F_{0,05} = 3,26$$

$$F_{0,01} = 5,41$$

Karena F hitung lebih kecil dari $F_{0,05}$, maka disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang nyata antar baris.

$$F_{\text{hit Kolom}} = \text{RKK/RKG}$$

$$= 1,1606/0,132267$$

$$= 8,77 \text{ (dibulatkan)}$$

$$F_{0,05} = 3,26$$

$$F_{0,01} = 5,41$$

Karena F hitung lebih besar dari $F_{0,01}$, maka disimpulkan bahwa ada perbedaan yang sangat nyata antar kolom.

Karena hanya antar kolom terdapat perbedaan yang sangat nyata, maka tujuan pengelompokan berdasarkan baris dan kolom tidak tercapai. Akan tetapi ini tidak berarti bahwa percobaan gagal. Hasil Uji F tersebut hanya mengindikasikan bahwa kondisi lahan memungkinkan RAK diterapkan kalau percobaan tersebut dilaksanakan sekali lagi di lahan yang sama. Akan tetapi, bila RAK digunakan, perlu ditetapkan hanya satu arah keragaman yang nyata/sangat nyata saja (dalam hal ini kemiringan lahan).

♣ **Langkah 6** : Hitung Koefisien Keragaman (KK)

$$KK = \frac{\sqrt{RKG}}{\bar{Y}} \times 100\%$$

$$KK = \frac{\sqrt{0,132267}}{6,472} \times 100\%$$

$$= 5,6\%$$

♣ **Langkah 7** : Masukkan semua hasil perhitungan tersebut ke dalam tabel sidik ragam (lihat Tabel 3.21).

Tabel 3.21. Sidik Ragam Pengaruh Dosis Urea terhadap Produksi Jagung

Sumber Keragaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Baris (B)	4	1,2024	0,3006	2,27tn	3,26	5,41
Kolom (K)	4	4,6424	1,1606	8,77**	3,26	5,41
Perlakuan (P)	4	65,2384	16,3096	123,31**	3,26	5,41
Galat (G)	12	1,5872	0,132267			
Total (T)	24	72,6704				

Koefisien Keragam (KK) = 5,6%

IV. Rancangan Untuk Percobaan Faktorial

4.1. Pengertian

Andaikan kita ingin mengetahui pengaruh dua faktor, misalnya Nitrogen (N) dan Pospor (P) pada percobaan yang terpisah. Pada percobaan 1 digunakan 5 taraf N dengan beberapa kelompok. Pada percobaan 2 digunakan 3 taraf P dengan beberapa kelompok. Semua percobaan tersebut dilaksanakan dengan menggunakan varietas, lokasi dan musim/waktu tanam yang sama. Andaikan hasil percobaan seperti pada tabel berikut.

Dengan ketentuan bahwa pada semua percobaan tersebut terdapat perbedaan yang nyata antar taraf perlakuan (peningkatan produksi signifikan), maka dapat kita katakan bahwa bila 4 kg N dan 1,5 kg P diberikan sekaligus pada satu petak, maka pasti diperoleh peningkatan produksi sebesar 8 kg/petak. Dengan kata lain, petak tersebut menghasilkan produksi 14 kg/petak. Percobaan 1 membuktikan bahwa dibandingkan dengan tanpa pemupukan (N_0), pemberian 4 kg N/petak (N_4) meningkatkan produksi sebesar 4 kg/petak. Percobaan 2 membuktikan bahwa dibandingkan dengan tanpa pemupukan (P_0), pemberian 1,5 kg P/petak (P_2) meningkatkan produksi sebesar 4 kg/petak.

Percobaan A : Pengaruh N		Percobaan B : Pengaruh P	
Taraf N (kg/petak)	Rataan Produksi (kg/petak)	Taraf P (kg/petak)	Rataan Produksi (kg/petak)
0 (N ₀)	6	0 (P ₀)	6
1 (N ₁)	7	0,75 (P ₁)	8
2 (N ₂)	8	1,5 (P ₂)	10
3 (N ₃)	9		
4 (N ₄)	10		

Produksi sebesar 14 kg/petak pada perlakuan N₄P₂ tersebut hanya akan muncul bila kedua faktor tersebut berpengaruh secara bebas satu dari yang lain (*independent*). Pada banyak kasus, kenyataannya tidak seperti itu, artinya produksi dari N₄P₂ akan lebih banyak atau lebih sedikit dari jumlah kedua percobaan yang terpisah tersebut. Faktor-faktor

perlakuan sering berpengaruh tidak bebas (*dependent*) satu dari yang lain. Hal ini disebut sebagai interaksi (*interaction*). **Dua faktor disebut berinteraksi jika pengaruh perubahan taraf satu faktor berubah bila taraf faktor lain berubah.** Interaksi dua faktor disimbolkan dengan $A \times B$. **Pengaruh interaksi adalah fenomena terpenting pada percobaan faktorial.**

Untuk lebih jelasnya kita misalkan percobaan faktorial 2×2 dengan faktor A (A_0 dan A_1) dan B (B_0 dan B_1). Terdapat 4 kombinasi antar faktor yaitu A_0B_0 , A_0B_1 , A_1B_0 dan A_1B_1 . Kombinasi tersebut disebut juga sebagai perlakuan (*treatments*). Tingkat produksinya mungkin seperti tertera pada Tabel 4.1 atau 4.2. atau 4.3.

Kemungkinan I

Tabel 4.1. Produksi (t/ha)

Faktor A	Faktor B	
	B_0	B_1
A_0	4	8
A_1	6	10

Kemungkinan II

Tabel 4.2. Produksi (t/ha)

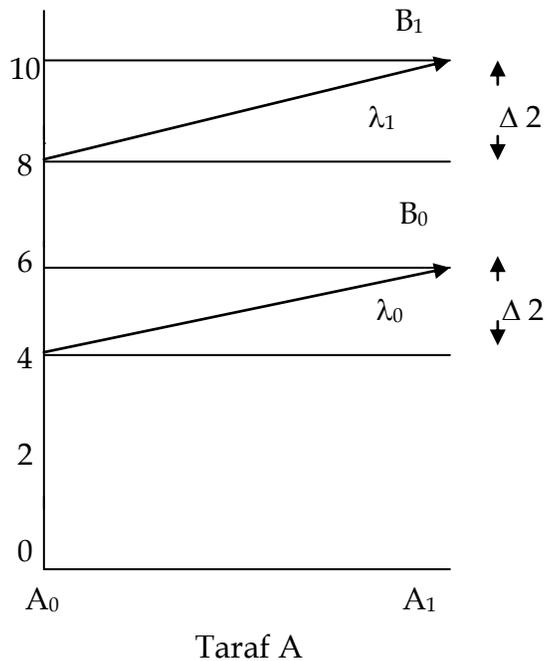
Faktor A	Faktor B	
	B_0	B_1
A_0	4	2
A_1	8	6

Kemungkinan III

Tabel 4.3. Produksi (t/ha)

Faktor A	Faktor B	
	B ₀	B ₁
A ₀	4	7
A ₁	8	10

Produksi (t/ha)



Peningkatan taraf A₀ ke A₁ pada taraf B₀ menyebabkan peningkatan produksi sebesar 2 t/ha (= 6 - 4 t/ha), atau pengaruh tunggal (*simple effect*) faktor A pada B₀ adalah 6 - 4 =

2 t/ha (lihat juga Tabel 4.1). Peningkatan taraf A_0 ke A_1 pada taraf B_1 juga menyebabkan peningkatan produksi sebesar 2 t/ha ($= 10 - 8$ t/ha), atau pengaruh tunggal faktor A pada B_1 adalah $10 - 8 = 2$ t/ha. Dengan kata lain, $\lambda_0 = \lambda_1$. Ini berarti, peningkatan satu satuan faktor A akan menyebabkan pertambahan produksi sama besarnya pada B_0 dan B_1 . Tidak ada interaksi A dan B. Secara matematik, besar interaksi $[(v\beta)]$ adalah rata-rata selisih pengaruh tunggal yaitu $(2 - 2 \text{ t/ha})/2 = 0$ t/ha. Besar interaksi juga sama dengan 0 bila perhitungan didasarkan pada pengaruh tunggal B.

Interaksi juga tidak ada bila terjadi kemungkinan II (lihat Tabel 4.2). Interaksi nyata bila terjadi Kemungkinan III (lihat Tabel 4.3). Hal itu disebabkan pengaruh tunggal A pada B_0 ($= 4$) lebih besar dari pada pengaruh tunggal A pada B_1 , ($= 3$) ataupun sudut yang terbentuk $\lambda_0 > \lambda_1$. Besar interaksi A dan B adalah $(4 - 3 \text{ t/ha})/2 = 0,5$ t/ha atau tidak sama dengan nol. Dengan kata lain, peningkatan satu satuan faktor A menyebabkan peningkatan produksi yang besarnya berbeda pada B_0 dan B_1 .

Dapat disimpulkan bahwa interaksi terjadi bila $\lambda_0 \neq \lambda_1$ atau besar interaksi $[(v\beta)]$ tidak sama dengan nol. Besar interaksi apakah sama dengan nol atau tidak, diuji melalui Uji F pada sidik ragam. Secara matematika, interaksi tersebut dapat dengan mudah dihitung. Akan tetapi, penjelasan interaksi secara biologi-fisiologi tidak jarang menemukan kesulitan (Kobabe 1988).

Jika pengaruh beberapa faktor diuji secara bersama-sama pada satu percobaan dengan mengikutsertakan seluruh kombinasi yang mungkin ada, maka percobaan tersebut disebut percobaan faktorial (*factorial experiment*). Pengaruh interaksi antar faktor-faktor dapat diukur hanya apabila kedua

faktor tersebut diuji secara bersama-sama dalam percobaan yang sama.

Semua rancangan percobaan yang termasuk dalam RKL yang digunakan untuk percobaan non-faktorial, dapat diterapkan untuk percobaan faktorial. Rancangan Petak Terbagi dari RCTL dapat digunakan dalam percobaan faktorial. Pada pengacakan dan penataan, antar kombinasi dianggap tidak berkaitan. Akan tetapi, dalam sidik ragam dilakukan perhitungan tambahan untuk memilah (*partition*) pengaruh perlakuan menjadi pengaruh faktor-faktor dan interaksinya.

Percobaan faktorial biasanya ditulis dengan tatacara tertentu :

3x4 : berarti faktor pertama terdiri atas 3 taraf, faktor kedua 4 taraf. Jadi, terdapat $3 \times 4 = 12$ kombinasi = 12 perlakuan.

3x4x5 : berarti faktor pertama terdiri atas 3 taraf, faktor kedua 4 taraf, faktor ketiga 5 taraf. Jadi, terdapat $3 \times 4 \times 5 = 60$ kombinasi = 60 perlakuan.

3x3 = 3² : berarti faktor pertama dan kedua terdiri atas 3 taraf, sehingga terdapat $3 \times 3 = 9$ kombinasi = 9 perlakuan.

Untuk lebih jelasnya, berikut ini akan diberikan beberapa contoh perhitungan dan interpretasi bila interaksi nyata atau tidak nyata.

4.2. Rancangan Acak Kelompok

Pada percobaan RAK non-faktorial telah dijelaskan bahwa sumber keragaman ada tiga yaitu perlakuan, kelompok dan galat. Pada percobaan RAK factorial (RAK-F), keragaman perlakuan (=kombinasi) disebabkan oleh keragaman karena faktor-faktor dan interaksi antar faktor. Dengan demikian, pada percobaan faktorial dengan faktor A dan B, total keragamaman disebabkan oleh keragaman faktor A, B dan intraksi A dengan B, serta kelompok dan galat.

4.2.1. Model Matematik

Dari uraian di atas, jelaslah bahwa keragaman nilai-nilai pengamatan (total keragaman) pada RAK factorial (RAKF) bersumber dari (1) keragaman akibat faktor A, (2) keragaman akibat faktor B, (3) keragaman akibat interaksi faktor A dengan B, (4) keragaman akibat kelompok dan (5) keragaman akibat galat percobaan. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam model matematik linear aditif :

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \beta_j + (\rho\beta)_{ij} + \kappa_k + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = nilai pengamatan pada faktor ρ taraf ke-I, faktor β taraf

ke-j di kelompok ke-k

μ = nilai tengah

ρ_i = pengaruh faktor ρ taraf ke- i ($i = 1, 2, 3 \dots t$)

β_j = pengaruh faktor β taraf ke- j ($j = 1, 2, 3 \dots t$)

$(\rho\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi faktor ρ taraf ke- i dan β taraf ke- j

κ_k = pengaruh kelompok ke- k ($k = 1, 2, 3 \dots r$)

ε_{ijk} = pengaruh galat faktor ρ taraf ke- i , faktor β taraf ke- j di kelompok ke- k

4.2.2. Hipotesis

Misalkan kita ingin meneliti pengaruh Nitrogen dan Metanol terhadap produksi jagung varietas Pioneer-7. Molekul biologis penting tanaman, seperti protein, mengandung Nitrogen. Molekul biologis tersebut adalah bahan pembentuk sel, dan sel adalah pembentuk bagian tanaman atau seluruh tubuh tanaman. Disamping itu, untuk pertumbuhan dan produksi tanaman, tanaman memerlukan enzim-enzim yang bertugas dalam berbagai reaksi-reaksi biokimia, fisiologi dan diferensiasi tanaman. Enzim tersebut adalah protein. Dengan demikian, ketersediaan Nitrogen dalam tanah menentukan tingkat pertumbuhan, kuantitas dan kualitas produksi tanaman.

Metabolisma Metanol (CH_3OH) dapat menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan Hidrogen (H^+). Oleh karena itu, Metanol dapat meningkatkan secara langsung atau tidak langsung aktivitas metabolisma dan fotosintesis, sehingga laju fotosintesis bersih (netto) meningkat.

Bila Metanol dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi, maka kebutuhan tanaman terhadap Nitrogen juga akan meningkat. Akan tetapi, peningkatan satu satuan konsentrasi Metanol mungkin mengakibatkan pertumbuhan dan produksi yang besarnya berbeda pada dosis nitrogen yang berbeda.

Oleh karena itu, selain pengaruh utama Nitrogen dan Metanol, pengaruh interaksi antar kedua faktor perlu juga diteliti. Interpretasi terhadap interaksi memungkinkan penggunaan kombinasi yang tepat antar kedua faktor tersebut sehingga pemberian yang berlebihan atau konsumsi mewah (*luxury consumption*) dapat dihindari (penelitian tentang Metanol dapat dilihat pada Malau 1994).

Pada percobaan tersebut misalkan digunakan 0, 150 dan 300 kg Urea/ha (Urea sebagai sumber Nitrogen) dan 0, 3, 6, 9 dan 12 ml Metanol/l air. Hipotesis yang akan diuji adalah :

(a) untuk pengaruh utama Nitrogen

$H_0 : \bar{N}_0 = \bar{N}_1 = \bar{N}_2$ (= tidak ada perbedaan produksi biji yang nyata meskipun tanaman dipupuk dengan dosis Urea yang berbeda).

H_1 : setidaknya ada satu dosis Urea yang pengaruhnya terhadap produksi biji berbeda nyata (ataupun sangat nyata) dibandingkan dengan dosis-dosis Urea lainnya.

(b) untuk pengaruh utama Metanol

$H_0 : \bar{M}_0 = \bar{M}_1 = \bar{M}_2 = \bar{M}_3 = \bar{M}_4$ (= tidak ada perbedaan produksi biji yang nyata meskipun tanaman

diberi konsentrasi Metanol yang berbeda).

H_1 : setidaknya ada satu konsentrasi Metanol yang berpengaruh nyata (ataupun sangat nyata) terhadap produksi biji.

(c) untuk interaksi Nitrogen dengan Metanol

H_0 : $(\rho\beta)_{11} = (\rho\beta)_{12} = \dots = (\rho\beta)_{ij} = 0$ (= tidak ada interaksi N dengan M)

H_1 : sekurang-kurangnya satu $(\rho\beta)_{ij}$ tidak nol

4.2.3. Tahapan Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan RAKF adalah (1) pengelompokan, penataan dan pengacakan, (2) penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam dan (3) pembuatan sidik ragam.

4.2.3.1. Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan

Karena faktor pertama Nitrogen terdistribusi atas 3 taraf dan faktor kedua Metanol terdiri atas 5 taraf, maka terdapat 15 kombinasi (Tabel 4.4). Prinsip-prinsip penggunaan RAK, penataan dan pengacakannya telah dibicarakan pada percobaan non-faktorial. Contoh hasil penataan dan pengacakan dengan 4 kelompok dapat dilihat pada Bagan 4.1 atau Bagan 4.2 (bagan yang dipilih tergantung pada ketersediaan, kesesuaian bentuk/ukuran dan keragaman lahan).

