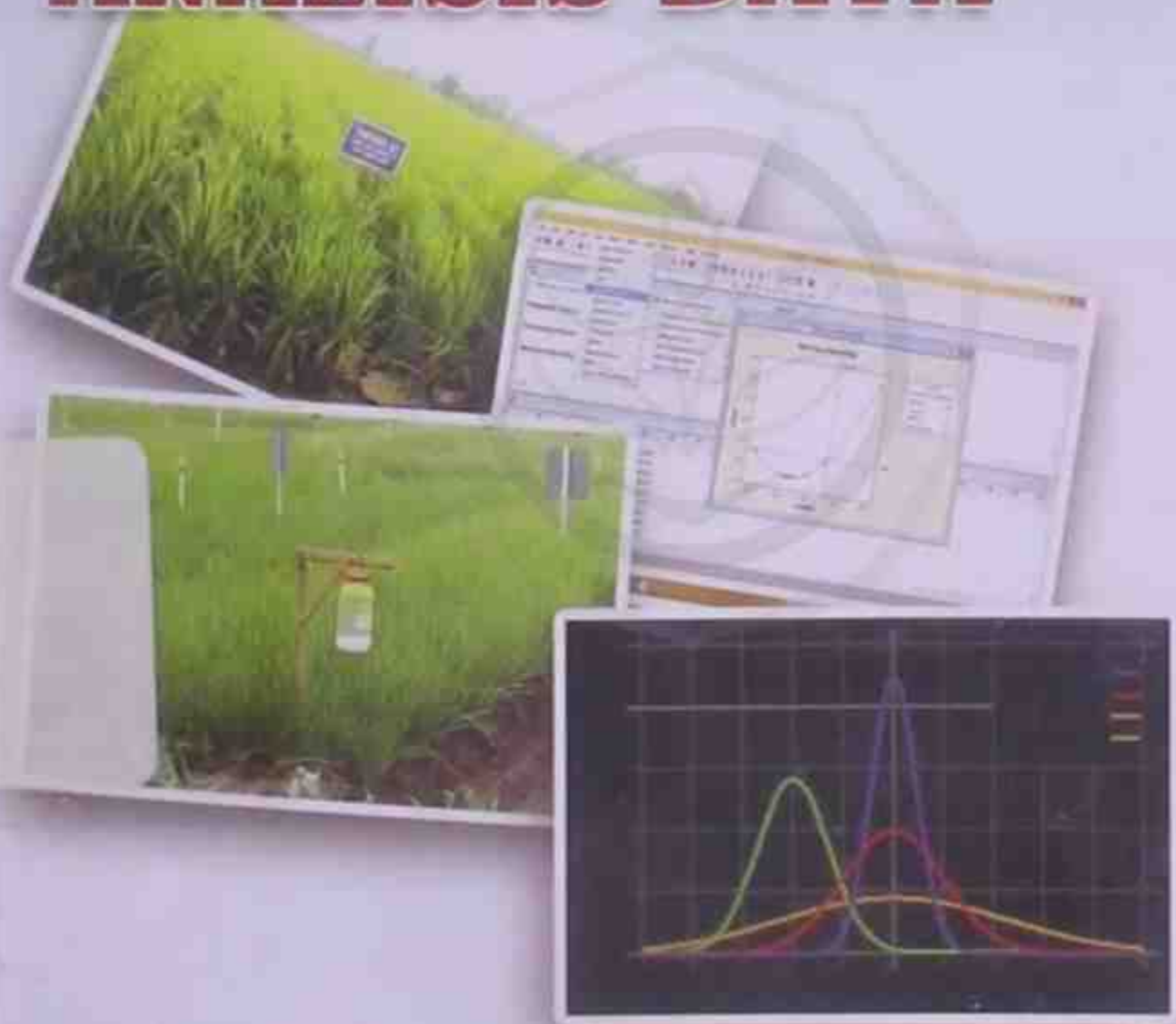


PERENCANAAN PENELITIAN DAN ANALISIS DATA



BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN
2017



PERENCANAAN PENELITIAN DAN ANALISIS DATA



Tgl. terima : 6-3-2018
No. Induk : 300/0/2018
Asal bahan Pustaka : ~~Eni/Tukor~~/Hadiah
Dari :

Penyusun :

Sutoro
dan
Sumarno

Pembaca Ahli :

Sudi Mardianto

Editor :

Haris Syahbuddin



**Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Kementerian Pertanian
2017**

PERENCANAAN PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-undang

@Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2017

Katalog Dalam Terbitan

BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
Perencanaan Penelitian dan Analisis Data/Sutoro dan Sumarno.

xii, 165 hlm.; 18,5 x 25,7 cm

1. Perencanaan 2. Analisis data

I. Judul II. Sutoro dan Sumarno

ISBN 978-602-6916-51-8

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

Jl. Ragunan No 29 Pasar Minggu Jakarta, 12540

Telp. +62217806202, Faks. +62217800644

Website. www.litbang.pertanian.go.id

DAFTAR ISI

	Halaman
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	vi
Daftar Tabel	vii
Sambutan Kepala Balitbangtan.....	viii
Pengantar Penulis	ix
Bab :	
I. PENGERTIAN RISET (PENELITIAN), METODE ILMIAH DAN PERCOBAAN	1
II. PEMAHAMAN OBYEK PENELITIAN	4
III. PENALARAN DEDUKTIF DAN INDUKTIF	7
3.1. Penalaran Deduktif	7
3.2. Penalaran Induktif	8
IV. FILOSOFI PENELITIAN	11
V. TAHAPAN MELAKSANAKAN PERCOBAAN	15
VI. JENIS PENELITIAN PERTANIAN	25
6.1. Penelitian Dasar	26
6.2. Penelitian Terapan Strategis	27
VII. KONSEP DASAR PENELITIAN	31
VIII. STATISTIK	37
8.1. Statistik Deskriptif	37
8.2. Metode Statistik Induktif (Statistik Inferensi)	38
8.3. Statistik Parametrik	38
8.4. Statistik Non Parametrik	38
IX. STATISTIK DASAR	39
9.1. Rata-rata Hitung	39
9.2. Standar Deviasi, Ragam dan Koefisien Keragaman	41
9.3. Ragam atau Varian (s^2)	43
9.4. Koefisien Keragaman (KK)	43
9.5. Standar Error	44
9.6. Model Linier Umum (General Linear Model/GLM)	45