Tabel 4.4. Kombinasi Perlakuan Percobaan Faktorial dengan RAK 3x5

Metanol (ml/l air)	Nitrogen (kg/ha)		
	0 (N ₀)	150 (N ₁)	300 (N ₂)
0 (M ₀)	N ₀ M ₀	N ₁ M ₀	N ₂ M ₀
3 (M ₁)	N ₀ M ₁	N ₁ M ₁	N ₂ M ₁
6 (M ₂)	N ₀ M ₂	N ₁ M ₂	N ₂ M ₂
9 (M ₃)	N ₀ M ₃	N ₁ M ₃	N ₂ M ₃
12 (M ₄)	N ₀ M ₄	N ₁ M ₄	N ₂ M ₄

Kelompok I Kelompok II Kelompok III Kelompok IV

N ₀ M ₃	N ₁ M ₀	N ₁ M ₀	N ₁ M ₀
N ₀ M ₄	N ₂ M ₀	N ₀ M ₂	N ₁ M ₁
N ₂ M ₀	N ₀ M ₀	N ₀ M ₃	N ₀ M ₁
N ₁ M ₀	N ₂ M ₂	N ₂ M ₄	N ₂ M ₁
N ₀ M ₁	N ₁ M ₄	N ₁ M ₄	N ₁ M ₄
N ₁ M ₂	N ₀ M ₂	N ₀ M ₀	N ₂ M ₀
N ₂ M ₂	N ₀ M ₃	N ₂ M ₃	N ₀ M ₄
N ₁ M ₁	N ₂ M ₁	N ₀ M ₄	N ₂ M ₃
N ₀ M ₀	N ₁ M ₃	N ₂ M ₀	N ₀ M ₂
N ₁ M ₃	N ₁ M ₁	N ₁ M ₃	N ₁ M ₃

N_0M_2	N_1M_2	N_2M_2	N_0M_0
N_1M_4	N_2M_4	N_1M_1	N_0M_3
N_2M_1	N_0M_4	N_1M_2	N_1M_2
N_2M_3	N_2M_3	N_0M_1	N_2M_4
N_2M_4	N_0M_1	N_2M_1	N_2M_2

Bagan 4.1. Hasil Penataan dan Pengacakan (Alternatif I)

Kelompok I	N_1M_3	N_1M_0	N_2M_0
	N_0M_1	N_0M_3	N_0M_2
	N_2M_1	N_1M_2	N_2M_2
	N_1M_1	N_0M_0	N_2M_3
	N_2M_4	N_1M_4	N_0M_4

Kelompok II	N_1M_3	N_1M_0	N_2M_0
	N_0M_2	N_2M_1	N_1M_1
	N_0M_1	N_1M_2	N_0M_3
	N_2M_2	N_0M_0	N_2M_3
	N_0M_4	N_1M_4	N_2M_4

Kelompok III	N_2M_0	N_1M_0	N_0M_0
	N_1M_3	N_2M_3	N_2M_1
	N_0M_2	N_1M_2	N_0M_4
	N_0M_3	N_0M_1	N_1M_1
	N_2M_2	N_1M_4	N_2M_4

Kelompok IV	N_1M_0	N_0M_3	N_1M_1
	N_2M_2	N_1M_4	N_0M_0
	N_0M_2	N_1M_2	N_0M_4
	N_2M_0	N_0M_1	N_2M_4
	N_1M_3	N_2M_3	N_2M_1

Bagan 4.2. Hasil Penataan dan Pengacakan (Alternatif II)

4.2.3.2. Penyediaan Tabel Pengamatan dan Tabel Sidik Ragam

Sediakanlah tabel-tabel pengamatan dan tabel sidik ragam yang diperlukan.

- ❖ **Langkah 1** : Siapkan tabel pengamatan untuk produksi per petak dan per hektar (lihat Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Produksi Jagung (t/ha)

	Kelompok				Total Perlakuan (Kombinasi) (=P _i)
	1	2	3	4	
	N0				
	M ₀				
	M ₁				
	M ₂				
	M ₃				
	M ₄				
	N1				
	M ₀				
	M ₁				
	M ₂				
	M ₃				

	M ₄					
		N ₂				
	M ₀					
	M ₁					
	M ₂					
	M ₃					
	M ₄					
Total Kelompok (K)						
Total Umum (G)						
Rataan Umum (\bar{y})						

♣ **Langkah 2** : Siapkan tabel sidik ragam produksi (t/ha).

Siapkan tabel sidik ragam (Tabel 4.6).

Tabel 4.6. Sidik Ragam Produksi Biji Jagung

Sumber Keragaman	Db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Kelompok (K)						
Perlakuan (= Kombinasi) (P)						
– Nitrogen (N)						
– Metanol (M)						

- NxM						
Galat (G)						
Total (T)						

Koefisien Keragam (KK) = %

4.2.3.3. Pembuatan Sidik Ragam

Dengan menggunakan data produksi per hektar, buatlah sidik ragam.

♣ **Langkah 1** : Hitung derajat bebas.

Karena percobaan dilakukan dengan 4 kelompok ($k = 4$), Nitrogen 3 taraf ($a = 3$) dan Metanol 5 taraf ($b = 5$), maka :

$$\text{db Total} = (kab) - 1 = (4 \times 3 \times 5) - 1 = 59$$

$$\text{db Kelompok} = (k - 1) = 4 - 1 = 3$$

$$\text{db Perlakuan (=kombinasi)} = (ab - 1) = 15 - 1 = 14$$

$$\text{db Nitrogen} = a - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{db Metanol} = b - 1 = 5 - 1 = 4$$

db NxM = db Perlakuan – db Nitrogen – db Metanol

$$= 14 - 2 - 4 = 8$$

db Galat = db Total – db Kelompok – db Perlakuan

$$= 59 - 3 - 14 = 42$$

♣ **Langkah 2** : Lengkapi tabel dengan Total Perlakuan, Rataan Perlakuan dan sebagainya. Misalkan hasil percobaan seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Produksi Biji Jagung (t/ha) pada Perlakuan Nitrogen (3 taraf) dan Metanol (5 taraf) dengan 4 Kelompok

		Kelompok				
		1	2	3	4	Total Perlakuan (P _i)
		N ₀				
	M ₀	3,7	5,6	5,1	5,6	20,0
	M ₁	5,3	5,1	5,4	5,1	20,9
	M ₂	5,1	5,2	5,3	4,9	20,5
	M ₃	5,9	5,1	5,2	5,5	21,7
	M ₄	6,4	6,1	5,4	5,3	23,2
		N ₁				
	M ₀	5,7	6,1	5,7	5,9	23,4
	M ₁	5,8	5,3	5,1	5,6	21,8
	M ₂	7,1	7,3	6,9	7,4	28,7
	M ₃	6,6	5,6	5,8	6,2	24,2
	M ₄	5,3	5,9	5,1	5,8	22,1
		N ₂				
	M ₀	5,7	5,7	5,7	5,6	22,7
	M ₁	5,9	5,9	5,4	5,9	23,1

	M ₂	6,1	6,2	5,3	5,6	23,2
	M ₃	7,1	7,2	7,2	7,1	28,6
	M ₄	6,5	6,7	6,9	6,3	26,4
Total Kelompok (K)		88,2	89,0	85,5	87,8	
Total Umum (G)						350,5
Rataan Umum (\bar{y})						5,8

♣ **Langkah 3** : Hitung Jumlah Kuadrat (JK)

Faktor Koreksi = FK = G²/(kab)

$$= (350,5)^2 / [(4)(3)(5)]$$

$$= 2047,5040$$

JK Total = JKT = $\sum Y_{ijk}^2 - FK$

$$= [(3,7)^2 + (5,6)^2 + (5,1)^2 + (5,6)^2 + \dots + (6,3)^2]$$

$$- 2047,5040$$

$$= 31,04583$$

JK Kelompok = JKK = $\frac{\sum K_k^2}{ab} - FK$

$$= \frac{(88,2)^2 + (89,0)^2 + (85,5)^2 + (87,8)^2}{ab} - 2047,5040$$

$$(3)(5)$$

$$= 0,451167$$

$$\text{JK Perlakuan} = \text{JKP} = \text{JK Kombinasi} = \frac{\sum P_i^2}{k} - \text{FK}$$
$$= \frac{(20,0)^2 + (20,9)^2 + (20,5)^2 + \dots + (26,4)^2}{4} - 2047,5040$$

$$= 24,69333$$

$$\text{JK Galat} = \text{JKG} = \text{JK Total} - \text{JK Kelompok} - \text{JK Perlakuan}$$

$$= 31,04583 - 0,451167 - 24,69333$$

$$= 5,901333$$

Agar percobaan faktorial dan interaksi dapat lebih jelas dipahami, maka terlebih dahulu kita buat tabel sidik ragam lengkap dengan Rataan Kuadrat (RK), F hitung dan F tabel. Rataan Kuadrat adalah hasil bagi JK dengan db. F_{hitung} adalah hasil bagi RK dengan RK Galat. Nilai F tabel diambil dari Tabel F pada Lampiran 1 (cara menentukan nilai F tabel lihat pada percobaan non-faktorial). Hasil lengkap dicantumkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Sidik Ragam Produksi Biji Jagung

Sumber Kera-gaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Kelom-pok (K)	3	0,451167	0,150389	1,07 ^{tn}	2,83	4,29
Perla-kuan (=Kom-binasi) (P)	14	24,69333	1,763810	12,55 ^{**}	1,94	2,54
Galat (G)	42	5,901333	0,140508			
Total (T)	59	31,04583				

Nilai F_{hitung} yang sangat nyata tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat nyata antar kombinasi. Akan tetapi, informasi ini belum memungkinkan kita untuk

memahami gambaran/sifat (*nature*) pengaruh masing-masing faktor, serta pengaruh interaksi kedua faktor. Untuk memahaminya, kita harus memilah-milah (*partition*) ragam kombinasi ke ragam komponen faktorial (*factorial components*), dan komponen faktorial adalah faktor Nitrogen, Metanol dan interaksi Nitrogen dengan Metanol. Dengan demikian, JK Kombinasi = JK Nitrogen + JK Metanol + JK NxM. Itulah sebabnya tabel sidik ragam percobaan tersebut adalah Tabel 4.6.

Selanjutnya, dari Tabel 4.7 bentuk tabel dwikasta faktor Nitrogen dan Metanol (total dari 4 kelompok). Hasilnya dicantumkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Produksi Total Nitrogen x Metanol

	Total Produksi (AB)			Total Metanol (M _j)
	N ₀	N ₁	N ₂	
M ₀	20,0	23,4	22,7	66,1
M ₁	20,9	21,8	23,1	65,8
M ₂	20,5	28,7	23,2	72,4
M ₃	21,7	24,2	28,6	74,5
M ₄	23,2	22,1	26,4	71,7
Total Nitrogen (N _i)	106,3	120,2	124,0	350,5

Berdasarkan Tabel 4.9, hitung JK Nitrogen, Metanol dan NxM.

$$\begin{aligned}\text{JK Nitrogen} &= \frac{\sum N_i^2}{rb} - \text{FK} \\ &= \frac{(106,3)^2 + (120,2)^2 + (124,0)^2}{(4)(5)} - 2047,5040 \\ &= 8,682333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{JK Metanol} &= \frac{\sum M_j^2}{ra} - \text{FK} \\ &= \frac{(66,1)^2 + (65,8)^2 + (72,4)^2 + (74,5)^2 + (71,7)^2}{(4)(3)} - 2047,5040 \\ &= 5,141667\end{aligned}$$

$$\text{JK NxM} = \text{JK Perlakuan} - \text{JK Nitrogen} - \text{JK Metanol}$$

$$= 24,69333 - 8,682333 - 5,141667$$

$$= 10,86933$$

♣ **Langkah 4** : Hitung Rataan Kuadrat (RK)

$$\text{RK Nitrogen} = (\text{JK Nitrogen})/(\text{db Nitrogen})$$

$$= 8,682333/2$$

$$= 4,341167$$

$$\text{RK Metanol} = (\text{JK Metanol})/(\text{db Metanol})$$

$$= 5,141667/4$$

$$= 1,285417$$

$$\text{RK NxM} = (\text{JK NxM})/(\text{db NxM})$$

$$= 10,86933/8$$

$$= 1,358667$$

♣ **Langkah 5** : Hitung F_{hit} dan bandingkan dengan F_{tab} .

$$F_{\text{hit Nitrogen}} = (\text{RK Nitrogen})/(\text{RK Galat})$$

$$= 4,341167/0,140508$$

$$= 30,90 \text{ (dibulatkan).}$$

$$F_{\text{hit Metanol}} = (\text{RK Metanol})/(\text{RK Galat})$$

$$= 1,285417/0,140508$$

$$= \mathbf{9,15} \text{ (dibulatkan).}$$

$$F_{\text{hit NxM}} = (\text{RK NxM})/(\text{RK Galat})$$

$$= 1,358667/0,140508$$

$$= \mathbf{9,67} \text{ (dibulatkan).}$$

Sekarang kita tentukan nilai F tabel untuk perlakuan, Nitrogen, Metanol dan NxM. Misalnya untuk faktor Nitrogen, dengan db Nitrogen sebagai $db_1 = f_1 (= 2)$ dan db Galat sebagai $db_2 = f_2 (= 42)$, maka dari Tabel F pada lampiran 1 diperoleh :

$$F_{0,05} = 3,22$$

$$F_{0,01} = 5,15$$

♣ **Langkah 6** : Hitunglah Koefisien Keragaman (KK).

$$KK = \frac{\sqrt{\text{RKG}}}{\bar{Y}} \times 100\%$$
$$\sqrt{0,140508}$$

$$= \frac{\quad}{5,8} \times 100\%$$
$$= 6,5\%$$

- ♣ **Langkah 7 :** Masukkan semua hasil perhitungan di atas ke dalam tabel sidik ragam, dan hasilnya adalah Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Sidik Ragam Produksi Biji Jagung pada Percobaan Faktorial dengan RAK 3x5

Sumber Keragaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab} 0,05	F _{tab} 0,01
Kelompok	3	0,451167	0,150389	1,07 ^{tn}	2,83	4,29
Perlakuan (Kombinasi)	14	24,69333	1,763810	12,55 ^{**}	1,94	2,54
– Nitrogen (N)	2	8,682333	4,341167	30,90 ^{**}	3,22	5,15
– Metanol (M)	4	5,141667	1,285417	9,15 ^{**}	2,59	3,8
– NxM	8	10,86933	1,358667	9,67 ^{**}	2,17	2,96
Galat	42	5,901333	0,140508			
Total	59	31,04583				

Koefisien Keragam (KK) = 6,5%

4.2.3.4. Interpretasi terhadap Sidik Ragam dan Uji Lanjutan

Ketentuan umum untuk interpretasi terhadap sidik ragam adalah :

- (1) bila interaksi tidak nyata, maka gambaran/sifat (*nature*) pengaruh faktor dianalisis dari rata-rata faktor (pengaruh utama = *main effect*). Hal ini disebabkan pengaruh tunggal (*simple effect*) sama besarnya pada semua taraf faktor lain
- (2) Bila interaksi nyata, pengaruh tunggal yang harus diuji. Hal ini dikarenakan pengaruh tunggal tidak sama besarnya pada semua taraf faktor lain. Adanya interaksi dalam suatu percobaan dapat menyembunyikan atau menutupi beda nyata antar pengaruh faktor A ataupun pengaruh faktor B (Walpole 1993). **Oleh sebab itu, setiap uji yang menghasilkan penerimaan hipotesis terhadap faktor A atau B tidak sah bila interaksi nyata.** Sejalan dengan itu, uji kecenderungan pun tidak boleh dilakukan baik pada faktor A maupun B.

Berikut ini dijelaskan lima keadaan yang menyangkut hasil Uji F dan rekomendasi terkait.

- (1) Faktor A dan B masing-masing berpengaruh nyata, tetapi interaksi tidak nyata.
Rekomendasi : kedua faktor diterapkan secara terpisah atau diterapkan salah

satu saja. Bila diterapkan secara terpisah, pilihlah taraf terbaik dari rataan masing-masing faktor berdasarkan Uji Beda antar rataan. Bila salah satu diterapkan, pilihlah faktor dengan RK terbesar (RK merupakan kontribusi relatif terhadap total keragaman); pilih taraf terbaik berdasarkan Uji Beda antar rataannya.

- (2) Faktor A dan B masing-masing berpengaruh tidak nyata, tetapi interaksi nyata.

Rekomendasi : kedua faktor harus diterapkan secara bersama-sama. Pilihlah kombinasi taraf terbaik berdasarkan Uji Beda antar kombinasi.

- (3) (a) Faktor A berpengaruh nyata, tetapi faktor B dan interaksi tidak nyata, atau (b) faktor B nyata, tetapi faktor A dan interaksi tidak nyata.

Rekomendasi : Pada kasus (a), gunakan hanya faktor A dengan taraf terbaik berdasarkan Uji Beda antar rataan faktor A. Pada kasus (b), gunakan hanya faktor B dengan taraf terbaik berdasarkan Uji Beda antar rataan faktor B.

- (4) (a) Faktor A dan interaksi berpengaruh nyata atau

(b) faktor B dan interaksi berpengaruh nyata.

Rekomendasi : Pada kasus (a), gunakan taraf terbaik faktor A saja, atau gunakan kombinasi AB terbaik. Pada kasus (b), gunakan taraf terbaik faktor B saja, atau gunakan kombinasi AB terbaik.

(5) Semua komponen faktorial (A, B dan AxB) berpengaruh nyata. Tabel 4.10 menunjukkan kasus seperti itu.

Rekomendasi : gunakan A dan B secara bersamaan pada taraf terbaik. Ujilah perbedaan antar kombinasi. Hasilnya dicantumkan pada Tabel 4.11 (dikutip dari Tabel 5.11; prosedurnya yang rinci baca Bab V tentang Uji Beda Antar Rataan khususnya Bagian 5.1.2.).

Tabel 4.11. Rataan Produksi Biji Jagung dan Hasil Uji Beda Antar Rataan dan Kombinasi yang disebabkan oleh Pengaruh Nitrogen dan Metanol.

Metanol (ml/1 air)	Nitrogen (kg/ha)		
	0 (N ₀)	150 (N ₁)	300 (N ₂)
0 (M ₀)	5,0Aa	5,9cdDEFG	5,7bcdABCDE
3 (M ₁)	5,3abABC	5,5abcABCD	5,8cdBCDEF
6 (M ₂)	5,1Aab	7,2f I	5,8cdBCDEF
9 (M ₃)	5,4abcABCD	6,1deDEFGH	7,2f I
12 (M ₄)	5,8cdBCDEF	5,5abcABCD	6,6eGHI

Keterangan : Kombinasi yang diikuti oleh huruf kecil atau besar yang berbeda, berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) atau sangat nyata ($\alpha = 0,01$) berdasarkan Uji BNT.

Bila menggunakan Nitrogen dan Metanol secara bersama-sama, gunakan 150 kg N/ha dan 6 ml Metanol/1 air (inilah pilihan terbaik karena memberikan produksi tertinggi (7,2 t/ha)).