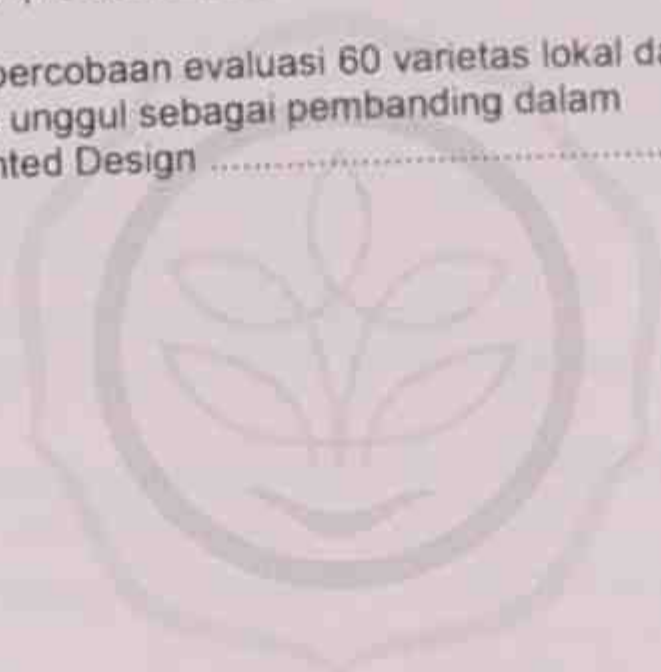
X.	KORELASI	46
XI.	REGRESI	50
XII.	ANALISIS JALUR ATAU SIDIK LINTAS (<i>Path Analysis</i>)	55
XIII.	ANALISIS REGRESI BERGANDA	61
XIV.	UJI DUA PASANG NILAI RATA-RATA DENGAN RANCANGAN PETAK BERPASANGAN	66
XV.	UJI KESESUAIAN (Test Goodness of Fit) ; χ^2 (Chi Kuadrat)..	70
XVI.	RANCANGAN PERCOBAAN	73
	16.1. Ulangan (<i>replication</i>)	73
	16.2. Pengacakan (<i>randomization</i>)	73
	16.3. Pengendalian lokasi (<i>local control</i>)	74
XVII.	SUMBER-SUMBER KERAGAMAN DALAM PERCOBAAN ...	75
	17.1. Tempat percobaan	75
	17.2. Bahan percobaan	76
	17.3. Perlakuan percobaan	76
	17.4. Pengendalian percobaan di luar perlakuan percobaan..	76
	17.5. Pengukuran respon peubah	77
	17.6. Ukuran petak dan sampel tanaman	77
XVIII.	RANCANGAN ACAK LENGKAP (<i>Completely Randomized Design</i>)	78
XIX.	RANCANGAN ACAK KELOMPOK LENGKAP (<i>Completely Randomized Blocks Design</i>)	84
XX.	RANCANGAN BUJUR SANGKAR LATIN (<i>Latin Square Design</i>)	90
XXI.	UJI BEDA ANTAR RATA-RATA PERLAKUAN.....	94
	21.1. Uji LSD (<i>Least Significant Difference</i>) atau BNT (Beda Nyata Terkecil)	94
	21.2. Uji Dunnet	95
	21.3. Uji Tukey (HSD = <i>Honest Significant Difference</i>) atau BNJ (Beda Nyata Jujur)	95
	21.4. DMRT (<i>Duncan Multiple Range Test</i>)	95
	21.5. Uji beda rata-rata antar kelompok perlakuan (uji kontras)	97
	20.6. Kontras ortogonal polinomial	98
XXII.	PERCOBAAN BERFAKTOR	100
XXIII.	RANCANGAN PETAK TERPISAH	110

XXIV.	RANCANGAN PETAK BERJALUR (<i>Split Block atau Strip Plot</i>)	115
XXV.	AUGMENTED DESIGN	119
XXVI.	RANCANGAN TERSARANG (Nested)	124
XXVII	PENGUJIAN ASUMSI DALAM ANOVA DAN TRANSFORMASI DATA	128
	27.1. Uji Kehomogenan Ragam	128
	27.2. Uji Kenormalan	129
	27.3. Transformasi Data	129
XXVIII	ANALISIS KOMPONEN UTAMA (<i>Principal Component Analysis</i>)	135
XXIX.	ANALISIS KLUSTER	141
XXX.	STATISTIK NON PARAMETIK – UJI KRUSKAL WALLIS	148
XXXI.	ANALISIS GABUNGAN DAN STABILITAS HASIL	152
XXXII.	PENUTUP	163
	DAFTAR PUSTAKA	165



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Penerapan penalaran secara deduktif dari ilmu ke penelitian dan penalaran secara induktif dari hasil penelitian untuk diekstrapolasi menjadi rekomendasi aplikasi operasional di lapangan	9
Gambar 2. Hubungan antara Statistik Deskriptif dengan Statistik Induktif	38
Gambar 3. Pengaruh antara peubah bebas X_1, X_2, \dots, X_k terhadap peubah tak bebas Y	55
Gambar 4. Denah percobaan evaluasi 60 varietas lokal dan 6 varietas unggul sebagai pembandingan dalam Augmented Design	120



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Bobot biomas kering vegetatif, padi umur 2 bulan	42
Tabel 2. Contoh korelasi antara diameter umbi kentang (cm) dengan bobot umbi kentang (gr)	47
Tabel 3. Hasil biji jagung pipilan kering dari perlakuan suplementasi pupuk kandang.....	51
Tabel 4. Data hasil gabah kering dari petak 20 m ² , dikonversi menjadi kuintal/ha gkg	68
Tabel 5. Koefisien kontras ortogonal polinomial beberapa perlakuan dengan jarak taraf yang sama	98
Tabel 6. Anova percobaan 2 faktor dalam RAL	102
Tabel 7. Anova 2 faktor dalam RAK	105
Tabel 8. Anova Rancangan Petak Terpisah atau Split – Plots	111
Tabel 9. Anova rancangan petak berjalur	115

SAMBUTAN KEPALA BALITBANGTAN

Kami menyambut baik diterbitkannya buku ini, yang akan sangat berguna untuk meningkatkan kemampuan meneliti bagi para peneliti/pengkaji di BPTP, dan juga peneliti di Puslit dan Balit. Tanpa pemahaman kaidah ilmiah proses penelitian/pengkajian, maka kesakhihan data dan informasi yang diperoleh menjadi kurang terpercaya. Proses penelitian/pengkajian yang sesuai dengan kaidah ilmiah tidak harus rumit dan sulit dimengerti, tetapi justru seperti yang disarankan dalam buku ini, rancangan percobaan dan perlakuan harus sederhana, yang terpenting mengacu permasalahan aktual dan penting yang ada di lapangan dan masalah itu perlu untuk dipecahkan atau diatasi. Hal yang demikianlah tugas pengkajian peneliti di BPTP, yang membedakan pengkajian BPTP dengan penelitian di Balit terutama hanyalah perlakuannya, sedangkan metode ilmiahnya, termasuk rancangan percobaan dan analisa datanya sama.

Kebutuhan untuk mempublikasi hasil penelitian pada jurnal ilmiah bagi para peneliti di BPTP mempersyaratkan dipenuhinya kaidah ilmiah dalam melakukan pengujian. Rancangan percobaan yang sederhana, untuk pengkajian adaptasi teknologi seperti Petak-Berpasangan, Rancangan Berblok dan Rancangan Petak Berjalur dapat diterapkan untuk pengujian komponen teknologi atau adaptasi teknologi. Demikian juga analisa regresi, korelasi dan analisa lintasan.

Dengan memahami isi buku ini para peneliti/pengkaji di BPTP dan di Balit akan mampu meningkatkan mutu kinerjanya, produktif dalam menyediakan teknologi baru, dan sekaligus mampu secara lancar membina diri menjadi peneliti profesional dalam jenjang fungsional tertinggi.

Kepada penulis dan pembaca ahli buku ini kami sampaikan terima kasih. Semoga pekerjaan tersebut menjadi amalan yang diridhoi Allah Yang Maha Kuasa

Bogor, 20 November 2017

Kepala Balitbangtan,

Dr. Muhammad Syakir

PENGANTAR PENULIS

Perencanaan penelitian dan pilihan rancangan percobaan yang tepat, serta analisis data yang benar merupakan inti dari tugas dan pekerjaan para peneliti, termasuk "pengkaji" di BPTP. Dengan dipahaminya tiga hal tersebut maka peneliti dan pengkaji pertanian akan mampu menjadi profesional yang berdaya guna. Sebaliknya tanpa memahami tiga hal tersebut peneliti dan pengkaji akan bekerja dalam keragu-raguan dan bahkan kegelapan, tanpa luaran yang bermakna dari tugas-kerjanya bertahun-tahun.

Secara umum, gejala terdapatnya kemubaziran hasil penelitian, dalam arti hasil penelitian tidak dapat dipublikasi, atau penelitian tidak menghasilkan informasi dan teknologi baru, antara lain disebabkan peneliti tidak memahami perencanaan penelitian, penggunaan rancangan percobaan dan tehnik analisa data yang diperoleh dari penelitian.

Buku tentang rancangan percobaan sudah ada, namun belum ada yang digabungkan dengan bahasan perencanaan-penelitian. Dalam buku ini pertama dibahas hal-hal terkait dengan perencanaan penelitian, yang seharusnya dipahami oleh para calon peneliti pada tahun pertama-kedua iamulai bekerja memilih karir sebagai peneliti. Rancangan percobaan dan analisa data harus dipahami pada tahun ke dua atau ketiga ia mulai bekerja. Setelah itu seorang peneliti boleh merencanakan dan melakukan penelitian.

Pembinaan tehnik kepenelitian kepada para calon dan peneliti yunior/muda oleh pejabat hampir tidak pernah dilakukan. Beruntung apabila peneliti senior bersedia membimbing dan mengajari peneliti junior, apabila peneliti senior sendiri paham. Apabila dua hal tadi tidak terjadi, peneliti junior dan juga peneliti senior sekalipun harus belajar sendiri. Buku ini diharapkan dapat menjadi pegangan dan bahan untuk dipelajari dalam rangka memahami tehnik penelitian. Kita tidak dapat membayangkan, bagaimana hasilnya, apabila peneliti sudah bekerja lima tahun, sepuluh tahun atau bahkan lebih, tetapi tidak memahami perencanaan penelitian, rancangan percobaan dan analisa data. Buku ini diharapkan dapat memenuhi kekurangan tersebut.

Ucapan terimakasih kepada Pembaca Ahli, dan Sdr. Dedi Nugraha, atas saran dan masukannya sehingga buku ini dapat mudah dibaca dan dipahami oleh para peneliti yang membutuhkan. Semoga penulisan buku ini menjadi amalan yang diridhoi Allah SWT, Amin.

Bogor, Februari 2017

Penulis



PENGERTIAN RISET (PENELITIAN), METODE ILMIAH, DAN PERCOBAAN

Istilah riset atau penelitian sering dipadankan dengan percobaan, akan tetapi dua istilah tersebut berbeda makna. Riset atau penelitian adalah seluruh proses yang dilakukan oleh peneliti untuk menemukan teknik atau informasi baru. Sebagai catatan Peneliti BPTP (Pengkaji), dan Peneliti di Balai Penelitian, Balai Besar dan Pusat Penelitian, dalam buku ini semuanya diistilahkan sama, yaitu Peneliti. Percobaan adalah salah satu prosedur yang digunakan dalam penelitian guna mencapai tujuan penelitian. Riset menurut Little and Hill (1998) didefinisikan sebagai "Penelusuran secara sistematis terhadap suatu obyek guna menemukan faktor dan atau prinsip baru".

Prosedur melakukan riset tersebut dikenal dengan istilah metode ilmiah, yaitu proses dimana penelitian mampu menarik kesimpulan melalui observasi dari percobaan yang dirancang secara teliti, tidak bias dan memanfaatkan ilmu yang tersedia tentang obyek yang diteliti. Metode ilmiah dalam penelitian mencakup sepuluh langkah sebagai berikut (Le Clerg *et al.* 1980; Little and Hill, 1998) :

- (1) Pernyataan masalah yang akan diteliti secara jelas.
- (2) Formulasi hipotesis terkait dengan obyek masalah.
- (3) Analisis dan bahasan hipotesis secara logik dan hati-hati, menyangkut implikasi, prediksi hasil penelitian dan kemungkinan aplikasinya.
- (4) Rencana percobaan secara tepat dan benar, yang berfungsi untuk menguji hipotesis, termasuk pemilihan perlakuan, rancangan percobaan, ulangan, pengamatan data.
- (5) Pelaksanaan percobaan secara benar sesuai dengan kaidah ilmiah, meliputi ulangan, peng "acakan" atau randomisasi, dan pengendalian terhadap keragaman lokasi percobaan, guna meminimalisasi kesalahan percobaan (*experimental error*).
- (6) Pengamatan data secara teliti, tepat dan jujur, untuk mengukur respon perlakuan. Preferensi dan prakiraan secara personal terhadap respon perlakuan harus dihindarkan, sehingga semua data yang diperoleh semata-mata berdasarkan fakta.

- (7) Analisis data sesuai prosedur statistik secara benar dan tepat, diikuti dengan interpretasi dari hasil analisis data.
- (8) Pemaknaan hasil analisis data dan interpretasinya terkait dengan :
- (a) permasalahan yang diteliti;
 - (b) perlakuan yang diuji;
 - (c) hipotesis yang dikemukakan, dan
 - (d) tujuan percobaan.

Interpretasi dari hasil analisis data harus dalam "koridor" empat hal tersebut, tidak boleh keluar dari padanya.

- (9) Membuat pernyataan kesimpulan secara induktif dan logis berdasarkan informasi pada butir (8), tidak menyimpang dan dapat dipercaya, yang berfungsi sebagai kesimpulan percobaan.
- (10) Menuliskan hasil penelitian secara jelas, sesuai dengan format karya tulis ilmiah, agar mampu menambah keilmuan terhadap body ilmu pengetahuan, dan peneliti lain bisa memanfaatkan atau memverifikasi hasil penelitian.

Berdasarkan sepuluh langkah dalam melakukan penelitian secara ilmiah tersebut, menjadi jelas bahwa prosedur penelitian secara ilmiah mempersyaratkan aspek : obyektivitas, kejujuran, ketepatan, tidak bias, non-preferensial atau obyektif, meminimalkan error, dapat dipercaya, dapat diulangi dengan hasil yang relatif sama (*repeatable*), dan menunjukkan kebenaran yang tinggi. Atas dasar hasil percobaan yang bersifat demikian itulah maka hasil penelitian dapat disimpulkan secara induktif, dari informasi yang spesifik menjadi informasi yang lebih bersifat umum, dengan bias yang minimal.

Sudah tentu untuk dapat membuat generalisasi yang sah atau valid, percobaan telah dirancang untuk mewakili "domain" atau agroekologi yang serupa, atau percobaan telah dilakukan di beberapa lokasi dan musim, dengan hasil yang relatif konsisten.

Little and Hill (1998) menyebutkan lima persyaratan percobaan yang direncanakan dengan baik, yaitu :

- (1). Perlakuan tersusun sederhana dan relevan dengan tujuan percobaan, tidak bersifat kompleks; rancangan percobaan juga sederhana, sesuai tujuan percobaan.
- (2). Memiliki derajat ketelitian (presisi) yang tinggi. Perbedaan respon perlakuan dapat terdeteksi dengan tepat, error percobaan rendah, demikian juga koefisien keragaman rendah, sehingga data pengaruh perlakuan memang disebabkan oleh perlakuan itu sendiri. Hal demikian dapat diperoleh dari penggunaan rancangan percobaan yang tepat, jumlah ulangan yang cukup, dan unit percobaan yang homogen.

- (3). Tidak terdapat error sistematis yang berasal dari perbedaan kondisi antar unit percobaan, atau dengan kata lain, unit percobaan (plot) dalam satu ulangan kondisinya seragam atau homogen.
- (4). Kesimpulan yang dibuat memiliki validitas (berlaku) pada cakupan agroekologi atau domain yang cukup besar. Maknanya, kesimpulan percobaan tidak hanya berlaku semata-mata pada percobaan itu sendiri, tetapi dapat diinduksi mencakup referensi atau domain yang lebih luas.
- (5). Penghitungan derajat ketidak-pastian. Dalam setiap kesimpulan hasil percobaan, terdapat nilai ketidak-pastian yang ditarik dari analisis data. Akan tetapi dengan menggunakan rancangan yang tepat, derajat ketidak-pastian dapat diminimalkan. Data yang diperoleh dapat dipisahkan dari faktor kebetulan, sehingga benar-benar dapat mencerminkan respon perlakuan. Hal demikian terlihat, dari nilai koefisien keragaman (KK atau CV) percobaan yang relatif kecil (kurang dari 10%).