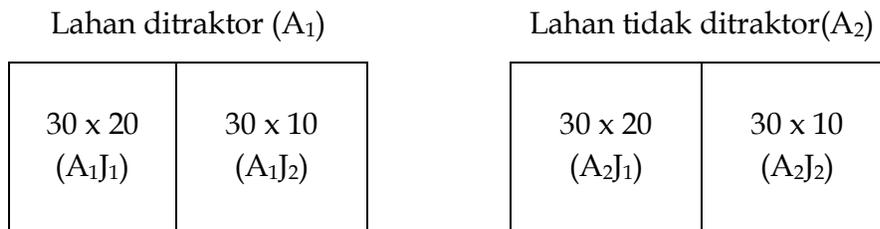
Andaikata interaksi tidak nyata, maka uji beda antar kombinasi tidak perlu dilakukan.

4.3. Rancangan Petak Terbagi

Pada percobaan faktorial, ada kalanya salah satu faktor mempunyai pengaruh yang lebih kuat (lebih besar) dibandingkan dengan pengaruh faktor lain. Misalnya, pastilah perbedaan pengaruh antara lahan diolah dengan tidak diolah lebih besar dari pada perbedaan jarak tanam (sampai batas tertentu) terhadap produksi. Oleh karena itu, meskipun galat untuk faktor pertama (pengolahan lahan) lebih besar, namun masih besar kemungkinan Uji F-nya nyata. Pada sisi lain, agar Uji F untuk faktor kedua (jarak tanam) berpeluang besar untuk nyata perlu diupayakan galatnya sekecil mungkin. Dalam Rancangan Petak Terbagi (*split plot design*), disingkat RPT, faktor pengolahan tanah ditempatkan pada petak utama (*main plot*) dan faktor jarak tanam ditempatkan pada anak petak (*subplot*; petak utama dibagi menjadi beberapa anak petak). Pengolahan lahan disebut faktor petak utama (*main-plot factor*) dan jarak tanam disebut faktor anak petak (*sub-plot factor*). Dalam kasus tersebut, penempatan perlakuan ke dalam petak utama dan anak petak tersebut didasarkan pada pertimbangan besar relatif pengaruh perlakuan.

Pertimbangan lain yang dapat digunakan adalah derajat keakuratan. Misalnya, sudah banyak percobaan yang menunjukkan bahwa pengaruh Nitrogen pada berbagai taraf dan spesies nyata. Sementara itu, belum ada (atau belum cukup banyak) percobaan tentang pengaruh Metanol. Dalam kasus tersebut, Nitrogen ditempatkan pada petak utama, dan Metanol pada anak petak.

Pertimbangan lain adalah manajemen pelaksanaan percobaan. Lebih baik perlakuan pentraktor (A₁) dan tanpa pentraktor (A₂) ditempatkan pada petak utama dari pada jarak tanam (J₁ = 30 x 20 cm; J₂ = 30 x 10 cm). Untuk jelasnya, lihat Bagan 4.3. Petak dengan faktor pengolahan lahan dibagi sebanyak taraf faktor jarak tanam.



Bagan 4.3. Letak Perlakuan untuk Petak Utama (pengolahan tanah) dan Anak Petak (jarak tanam).

Galat petak utama (RKG_a) digunakan sebagai penyebut pada Uji-F untuk faktor petak utama :

$$F_{\text{hitung faktor petak utama}} = \frac{\text{RK faktor petak utama}}{\text{RKG}_a}$$

Galat anak petak (RKG_b) digunakan sebagai penyebut pada Uji-F untuk faktor anak petak dan interaksi :

$$F_{\text{hitung faktor anak petak}} = \frac{\text{RK faktor anak petak}}{\text{RKG}_b}$$

$$F_{\text{hitung Interaksi}} = \frac{\text{RK interaksi}}{\text{RKG}_b}$$

4.3.1. Model Matematik

Sumber keragaman bagi nilai pengamatan adalah (1) pengaruh faktor ρ , (b) pengaruh kelompok (kelompok), (3) galat petak utama, (4) pengaruh faktor β , (5) pengaruh interaksi faktor ρ dan β dan (6) galat anak petak. Dengan demikian, model matematik RPT adalah :

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + K_k + \varepsilon_{ik} + \beta_j + (\rho\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = nilai pengamatan pada faktor α taraf ke-i dan faktor β taraf ke-j serta kelompok ke-k

μ = nilai tengah

ρ_i = pengaruh faktor ρ taraf ke-i ($i = 1, 2, 3 \dots t$)

K_k = pengaruh kelompok ke-k ($k = 1, 2, 3 \dots r$)

ε_{ik} = pengaruh galat faktor ρ taraf ke-i di kelompok ke-k

β_j = pengaruh faktor β taraf ke-j ($j = 1, 2, 3 \dots t$)

$(\rho\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi faktor ρ taraf ke-i, faktor β taraf ke-j

ε_{ijk} = pengaruh galat factor ρ taraf ke-I, faktor β taraf ke-j, di kelompok ke-k

4.3.2. Hipotesis

Misalkan pengaruh Nitrogen dan Metanol akan diteliti. Karena penelitian tentang pengaruh Nitrogen terhadap kacang kedelai telah banyak diteliti, maka faktor Nitrogen ditempatkan pada petak utama. Sebaliknya, karena percobaan tentang pengaruh Metanol terhadap kacang kedelai belum pernah atau sangat jarang dilakukan, maka faktor Metanol ditempatkan pada anak petak. Faktor Nitrogen terdiri dari 4 taraf, yaitu 0 (N_0), 100 (N_1), 200 (N_2) dan 300 (N_3) kg N/ha, sedangkan faktor Metanol terdiri dari 5 taraf, yaitu 0 (M_0), 2 (M_1), 4 (M_2), 6 (M_3) dan 8 (M_4) ml Metanol/l air. Percobaan dilakukan dengan 3 kelompok. Hipotesis RPT sama dengan hipotesis RAK faktorial (lihat 4.2.2).

(a) Hipotesis untuk pengaruh utama Nitrogen

H_0 : $\bar{N}_0 = \bar{N}_1 = \bar{N}_2 = \bar{N}_3$ (= tidak ada perbedaan produksi biji yang nyata meskipun tanaman kacang kedelai dipupuk dengan dosis Urea yang berbeda).

H_1 : setidaknya ada satu dosis Urea yang berpengaruh nyata (ataupun sangat nyata) terhadap produksi biji kacang kedelai.

(b) Hipotesis untuk pengaruh utama Metanol

$H_0 : \bar{M}_0 = \bar{M}_1 = \bar{M}_2 = \bar{M}_3 = \bar{M}_4$ (= tidak ada perbedaan produksi biji yang nyata meskipun tanaman kacang kedelai diberi konsentrasi Metanol yang berbeda).

H_1 : setidaknya ada satu konsentrasi Metanol yang berpengaruh nyata (atau sangat nyata) terhadap produksi biji kacang kedelai.

(c) Hipotesis untuk interaksi Nitrogen dengan Metanol

$H_0 : (\rho\beta)_{11} = (\rho\beta)_{12} = \dots = (\rho\beta)_{ij} = 0$

H_1 : sekurang-kurangnya ada satu $(\rho\beta)_{ij}$ yang tidak nol.

4.3.3. Tahapan Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan adalah (1) pengelompokan, penataan dan pengacakan, (2) penyediaan tabel pengamatan dan tabel sidik ragam dan (3) pembuatan sidik ragam.

4.3.3.1. Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan

Langkah 1 : Bagilah areal percobaan atas 3 kelompok.

Langkah 2 : Bagilah setiap kelompok menjadi 4 petak utama, yakni sebanyak taraf faktor petak utama.

Langkah 3 : Lakukanlah pengacakan terhadap taraf-taraf Nitrogen pada setiap kelompok. Hasil langkah 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada Bagan 4.4.

Kelompok I	Kelompok II	Kelompok III
N ₀	N ₃	N ₃
N ₃	N ₀	N ₂
N ₁	N ₂	N ₀
N ₂	N ₁	N ₁

Bagan 4.4. Hasil Pengelompokan, Penataan dan Pengacakan Faktor Nitrogen.

Langkah 4 : Bagi setiap petak utama menjadi anak petak sebanyak taraf Metanol (jadi, setiap petak utama dibagi menjadi 5 anak petak).

Langkah 5 : Lakukan pengacakan terhadap taraf Metanol pada setiap petak utama. Contoh hasilnya dapat dilihat pada Bagan 4.5.

Kelompok I						Kelompok II					Kelompok III						
N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M
0	0	1	2	3	4	3	3	1	2	0	4	3	4	3	1	2	0
N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M
3	3	1	2	0	4	0	4	3	1	2	0	2	3	1	2	0	4
N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M
1	2	0	4	3	1	2	0	1	2	3	4	0	1	2	0	4	3
N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M
2	4	3	1	2	0	1	2	0	4	3	1	1	2	0	4	3	1

Bagan 4.5. Hasil Pengacakan Anak Petak

4.3.3.2. Penyediaan Tabel-tabel Pengamatan dan Tabel Sidik Ragam

- ♣ **Langkah 1** : Siapkan tabel pengamatan untuk produksi per petak dan per hektar (lihat Tabel 4.12).

Tabel 4.12. Produksi Kacang Kedelai (t/ha)

	Kelompok (K)		
	1	2	3
	N0		
M ₀			
M ₁			
M ₂			
M ₃			
M ₄			
	N1		
M ₀			
M ₁			
M ₂			
M ₃			
M ₄			
	N2		
M ₀			
M ₁			
M ₂			
M ₃			
M ₄			
	N3		
M ₀			
M ₁			
M ₂			
M ₃			
M ₄			
Total Umum (G)			
Rataan Umum (\bar{y})			

♣ **Langkah 2** : Siapkan tabel sidik ragam produksi (t/ha).

Tabel sidik ragam untuk RPT adalah Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Sidik Ragam Produksi Biji Kacang Kedelai

Sumber Keragaman	Db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Kelompok (K)						
Nitrogen (N)						
Galat (a)						
Metanol (M)						
NxM						
Galat (b)						
Total (T)						

Koefisien Keragam (KK) (a) = %

Koefisien Keragam (KK) (b) = %

4.3.3.3. Pembuatan Sidik Ragam

♣ **Langkah 1** : Hitung derajat bebas.

Karena percobaan dilakukan dengan 3 kelompok ($k = 3$), Nitrogen 4 taraf ($a = 4$) dan Metanol 5 taraf ($b = 5$), maka :

$$\text{db Total} = (kab) - 1 = (3 \times 4 \times 5) - 1 = 59$$

$$\text{db Kelompok} = (k - 1) = 3 - 1 = 2$$

$$\text{db Nitrogen} = (a - 1) = 4 - 1 = 3$$

$$\text{db Galat (a)} = (k - 1)(a - 1) = (3 - 1)(4 - 1) = (2)(3) = 6$$

$$\text{db Metanol} = b - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{db NxM} = (a - 1)(b - 1) = (4 - 1)(5 - 1) = ((3)(4) = 12$$

$$\begin{aligned} \text{db Galat (b)} &= a(k - 1)(b - 1) = 4(3 - 1)(5 - 1) \\ &= 4(2)(4) = 32 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 2** : Lengkapi tabel dengan Total Umum dan Rataan Umum. Misalkan hasil percobaan seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14. Produksi Kacang Kedelai (t/ha)

	Kelompok (K)		
	1	2	3
	N ₀		
M ₀	1,1	1,2	1,3
M ₁	1,1	1,3	1,4
M ₂	1,3	1,4	1,2
M ₃	1,3	1,2	1,1
M ₄	1,4	1,1	1,5
	N ₁		
M ₀	1,1	1,3	1,2
M ₁	1,2	1,3	1,4
M ₂	1,4	1,5	1,3
M ₃	1,6	1,6	1,6
M ₄	1,4	1,6	1,4
	N ₂		
M ₀	1,3	1,4	1,1
M ₁	1,2	1,3	1,4
M ₂	1,5	1,6	1,7
M ₃	1,3	1,1	1,2
M ₄	1,3	1,4	1,5
	N ₃		
M ₀	1,0	0,9	1,2
M ₁	1,2	1,1	1,1
M ₂	1,2	1,1	1,1
M ₃	1,2	1,2	1,1
M ₄	1,3	1,1	1,1
Total Umum (G)			77
Rataan Umum (\bar{y})			1,28

♣ **Langkah 3** : Hitung Jumlah Kuadrat (JK) untuk Petak Utama

Untuk dapat menghitung JK untuk Petak Utama, bentuklah tabel dwikasta Kelompok x Nitrogen. Hasilnya terdapat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15. Total Produksi Kacang Kedelai dalam Kelompok x Nitrogen (UN)

	Kelompok (K)			Total Nitrogen (N)
	1	2	3	
N ₀	6,2	6,2	6,5	18,9
N ₁	6,7	7,3	6,9	20,9
N ₂	6,6	6,8	6,9	20,3
N ₃	5,9	5,4	5,6	16,9
Total Kelompok (K)	25,4	25,7	25,9	

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Koreksi} &= \text{FK} = G^2/(\text{kab}) \\
 &= (77)^2/[(3)(4)(5)] \\
 &= 98,81667
 \end{aligned}$$

$$\text{JK Total} = \text{JKT} = \sum Y_{ijk}^2 - \text{FK}$$

$$= [(1,1)^2 + (1,2)^2 + (1,3)^2 + (1,1)^2 + \dots + (1,1)^2] - 98,81667$$

$$= 1,78333$$

$$\text{JK Kelompok} = \text{JKK} = \frac{\sum K_k^2}{ab} - \text{FK}$$

$$= \frac{(25,4)^2 + (25,7)^2 + (25,9)^2}{(4)(5)} - 98,81667$$

$$= 0,006333$$

$$\text{JK Nitrogen} = \frac{\sum N_i^2}{kb} - \text{FK}$$

$$= \frac{(18,9)^2 + (20,9)^2 + (20,3)^2 + (16,9)^2}{(3)(5)} - 98,81667$$

$$= 0,631333$$

$$\text{JK Galat (a)} = \frac{\sum (\text{KN})^2}{b} - \text{FK} - \text{JK Kelompok} - \text{JK Nitrogen}$$

$$= \frac{(6,2)^2 + (6,2)^2 + (6,5)^2 + \dots + (5,6)^2}{5}$$

$$\begin{aligned}
 & - 98,81667 - 0,006333 - 0,631333 \\
 & = 0,077667
 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 4** : Hitung Jumlah Kuadrat (JK) untuk Anak Petak

Untuk dapat menghitung JK untuk Anak Petak, bentuklah tabel dwikasta Nitrogen x Metanol. Hasilnya terdapat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Total Produksi Kacang Kedelai dalam Nitrogen x Metanol (NM) (Total dari 3 kelompok)

	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
N ₀	3,6	3,8	3,9	3,6	4,0
N ₁	3,6	3,9	4,2	4,8	4,4
N ₂	3,8	3,9	4,8	3,6	4,2
N ₃	3,1	3,4	3,4	3,5	3,5
Total Metanol (M)	14,1	15,0	16,3	15,5	16,1

$$\text{JK Metanol} = \frac{\sum M_j^2}{ka} - \text{FK}$$

$$= \frac{(14,1)^2 + (15,0)^2 + \dots + (16,1)^2}{(3)(4)} - 98,81667$$

$$= 0,263333$$

$$\text{JK N} \times \text{M} = \frac{\sum (\text{NM})^2}{k} - \text{FK} - \text{JK Nitrogen} - \text{JK Metanol}$$

$$= \frac{(3,6)^2 + (3,8)^2 + (3,9)^2 + \dots + (3,5)^2}{5}$$

$$- 98,81667 - 0,631333 - 0,263333$$

$$= 0,388667$$

JK Galat (b) = JK Total - (jumlah semua JK lainnya)

= JK Total - JK Kelompok - JK Nitrogen - JK Galat (a)

- JK Metanol - JK N x M

$$= 1,78333 - 0,006333 - 0,631333 - 0,077667$$

$$- 0,263333 - 0,388667$$

$$= 0,416$$

♣ **Langkah 5** : Hitung RK masing-masing sumber keragaman.

$$\text{RK Kelompok} = (\text{JK Kelompok})/(\text{db Kelompok})$$

$$= 0,006333 / 2$$

$$= \mathbf{0,003167}$$

$$\text{RK Nitrogen} = (\text{JK Nitrogen})/(\text{db Nitrogen})$$

$$= 0,631333/3$$

$$= \mathbf{0,210444}$$

$$\text{RK Galat (a)} = (\text{JK Galat (a)})/(\text{db Galat (a)})$$

$$= 0,077667/6$$

$$= \mathbf{0,012944}$$

$$\text{RK Metanol} = (\text{JK Metanol})/(\text{db Metanol})$$

$$= 0,263333/4$$

$$= \mathbf{0,065833}$$

$$\text{RK N x M} = (\text{JK N x M})/(\text{db N x M})$$

$$= 0,388667/12$$

$$= \mathbf{0,032389}$$

$$\text{RK Galat (b)} = (\text{JK Galat (b)})/(\text{db Galat (b)})$$

$$= 0,416/32$$

$$= \mathbf{0,013}$$

♣ **Langkah 6** : Hitung F_{hit} dan bandingkan dengan F_{tab} .

$$F_{\text{hit Nitrogen}} = (\text{RK Nitrogen})/(\text{RK Galat (a)})$$

$$= 0,210444/0,012944$$

$$= \mathbf{16,26}$$
 (dibulatkan).

$$F_{\text{hit Metanol}} = (\text{RK Metanol})/(\text{RK Galat (b)})$$

$$= 0,065833/0,013$$

$$= \mathbf{5,06}$$
 (dibulatkan).

$$F_{\text{hit NxM}} = (\text{RK NxM})/(\text{RK Galat (b)})$$

$$= 0,032389/0,013$$

$$= \mathbf{2,49}$$
 (dibulatkan).

Sekarang kita tentukan nilai F tabel untuk perlakuan, Nitrogen, Metanol dan NxM. Ingat bahwa untuk faktor Nitrogen digunakan db Galat (a) sebagai $db_2 = f_2 (= 6)$, dan

untuk Metanol dan NxM digunakan db Galat (b) sebagai $db_2 = f_2 (= 32)$. Nilai-nilai F tabel dapat dilihat pada Tabel 4.17.

♣ **Langkah 7** : Hitunglah Koefisien Keragaman (KK).

Karena ada dua galat, maka untuk Petak Utama digunakan rumus

$$\begin{aligned} \text{KK (a)} &= \frac{\sqrt{\text{RKG}_a}}{\bar{Y}} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0,012944}}{1,28} \times 100\% \\ &= 8,89\% \end{aligned}$$

dan untuk Anak Petak digunakan rumus

$$\begin{aligned} \text{KK (b)} &= \frac{\sqrt{\text{RKG}_b}}{\bar{Y}} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{0,013}}{1,28} \times 100\% \end{aligned}$$

= 8,91%

♣ **Langkah 8** : Masukkan semua hasil perhitungan di atas ke dalam tabel sidik ragam, dan hasilnya adalah Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Sidik Ragam Produksi Jagung akibat Pengaruh Nitrogen dan Metanol.

Sumber Kera-gaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{0,05}	F _{0,01}
Kelom-pok (K)	2	0.006333	0.003167			
Nitrogen (N)	3	0.631333	0.210444	16.26**	4.76	9.78
Galat (a)	6	0.077667	0.012944			
Metanol (M)	4	0.263333	0.065833	5.06**	2.67	3.97
NxM	12	0.388667	0.032389	2.49*	2.07	2.80
Galat (b)	32	0.416	0.013			
Total (T)	59	1.783333				

KK (a) = 8,89%

KK (b) = 8,91%

V. Uji Beda Antar Rataan

Uji F yang nyata (ataupun sangat nyata) hanya mengindikasikan adanya perbedaan yang nyata (ataupun sangat nyata) antar taraf perlakuan. Misalnya Uji F pada Tabel 3.5 mengindikasikan bahwa ada perbedaan kandungan air yang sangat nyata antar lama penyimpanan. Dengan demikian, hipotesis telah terjawab. Akan tetapi, masih perlu ditentukan lama penyimpanan manakah yang berbeda sangat nyata. Pengujiannya disebut Uji Beda Antar Rataan (*comparison between treatment means*). Tujuan utamanya adalah menentukan taraf yang menghasilkan respons terbaik.

Metoda yang paling sering digunakan dalam bidang pertanian (pertanian dalam arti luas) adalah Uji Beda Nyata Terkecil (*least significant difference*, disingkat LSD atau BNT) dan Uji Jarak Duncan (*Duncan's multiple range test*, disingkat DMRT atau Uji Duncan). Berikut ini adalah beberapa pedoman umum dalam penggunaan BNT atau Uji Duncan.

(1) Uji BNT :

- cocok untuk perbandingan terencana (*planned pair comparison*), misalnya perbandingan antarsemua taraf dengan kontrol
- tidak cocok untuk perbandingan semua pasangan rataan, terutama bila jumlah taraf banyak (lebih dari 6)
- menggunakan satu nilai BNT sebagai

pembanding terhadap selisih dua rataan

(2) Uji Duncan

- cocok untuk perbandingan tidak terencana (*unplanned pair comparison*), misalnya perbandingan antar semua pasangan yang mungkin dibentuk
- dapat digunakan pada berbagai jumlah taraf perlakuan (kurang, sama atau lebih dari 6)
- menggunakan satu seri nilai pembanding (SSR)

Lakukanlah Uji beda antar rataan apabila Uji F nyata atau sangat nyata. Jika F hitung sangat nyata, maka pengujian perbedaan dilakukan baik pada taraf $\alpha = 0,05$ maupun $\alpha = 0,01$.

5.1. Uji Beda Nyata Terkecil

5.1.1. Pada Percobaan Non-faktorial

Untuk RKL Non Faktorial seperti RALNF, RAKNF dan RBSNF yang mempunyai hanya satu galat, rumus galat (isitilh ini seharusnya : simpangan baku????) baku perbedaan dua rataan (s_d) adalah :

$$s_d = \sqrt{(2 \text{ RKG})/r}$$

dengan ketentuan RKG adalah RK Galat dari sidik ragam dan r adalah banyaknya data dari si rataan. Bila dua perlakuan yang dibandingkan mempunyai banyaknya data yang berbeda, maka

$$s_d = \sqrt{(RKG/r_i) + (RKG/r_j)}$$

dengan ketentuan r_i adalah banyaknya data si rataan perlakuan ke-i, dan r_j adalah banyaknya data si rataan perlakuan ke-j.

Nilai BNT pada tingkat pengujian (signifikansi) α dihitung dengan rumus :

$$BNT_{\alpha} = (t_{\alpha})(s_d)$$

Dengan ketentuan t_{α} adalah nilai t dari Tabel Distribusi Peluang t (disingkat dengan Tabel t, Lampiran 2) pada tingkat uji α . Dua rataan disebut berbeda nyata bila besar perbedaan dua rataan lebih dari nilai BNT pada $\alpha = 0,05$, dan dua rataan disebut berbeda sangat nyata bila besar perbedaan dua rataan lebih dari nilai BNT pada $\alpha = 0,01$.

Mari kita buat sebuah contoh pada RALNF. Kita menggunakan percobaan RAL non-faktorial pengaruh lama penyimpanan terhadap kadar minyak olein pada Bab III Bagian 3.1. Sidik ragamnya tercantum pada Tabel 3.5.

♣ **Langkah 1** : Hitung nilai s_d dan BNT

$$s_d = \sqrt{(2 RKG)/r}$$

$$= \sqrt{(2)(0,0000258)/3}$$

$$= 0,004147$$

Oleh karena F hitung sangat nyata, maka kita harus menguji beda rata-rata pada $\alpha = 0,05$ dan $\alpha = 0,01$. Dengan menggunakan derajat bebas dari galat ($n = 10$), diperoleh nilai t tabel (Lampiran 2) sebesar 2,228 pada $\alpha = 0,05$ dan 3,169 pada $\alpha = 0,01$. Dengan demikian, nilai BNT pada $\alpha = 0,05$ dan $\alpha = 0,01$ adalah :

$$\begin{aligned} \text{BNT}_{0,05} &= (t_{0,05})(s_d) \\ &= (2,228)(0,004147) \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BNT}_{0,01} &= (t_{0,01})(s_d) \\ &= (3,169)(0,004147) \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

- ♣ **Langkah 2** : Urutkan nilai-nilai pengamatan dari Tabel 3.4. mulai dari terendah ke tertinggi (bisa juga urutannya mulai dari tertinggi ke terendah). Hasilnya pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Rataan Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang berbeda

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%)
0 (L ₀)	0,060
14 (L ₁)	0,072
28 (L ₂)	0,088
42 (L ₃)	0,093
56 (L ₄)	0,303

♣ **Langkah 3** : Hitunglah selisih dua rataan yang dibandingkan.

(a) Rataan hanya dibandingkan dengan kontrol 0 (L₀).

Perbandingan antara kontrol dengan rataan lain adalah perbandingan pasangan secara terencana (*planned pair comparison*).

Hitunglah selisih antara kadar air kontrol dengan kadar air lainnya. Bila selisih dua rataan lebih besar dari $BNT_{0,05}$ maka kedua rataan tersebut dinyatakan berbeda

nyata, dan bila selisih dua rata-rata lebih besar dari $BNT_{0,01}$ maka kedua rata-rata tersebut dinyatakan berbeda sangat nyata. Contoh, selisih L_1 dengan L_0 adalah $0,072 - 0,060 = 0,012$. Karena $0,012$ lebih besar dari $BNT_{0,05}$ ($0,009$) maka L_1 berbeda nyata dengan L_0 . Dengan cara yang sama, lakukan perbandingan kontrol dengan taraf-taraf lainnya, dan hasilnya terdapat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Rataan Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang Berbeda

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%)
0 (L_0)	0,060
14 (L_1)	0,072*
28 (L_2)	0,088**
42 (L_3)	0,093**
56 (L_4)	0,303**

Keterangan : Angka-angka yang diikuti * atau **

berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) atau sangat nyata ($\alpha = 0,01$) terhadap kontrol (L_0).

(b) Perbandingan antar semua pasangan

Perbandingan antar semua pasangan adalah perbandingan secara tidak terencana (*unplanned pair comparison*). Karena Uji Beda perlu dilakukan pada $\alpha = 0,05$ dan $\alpha = 0,01$, maka terlebih dahulu lakukan perbandingan pada $\alpha = 0,05$.

Hitunglah selisih antara nilai terkecil pertama (L_0) dengan terkecil kedua (L_1), yaitu $0,072 - 0,060 = 0,012$. Karena $0,012$ lebih besar dari $BNT_{0,05}$ ($0,009$) maka L_1 berbeda nyata dengan L_0 . Ini berarti L_0 pasti berbeda nyata dengan taraf-taraf lainnya.

Selanjutnya hitunglah selisih antara nilai terkecil kedua (L_1) dengan terkecil ketiga (L_2), yaitu $0,088 - 0,072 = 0,016$. Karena $0,016$ lebih besar dari $BNT_{0,05}$ ($0,009$) maka L_2 berbeda nyata dengan L_1 . Ini berarti kadar air L_1 pasti berbeda dengan kadar air yang lebih besar dari kadar air L_2 .

Hitunglah selisih antara nilai terkecil ketiga (L_2) dengan terkecil keempat (L_3), yaitu $0,093 - 0,088 = 0,005$. Karena $0,005$ lebih kecil dari $BNT_{0,05}$ ($0,009$) maka L_2 tidak berbeda nyata dengan L_3 (dengan kata lain kadar air dari perlakuan L_2 tidak berbeda secara nyata terhadap kadar air dari perlakuan L_3). Berilah sebuah notasi garis (*line notation*) yang menghubungkan L_2 dengan L_3 (lihat Tabel 5.3). Kemudian, bandingkan L_2 dengan L_4 , dan hasilnya menunjukkan bahwa L_2

berbeda nyata dengan L_4 .

Hitunglah selisih antara nilai terkecil keempat (L_3) dengan terbesar (L_4), yaitu $0,303 - 0,093 = 0,21$. Oleh karena $0,21$ lebih besar dari $BNT_{0,05} 0,009$ maka perlakuan L_3 berbeda nyata terhadap perlakuan L_4 .

Tabel 5.3. Rataan Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang Berbeda

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%)
0 (L_0)	0,060
14 (L_1)	0,072
8 (L_2)	0,088
42 (L_3)	0,093
56 (L_4)	0,303

Dengan demikian, seluruh pasangan telah dibandingkan satu dengan yang lain pada $\alpha = 0,05$. Biasanya, notasi garis diganti oleh notasi huruf (*alphabet notation*). Gunakan huruf kecil pada $\alpha = 0,05$ dan huruf besar pada $\alpha = 0,01$. Mulailah dengan notasi a pada garis. Hasilnya lihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Rataan Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang Berbeda

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%)	Notasi Huruf
0 (L ₀)	0,060 b	0,060b
14 (L ₁)	0,072 c	0,072c
8 (L ₂)	0,088	0,088a
42 (L ₃)	0,093	
56 (L ₄)	0,303 d	0,303d

Lanjutkan perbandingan pada $\alpha = 0,01$. Hasilnya

dicantumkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Rataan Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang Berbeda

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%)	Notasi Huruf	
0 (L ₀)	0,060	A	0,060A
14 (L ₁)	0,072		0,072A
8 (L ₂)	0,088	B	0,088B
42 (L ₃)	0,093		0,093B
56 (L ₄)	0,303 C		0,303C

Biasanya hanya notasi huruf yang disajikan pada tabel akhir dengan memberikan keterangan tabel seperti pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6. Rataan Kadar Air (%) Minyak Olein pada Lama Penyimpanan yang Berbeda

Lama Penyimpanan (Hari)	Kadar Air (%)
0 (L ₀)	0,060bA
14 (L ₁)	0,072cA
28 (L ₂)	0,088aB
42 (L ₃)	0,093aB
56 (L ₄)	0,303dC

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil atau besar yang berbeda, berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) atau sangat nyata ($\alpha = 0,01$) berdasarkan Uji BNT.

5.1.2. Uji BNT pada Percobaan Faktorial

5.1.2.1. Uji BNT pada Percobaan Faktorial dengan RKL

Misalkan percobaan faktorial dengan faktor A terdiri dari n_A taraf dan faktor B terdiri dari n_B taraf dengan r ulangan. Perhatikan Tabel 5.7.

Tabel 5.7. Percobaan faktorial dengan RKL $n_A \times n_B$

	B_0	B_1	B_2	B_n	Rataan A
A_0	A_0B_0	A_0B_1	A_0B_2			A_0B_n	\bar{A}_0
A_1	A_1B_0	A_1B_1	A_1B_2			A_1B_n	\bar{A}_1
..							
..							
A_n	A_nB_0	A_nB_1	A_nB_2			A_nB_n	\bar{A}_n
	\bar{B}_0	\bar{B}_1	\bar{B}_2			\bar{B}_n	

Ada lima jenis perbandingan, yaitu :

1. Uji beda antar dua rata-rata faktor A (pengaruh utama A), misalnya

antar \bar{A}_0 dengan \bar{A}_1 . Galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dA} = \sqrt{(2 \text{ RKG})/[(r)(n_B)]}$$

dimana $(r)(n_B)$ adalah banyaknya data yang digunakan untuk mencari \bar{A} .

2. Uji beda antar dua rata-rata faktor B (pengaruh utama B),

misalnya antar \bar{B}_0 dengan \bar{B}_1 . Galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dB} = \sqrt{(2 \text{ RKG})/[(r)(n_A)]}$$

dimana $(r)(n_A)$ adalah banyaknya data yang digunakan untuk mencari \bar{B} .

3. Uji beda pengaruh tunggal A, misalnya pengaruh tunggal A pada taraf B_0 (artinya antar taraf A pada keadaan B_0 ,

misalnya A_0B_0 dengan A_1B_0). Galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dAB} = \sqrt{(2 \text{ RKG})/r}$$

4. Uji beda pengaruh tunggal B, misalnya pengaruh tunggal B pada taraf A_1 (artinya antar taraf B pada keadaan A_1 , misalnya A_1B_0 dengan A_1B_1). Galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dAB} = \sqrt{(2 \text{ RKG})/r}$$

5. Uji beda antar kombinasi pada kolom atau baris yang sama atau pada kolom atau baris yang berbeda, misalnya A_1B_0 dengan A_0B_2 . Galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dAB} = \sqrt{(2 \text{ RKG})/r}$$

Berikut ini kita memberikan satu contoh dari Bab III, yaitu percobaan faktorial dengan RAKF 3x5 dengan 4 kelompok. Data pengamatan terdapat pada Tabel 4.7. Sidik ragam pada Tabel 4.10. menunjukkan pengaruh A (Nitrogen), B (Metanol) dan interaksi (AxB) sangat nyata.

1. Uji beda antar dua rataan Nitrogen (A)

$$\begin{aligned} s_{dA} &= \sqrt{(2 \text{ RKG})/[(r)(n_B)]} \\ &= \sqrt{[(2)(0,140508)]/[(4)(5)]} \\ &= \mathbf{0,1185} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT}_{0,05} &= (t_{0,05})(s_dA) \\ &= (2,021)(0,1185) \\ &= \mathbf{0,24} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT}_{0,01} &= (t_{0,01})(s_d) \\ &= (2,704)(0,1185) \\ &= \mathbf{0,32} \end{aligned}$$

(**catatan** : pada Tabel t pada Lampiran 2 tidak ada nilai t pada db (=n) 42, jadi diambil nilai t dari n yang paling mendekati 42, yaitu n = 40).

Dengan mengikuti prosedur Uji BNT sebagaimana telah dibahas pada Bagian 5.1.1., diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 5.8).

Tabel 5.8. Hasil Uji BNT pada Faktor Nitrogen

Nitrogen (kg/ha)	Produksi (t/ha)	Notasi Huruf
0 (N ₀)	5,3 b B	5,3bB
150 (N ₁)	6,0 } } } a } A	6,0aA
300 (N ₂)	6,2 } }	6,3aA

2. Uji beda antar dua rataan Metanol (B)

$$\begin{aligned}
 s_dB &= \sqrt{(2 \text{ RKG})/[(r)(n_A)]} \\
 &= \sqrt{[(2)(0,140508)]/[(4)(3)]} \\
 &= \mathbf{0,153029}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{BNT}_{0,05} &= (\mathbf{t}_{0,05})(s_dB) \\
 &= (2,021)(0,153029) \\
 &= \mathbf{0,31}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{BNT_{0,01}} &= \mathbf{(t_{0,01})(s_{\alpha B})} \\
 &= \mathbf{(2,704)(0,153029)} \\
 &= \mathbf{0,41}
 \end{aligned}$$

Hasil Uji BNT adalah sebagai berikut (Tabel 5.9).

Tabel 5.9. Hasil Uji BNT pada Faktor Metanol

Metanol (ml/l air)	Produksi (t/ha)	Notasi Huruf
0 (M ₀)	5,5	5,5aA
3 (M ₁)	5,5	5,5aA
6 (M ₂)	6,0	6,0bB
12 (M ₄)	6,0	6,0bB
9 (M ₃)	6,2	6,2bB

3. Uji beda antar perlakuan (kombinasi faktor).

$$\begin{aligned} s_{dAB} &= \sqrt{(2 \text{ RKG})/r} \\ &= \sqrt{[(2)(0,140508)/(4)]} \\ &= \mathbf{0,26505} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT}_{0,05} &= (\mathbf{t}_{0,05})(s_{dAB}) \\ &= (2,021)(0,26505) \\ &= \mathbf{0,54} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT}_{0,01} &= (\mathbf{t}_{0,01})(s_{dAB}) \\ &= (2,704)(0,26505) \\ &= \mathbf{0,72} \end{aligned}$$

Hasil Uji BNT dicantumkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Hasil Uji BNT untuk Kombinasi

Kom- bi- nasi	Produksi (t/ha)	Notasi Huruf
N ₀ M ₀	5,0	5,0aA
N ₀ M ₂	5,1	5,1aAB
N ₀ M ₁	5,2	5,2abABC
N ₀ M ₃	5,4	5,4abcABCD
N ₁ M ₁	5,5	5,5abcABCD
N ₁ M ₄	5,5	5,5abcABCD
N ₂ M ₀	5,7	5,7bcdABCDE
N ₀ M ₄	5,8	5,8cdBCDEF
N ₂ M ₁	5,8	5,8cdBCDEF
N ₂ M ₂	5,8	5,8cdBCDEF
N ₁ M ₀	5,9	5,9cdDEFG
N ₁ M ₃	6,1	6,1deDEFGH
N ₂ M ₄	6,6	6,6eGHI
N ₁ M ₂	7,2	7,2f I
N ₂ M ₃	7,2	7,2f I

Sangat penting untuk diingat bahwa apabila pengaruh interaksi tidak nyata maka perbandingan antar kombinasi tidak perlu dilakukan, dan rekomendasi harus didasarkan pada hasil sidik ragam (Uji F) masing-masing faktor.