PEMAHAMAN OBYEK PENELITIAN

Obyek penelitian dimaksudkan sebagai target, topik atau permasalahan teknis yang akan diteliti, untuk dicari pemecahan masalahnya atau ditemukan cara perbaikannya. Penelitian pertanian, secara umum bertujuan menyediakan teknologi guna memajukan usaha pertanian dari aspek produksi, mutu hasil, efisiensi produksi, keuntungan ekonomis, kenyamanan kerja, keberlanjutan produksi, dan aspek kestabilan/kepastian hasil panen. Berdasarkan tujuan umum tersebut, maka penelitian harus dirancang dengan mengacu kepada permasalahan atau problem nyata yang ingin dipecahkan. Hasil penelitian harus dapat menjawab permasalahan atau problem yang diteliti, sekalipun jawaban itu bisa positif (masalah dapat diatasi seperti yang ditunjukkan oleh hasil penelitian), atau bisa juga negatif (masalah ternyata belum dapat dipecahkan/diatasi dengan teknik yang diuji pada penelitian).

Oleh karena itu, sebelum membuat rencana penelitian atau merancang percobaan, peneliti harus mengetahui secara persis masalah apa yang dipilih untuk dijadikan obyek penelitian. Masalah yang dipilih sebagai obyek penelitian harus nyata (faktual), penting, memiliki dampak ekonomi, atau mempengaruhi ketersediaan pangan masyarakat regional / Nasional, memiliki dampak terhadap lingkungan, terhadap mutu produk, atau dampak negatif lainnya yang merugikan usaha pertanian. Masalah yang tidak berdampak negatif atau tidak merugikan usaha pertanian, tidak usah diteliti atau tidak perlu dijadikan obyek penelitian.

Obyek penelitian ditentukan dan dipilih berdasarkan hirarki, termasuk berdasarkan mandat, visi dan misi, arahan dan permintaan dari kantor pusat serta prioritas program. Akan tetapi yang paling penting obyek penelitian adalah masalah aktual yang terdapat di lapangan yang perlu dicarikan pemecahannya, karena masalah tersebut merugikan. Yang dimaksud masalah di lapang tidak hanya terbatas tentang proses produksi tanaman, ternak, produk olahan dan sejenisnya, tetapi juga masalah terkait dengan alat mesin pertanian, mutu produk, produktivitas, efisiensi, kehilangan hasil, ergonomik kerja, daya simpan, stabilitas mutu, kesegaran produk (*freshness*), residu pestisida, cemaran bahan berbahaya, kontaminasi mikroba berbahaya, rendemen yang rendah, mutu produk yang substandar, rasa, aroma, tekstur yang tidak optimal, warna produk yang tidak menarik, ukuran yang tidak seragam, komposisi gizi produk yang tidak

optimal, nutrisi yang rendah atau tidak seimbang, gangguan proses produksi seperti hama penyakit, kurang hara/kahat hara, cekaman abiotik seperti kekeringan, keracunan senyawa, dan sebagainya. Masalah di lapangan seperti itulah dan yang memiliki status penting, prioritasnya tinggi, dampaknya besar atau memiliki daya ungkit besar, yang layak menjadi obyek penelitian.

Secara ringkas, obyek penelitian didefinisikan sebagai kondisi atau masalah yang berstatus sebagai penghambat atau penyebab tidak optimalnya proses atau hasil usaha pertanian, yang dapat dideliniasi/dipisahkan dari penyebab lainnya, sehingga statusnya sebagai masalah dinilai layak untuk dicari pemecahannya melalui penelitian. Masalah timbul bila terdapat adanya perbedaan antara harapan dan kenyataan.

Pada penelitian bidang agronomi dan teknik produksi, identifikasi masalah relatif mudah dilakukan, misalnya seperti ketersediaan nutrisi yang kurang optimal; cekaman biotik dan abiotik; keracunan senyawa tertentu; kahat hara mikro; mutu produk panen rendah; produktivitas tidak optimal; pertumbuhan badan ternak lambat, dan sebagainya. Pada penelitian bidang invensi dan inovasi teknologi yang berupa produk atau teknologi baru, identifikasi masalah sebagai obyek penelitian pada umumnya berdasarkan kelemahan atau kekurangan teknik yang telah ada, satu atau lebih masalah yang terkait segi produktivitas, kapasitas produksi, efisiensi, mutu produk, kenyamanan kerja (*ergonomis*), pengurangan kehilangan hasil, penurunan biaya produksi, kecepatan, rendemen, perolehan nilai tambah dan aspek keunggulan lainnya. Penciptaan invensi dan inovasi teknologi, kadang-kadang merupakan proses perekayasaan yang dapat dilakukan melalui tahapan, antara lain: identifikasi kelemahan yang ada, konsep ide, perancangan (*design*), pembuatan model, uji coba model, dan fiksasi/penetapan model. Model yang sudah difiksasi/ditetapkan atau final, selanjutnya dapat dijadikan obyek penelitian lanjutan dari segi kinerjanya.

Pentingnya peneliti memahami dan mampu mengidentifikasi masalah sebagai obyek penelitian adalah untuk memastikan peneliti menyadari hal-hal sebagai berikut :

- (1). Obyek penelitian merupakan masalah aktual yang berstatus penting.
- (2). Penelitian dirancang bertujuan memperoleh solusi terhadap masalah aktual.
- (3). Terdapat hubungan erat antara masalah aktual, penelitian, temuan teknologi, dan manfaat teknologi bagi pengguna.
- (4). Penelitian mengacu pada masalah aktual dan hasil penelitian harus dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah yang diteliti.

- (5). Penelitian bersifat membumi, realistis, tidak teralienasi (terpisahkan) dari dunia nyata.

Masalah atau problema aktual yang dihadapi oleh pengguna dan bersifat penting itulah yang layak menjadi "justifikasi" atau "alasan" – kuat, atau "rasional" perlunya dilakukan penelitian. Oleh karena itu, kemampuan peneliti memahami masalah sebagai obyek penelitian akan menentukan berhasil-tidaknya peneliti mengemban tugasnya sebagai peneliti, dan diharapkan ia mampu menjadi seorang inventor dan inovator teknologi, yang dapat dimanfaatkan secara operasional oleh pengguna.



PENALARAN DEDUKTIF DAN INDUKTIF

3.1. Penalaran Deduktif

Dalam upaya peneliti bekerja untuk memahami obyek, informasi tentang obyek yang bersangkutan tidak selalu tersedia. Kemungkinan informasi yang tersedia bersifat umum seperti misal : "tumbuhan kacang-kacangan bentuk bunganya kupu-kupu". Seorang peneliti membawa kacang faba dari Belanda, ia berfikir sebelum menanam biji kacang faba : "tanaman kacang faba ini bunganya pasti berbentuk kupu-kupu". Contoh lain : "lahan pada luapan aliran sungai memperoleh endapan lumpur yang menyuburkan tanah (informasi umum). Hamparan seluas 150 ha pada daerah aliran sungai Kapuas sering menerima luapan air sungai, sehingga dapat diduga sebagai lahan subur. Padi varietas Ciherang adaptasinya baik pada lahan sawah dataran rendah (1-400 m dpl). Lahan sawah di pulau Buru dataran rendah, diperkirakan varietas Ciherang akan beradaptasi baik dan cocok bila ditanam di pulau Buru. Cara bernalar dari informasi umum yang diterapkan pada kasus spesifik disebut penalaran deduktif. Penalaran secara deduktif berguna untuk membuat dugaan secara rasional, yang sangat penting dalam merancang penelitian. Hasil penalaran deduktif masih perlu diuji akan kebenarannya.