Hasil pengujian disatukan ke dalam Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Rataan Produksi Biji Jagung dan Hasil Uji Beda Antar Rataan dan Kombinasi yang disebabkan oleh Pengaruh Nitrogen dan Metanol.

Metanol (ml/l air)	Nitrogen (kg/ha)			Rataan Meta- nol##)
	0 (N ₀)	150 (N ₁)	300 (N ₂)	
0 (M ₀)	5,0aA	5,9cdDEFG	5,7bcdABCDE	5,5aA
3 (M ₁)	5,3abABC	5,5abcABCD	5,8cdBCDEF	5,5aA
6 (M ₂)	5,1abA	7,2f I	5,8cdBCDEF	6,0bB
9 (M ₃)	5,4abcABCD	6,1deDEFGH	7,2f I	6,2bB
12 (M ₄)	5,8cdBCDEF	5,5abcABCD	6,6eGHI	6,0bB
Rataan Nitrogen ##)	5,3bB	6,0aA	6,2aA	

Keterangan :

- Rataan pada baris atau kolom yang sama atau kombinasi yang diikuti oleh huruf kecil atau besar yang berbeda, berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) atau sangat nyata ($\alpha = 0,01$) berdasarkan Uji BNT.
- ##) *Perbandingan antar rataan Nitrogen ataupun Metanol ini dilakukan hanyalah sebagai contoh cara perhitungan saja, sebab perbandingan tersebut tidak boleh dilakukan sebab interaksinya nyata; lihat ulasan pada 4.2.3.4).*

5.1.2.2. Uji BNT pada Percobaan Faktorial dengan RPT

Pada RPT, karena galat lebih dari satu, maka s_d dihitung berdasarkan RKG masing-masing faktor yang diuji.

1. Pada uji beda antar dua rataan faktor petak utama (faktor A), galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dA} = \sqrt{(2 \text{ RKG}_a) / [(r)(n_B)]}$$

dimana $(r)(n_B)$ adalah banyaknya data yang digunakan untuk

mencari \bar{A} .

$$\text{BNT}_\alpha = (t_\alpha)(s_{dA})$$

2. Pada uji beda antar dua rataan faktor anak petak (faktor B), galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dB} = \sqrt{(2 \text{ RKG}_b) / [(r)(n_A)]}$$

dimana $(r)(n_A)$ adalah banyaknya data yang digunakan untuk

mencari \bar{B} .

$$\text{BNT}_\alpha = (t_\alpha)(s_{dB})$$

3. Pada uji beda dua anak petak pada petak utama

yang sama, galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dAB} = \sqrt{(2 RKG_b)/r}$$

$$BNT_{\alpha} = (t_{\alpha})(s_{dAB})$$

4. Pada uji beda petak utama pada pada anak petak yang sama atau berbeda (artinya antar kombinasi), galat baku dihitung dengan rumus :

$$s_{dAB} = \sqrt{\{2[(n_B - 1) RKG_b + RKG_a]/[(r)(n_B)]\}}$$

Karena ada dua sumber galat (yaitu RKG_a dan RKG_b), maka nilai t tabel yang dibobot (*weighted tabular t value*) (t_w) dihitung dengan rumus :

$$t_w = \frac{(n_B - 1)(RKG_b)(t_b) + (RKG_a)(t_a)}{(n_B - 1)RKG_b + RKG_a}$$

$$BNT_{\alpha} = (t_{w,\alpha})(s_{dAB})$$

Mari kita ambil contoh RPT pada Bagian 4.3 yang data produksinya tertera pada Tabel 4.14 dan sidik ragamnya pada Tabel 4.17. Faktor petak utama Nitrogen (A) terdiri dari 4 taraf, anak petak Metanol (B) lima taraf dan 3 kelompok.

1. Uji beda antar dua rata-rata Nitrogen (petak utama, A)

$$\begin{aligned} s_{dA} &= \sqrt{(2 RKG_a) / [(r)(n_B)]} \\ &= \sqrt{[(2)(0,012944)] / [(3)(5)]} \\ &= \mathbf{0,041544} \end{aligned}$$

$$\mathbf{BNT_{\alpha} = (t_{\alpha})(s_{dA})}$$

Dengan menggunakan db dari RKG_a yaitu 6 (n=6), maka dari Tabel t (Lampiran 2) diperoleh $t_{0,05} = 2,447$ dan $t_{0,01} = 3,707$. Sehingga,

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT_{0,05} = (t_{0,05})(s_{dA})} \\ &= (2,447)(0,041544) \\ &= \mathbf{0,10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT_{0,01} = (t_{0,01})(s_{dA})} \\ &= (3,707)(0,041544) \\ &= \mathbf{0,15} \end{aligned}$$

Dengan mengikuti prosedur pengujian BNT sebagaimana telah diterangkan terdahulu, maka diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 5.12).

Tabel 5.12. Hasil Uji BNT untuk Faktor Utama Nitrogen

Nitrogen (kg/ha)	Produksi (t/ha)	Notasi Huruf
300 (N ₃)	1,13 c	1,13cA
0 (N ₀)	1,26	1,26aAB
200 (N ₂)	1,35	1,35abB
100 (N ₁)	1,39	1,39bB

2. Uji BNT antar dua rata-rata Metanol (anak petak, B)

$$\begin{aligned}
 s_dB &= \sqrt{(2 RKG_b) / [(r)(n_A)]} \\
 &= \sqrt{[(2)(0,013)] / [(3)(4)]} \\
 &= 0,046547
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{BNT}_\alpha = (t_\alpha)(s_dB)$$

Dengan menggunakan db dari RKG_b yaitu 32 ($n=32$), maka dari Tabel t (Lampiran 2) diperoleh $t_{0,05} = 2,042$ dan $t_{0,01} = 2,750$. Sehingga,

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT}_{0,05} &= (t_{0,05})(s_d\mathbf{B}) \\ &= (2,042)(0,046547) \\ &= 0,10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{BNT}_{0,01} &= (t_{0,01})(s_d\mathbf{B}) \\ &= (2,750)(0,046547) \\ &= 0,13 \end{aligned}$$

Dengan mengikuti prosedur pengujian BNT sebagaimana telah diterangkan terdahulu, maka diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 5.13).

Tabel 5.13. Hasil Uji BNT untuk Faktor Anak Petak Metanol

Metanol (ml/1 air)	Produksi (t/ha)	Notasi Huruf
0 (M ₀)	1,18	1,18aA
2 (M ₁)	1,25	1,25abAB
6 (M ₃)	1,29	1,29bcAB
8 (M ₄)	1,34	1,34bcB
4 (M ₂)	1,36	1,36cB

3. Uji BNT antar kombinasi

$$\begin{aligned}
 s_{dAB} &= \sqrt{\frac{2[(n_B - 1) RKG_b + RKG_a]}{(r)(n_B)}} \\
 &= \sqrt{\frac{2[(5 - 1) 0,013 + 0,012944]}{(3)(5)}} \\
 &= 0,09
 \end{aligned}$$

Nilai t tabel yang dibobot (*weighted tabular t value*) (t_w) pada $\alpha = 0,05$ sama dengan :

$$\begin{aligned}
 t_w &= \frac{(n_B - 1)(RKG_b)(t_b) + (RKG_a)(t_a)}{(n_B - 1)RKG_b + RKG_a} \\
 &= \frac{(5 - 1)(0,013)(2,042) + (0,012944)(2,447)}{(5 - 1)(0,013) + 0,012944} \\
 &= 2,1227
 \end{aligned}$$

$$BNT_{\alpha} = (t_{w,\alpha})(s_{dAB})$$

$$BNT_{0,05} = (t_{w,0,05})(s_{dAB})$$

$$= (2,1227)(0,09)$$

$$= 0,19$$

Dengan mengikuti prosedur pengujian BNT sebagaimana telah diterangkan terdahulu, maka diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 5.14).

Tabel 5.14. Hasil Uji BNT untuk Kombinasi Nitrogen dan Metanol

Kombinasi	Produksi (t/ha)	Notasi Huruf
N ₃ M ₀	1,03	1,03a
N ₃ M ₁	1,13	1,13ab
N ₃ M ₂	1,13	1,13ab
N ₃ M ₃	1,17	1,17abd
N ₃ M ₄	1,17	1,17abc
N ₀ M ₀	1,20	1,20abc
N ₁ M ₀	1,20	1,20abc
N ₀ M ₃	1,20	1,20abc
N ₂ M ₃	1,20	1,20abc
N ₂ M ₀	1,27	1,27bcd
N ₀ M ₁	1,27	1,27bcd
N ₁ M ₁	1,30	1,30bcde
N ₂ M ₁	1,30	1,30bcde
N ₀ M ₂	1,30	1,30bcde
N ₀ M ₄	1,33	1,33cde
N ₁ M ₂	1,40	1,40de
N ₂ M ₄	1,40	1,40de
N ₁ M ₄	1,47	1,47ef
N ₂ M ₂	1,60	1,60f
N ₁ M ₃	1,60	1,60f

Hasil pengujian disatukan ke dalam Tabel 5.15.

Tabel 5.15. Rataan Produksi Biji Jagung dan Hasil Uji Beda Antar Rataan dan Kombinasi yang disebabkan oleh Pengaruh Nitrogen dan Metanol.

Nitrogen (kg/ha)	Metanol (ml/l air)					Rataan Nitro- gen##)
	0 (M ₀)	2 (M ₁)	4 (M ₂)	6 (M ₃)	8 (M ₄)	
0 (N ₀)	1,20abc	1,27bcd	1,30bcde	1,20abc	1,33cde	1,26aAB
100 (N ₁)	1,20abc	1,30bcde	1,40de	1,60f	1,47ef	1,39bB
200 (N ₂)	1,27bcd	1,30bcde	1,60f	1,20abc	1,40de	1,35abB
300 (N ₃)	1,03a	1,13ab	1,13ab	1,17abd	1,17abc	1,13cA
Rata- an Me- ta- nol##)	1,18aA	1,25abAB	1,36cB	1,29bcAB	1,34bcB	

Keterangan : Rataan pada baris atau kolom yang sama atau kombinasi yang diikuti oleh huruf kecil atau besar yang berbeda, berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) atau sangat nyata ($\alpha = 0,01$) berdasarkan Uji BNT.

##) *Perbandingan antar rataan Nitrogen ataupun Metanol ini dilakukan hanyalah sebagai contoh cara perhitungan saja, sebab perbandingan tersebut tidak boleh dilakukan sebab interaksinya nyata; lihat ulasan pada 4.2.3.4).*

5.2. Uji Duncan

Prosedur yang digunakan untuk Uji Duncan mirip dengan prosedur Uji BNT. Bedanya adalah pada BNT dibutuhkan satu nilai pembanding saja (yaitu satu nilai BNT saja), sedangkan pada Uji Duncan dibutuhkan satu seri nilai pembanding (yaitu nilai SSR = *shortest significant ranges* = selang nyata terpendek) yang sesuai dengan pasangan yang dibandingkan. Pada Uji Duncan, nilai tersebut tergantung pada s_d khas dari pasangan yang dibandingkan.

5.2.1. Uji Duncan Pada Percobaan Non-faktorial

Kita buat sebuah contoh percobaan RALNF yang telah dibahas pada Bagian 3.1. Nilai pengamatan terdapat pada Tabel 3.4. Karena sidik ragam (Tabel 3.5) menunjukkan signifikansi pada $\alpha = 0,01$ maka uji beda dilakukan pada $\alpha = 0,05$ dan $\alpha = 0,01$. Pertama-tama lakukan pengujian pada taraf uji $\alpha = 0,05$, selanjutnya pada $\alpha = 0,01$.

- ♣ **Langkah 1** : Urutkan nilai pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil. Hasilnya tertera pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16. Urutan Nilai Pengamatan

Lama Penyimpanan (hari)	Kadar Air (%)	Urutan
56 (L ₄)	0,303	1
42 (L ₃)	0,093	2
28 (L ₂)	0,088	3
14 (L ₁)	0,072	4
0 (L ₀)	0,060	5

- ♣ **Langkah 2** : Hitunglah galat baku (s_d) sesuai dengan rancangan percobaan yang digunakan dan data-data yang dibandingkan (Lihat penjelasan pada 5.1.2.). Pada RAL non-faktorial,

$$\begin{aligned}
 s_d &= \sqrt{(2 \text{ RKG})/r} \\
 &= \sqrt{(2)(0,0000258)/3} \\
 &= 0,004147
 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 3** : Hitunglah nilai $(t - 1)$ dari SSR

$$SSR = \frac{(r_p)(s_d)}{\sqrt{2}} \quad \text{untuk } p = 2, 3, 4, \dots, t$$

dengan ketentuan

t = banyaknya perlakuan

r_p = nilai SSR (*significant studentized ranges*) pada Tabel

Lampiran 3

p = jarak dalam urutan (*ranking*) rata-rata yang dibandingkan. Misalnya $p = 2$ untuk perbandingan 2 rata-rata yang berurutan (misalnya L_4 dengan L_3); $p = 3$ untuk perbandingan 2 rata-rata dengan satu selang (misalnya L_4 dengan L_2); $p = t$ untuk perbandingan rata-rata tertinggi dengan terendah.

Untuk contoh kita, dengan db 10 (= db galat) pada $\alpha = 0,05$ nilai r_p dari Tabel SSR (lampiran 3) dicantumkan pada Tabel 5.17. Dengan demikian, nilai SSR, misalnya untuk $p = 2$, adalah :

$$SSR = \frac{(3,15)(0,004147)}{\sqrt{2}}$$

$$= 0,0092$$

Dengan rumus yang sama dihitung nilai SSR untuk $p = 3$, $p = 4$ dan $p = 5$, dan dicantumkan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17. Nilai p , r_p dan SSR pada $\alpha = 0,05$

p	r_p	SSR
2	3,15	0,0092
3	3,30	0,0097
4	3,37	0,0099
5	3,43	0,0101

- ♣ **Langkah 4** : identifikasi dan kelompokkan semua rataa yang tidak berbeda nyata satu dari yang lain.
 - ◇ Hitung jarak antara rataa perlakuan terbesar dan nilai SSR terbesar (yaitu pada $p = t$) seperti yang dihitung pada Langkah 2. Semua rataa perlakuan yang kurang dari selisih tersebut dinyatakan berbeda dari rataa terbesar. Selanjutnya hitung jarak antara perlakuan yang tersisa (= perlakuan yang nilainya lebih besar atau sama dengan jarak antara perlakuan terbesar dengan nilai SSR terbesar) dan bandingkan jarak tersebut dengan nilai SSR pada $p = m$ dimana m adalah banyaknya perlakuan pada kelompok tersebut. Jika jarak yang dihitung lebih kecil dari nilai SSR, maka semua rataa perlakuan pada

kelompok tersebut dinyatakan tidak berbeda satu dari yang lain. Selanjutnya hubungkan dengan garis rata-rata perlakuan yang sama tersebut.

Pada contoh kita, perbedaan perlakuan terbesar ($= 0,303$) dengan SSR terbesar ($= 0,0101$ pada $p = t = 5$) adalah $0,303 - 0,0101 = 0,2929$. Dari tabel yang diurutkan (Tabel 5.16), terlihat bahwa semua rata-rata perlakuan lebih kecil dari $0,2929$. Dengan demikian L_4 berbeda nyata dibandingkan L_3, L_2, L_1 dan L_0 .

- ◇ Hitung jarak antara rata-rata perlakuan terbesar kedua dengan nilai SSR terbesar kedua. Semua rata-rata perlakuan yang nilainya lebih kecil dari selisih tersebut dinyatakan berbeda nyata dibandingkan perlakuan terbesar kedua. Untuk rata-rata yang tersisa (m_1) yang lebih besar atau sama dengan selisih tersebut, hitunglah selisihnya dan nilai SSR yang sesuai ($p = m_1$). Nyatakan semua perlakuan tidak berbeda nyata satu dengan yang lain bila selang mereka lebih kecil dari nilai SSR.

Untuk contoh kita, selisih antara perlakuan kedua terbesar ($L_3 = 0,093$) dengan nilai SSR kedua terbesar (SSR pada $p = 4$ yaitu $0,0099$) adalah $0,093 - 0,0099 = 0,0831$. Karena L_1 ($0,072$) dan L_0 ($0,060$) lebih kecil dari $0,0831$ maka L_3 dinyatakan berbeda nyata dengan L_1 dan L_0 . Rataan perlakuan tersisa ($m_1 = 2$) yaitu L_3 dan L_2 harus diuji. Karena selang mereka (yaitu $0,093 - 0,088 = 0,005$) lebih kecil dari nilai SSR pada m_1

(yaitu 0,0092), maka L_3 tidak berbeda nyata dari L_2 . Tariklah garis penghubung antara L_3 dan L_2 yang menyatakan keduanya sama (lihat Tabel 5.18).

Tabel 5.18. Hasil Uji Duncan dengan Notasi garis pada $\alpha = 0,05$

Lama Penyimpanan (hari)	Kadar Air (%)
56 (L_4)	0,303
42 (L_3)	0,093
28 (L_2)	0,088
14 (L_1)	0,072
0 (L_0)	0,060

- ◇ Lanjutkan proses untuk perlakuan ketiga terbesar dan seterusnya sampai semua rataan perlakuan dibandingkan.

Pada contoh kita, selisih rata-rata perlakuan terbesar ketiga dengan SSR ketiga terbesar adalah $0,088 - 0,0097 = 0,0783$. Karena L_1 (0,072) dan L_0 (0,060) lebih kecil dari 0,0783, maka L_2 berbeda nyata dengan L_1 dan L_0 .

Karena yang belum dibandingkan hanyalah L_1 dan L_0 maka kita bisa langsung membandingkannya. Karena selisih mereka (yaitu $0,072 - 0,060 = 0,012$) lebih besar dari SSR pada $m = 2$ (yaitu 0,0092), maka L_1 berbeda nyata dengan L_0 .

♣ **Langkah 4** : Gunakan notasi huruf pada hasil pengujian

Hasil Uji Duncan dalam notasi huruf dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19. Hasil Uji Duncan dalam Notasi Huruf pada $\alpha = 0,05$

Lama Penyimpanan (hari)	Kadar Air (%)	Notasi Huruf
56 (L ₄)	0,303 b	0,303b
42 (L ₃)	0,093	0,093a
28 (L ₂)	0,088	0,088a
14 (L ₁)	0,072 c	0,072c
0 (L ₀)	0,060 d	0,060d

Dengan prosedur yang sama, lakukan pengujian pada $\alpha = 0,01$ seperti pada $\alpha = 0,01$. Perbedaanya hanyalah pada nilai r_p dan oleh karenanya nilai SSR (lihat Tabel 5.19).

Tabel 5.19 Nilai p, r_p dan SSR pada $\alpha = 0,01$.

p	r_p	SSR
2	4,48	0,0131
3	4,73	0,0139
4	4,88	0,0143
5	4,96	0,0145

Hasil Uji Duncan pada $\alpha = 0,01$ dicantumkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20. Hasil Uji Duncan dalam Notasi Huruf pada $\alpha = 0,01$

Lama Penyimpanan hari)	KadarAir (%)	Notasi Huruf
56 (L ₄)	0,303 C	0,303C
42 (L ₃)	0,093	} A 0,093A
28 (L ₂)	0,088	
14 (L ₁)	0,072	} B 0,072B
0 (L ₀)	0,060	

- ♣ **Langkah 5** : Satukan kedua hasil ini dalam satu Tabel hasil Uji Duncan (Lihat Tabel 5.21).

Tabel 5.21. Kadar Air Minyak Olein Sesuai dengan Lama Penyimpanan

Lama Penyimpanan (hari)	Kadar Air (%)
56 (L ₄)	0,303bC
42 (L ₃)	0,093aA
28 (L ₂)	0,088aA
14 (L ₁)	0,072cB
0 (L ₀)	0,060dB

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf kecil atau besar yang berbeda, berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) atau sangat nyata ($\alpha = 0,01$) berdasarkan Uji Duncan.

5.2.2. Uji Duncan Pada Percobaan Faktorial

Prosedur perhitungan untuk Uji Duncan pada percobaan faktorial secara RAK sama seperti pada RAL, hanya besar galat bakunya (s_d) dihitung sesuai dengan rata-rata yang dibandingkan apakah rata-rata faktor A, atau rata-rata faktor B atau kombinasi (lihat Uji BNT pada RKL, RAK dan RPT : Bagian 5.1.2). Cobalah Uji Duncan pada percobaan faktorial dengan RAK yang telah dibicarakan sebelumnya pada Bab III.

5.3. Uji Kecenderungan

Peneliti tidak hanya tertarik untuk menetapkan perbedaan pengaruh antar taraf-taraf perlakuan, misalnya 0, 100, 200 dan 300 kg N/ha. Peneliti juga ingin menduga bagaimana pengaruh dosis antara taraf-taraf tersebut (misalnya 75 atau 250 kg N/ha), dan bagaimana hubungan fungsional antara perlakuan dengan respons tanaman. Pengujian terhadap hubungan fungsional tersebut apakah linear, kuadrat, kubik atau kuartik disebut uji kecenderungan (*trend comparison*). Uji ini hanya dapat dilakukan pada perlakuan dan respons kuantitatif. Sesuatu disebut kuantitatif apabila terdapat kontinuitas dari suatu taraf ke taraf lain atau dari suatu tingkat respons ke tingkat respons lain. Misalnya, takaran pupuk, pestisida, insektisida, jarak tanam, jumlah populasi, produksi, tinggi tanaman dan lain sebagainya. Akan tetapi, perlakuan media tumbuh tanah dan media kompos tidak bersifat kuantitatif melainkan kualitatif karena taraf perlakuan bersifat terputus (*discrete*), demikian juga parameter hidup atau mati.

Hubungan fungsional antara perlakuan (X) dan respons (Y) dapat dinyatakan secara polinomial :

$$Y = a + \beta_1X + \beta_2X^2 + \beta_3X^3 + \dots + \beta_nX^n$$

Salah satu uji kecenderungan yang didasarkan pada polinomial adalah metode polinomial ortogonal (*method of orthogonal polynomials*) yaitu mencari derajat polinomial terendah yang menggambarkan hubungan Y dan X secara nyata. Caranya adalah dengan menguji apakah koefisien regresi β sama dengan nol atau tidak ($\beta = 0?$). Bila, misalnya, $\beta_2 \neq 0$ (disebut juga signifikan) maka hubungan fungsional bersifat kuadratik. Derajat polinomial yang diuji tergantung kepada banyaknya taraf yang diuji (t), yaitu $t - 1$. Jadi, bila taraf perlakuan ada 4 maka derajat polinomial yang diuji adalah 3 (kubik). Sering kali pengujian hanya dilakukan sampai pada derajat yang dianggap bermakna saja, misalnya derajat 3 (kubik) pada percobaan-percobaan biologi meskipun ada 7 taraf perlakuan yang dicobakan.

Dalam kesempatan ini kita hanya membicarakan perlakuan dengan selang taraf yang sama (misalnya 0, 10, 20, 30 dan 40 dengan selang 10 satuan). Pembahasan untuk selang yang tidak sama (misalnya 0, 10, 25, 40, 80) dapat dilihat pada Gomez dan Gomez (1984, halaman 229). Dalam buku ini kita berikan contoh pada percobaan non-faktorial dan faktorial dengan selang taraf yang sama saja.

Uji kecenderungan dilakukan apabila Uji F menunjukkan signifikansi pada $\alpha = 0,05$ atau $\alpha = 0,01$. Uji kecenderungan tidak dilakukan bila Uji F tidak nyata. Bila Uji F tidak nyata, berarti semua rata-rata respons (Y) sama besarnya, artinya tidak ada variasi. Dengan demikian, kurva respons

pastilah sebuah garis lurus datar bila perlakuan adalah sumbu X (dan Y hanya merupakan satu konstanta saja).

5.3.1. Uji Kecenderungan Pada Percobaan Non Faktorial

Sebagai contoh, kita menggunakan data-data dari percobaan RAK pada Bagian 3.1. Percobaan dilakukan pada tanaman kailan dengan 4 dosis pemupukan ($T_1 = 0$, $T_2 = 150$, $T_3 = 300$ dan $T_4 = 450$ kg Urea/ha) dengan 4 ulangan. Nilai pengamatan terdapat pada Tabel 3.9, dan sidik ragam pada Tabel 3.10.

- ♣ **Langkah 1** : Dari Lampiran 4, ambil koefisien polinomial (k) dan jumlah kuadrat masing-masing derajat polinomial ($\sum k^2$) sesuai dengan derajat polinomial yang diuji yaitu $t - 1 = 4 - 1 = 3$ (kubik). Koefisien tersebut dicantumkan kembali pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22. Koefisien Polinomial Ortogonal (k)

Derajat Polinomial	Koefisien Polinomial Ortogonal (k)				$\sum k^2$
	T_1	T_2	T_3	T_4	
Linear	-3	-1	+1	+3	20
Kuadratik	+1	-1	-1	+1	4
Kubik	-1	+3	-3	+1	20

- ♣ **Langkah 2** : Hitung jumlah kuadrat (JK) untuk masing-masing derajat polinomial.

$$JK = \frac{(\sum kT)^2}{r(\sum k^2)}$$

dengan ketentuan T adalah total perlakuan

$$JK \text{ Linear} = \frac{[(-3)(24,0) + (-1)(28,4) + (+1)(34,0) + (+3)(35,6)]^2}{4(20)}$$

$$= 20,402$$

$$JK \text{ Kuadratik} = \frac{[(+1)(24,0) + (-1)(28,4) + (-1)(34,0) + (+1)(35,6)]^2}{4(4)}$$

$$= 0,49$$

$$JK \text{ Kubik} = \frac{[(-1)(24,0) + (+3)(28,4) + (-3)(34,0) + (+1)(35,6)]^2}{4(20)}$$

$$= 0,338$$

♣ **Langkah 3** : Hitung Rataan Kuadrat (RK)

$$\text{RK Linear} = \frac{\text{JK Linear}}{\text{db Linear}}$$

$$= \frac{20,402}{1}$$

$$= 20,402$$

$$\text{RK Kuadrat} = \frac{\text{JK Kuadrat}}{\text{db Kuadrat}}$$

$$= \frac{0,49}{1}$$

$$= 0,49$$

$$\text{RK Kubik} = \frac{\text{JK Kubik}}{\text{db Kubik}}$$

$$= \frac{0,338}{1}$$

$$= 0,338$$

♣ **Langkah 4** : Hitung F_{hitung}

$$F_{hitung} \text{ untuk Linear} = (\text{RK Linear})/(\text{RK Galat})$$

$$= 20,402/0,011111$$

$$= 1836,2$$

$$F_{hitung} \text{ untuk Kuadratik} = (\text{RK Kuadratik})/(\text{RK Galat})$$

$$= 0,49/0,011111$$

$$= 44,1$$

$$F_{hitung} \text{ untuk Kubik} = (\text{RK Kubik})/(\text{RK Galat})$$

$$= 0,338/0,011111$$

$$= 30,4$$

♣ **Langkah 5** : Bandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel}

Nilai F_{tabel} berasal dari Lampiran 1 dengan $db_1 = f_1$ (pembilang) dan $db_2 = f_2 = db$ galat (penyebut). Dengan $f_1 = 1$ dan $f_2 = 9$ diperoleh F_{tabel} 5,12 pada $\alpha = 0,05$ dan 10,56 pada $\alpha = 0,01$.

- ♣ **Langkah 6** : Masukkan hasil perhitungan ke dalam tabel. Dengan demikian, Tabel 3.10 menjadi sebagai berikut (Tabel 5.23).

Tabel 5.23. Sidik Ragam Produksi Kailan per Hektar

Sumber Keragaman	Db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab 0,05}	F _{tab 0,01}
Kelompok	3	2,34	0,78	70,20**	3,86	6,99
Perlakuan	3	21,23	7,076667	636,91**	3,86	6,99
Linear	(1)	20,402	20,402	1836,2**	5,12	10,56
Kuadratik	(1)	0,49	0,49	44,1**	5,12	10,56
Kubik	(1)	0,338	0,338	30,4**	5,12	10,56
Galat	9	0,10	0,011111			
Total	15	23,67				

Koefisien Keragaman (KK) = 1,38%

5.3.2. Uji Kecenderungan pada Percobaan Faktorial

Kita ambil sebagai contoh percobaan RAKF pada Bagian 4.2. Nitrogen terdiri dari 3 taraf dan Metanol 5 taraf, dengan 4 kelompok. Nilai pengamatan terdapat pada Tabel 4.7 atau Tabel 4.9, dan sidik ragam pada Tabel 4.10.

(a) Uji Kecenderungan Nitrogen (faktor A)

- ♣ **Langkah 1** : Dari Lampiran 4, ambil koefisien polinomial (k) dan jumlah kuadrat masing-masing derajat polinomial ($\sum k^2$) sesuai dengan derajat polinomial yang diuji yaitu $t - 1 = 3 - 1 = 2$ (kuadratik). Koefisien tersebut dicantumkan kembali pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24. Koefisien Polinomial Ortogonal (k)

Derajat Polinomial	Koefisien Polinomial Ortogonal (k)			$\sum k^2$
	T ₁	T ₂	T ₃	
Linear	-1	0	+1	2
Kuadratik	+1	-2	+1	6

- ♣ **Langkah 2** : Hitung jumlah kuadrat (JK) untuk masing-masing derajat polinomial.

$$JK = \frac{(\sum kT)^2}{r(\sum k^2)(\text{taraf faktor B})}$$

dengan ketentuan T adalah total perlakuan

$$JK \text{ Linear} = \frac{[(-1)(106,3) + (0)(120,2) + (+1)(124,0)]^2}{4(2)(5)}$$

$$= 7,83225$$

$$JK \text{ Kuadrat} = \frac{[(+1)(106,3) + (-2)(120,2) + (+1)(124,0)]^2}{4(6)(5)}$$

$$= 0,850083$$

♣ **Langkah 3** : Hitung Rataan Kuadrat (RK)

$$RK \text{ Linear} = \frac{JK \text{ Linear}}{db \text{ Linear}}$$

$$= \frac{7,83225}{1}$$

$$= 7,83225$$

$$\begin{aligned}
 \text{RK Kuadrat} &= \frac{\text{JK Kuadrat}}{\text{db Kuadrat}} \\
 &= \frac{0,850083}{1} \\
 &= 0,850083
 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 4** : Hitung F_{hitung}

$$\begin{aligned}
 F_{\text{hitung}} \text{ untuk Linear} &= (\text{RK Linear})/(\text{RK Galat}) \\
 &= 7,83225/0,140508 \\
 &= 55,74
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{hitung}} \text{ untuk Kuadrat} &= (\text{RK Kuadrat})/(\text{RK Galat}) \\
 &= 0,850083/0,140508 \\
 &= 6,05
 \end{aligned}$$

♣ **Langkah 5** : Bandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel}

Nilai F_{tabel} berasal dari Lampiran 1 dengan $db_1 = f_1$ (pembilang) dan $db_2 = f_2 = db$ galat (penyebut). Dengan $f_1 = 1$ dan $f_2 = 42$ diperoleh $F_{\text{tabel}} 4,07$ pada $\alpha = 0,05$ dan $7,27$ pada $\alpha = 0,01$.

(b) Uji Kecenderungan Metanol (faktor B)

- ♣ **Langkah 1** : Dari Lampiran 4, ambil koefisien polinomial (k) dan jumlah kuadrat masing-masing derajat polinomial ($\sum k^2$) sesuai dengan derajat polinomial yang diuji yaitu $t - 1 = 5 - 1 = 4$ (kuartik). Koefisien tersebut dicantumkan kembali pada Tabel 5.25.

Tabel 5.25. Koefisien Polinomial Ortogonal (k)

Derajat Polinomial	Koefisien Polinomial Ortogonal (k)					$\sum k^2$
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	
Linear	-2	-1	0	+1	+2	10
Kuadratik	+2	-1	-2	-1	+2	14
Kubik	-1	+2	0	-2	+1	10
Kuartik	+1	-4	+6	-4	+1	70

- ♣ **Langkah 2** : Hitung jumlah kuadrat (JK) untuk masing-masing derajat polinomial.

$$JK = \frac{(\sum kT)^2}{r(\sum k^2)(\text{taraf faktor A})}$$

dengan ketentuan T adalah total perlakuan

$$\text{JK Linear} = \frac{[(-2)(66,1) + (-1)(65,8) + (0)(72,4) + (1)(74,5) + (2)(71,7)]^2}{4(10)(3)}$$

$$= 3,300083$$

$$\text{JK Kuadrat} = \frac{[(2)(66,1) + (-1)(65,8) + (-2)(72,4) + (-1)(74,5) + (2)(71,7)]^2}{4(14)(3)}$$

$$= 0,537202$$

$$\text{JK Kubik} = \frac{[(-1)(66,1) + (2)(65,8) + (0)(72,4) + (-2)(74,5) + (1)(71,7)]^2}{4(10)(3)}$$

$$= 1,160333$$

$$\text{JK Kuartik} = \frac{[(1)(66,1) + (-4)(65,8) + (6)(72,4) + (-4)(74,5) + (1)(71,7)]^2}{4(70)(3)}$$

$$= 0,144048$$

♣ **Langkah 3** : Hitung Rataan Kuadrat (RK)

Hitunglah RK setiap derajat polinomial dengan membagi JK dengan db (=1).

♣ **Langkah 4** : Hitung F_{hitung}

Hituglah F_{hitung} setiap derajat polinomial dengan membagi RK dengan RK Galat.

♣ **Langkah 5** : Bandingkan F_{hitung} dengan F_{tabel}

Nilai F_{tabel} berasal dari Lampiran 1 dengan $db_1 = f_1$ (pembilang) dan $db_2 = f_2 = db$ galat (penyebut). Dengan $f_1 = 1$ dan $f_2 = 42$ diperoleh $F_{tabel} 4,07$ pada $\alpha = 0,05$ dan $7,27$ pada $\alpha = 0,01$.

♣ **Langkah 6** : Masukkan hasil perhitungan ke dalam tabel. Dengan demikian, Tabel 4.10 menjadi sebagai berikut (Tabel 5.26).