Peneliti yang bernalar berdasarkan informasi umum yang diaplikasikan pada obyek yang lebih spesifik (*partikular*) disebut sebagai penalaran secara deduktif (*deductive reasoning*). Ilmu pengetahuan yang kita pelajari pada umumnya adalah prinsip yang bersifat umum. Padahal obyek atau permasalahan yang kita hadapi sehari-hari adalah masalah spesifik. Kita harus mampu memahami masalah spesifik tersebut dalam kaitannya dengan prinsip umum. Penerapan ilmu yang bersifat umum untuk obyek spesifik tersebut disebut sebagai penalaran deduktif. Perlu diketahui bahwa informasi umum tersebut dibangun dari pengamatan atau observasi berkali-kali terhadap obyek sejenis, atau dari percobaan-percobaan yang dilakukan pada banyak lokasi atau musim, sehingga diperoleh informasi umum. Pemahaman secara deduktif dibangun dari prinsip umum yang pemanfaatannya diturunkan kepada pemahaman obyek spesifik. Ilmu pengetahuan dapat disebut sebagai prinsip-prinsip umum, sedangkan penerapan ilmu pengetahuan pada kasus bersifat spesifik. Pemikiran yang demikian ini disebut sebagai penalaran secara deduktif. Penalaran secara deduktif perlu dikuasai oleh peneliti, karena setiap masalah spesifik tidak mungkin menyediakan informasinya. Saat berhadapan dengan masalah yang

akan dipecahkan, langkah awal peneliti harus mampu menduga secara deduktif berdasarkan informasi dan ilmu pengetahuan yang telah ada.

3.2. Penalaran Induktif

Penalaran secara induktif mendasarkan pada beberapa informasi yang bersifat spesifik, diaplikasikan kepada prinsip yang bersifat lebih umum. Hasil percobaan yang dilakukan di beberapa lokasi, yang masing-masing menghasilkan informasi spesifik, dapat diaplikasikan terhadap kondisi umum pada lingkungan yang lebih luas dengan ciri-ciri seperti lingkungan percobaan. Penalaran induktif dibangun dari informasi khusus pada beberapa contoh kasus (melalui percobaan), untuk diaplikasikan pada lingkungan sejenis yang lebih luas.

Penelitian yang dilakukan oleh peneliti bidang pertanian untuk menyediakan solusi masalah yang terdapat di lapangan, seluruhnya menggunakan penalaran secara induktif. Ekstrapolasi hasil penelitian untuk teknologi anjuran, atau saran aplikasi teknologi secara praktis adalah penalaran secara induktif. Hampir seluruh penelitian pertanian menerapkan penalaran induktif untuk menghasilkan saran-saran konkret bagi penyelesaian permasalahan yang dihadapi di lapangan. Mengapa dilakukan penalaran secara induktif? Masalah yang terdapat di lapangan tidak mungkin seluruhnya diteliti melalui percobaan, yang ditujukan untuk mencari jawaban terhadap masalah tersebut. Percobaan dilakukan dengan jumlah lokasi dan luas areal yang terbatas, sehingga hasil percobaan hanya merupakan sampling dari cakupan masalah yang sebenarnya. Apabila percobaan dilakukan pada lingkungan yang mewakili masalah yang ingin diselesaikan, maka interpretasi hasil percobaan tadi dapat digeneralisasi atau diekstrapolasi terhadap masalah yang dituju, di wilayah terkait. Oleh karena itu setiap kesimpulan percobaan harus digeneralisasi secara induktif, agar kesimpulan percobaan menjadi bersifat aplikatif.

Oleh terdapatnya dua cara penalaran tersebut, peneliti dituntut mampu mengaplikasikannya dalam perumusan obyek masalah dan sekaligus memanfaatkan informasi yang diperoleh untuk pemecahan masalah, melalui tahapan-tahapan sebagai berikut :

- (a). Menggunakan ilmu pengetahuan yang ia miliki (berbagai disiplin keilmuan yang relevan) secara deduktif untuk mendiagnosis masalah di lapangan dan menetapkan rumusan masalah serta merencanakan penelitian/percobaan yang akan dilakukan.
- (b). Setelah melakukan penelitian, peneliti harus mampu membuat generalisasi hasil penelitian secara induktif, sehingga bersifat aplikatif atau dapat diterapkan pada tataran operasional (baik pada agroekologi spesifik ataupun pada mega agroekologi), sehingga hasil penelitian menjadi bermakna dan bermanfaat. Peneliti harus mampu dan berani

bernalir secara induktif, memanfaatkan informasi hasil penelitiannya, untuk penerapan yang lebih general atau umum. Dengan istilah lain, pemikiran secara induktif sama dengan peneliti menentukan implikasi hasil penelitian terhadap praktek operasional. Penalaran induktif juga berarti mengekstrapolasi informasi hasil penelitian untuk saran dan atau anjuran operasional penerapannya di lapangan.

Siklus metode penalaran harus dipahami oleh setiap peneliti yang akan melakukan penelitian, agar penelitian sesuai dengan masalah aktual dan hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk memecahkan masalah tersebut (Gambar 1).



Gambar 1. Penerapan penalaran secara deduktif dari ilmu ke penelitian dan penalaran secara induktif dari hasil penelitian untuk diekstrapolasi menjadi rekomendasi aplikasi operasional di lapangan

Harus disadari bahwa bernalir secara induktif berpeluang untuk diikuti oleh ketidak-tepatan informasi yang ditimbulkan oleh faktor kebetulan (*chance*) pada waktu pelaksanaan percobaan. Faktor kebetulan yang terjadi antar petak perlakuan dapat dikoreksi dari besaran nilai error percobaan. Akan tetapi faktor kebetulan yang berasosiasi dengan keragaman musim, tahun, lokasi dan unsur lain di luar percobaan, sering menimbulkan kesulitan untuk dilakukan koreksi. Itulah sebabnya percobaan perlu dilakukan di banyak lokasi dan banyak musim. Percobaan yang hanya dilakukan pada satu lokasi-satu musim, akan mengakibatkan terjadinya ketidak tepatan, apabila diinduksikan untuk anjuran pada suatu kawasan,

apalagi anjuran untuk mega agroekologi yang sangat luas, seperti halnya uji efikasi (kemanfaatan) pupuk mikroba di satu lokasi-satu musim, hasilnya tidak sah (valid) untuk anjuran seluruh agroekologi.

Kelemahan peneliti pada umumnya adalah pada kekurangmampuan peneliti menginduksikan hasil penelitiannya terhadap agroekologi target. Hasil percobaan seringkali dimaknai hanya berlaku persis pada lokasi tempat percobaan itu dilakukan, tidak berlaku di luar petak percobaan. Kesimpulan yang hanya berlaku persis pada tempat percobaan dilakukan, tidak akan ada gunanya sama sekali, apalagi apabila lokasi percobaan tidak mewakili domain target masalah yang diteliti.

Peneliti harus memahami cara bernalar dan berpikir secara deduktif dan secara induktif terlebih dulu, sebelum ia diberi hak dan kesempatan untuk melakukan penelitian. Sekali lagi ditegaskan, untuk memahami masalah yang akan diteliti dan untuk menyusun perlakuan yang akan diuji (diteliti), peneliti harus menerapkan cara berpikir deduktif. Untuk memanfaatkan hasil penelitiannya menjadi "anjuran operasional" peneliti harus berpikir secara induktif.