Tabel 5.26. Sidik Ragam Produksi Biji Jagung pada Percobaan Faktorial dengan RAK 3x5

Sumber Keragaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab} 0,05	F _{tab} 0,01
Ulangan	3	0,451167	0,150389	1,07 ^{tn}	2,83	4,29
Perlakuan (Kombinasi)	14	24,69333	1,763810	12,55**	1,94	2,54
– Nitrogen (N)	2	8,682333	4,341167	30,90**	3,22	5,15
N Linear	(1)	7,83225	7,83225	55,74**	4,07	7,27
N Kuadrat	(1)	0,850083	0,850083	6,05*	4,07	7,27
– Metanol (M)	4	5,141667	1,285417	9,15**	2,59	3,8
M Linear	(1)	3,300083	3,300083	23,49**	4,07	7,27
M Kuadrat	(1)	0,537202	0,537202	3,82 ^{tn}	4,07	7,27
M Kubik	(1)	1,160333	1,160333	11,41**	4,07	7,27
M Kuartik	(1)	0,144048	0,144048	1,03 ^{tn}	4,07	7,27
– NxM	8	10,86933	1,358667	9,67**	2,17	2,96
Galat	42	5,901333	0,140508			
Total	59	31,04583				

Koefisien Keragam (KK) = 6,5%

Catatan : *karena interaksi nyata, maka uji kecenderungan Nitrogen ataupun Metanol tidak boleh dilakukan. Jadi, uji kecenderungan Nitrogen ataupun Metanol tersebut hanyalah sebuah contoh cara perhitungan saja (lihat penjelasan pada bahagian 4.2.3.4).*

(c) Uji Kecenderungan bila Interaksi Nyata (AxB)

Bila interaksi nyata, kita perlu memilah JK interaksi kedalam subkomponen. Tujuannya adalah untuk melihat sifat interaksi melalui perbandingan faktorial (*factorial comparison*). Untuk itu kita perlu terlebih dahulu menetapkan faktor utama (*primary factor*). Misalkan dalam percobaan Nitrogen dan Metanol, kita menganggap faktor utama adalah Nitrogen. Akan tetapi, pada percobaan varietas dengan Nitrogen, karena varietas tidak bersifat kontinu, maka Nitrogen harus ditetapkan sebagai faktor utama.

Pada contoh percobaan kita (Tabel 4.10; Tabel 4.26) interaksi sangat nyata. Interaksi ini menunjukkan bahwa respons perbedaan taraf Nitrogen tidak sama pada konsentrasi Metanol yang berbeda, atau sebaliknya. Kita ingin mengetahui sifat interaksi tersebut dengan menetapkan Nitrogen sebagai faktor utama.

- ♣ **Langkah 1** : Hitung JK fungsional N pada setiap taraf Metanol (= fungsi faktor utama pada setiap tingkat faktor kedua) untuk melihat sifat interaksi yang terjadi.

$$JK\ N = \frac{[\sum k(AB)]^2}{r(\sum k^2)}$$

dengan pengertian AB adalah kombinasi faktor A dan B. Dalam contoh kita, AB dapat dilihat pada Tabel 4.9. Misalnya untuk M_0

$$\text{JK N Linear} = \frac{[(-1)(20) + (0)(23,4) + (+1)(22,7)]^2}{4 (2)}$$

$$= \mathbf{0,91125}$$

$$\text{JK N Kuadratik} = \frac{[(+1)(20) + (-2)(23,4) + (+1)(22,7)]^2}{4 (6)}$$

$$= \mathbf{0,700417}$$

Dengan cara yang sama dihitung JK Linear dan Kuadratik Nitrogen untuk M_1 , M_2 , M_3 , dan M_4 . Hitung pula jumlah keseluruhan setiap JK. Hasilnya dicantumkan pada Tabel 5.27.

Tabel 5.27. JK Linear dan Kuadratik Setiap Taraf Metanol

	Total Produksi (AB)			JK Linear	JK Kuadratik
	N ₀	N ₁	N ₂		
M ₀	20,0	23,4	22,7	0,91125	0,700417
M ₁	20,9	21,8	23,1	0,605	0,006667
M ₂	20,5	28,7	23,2	0,91125	7,820417
M ₃	21,7	24,2	28,6	5,95125	0,150417
M ₄	23,2	22,1	26,4	1,28	1,215
			Total	9,65875	9,892917

♣ **Langkah 2** : Hitung JK interaksi setiap komponen N x M

$$JK N_{\text{Linear}} \times M = JK N_L \times M = \sum JK N_L - JK N_L$$

$$= 9,65875 - 7,83225$$

$$= \mathbf{1,8265}$$

$$JK N_{\text{Kuadratik}} \times M = JK N_K \times M = \sum JK N_K - JK N_K$$

$$= 9,892917 - 0,850083$$

$$= \mathbf{9,042833}$$

♣ **Langkah 3** : Hitung RK

RK dihitung dengan membagi JK dengan db setiap komponennya.

♣ **Langkah 4** : Hitung F_{hitung}

F_{hitung} sama dengan RK dibagi RK Galat.

♣ **Langkah 5** : Tentukan nilai F tabel dari Lampiran 1.

♣ **Langkah 6** : Masukkan hasil perhitungan kedalam tabel, sehingga Tabel 5.26 menjadi Tabel 5.28.

Tabel 5.28. Sidik Ragam Produksi Biji Jagung pada Percobaan Faktorial dengan RAK 3x5

Sumber Keragaman	db	JK	RK	F _{hit}	F _{tab} 0,05	F _{tab} 0,01
Ulangan	3	0,451167	0,150389	1,07 ^{tn}	2,83	4,29
Perlakuan (Kombinasi)	14	24,69333	1,763810	12,55**	1,94	2,54
– Nitrogen (N)	2	8,682333	4,341167	30,90**	3,22	5,15
N Linear	(1)	7,83225	7,83225	55,74**	4,07	7,27
N Kuadratik	(1)	0,850083	0,850083	6,05*	4,07	7,27
– Metanol (M)	4	5,141667	1,285417	9,15**	2,59	3,8
M Linear	(1)	3,300083	3,300083	23,49**	4,07	7,27
M Kuadratik	(1)	0,537202	0,537202	3,82 ^{tn}	4,07	7,27
M Kubik	(1)	1,160333	1,160333	11,41**	4,07	7,27
M Kuartik	(1)	0,144048	0,144048	1,03 ^{tn}	4,07	7,27
– NxM	8	10,86933	1,358667	9,67**	2,17	2,96
N _L x M	(4)	1,8265	0,456625	3,25*	2,59	3,80
N _K x M	(4)	9,042833	2,260708	16,09**	2,59	3,80
Galat	42	5,901333	0,140508			
Total	59	31,04583				

Koefisien Keragam (KK) = 6,5%

Catatan : *karena interaksi nyata, maka uji kecenderungan Nitrogen ataupun Metanol tidak boleh dilakukan. Jadi, uji kecenderungan Nitrogen ataupun Metanol tersebut hanyalah sebuah contoh cara perhitungan saja (lihat Bahagian 4.2.3.4).*

Hasil menunjukkan bahwa keberadaan interaksi NxM nyata secara kuadratik untuk respons produksi terhadap dosis Nitrogen.

Analisis boleh dilanjutkan bila peneliti menganggap perlu, misalnya, timbul pertanyaan susulan : taraf Metanol yang mana menyumbang perbedaan respons tanaman terhadap Nitrogen? Untuk menjawab ini dibutuhkan partisi lanjutan terhadap komponen interaksi (selengkapnya lihat Gomez dan Gomez halaman 239). Namun, sebelum pengujian dilakukan, biasanya data pada tabel dwikasta dapat digunakan untuk mencari jawaban yang mungkin (lihat Tabel 4.11). Tampaknya pada contoh di atas, M_2 memberikan sumbangan yang besar **terhadap perbedaan respons kuadratik tanaman terhadap Nitrogen, dan disusul oleh M_0 (lihat Tabel 4.11). Tapi, sumber utama analisis seharusnya adalah Tabel 5.27 shg JK Kuadratik terbesar disumbang oleh M_2 , disusul oleh M_3).**

Daftar Pustaka

- Cochran, W. G dan G. M. Cox. 1959. Exprimental Design. John Wiley & Sons. NY.
- Gomez, A. K dan A. A. Gomez. Statistical Procedures for Agricultural Research. John Wiley & Sons. NY.
- Hanafiah, K. A. 1994. Rancangan Percobaan : teori dan aplikasi. Ed. Rev. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Kobabe, G. 1988. Planung, Anlage und Aswertung von Versuchen (Biometrie). Univ. Goettingen, Jerman.
- Malau, S. 1994. Biometrika Genetik dalam Pemuliaan Tanaman. UHN. Medan.
- _____, __. 1994. Pengaruh Konsentrasi Metanol dan Dosis Nitrogen dan Interaksinya terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.). VISI (1994) 3(3), 1-15.
- Sastrosupadi, A. 1994. Rancangan Percobaan Praktis Untuk Bidang Pertanian. Kanisius, Jakarta.
- Steel, R. G. D. dan J. H. Torrie. Prinsip dan Prosedur Statistika : suatu pendekatan biometrik (Terj.). Gramedia. Jakarta.
- Sudjana. 1982. Metoda Statistika. Tarsito. Bandung.
- Walpole, R. E. 1998. Pengantar Statistik (Terj.). Ed. 3. Gramedia. Jkt.
- Wonnacott, R. J dan T. H. Wonnacott. 1991. Pengantar Statistik

(Terj.). Ed. 4. Erlangga. Jakarta.

Lampiran 1. Distribusi F pada $\alpha = 0,05$ (cetak biasa) dan $\alpha = 0,01$
(**cetak tebal**).

Lampiran 2. Distribusi Peluang t

Lampiran 3. Nilai SSR tabel ($= r_p$) untuk Uji Duncan

Lampiran 4. Koefisien Polinomial Ortogonal untuk Perbandingan
Tiga sampai Enam Perlakuan Berselang Sama.

Indeks Subjek

Aditif

Linear 10, 25, 41, 58, 85

ANOVA 13

Lihat juga varians ataupun ragam

Arah keragaman 43, 55, 56

Lihat RAK, RBS, RPT

Asumsi 4, 11, 23, 43

BNT

Uji 109, 130, 132

Hasil 136, 140 dst dst

Duncan

Uji (Jarak) 130, 159

Hasil 164

Faktorial 20

Percobaan 79

Pengertian 81

Galat

Pengendalian 6

Pendugaan 4

Pengertian 4

Peminimalan 7

Lihat RAL, RAK, RBS, RPT

Hasil

Interpretasi 7, 85

Hipotesis 1, 3, 25

Menguji 18

Model/bahasa matematik 15

Lihat pada RALNF, RAKNF, RBSNF, RAKF, RPT

Homogen 7, 23

Interaksi

Pengertian 81

Lihat juga RAKF, RPT, Uji Kecenderungan

Kelompok

Tujuan 6

Teknik 6

Lihat juga RAK, RBS, RPT

Koefisien Keragaman 33, 37

Kovarians 7

Kuadratik

Lihat juga polynomial (koefisien)

Kubik

Lihat juga polynomial (koefisien)

Linear

Persamaan, lihat model matematik, aditif, polinomial (koefisien)

Lingkungan

Rancangan 23

Pengendalian 24

Seragam 40

Keragaman 40, 55

Pengaruh 40

Model matematik 8, 10, 25, 41, 58, 85, 112

Non faktorial

Percobaan 22

Pengertian 22

Penataan

Lihat RAL, RAK, RBS, RPT

Pengacakan (Randomisasi)

Pengertian 6
Lihat juga RAL, RAK, RBS, RPT

Perancangan percobaan
Landasan umum 1
Pengertian 1
Komponen esensial 3

Perbandingan antar rataa
Tujuan 20
Larangan 106, 149, 158
Lihat juga uji lanjutan

Percobaan
Perancangan 1
Tahapan 2
Tempat 5, 6
Interpretasi hasil 7
Satun 1, 6, dst lihat RAL, RAK, RBS, RPT
Unit 1, 43

Polinomial 170
Koefisien 171 dst

Ragam (keragaman)
Lihat juga sidik ragam
Metode umum 8
Yang dapat dijelaskan 11
Yang tidak dapat dijelaskan 11
Pengukuran 12
Penguraian 12
Koefisien, lihat Keragaman
Arah, lihat arah keragaman

Satuan Percobaan
Lihat percobaan

Sidik ragam

Lihat juga ragam ataupun varians

Pembuatan 26, 33, 43, 48, 70, 95, 119

Tabel 21, 31, 33

Interpretasi 106

Uji kecenderungan

Larangan 106, 149, 158

Pengujian 169

Syarat dan larangan 169, 170

Pada percobaan non factorial 171

Pada percobaan faktorial 176

Bila interaksi nyata 183

Bila interaksi tidak nyata 106, 171

Uji lanjutan 106

Varians

Lihat juga ragam

Analysis of 13

Lampiran 1. Distribusi F pada $\alpha = 0,05$ (cetak biasa) dan $\alpha = 0,01$ (cetak tebal).

Points for the Distribution of F (5% (light type) and 1% (bold face type))
/ 1. Degrees of freedom for greater mean square

1/2	/ 1. Degrees of freedom for greater mean square																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	25	30	40	50	75	100	∞		
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	246	246	247	248	249	250	251	252	253	254	254
2	4052	4299	4503	4635	4764	4859	4928	4981	5022	5056	5082	5100	5112	5120	5126	5131	5135	5139	5142	5144	5146	5148	5149	5150
3	1013	955	928	912	901	894	888	884	881	878	876	874	873	872	871	871	870	870	869	869	868	868	868	868
4	2120	1800	1689	1598	1562	1521	1498	1480	1466	1454	1445	1437	1431	1426	1422	1419	1416	1414	1412	1411	1410	1409	1409	1408
5	661	579	541	519	505	495	488	482	478	474	470	468	466	464	463	462	461	461	460	460	459	459	459	458
6	590	514	476	453	439	428	421	415	410	406	403	400	398	396	394	392	391	390	389	388	388	387	387	386
7	559	474	435	412	397	387	379	373	368	363	360	357	355	353	352	351	350	349	348	348	347	347	346	346
8	532	446	407	384	369	358	350	344	339	334	331	328	325	323	322	321	320	319	318	318	317	317	316	316
9	512	426	386	363	348	337	329	323	318	313	310	307	304	302	301	300	299	298	297	297	296	296	295	295
10	496	410	371	348	333	322	314	307	302	297	294	291	288	286	285	284	283	282	282	281	281	280	280	279
11	484	398	359	336	320	309	301	295	290	286	282	279	276	274	273	272	271	270	270	269	269	268	268	267
12	475	389	349	326	311	300	292	287	282	278	274	271	268	266	265	264	263	262	262	261	261	260	260	259
13	467	380	341	318	303	292	284	279	274	270	267	264	261	259	258	257	256	255	255	254	254	253	253	252
14	461	373	334	311	296	285	277	272	267	263	260	257	254	252	251	250	249	248	248	247	247	246	246	245
15	457	369	330	307	292	281	273	268	263	259	256	253	250	248	247	246	245	244	244	243	243	242	242	241

Continued next page

f_2	f_1 , Degrees of freedom (for greater mean square)																				α			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75		100	200	500
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.77	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.50	2.44	2.39	2.35	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13
15	8.85	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70	3.62	3.51	3.43	3.34	3.26	3.21	3.14	3.11	3.08	3.02	3.00
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.70	2.64	2.59	2.55	2.51	2.48	2.43	2.39	2.33	2.29	2.25	2.21	2.18	2.15	2.12	2.10	2.08	2.07
17	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.48	3.36	3.29	3.20	3.12	3.07	3.00	2.97	2.92	2.89	2.87
18	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.37	2.33	2.28	2.24	2.20	2.16	2.13	2.09	2.07	2.04	2.02	2.01
19	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.61	3.55	3.45	3.37	3.25	3.18	3.10	3.01	2.96	2.88	2.86	2.80	2.77	2.75
20	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.60	3.52	3.45	3.35	3.27	3.16	3.08	3.00	2.92	2.86	2.79	2.76	2.70	2.67	2.65
21	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.19	2.15	2.11	2.07	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93	1.92
22	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.60	3.51	3.44	3.37	3.27	3.19	3.07	3.00	2.91	2.83	2.78	2.71	2.68	2.62	2.59	2.57
23	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.55	2.48	2.43	2.38	2.34	2.31	2.28	2.23	2.18	2.12	2.08	2.04	1.99	1.96	1.92	1.87	1.84	1.82
24	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.12	3.00	2.92	2.84	2.76	2.70	2.63	2.60	2.54	2.51	2.49
25	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.15	2.09	2.05	2.00	1.96	1.93	1.89	1.87	1.84	1.82	1.81
26	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.65	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.07	2.99	2.88	2.80	2.72	2.63	2.58	2.51	2.47	2.42	2.38	2.36
27	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.47	2.40	2.35	2.30	2.26	2.23	2.18	2.13	2.07	2.03	1.98	1.93	1.91	1.87	1.84	1.81	1.80	1.78
28	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	3.02	2.94	2.83	2.75	2.67	2.58	2.53	2.46	2.42	2.37	2.33	2.31
29	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.45	2.38	2.32	2.28	2.24	2.20	2.14	2.10	2.04	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.76
30	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.97	2.89	2.78	2.70	2.62	2.53	2.48	2.41	2.37	2.32	2.28	2.26
31	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.43	2.36	2.30	2.26	2.22	2.18	2.13	2.09	2.02	1.98	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.76	1.74	1.73
32	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.25	3.17	3.09	3.03	2.93	2.85	2.74	2.66	2.58	2.49	2.44	2.36	2.33	2.27	2.23	2.21
33	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.11	2.06	2.00	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.77	1.74	1.72	1.71
34	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.46	3.32	3.21	3.13	3.05	2.99	2.89	2.81	2.70	2.62	2.54	2.45	2.40	2.32	2.29	2.23	2.19	2.17
35	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.10	2.05	1.95	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.72	1.70	1.69	1.69
36	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.17	3.09	3.02	2.96	2.86	2.77	2.66	2.58	2.50	2.41	2.36	2.28	2.25	2.19	2.15	2.13

f ₂	f ₁ , Degrees of freedom (for greater mean square)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	
27	4.21	3.95	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.30	2.25	2.20	2.16	2.13	2.08	2.03	1.97	1.93	1.88	1.84	1.80	1.76	1.74	1.71	1.68	1.67
28	7.68	5.49	4.60	4.11	3.79	3.56	3.39	3.26	3.14	3.06	2.98	2.93	2.83	2.74	2.63	2.55	2.47	2.38	2.33	2.25	2.21	2.16	2.12	2.10
29	7.64	5.45	4.57	4.07	3.76	3.53	3.36	3.23	3.11	3.03	2.95	2.90	2.80	2.71	2.60	2.52	2.44	2.35	2.30	2.22	2.18	2.13	2.09	2.06
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.00	1.94	1.90	1.85	1.80	1.74	1.73	1.71	1.68	1.65	1.64
32	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.06	2.98	2.90	2.84	2.74	2.66	2.55	2.47	2.38	2.25	2.20	2.12	2.08	2.02	1.98	1.96
34	4.15	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.32	2.25	2.19	2.14	2.10	2.07	2.02	1.97	1.91	1.86	1.82	1.76	1.74	1.69	1.67	1.64	1.61	1.59
36	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.38	3.21	3.08	2.97	2.89	2.82	2.76	2.66	2.58	2.47	2.38	2.30	2.21	2.15	2.08	2.04	1.98	1.94	1.91
38	4.11	3.26	2.86	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.10	2.06	2.03	1.98	1.93	1.87	1.82	1.78	1.72	1.69	1.65	1.62	1.59	1.56	1.55
40	7.35	5.21	4.34	3.86	3.54	3.32	3.15	3.02	2.91	2.82	2.75	2.69	2.59	2.51	2.40	2.32	2.22	2.14	2.08	2.00	1.94	1.88	1.84	1.81
42	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.07	2.04	2.00	1.95	1.90	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.55	1.53	1.51
44	7.27	5.15	4.29	3.80	3.49	3.28	3.10	2.96	2.86	2.77	2.70	2.64	2.54	2.46	2.35	2.26	2.17	2.08	2.02	1.94	1.91	1.85	1.80	1.78
46	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.92	1.88	1.81	1.76	1.72	1.66	1.63	1.58	1.56	1.52	1.50	1.48
48	7.24	5.12	4.26	3.78	3.46	3.24	3.07	2.94	2.84	2.75	2.68	2.62	2.52	2.44	2.32	2.24	2.15	2.06	2.00	1.92	1.88	1.82	1.78	1.75
48	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.14	2.09	2.04	2.00	1.97	1.91	1.87	1.80	1.75	1.71	1.65	1.62	1.57	1.54	1.51	1.48	1.46
48	7.19	5.08	4.22	3.74	3.42	3.20	3.04	2.90	2.80	2.71	2.64	2.58	2.48	2.40	2.28	2.20	2.11	2.02	1.96	1.88	1.84	1.78	1.73	1.70

Continued next page

f_2	f_1 , Degrees of freedom (or greater mean square)																			f_2					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50		75	100	200	500	∞
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.02	1.98	1.95	1.90	1.85	1.78	1.74	1.69	1.63	1.60	1.55	1.52	1.48	1.46	1.44	50
55	7.17	6.06	4.20	3.72	3.41	3.18	3.02	2.88	2.78	2.70	2.62	2.56	2.46	2.39	2.26	2.18	2.10	2.00	1.94	1.86	1.82	1.76	1.71	1.68	55
60	4.02	3.17	2.78	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.05	2.00	1.97	1.93	1.88	1.83	1.76	1.72	1.67	1.61	1.58	1.52	1.50	1.46	1.43	1.41	60
65	7.12	6.01	4.16	3.68	3.37	3.16	2.98	2.85	2.75	2.66	2.59	2.53	2.43	2.35	2.23	2.16	2.06	1.96	1.90	1.82	1.78	1.71	1.66	1.64	65
70	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.86	1.81	1.75	1.70	1.65	1.59	1.56	1.50	1.48	1.44	1.41	1.39	70
75	7.08	4.98	4.13	3.66	3.34	3.12	2.96	2.82	2.72	2.63	2.56	2.50	2.40	2.32	2.20	2.12	2.03	1.93	1.87	1.79	1.74	1.68	1.63	1.60	75
80	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.90	1.85	1.80	1.73	1.68	1.63	1.57	1.54	1.49	1.46	1.42	1.39	1.37	80
85	7.04	4.95	4.10	3.62	3.31	3.09	2.93	2.79	2.70	2.61	2.54	2.47	2.37	2.30	2.18	2.09	2.00	1.90	1.84	1.76	1.71	1.64	1.60	1.56	85
90	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.84	1.79	1.72	1.67	1.62	1.56	1.53	1.47	1.45	1.40	1.37	1.35	90
100	7.01	4.92	4.08	3.60	3.29	3.07	2.91	2.77	2.67	2.59	2.51	2.45	2.35	2.28	2.15	2.07	1.98	1.88	1.82	1.74	1.69	1.62	1.56	1.53	100
125	6.96	4.88	4.04	3.56	3.25	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55	2.48	2.41	2.32	2.24	2.11	2.03	1.94	1.84	1.78	1.70	1.65	1.57	1.52	1.49	125
150	3.94	3.09	2.70	2.46	2.30	2.19	2.10	2.03	1.97	1.92	1.88	1.85	1.79	1.75	1.68	1.63	1.57	1.51	1.48	1.42	1.39	1.34	1.30	1.28	150
200	6.90	4.82	3.98	3.51	3.20	2.99	2.82	2.69	2.59	2.51	2.43	2.36	2.26	2.19	2.06	1.98	1.89	1.79	1.73	1.64	1.59	1.51	1.46	1.43	200
400	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.95	1.90	1.86	1.83	1.77	1.72	1.65	1.60	1.55	1.49	1.45	1.39	1.36	1.31	1.27	1.25	400
1000	6.84	4.78	3.94	3.47	3.17	2.96	2.79	2.65	2.56	2.47	2.40	2.33	2.23	2.16	2.03	1.94	1.85	1.75	1.68	1.59	1.54	1.46	1.40	1.37	1000
∞	6.81	4.76	3.91	3.44	3.14	2.92	2.76	2.62	2.53	2.44	2.37	2.30	2.20	2.12	2.00	1.91	1.83	1.72	1.66	1.56	1.51	1.43	1.37	1.33	∞
	3.89	3.04	2.65	2.41	2.26	2.14	2.05	1.98	1.92	1.87	1.83	1.80	1.74	1.69	1.62	1.57	1.52	1.45	1.42	1.35	1.32	1.26	1.22	1.19	200
	6.78	4.71	3.88	3.41	3.11	2.90	2.73	2.60	2.50	2.41	2.34	2.28	2.17	2.09	1.97	1.88	1.79	1.69	1.62	1.53	1.48	1.39	1.33	1.28	400
	3.86	3.02	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.72	1.67	1.60	1.54	1.49	1.42	1.38	1.32	1.28	1.22	1.16	1.13	1000
	6.70	4.66	3.83	3.36	3.06	2.85	2.69	2.55	2.46	2.37	2.29	2.23	2.12	2.04	1.92	1.84	1.74	1.64	1.57	1.47	1.42	1.32	1.24	1.19	1000
	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.10	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.70	1.65	1.58	1.53	1.47	1.41	1.36	1.30	1.26	1.19	1.13	1.08	1000
	6.66	4.62	3.80	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.43	2.34	2.26	2.20	2.09	2.01	1.89	1.81	1.71	1.61	1.54	1.44	1.38	1.28	1.19	1.11	1000
	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.09	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.69	1.64	1.57	1.52	1.46	1.40	1.35	1.28	1.24	1.17	1.11	1.00	∞
	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.24	2.18	2.07	1.99	1.87	1.79	1.69	1.59	1.52	1.41	1.36	1.26	1.16	1.00	∞

Reprinted by permission from STATISTICAL METHODS by George W. Snedecor and William G. Cochran, sixth edition (c) 1967 by Iowa State University Press. Ames, Iowa

Lampiran 2. Distribusi Peluang t

Distribution of Probability

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	158	325	510	727	1000	1376	1963	3078	6314
2	142	289	445	617	816	1061	1386	1886	2920
3	137	277	424	584	785	978	1250	1638	2353
4	134	271	414	569	741	941	1150	1533	2132
5	132	267	408	559	727	920	1156	1476	2015
6	131	265	404	553	718	906	1134	1440	1943
7	130	263	402	549	711	896	1119	1415	1895
8	130	262	399	546	706	889	1108	1397	1860
9	129	261	397	541	703	882	1100	1383	1833
10	129	260	397	542	700	879	1093	1372	1812
11	129	260	396	540	697	876	1088	1363	1796
12	128	259	395	539	695	873	1083	1356	1782
13	128	259	392	538	694	870	1075	1350	1771
14	128	258	393	537	692	868	1076	1345	1761
15	128	258	393	536	691	866	1074	1341	1753
16	128	258	392	535	690	865	1071	1337	1746
17	128	257	392	534	689	863	1069	1333	1740
18	127	257	392	534	688	862	1067	1330	1734
19	127	257	391	533	688	861	1066	1328	1729
20	127	257	391	533	687	860	1064	1325	1725
21	127	257	391	532	686	859	1063	1323	1721
22	127	256	390	532	686	858	1061	1321	1717
23	127	256	390	532	685	858	1060	1319	1714
24	127	256	390	531	685	857	1059	1318	1711
25	127	256	390	531	684	856	1058	1316	1708
26	127	256	390	531	684	856	1056	1315	1706
27	127	256	389	531	684	855	1057	1314	1703
28	127	256	389	530	683	855	1056	1313	1701
29	127	256	389	530	683	854	1055	1311	1699
30	127	256	389	530	683	854	1053	1310	1697
40	126	255	388	529	681	851	1050	1303	1684
60	126	254	387	527	679	849	1046	1296	1671
120	126	254	386	526	677	845	1041	1289	1658
x	126	253	385	524	674	842	1036	1282	1645

Reproduced from STATISTICAL TABLES FOR BIOLOGICAL AGRICULTURAL AND MEDICAL RESEARCH by R.A. Fisher and F. Yates, sixth edition 1963
 Reprinted by permission of Longman Group Limited, Essex, England

Significant Studentized Ranges for 5% and 1% Level New Multiple Range Test

Error df	Protection level	p = Number of means for range being tested																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20					
1	.05	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180					
	.01	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900					
2	.05	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09	6.09					
	.01	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0					
3	.05	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50					
	.01	8.26	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.9	9.0	9.0	9.0	9.1	9.2	9.3	9.3					
4	.05	3.93	4.01	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02	4.02					
	.01	6.51	6.8	6.9	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5					
5	.05	3.64	3.74	3.79	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83	3.83					
	.01	5.70	5.96	6.11	6.18	6.26	6.33	6.40	6.44	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8					
6	.05	3.46	3.58	3.64	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68					
	.01	5.24	5.51	5.65	5.73	5.81	5.88	5.95	6.00	6.0	6.1	6.2	6.3	6.3	6.3					
7	.05	3.35	3.47	3.54	3.58	3.60	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61					
	.01	4.95	5.22	5.37	5.45	5.53	5.61	5.69	5.73	5.8	5.8	5.9	5.9	6.0	6.0					
8	.05	3.26	3.39	3.47	3.52	3.55	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56					
	.01	4.74	5.00	5.14	5.23	5.32	5.40	5.47	5.51	5.5	5.6	5.7	5.8	5.8	5.8					
9	.05	3.20	3.34	3.41	3.47	3.50	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52					
	.01	4.60	4.86	4.99	5.08	5.17	5.25	5.32	5.36	5.4	5.5	5.5	5.6	5.7	5.7					
10	.05	3.15	3.30	3.37	3.43	3.46	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47	3.47					
	.01	4.48	4.73	4.88	4.96	5.06	5.13	5.20	5.24	5.28	5.36	5.42	5.48	5.54	5.55					
11	.05	3.11	3.27	3.35	3.39	3.43	3.44	3.45	3.46	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48					
	.01	4.39	4.63	4.77	4.86	4.94	5.01	5.06	5.12	5.15	5.24	5.28	5.34	5.38	5.39					
12	.05	3.08	3.23	3.33	3.36	3.40	3.42	3.44	3.44	3.46	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48					
	.01	4.32	4.55	4.68	4.76	4.81	4.92	4.96	5.02	5.07	5.13	5.17	5.22	5.24	5.26					
13	.05	3.06	3.21	3.30	3.35	3.38	3.41	3.42	3.44	3.45	3.45	3.46	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.26	4.48	4.62	4.69	4.74	4.84	4.88	4.94	4.98	5.04	5.08	5.13	5.14	5.15					
14	.05	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37	3.39	3.41	3.42	3.44	3.45	3.46	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.21	4.42	4.55	4.63	4.70	4.78	4.83	4.87	4.91	4.96	5.00	5.04	5.06	5.07					
15	.05	3.01	3.16	3.25	3.31	3.36	3.38	3.40	3.42	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.17	4.37	4.50	4.58	4.64	4.72	4.77	4.81	4.84	4.90	4.94	4.97	4.99	5.00					

Lampiran 3. Nilai SSR tabel ($=r_p$) untuk Uji Duncan

Error df	Protection level	$p =$ number of means for range being tested																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20					
16	.05	3.00	3.15	3.23	3.30	3.34	3.37	3.39	3.41	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.13	4.34	4.45	4.54	4.60	4.67	4.72	4.76	4.79	4.84	4.88	4.91	4.93	1.94					
17	.05	2.98	3.13	3.22	3.28	3.33	3.36	3.38	3.40	3.42	3.44	3.45	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.11	4.30	4.41	4.50	4.56	4.63	4.68	4.72	4.75	4.80	4.83	4.85	4.86	4.87					
18	.05	2.97	3.12	3.21	3.27	3.32	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.45	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.07	4.27	4.38	4.46	4.53	4.59	4.64	4.68	4.71	4.76	4.79	4.82	4.84	4.85					
19	.05	2.96	3.11	3.19	3.26	3.31	3.35	3.37	3.39	3.41	3.43	3.44	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.05	4.24	4.35	4.43	4.50	4.56	4.61	4.64	4.67	4.72	4.76	4.79	4.82	4.82					
20	.05	2.95	3.10	3.18	3.25	3.30	3.34	3.36	3.38	3.40	3.43	3.44	3.46	3.47	3.47					
	.01	4.02	4.22	4.33	4.40	4.47	4.53	4.58	4.61	4.65	4.69	4.73	4.76	4.78	4.78					
22	.05	2.93	3.08	3.17	3.24	3.29	3.32	3.35	3.37	3.39	3.42	3.44	3.45	3.46	3.47					
	.01	3.93	4.17	4.28	4.36	4.42	4.48	4.53	4.57	4.60	4.65	4.68	4.71	4.74	4.75					
24	.05	2.92	3.07	3.15	3.22	3.28	3.31	3.34	3.37	3.38	3.41	3.44	3.45	3.46	3.47					
	.01	3.96	4.14	4.24	4.33	4.39	4.44	4.49	4.53	4.57	4.62	4.64	4.67	4.70	4.72					
26	.05	2.91	3.06	3.14	3.21	3.27	3.30	3.34	3.36	3.38	3.41	3.43	3.45	3.46	3.47					
	.01	3.93	4.11	4.21	4.30	4.36	4.41	4.46	4.50	4.53	4.58	4.62	4.65	4.67	4.69					
28	.05	2.90	3.04	3.13	3.20	3.26	3.30	3.33	3.35	3.37	3.40	3.43	3.45	3.46	3.47					
	.01	3.91	4.08	4.18	4.28	4.34	4.41	4.46	4.50	4.53	4.58	4.62	4.65	4.67	4.69					
30	.05	2.89	3.04	3.12	3.20	3.25	3.29	3.32	3.35	3.37	3.40	3.43	3.45	3.46	3.47					
	.01	3.89	4.06	4.16	4.22	4.32	4.36	4.41	4.45	4.48	4.54	4.58	4.61	4.63	4.65					
40	.05	2.86	3.01	3.10	3.17	3.22	3.27	3.30	3.33	3.35	3.37	3.40	3.42	3.44	3.46					
	.01	3.82	3.99	4.10	4.17	4.21	4.26	4.30	4.34	4.37	4.41	4.46	4.51	4.54	4.57					
60	.05	2.83	2.98	3.08	3.14	3.20	3.24	3.28	3.31	3.33	3.37	3.40	3.42	3.44	3.46					
	.01	3.76	3.92	4.03	4.12	4.17	4.23	4.27	4.31	4.34	4.39	4.44	4.47	4.50	4.53					
100	.05	2.80	2.95	3.05	3.12	3.18	3.22	3.26	3.29	3.32	3.36	3.40	3.42	3.45	3.47					
	.01	3.71	3.86	3.98	4.06	4.11	4.17	4.21	4.25	4.29	4.35	4.38	4.42	4.45	4.48					
∞	.05	2.77	2.92	3.02	3.09	3.15	3.19	3.23	3.26	3.29	3.34	3.38	3.41	3.44	3.47					
	.01	3.64	3.80	3.90	3.98	4.04	4.09	4.14	4.17	4.20	4.26	4.31	4.34	4.38	4.41					

Source: Reproduced from *Principles and Procedures of Statistics* by R. G. D. Steel and J. H. Torrie, 1960, McGraw Hill Book Co. Inc., New York. Printed with the permission of the publisher, Biometric Society, North Carolina.

Lampiran 4. Koefisien Polinomial Ortogonal untuk Perbandingan
Tiga sampai Enam Perlakuan Berselang Sama.

Appendix G Orthogonal Polynomial Coefficients for Comparison between
Three to Six Equally Spaced Treatments

Treatments (no.)	Degree of polynomials	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	Sum of squares of the coefficients
3	Linear	-1	0	+1				2
	Quadratic	+1	-2	+1				
4	Linear	-3	-1	+1	+3			6
	Quadratic	+1	-1	-1	+1			20
	Cubic	-1	+3	-3	+1			4
5	Linear	-2	-1	0	+1	+2		20
	Quadratic	+2	-1	-2	-1	+2		10
	Cubic	-1	+2	0	-2	+1		14
	Quartic	+1	-4	+6	-4	+1		10
6	Linear	-5	-3	-1	+1	+3	+5	70
	Quadratic	+5	-1	-4	-4	-1	+5	70
	Cubic	-5	+7	+4	-4	-7	+5	84
	Quartic	+1	-3	+2	+2	-3	+1	180
	Quintic	-1	+5	-10	+10	-5	+1	252

Aditif
Li
ANOVA
Li
Arah ker
Li
Asumsi 4
BNT
Uji
Has
Duncan
Uji
Has
Faktorial 2
Per
Peng
Galat
Peng
Pena
Peng
Pemi
Lihat
Hasil
Interp
Hipotesis 1,
Meng
Mode
Lihat
Homogen 7,