Secara ideal, seluruh wilayah target masalah perlu dilakukan penelitian. Tetapi secara operasional, faktanya keseluruhan wilayah tidak benar-benar diteliti. Apabila dilakukan penelitian terhadap seluruh cakupan target masalah, biaya yang diperlukan akan sangat mahal dan pelaksanaannya sangat berat. Oleh karena itu hanya sebagian kecil dari cakupan target masalah yang akan diteliti, menggunakan petak-petak percobaan pada lokasi atau tempat yang dianggap mewakili target masalah. Masalah yang cakupannya luas atau besar, direduksi menjadi masalah pada petak-petak percobaan yang mewakilinya. Dalam penelitian melalui percobaan, petak-petak percobaan tadi disebut sebagai *sample* atau contoh. Pengambilan *sample* atau contoh dimaksudkan agar dapat mewakili cakupan masalah, disebut sebagai *sampling technique*, atau teknik penentuan contoh.

Temuan informasi atau teknologi dari hasil penelitian diharapkan dapat diaplikasikan kembali pada wilayah yang diwakili oleh lokasi penelitian. Agar dapat memperoleh teknologi yang bersifat aplikatif-adaptif pada skala yang lebih luas, maka pemilihan lokasi-letak percobaan dan materi percobaan harus mewakili wilayah target aplikasi teknologi. Apabila target masalah yang akan diteliti terdapat pada agroekologi P dan masalah tersebut terjadi pada wilayah agroekologi P secara reguler, maka percobaan untuk mengatasi masalah harus dilakukan pada lokasi-letak percobaan (*experiment sites*) P1; P2; P3; Pn, dimana P1, P2, P3, Pn adalah "anggota" wilayah agroekologi P. Hasil penelitian pada lokasi-letak percobaan P1; P2; P3; ... Pn, harus dapat diinduksikan untuk diaplikasikan pada wilayah P secara keseluruhan dengan keragaan yang diharapkan sama dengan keragaan pada percobaan.

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam melakukan penelitian, seorang peneliti harus mampu memahami hal-hal penting sebagai berikut :

- (1). Masalah teknis yang akan diatasi dijadikan dasar penyusunan perlakuan dan hasil penelitian diharapkan dapat mengatasi masalah yang diteliti; sejalan dengan hipotesis penelitian.
- (2). Wilayah sebaran masalah yang merupakan agroekologi target penelitian, yang sekaligus sebagai agroekologi target aplikasi teknologi, dipahami dengan baik.

Untuk penelitian non agronomi, dua hal tersebut perlu diganti substansi obyeknya sesuai dengan domain yang diteliti atau populasi yang menjadi target penelitian, atau obyek penelitiannya. Perlu diingat bahwa "masalah" sebagai obyek penelitian, tidak berdiri sendiri atau terisolasi dari pengaruh faktor lainnya. Peneliti harus dapat memikirkan atau memperkirakan, faktor-faktor apa saja yang terkait dan berpengaruh terhadap "masalah", agar perlakuan yang dicoba tidak terlalu jauh ke luar dari faktor-faktor lingkungan tersebut. Dengan perkataan lain, peneliti dalam memilih dan menyusun perlakuan harus mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan yang terkait dengan masalah.

Prinsip dasar yang harus dipegang oleh peneliti sebagai filosofi dalam melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

- (1). Penelitian yang dilakukan bukanlah kegiatan terpisah dari permasalahan aktual di lapangan secara keseluruhan.
- (2). Terhadap masalah yang diteliti selalu terdapat faktor-faktor lingkungan yang ikut memengaruhi atau terkait, yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan perlakuan. Faktor lingkungan itu dapat berupa iklim, kesuburan tanah, kondisi ekonomi petani, kondisi sosial, lingkungan, prasarana, sarana dan faktor-faktor lainnya.
- (3). Hasil penelitian harus menjawab permasalahan yang diteliti, baik jawaban yang bersifat positif maupun negatif, dan harus dapat diinduksikan (diekstrapolasi) terhadap masalah aktual yang terjadi di lapangan.
- (4). Penelitian atau percobaan harus dilaksanakan sesuai dengan kaidah ilmiah, supaya informasi atau teknologi yang dihasilkan dapat dipercaya atau dipertanggung-jawabkan.
- (5). Karya tulis ilmiah yang menyertai temuan teknologi atau informasi hasil penelitian harus dipublikasi pada Journal Ilmiah yang terakreditasi dan bermutu baik. Tidak terdapat keterpisahan antara temuan teknologi atau informasi dengan luaran berupa karya tulis ilmiah (KTI).
- (6). Tidak ada penelitian yang gagal, apabila telah direncanakan dan dilaksanakan sebaik-baiknya, apabila hasil penelitian tidak dapat dipublikasi pada Jurnal Ilmiah, maka yang menjadi penyebabnya adalah peneliti yang gagal.
- (7). Penelitian terhadap obyek masalah sesuai dengan tugas dan fungsi unit kerja penelitian, tujuannya adalah mencari dan menyediakan informasi/teknologi guna mengatasi masalah, dan bukan hanya untuk sekedar mengumpulkan nilai kredit untuk jenjang fungsional.
- (8). Penyediaan dana, sarana, prasarana, peralatan dan sumberdaya manusia (SDM) dari Pemerintah, tujuannya adalah agar hasil

penelitian dapat diadopsi dan diaplikasikan oleh pengguna untuk memajukan usaha pertanian, dan bukan supaya peneliti naik jenjang fungsional, atau tetap terpeliharanya jabatan fungsional. Penelitian yang ditujukan hanya untuk menaikkan/memelihara jabatan fungsional adalah salah satu bentuk korupsi yang dilakukan oleh peneliti yang bersifat egois dan serakah.

- (9). Peneliti dalam menginterpretasikan hasil penelitian bisa membuat kesalahan (yang semestinya bisa dikoreksi atau dibetulkan), akan tetapi peneliti tidak diperbolehkan menyatakan hasil penelitian yang tidak bisa dipercaya atau melakukan pembohongan.
- (10). Profesi bidang penelitian menuntut penelitinya memiliki integritas, ketulusan hati, kejujuran, dan keuletan bekerja, sampai diketemukannya teknologi/informasi untuk mengatasi masalah.

Gagal memahami dan atau tidak mengadopsi 10 (sepuluh) prinsip penelitian tersebut akan berakibat pada penelitian yang gagal dan sekaligus juga profesi peneliti yang gagal. Dalam praktek, walaupun tidak seorang peneliti pun mau disebut sebagai peneliti yang gagal, namun fakta empiris menunjukkan banyak peneliti yang gagal mengemban tugas sebagai peneliti. Kesadaran tidak mau menjadi peneliti yang gagal itulah yang harus ditumbuhkan yang diharapkan mampu memotivasi peneliti melakukan penelitian dengan sebaik-baiknya, setelah perencanaan penelitian dipikirkan sungguh-sungguh. Memahami dan mengadopsi sepuluh prinsip pelaksanaan penelitian yang disebutkan di atas dapat menambah percaya diri dan meningkatkan produktivitas peneliti.

Penyebab Gagalnya Penelitian

Penelitian yang gagal dimaksudkan bahwa hasil penelitian tidak memiliki nilai aplikatif dan informatif, dari segi apapun terhadap masalah yang dijadikan "obyek penelitian". Kegagalan penelitian hendaknya bukan gagal karena kelalaian dan kurang keseriusan peneliti dalam melaksanakan penelitian. Peneliti harus dapat mengantisipasi dan mampu mengatasi kegagalan penelitian dari aspek pelaksanaan teknis operasional. Peneliti harus dapat memastikan dan menjamin bahwa pelaksanaan penelitian berjalan dengan baik, sehingga tidak terjadi kegagalan yang disebabkan oleh kurang-cermatan pelaksanaan penelitian.

Kegagalan penelitian secara substantif justru akan terjadi, apabila terdapat kesalahan perencanaan penelitian, sehingga hasil penelitian tidak jelas manfaatnya, tidak menghasilkan informasi yang sesuai dengan permasalahan aktual di lapangan, atau hasil penelitian tidak relevan dengan masalah aktual di lapangan. Sumarno dan Hamowo (2016) menyebutkan delapan faktor penyebab kurang berhasilnya atau rendahnya luaran

penelitian yang berupa teknologi, informasi yang relevan, dan atau karya tulis ilmiah, yaitu :

- (1). Penelitian tidak mengacu kepada permasalahan aktual, tidak terkait dengan masalah aktual, atau tidak dapat dikaitkan dengan masalah yang dituju.
- (2). Data peubah yang diamati terlalu sederhana, pengamatan terbatas pada data empiris yang mudah diukur, misalnya hasil panen, tidak diamatinya data peubah yang cukup mendasar yang diperlukan untuk penulisan karya tulis ilmiah.
- (3). Akurasi data rendah atau hasil percobaan kurang optimal, sehingga pengaruh perlakuan kurang bermakna.
- (4). Peneliti kurang menguasai teknik analisis data dan kurang memahami pemaknaan hasil analisis data.
- (5). Pemahaman peneliti terhadap substansi penelitian lemah, disebabkan oleh kurangnya pemahaman keilmuan terkait, dan kurangnya membaca literatur bermutu.
- (6). Penelitian mengacu disiplin keilmuan yang bersifat spesialisik sempit, sehingga relevansi hasil penelitian terhadap permasalahan di lapangan kurang jelas.
- (7). Peneliti kurang melatih diri menulis makalah ilmiah, yang berakibat tugas peneliti menyiapkan karya tulis ilmiah menjadi beban yang berat.
- (8). Kurang ada tekanan dan permintaan yang tegas dari pihak manajemen agar peneliti menghasilkan karya tulis yang bermutu.

Apabila delapan penyebab kegagalan tersebut benar terjadi, akar masalahnya adalah peneliti kurang menaruh perhatian secara serius terhadap tugas penelitiannya. Untuk mengatasinya diperlukan perubahan sikap dan atitut peneliti terhadap tugas penelitiannya. Namun, ada kalanya hal-hal tersebut juga dapat disebabkan oleh faktor eksternal peneliti, seperti penyediaan dana penelitian kurang lancar, penugasan penelitian kepada peneliti yang kurang jelas, terjadinya campur aduk antara tugas administrasi dan tugas teknis peneliti, suasana kerja di kantor yang kurang kondusif, atau oleh hal-hal lainnya.

Apapun alasan dan faktor penyebab gagalnya penelitian, penelitian yang sudah direncanakan dan dialokasikan dananya, harus dilaksanakan sebaik-baiknya agar dari penelitian diperoleh luaran optimal, berupa teknologi, informasi, dan karya tulis ilmiah yang bermutu.

TAHAPAN MELAKSANAKAN PERCOBAAN

Penelitian dapat dilakukan terhadap berbagai hal, seperti: survei permasalahan efisiensi usaha pertanian, efektivitas bantuan program Pemerintah; studi daya saing komoditas tertentu dalam sistem usahatani; percobaan efikasi pestisida atau herbisida; percobaan daya hasil varietas dan galur harapan (tanaman); pengaruh jenis ransum pada ternak; percobaan di laboratorium, dan lain-lainnya. Prosedur dan pilihan rancangan percobaan sangat tergantung pada materi yang diteliti dan tujuan percobaan yang bersangkutan. Nasehat terbaik bagi peneliti junior dalam memilih dan menentukan rancangan percobaan adalah berdiskusi dan konsultasi dengan teman peneliti yang lebih senior. Rancangan percobaan atau jenis penelitian ditentukan menyusul, setelah ditetapkan masalah apa yang akan diteliti, apa dan berapa materi penelitian, apa tujuan penelitian, dan hal-hal lainnya.

Little dan Hills (1998) menyebutkan 12 langkah penting yang harus dilakukan dalam merencanakan dan melaksanakan percobaan, yaitu :

5.1. Pernyataan dan Pendefinisian Masalah serta Hipotesis Secara Singkat dan Jelas.

Masalah yang menjadi obyek penelitian harus dapat didefinisikan secara jelas, dimengerti oleh peneliti, dan dapat dibangun pertanyaan "mengapa harus diteliti". Jawaban terhadap pertanyaan tersebut nantinya diharapkan dapat mengatasi atau menjawab masalah. Dari masalah yang telah ditentukan harus dapat dibuat hipotesis, yaitu suatu perkiraan rasional berdasarkan informasi yang ada terkait dengan permasalahan, yang dapat diuji secara statistik.

5.2. Perumusan Tujuan Penelitian.

Tujuan penelitian harus konsisten dan searah dengan masalah yang akan diteliti. Rumusan tujuan penelitian juga harus sejalan dengan hipotesis yang diuji. Tujuan harus dirumuskan secara tegas dan jelas, apa persisnya yang ingin diperoleh (output) dari penelitian tersebut. Rumusan

tujuan yang hanya "membunyikan" perlakuan, seperti misalnya "untuk mengetahui pengaruh pupuk mikro Zn terhadap hasil padi", dinilai kurang persis. Perumusan tujuan tersebut dapat diubah menjadi "diketahuinya peran unsur mikro Zn dalam meningkatkan produktivitas padi pada lahan berpasir yang diduga kahat Zn". Rumusan tujuan penelitian menentukan komposisi perlakuan yang akan diuji dan rancangan percobaan yang digunakan.

5.3. Penyusunan Perlakuan yang Akan Diuji

Perlakuan harus mengacu masalah yang diteliti dan hipotesis yang dikemukakan, serta tujuan penelitian. Perlakuan merupakan kisaran/ranges materi uji dan hasilnya diharapkan mampu menjawab hipotesis. Diharapkan salah satu dari perlakuan mampu "mengatasi" masalah yang diteliti, atau mampu menjawab pertanyaan yang terkait dengan masalah yang diteliti.

5.4. Pemilihan Lokasi yang Tepat dan Penggunaan Materi Percobaan yang Sesuai Dengan Tujuan Penelitian

Untuk percobaan agronomi, lokasi yang tepat adalah lokasi yang mewakili wilayah atau agroekologi yang memiliki masalah. Untuk percobaan tanaman tahunan yang sudah ada di lapangan, materi percobaan dipilih tanaman yang umurnya relevan dengan perlakuan yang dicoba; demikian juga untuk percobaan ternak, dipilih ternak yang dinilai merespon terhadap perlakuan, dengan tingkat kehomogenan materi percobaan yang tinggi. Lokasi dan materi percobaan harus relevan dengan masalah yang diteliti.

5.5. Penentuan Rancangan Percobaan yang Tepat

Rancangan percobaan dipilih yang sederhana, tetapi mampu mengukur respon perlakuan secara tepat dan teliti. Rancangan percobaan juga tergantung pada tujuan percobaan dan perlakuan yang diuji. Pilihan rancangan percobaan, termasuk jumlah ulangan akan menentukan besarnya galat (error) percobaan. Percobaan yang memiliki galat besar akan sulit mendeteksi perbedaan pengaruh perlakuan, karena data respon perlakuan yang terukur terpengaruhi faktor acak (random).

5.6. Penentuan Satuan Unit Percobaan Atau Unit Observasi (*Experiment Unit*)

Unit percobaan atau unit observasi atau *experiment unit*, adalah unit materi percobaan yang dikenai aplikasi perlakuan. Perlakuan percobaan

diaplikasikan terhadap materi percobaan dengan ukuran yang harus sama. Materi percobaan yang sama, yang diaplikasi perlakuan itu disebut unit percobaan atau unit observasi. Untuk percobaan agronomi di lapangan, unit percobaan atau unit observasi biasanya berupa petak (plot) dengan luasan tertentu. Untuk percobaan pada tanaman tahunan, unit percobaan bisa berupa sejumlah pohon yang saling berdekatan, atau bisa juga luasan pertanaman. Percobaan pada ternak, unit percobaan mungkin satu ekor ternak atau satu kelompok ternak yang relatif seragam. Perlu diketahui, pengukuran data terhadap beberapa ekor ternak dalam unit percobaan bukan sebagai ulangan percobaan. Data dari beberapa ekor ternak atau beberapa batang tanaman kelapa, dalam unit percobaan dirata-ratakan dan menjadi data respon terhadap perlakuan pada unit percobaan yang bersangkutan pada satu ulangan. Data ulangan kedua, ketiga, dan seterusnya diamati dari setiap unit percobaan seperti halnya pengamatan tersebut di atas. Pengamatan contoh (sampel) pada unit percobaan berfungsi hanya sebagai penduga data unit percobaan. Misalnya, unit percobaan pemupukan NPK-Zn pada kedelai adalah petak (plot) berukuran 4 x 5 m berisi 250 rumpun atau sekitar 500 batang tanaman. Untuk mengukur tinggi batang saat panen akan sulit bila dilakukan terhadap seluruh 500 batang, cukup diukur 10 batang sampel, kemudian dirata-ratakan, misalnya diperoleh 67 cm. Data ini merupakan data unit percobaan (plot) yang bersangkutan. Tanaman sampel (10 batang) dalam unit percobaan bukan merupakan ulangan melainkan sampel dari petak yang bersangkutan. Peneliti harus memahami benar apa makna unit percobaan atau experiment unit, dan apa sampel percobaan, sehingga tidak salah dalam menganalisis atau menggunakan datanya.

5.7. Penempatan Perlakuan pada Unit Percobaan Dalam Ulangan Secara Acak (Random)

Penempatan perlakuan pada unit percobaan dalam setiap ulangan dilakukan secara acak (random), sehingga tidak terjadi preferensi terhadap perlakuan agar tidak menimbulkan error sistematis, sebagai akibat terdapatnya "advantages" yang diperoleh dari perlakuan tertentu. Penempatan perlakuan pada setiap unit percobaan secara acak juga berguna untuk menghitung galat atau error.

5.8. Menentukan Peubah (Variable) yang Diamati

Peubah yang diamati adalah peubah-peubah yang selayaknya memberikan respon terhadap perlakuan dan peubah-peubah yang menjadi indikator ada tidaknya respon perlakuan, berkaitan dengan masalah dan tujuan penelitian. Variable atau peubah yang diamati harus mampu

menunjukkan apakah perlakuan yang dicoba memberikan respon terhadap masalah yang diteliti, dan apakah masalah berpeluang untuk terselesaikan atau tidak terselesaikan. Jenis dan jumlah peubah yang diamati menentukan kedalaman dari penelitian. Supaya data percobaan layak untuk bahan penulisan ilmiah, perlu dilakukan pengamatan peubah yang cukup banyak (memadai) dan bersifat mendasar, bukan hanya data empiris yang berupa respon akhir terhadap perlakuan percobaan. Data peubah yang mengukur proses yang terjadi selama pertumbuhan hingga diperoleh respon akhir, merupakan data yang bersifat mendasar, yang akan bermanfaat sebagai bahan penulisan ilmiah. Sebagai contoh pada tanaman : laju pertumbuhan tanaman atau *crop growth rate*; partisi hasil fotosintesis menjadi buah; dan sebagainya. Peubah yang diamati berupa peubah yang diperkirakan dipengaruhi oleh perlakuan yang dicoba, baik pada proses pertumbuhan maupun pada tahap akhir pertumbuhan.

Pemilihan peubah yang diamati harus memiliki validitas yang tinggi, artinya mengukur variabel yang sesungguhnya, seperti peubah ukuran butir biji yang diamati peubah adalah peubah bobot 100 butir biji. Hasil pengukuran variabel juga harus memiliki reliabilitas yang tinggi, hasil pengukuran peubah bersifat konsisten.

5.9. Membuat Outline atau Rencana Analisis Data Sesuai Rancangan Percobaan yang Digunakan

Berdasarkan rancangan percobaan, perlakuan yang dicoba, ulangan dan mungkin pelaksanaan percobaan di beberapa lokasi, percobaan dapat dibuat "general linear model (GLM)" atau model statistik linear yang menjelaskan pengaruh apa saja yang masuk ke dalam setiap data pengamatan. Dari model statistik linear tersebut kemudian dibuat rencana tabel Analisis Varian (Anova) atau tabel Sidik Ragam, yang terdiri dari sumber keragaman, derajat bebas, jumlah kuadrat, kuadrat tengah, dan F-hitung dari masing-masing komponen keragaman yang tertuang pada model statistik linear. Hal-hal yang dijelaskan tersebut nampaknya rumit, akan tetapi sebenarnya cukup sederhana, apabila dipraktekkan di bawah bimbingan seorang yang telah memahami dan biasa melakukan analisis data.

Berdasarkan sumber keragaman dan derajat bebasnya, dengan menggunakan rumus sederhana, jumlah kuadrat masing-masing sumber keragaman dapat dihitung secara mudah. Demikian juga Kuadrat Tengah dapat dihitung dengan cara membagi jumlah kuadrat oleh derajat bebasnya, dan F-hitung berasal dari Kuadrat Tengah Perlakuan dibagi Kuadrat Tengah galat percobaan. Berbagai program komputer seperti MS-EXCEL dan MINITAB, menggantikan cara penghitungan secara manual tersebut, akan tetapi peneliti sebaiknya memahami dari mana dan bagaimana nilai F-hitung diperoleh.

Demikian juga nilai statistik Beda Nyata Terkecil (BNT); Beda Nyata Jujur (BNJ); Koefisien Keragaman (KK); dan lainnya dapat dihitung menggunakan cara manual atau program komputer.

Sampai tahapan ini peneliti disarankan berkonsultasi dengan sejawat yang ahli dalam bidang statistik, agar tidak terjadi kesalahan menyusun perlakuan, menentukan jumlah ulangan, pengamatan sample, dan lain-lain.

5.10. Melaksanakan Percobaan/Penelitian

Pelaksanaan percobaan akan ditentukan oleh jenis penelitian, bidang disiplin ilmu, subyek penelitian dan jenis komoditas/obyek yang diteliti. Satu hal yang mencirikan kualitas setiap penelitian adalah dipenuhinya kaidah ilmiah penelitian, yang unsur-unsurnya antara lain berupa penerapan random terhadap unit percobaan; ulangan yang cukup; homogenitas materi percobaan; meniadakan subyektivitas, favouritisme dan pra-konklusi; mengedepankan obyektivitas, kejujuran, ketelitian dan kebenaran. Taat pada penerapan rancangan percobaan dan teknik sampling, juga merupakan ciri kesesuaian penelitian dengan kaidah ilmiah. Perencanaan percobaan yang baik sesuai dengan prosedur dan tata kelola penelitian, diikuti pelaksanaan percobaan yang baik sesuai dengan rencana yang telah dibuat, merupakan persyaratan pelaksanaan percobaan yang baik.

Panduan umum pelaksanaan percobaan/penelitian yang baik adalah sebagai berikut :

- (1). Materi percobaan dan perlakuan yang dicoba dalam penelitian, pemilihan lokasi percobaan harus sesuai dengan tujuan penelitian.
- (2). Peneliti harus terlibat langsung dalam pelaksanaan percobaan.
- (3). Pelaksanaan percobaan/penelitian terawasi dan terjaga dengan baik, sehingga tidak terjadi kesalahan atau gangguan terhadap data yang diamati.
- (4). Pengamatan atau pengambilan data dilakukan secara cermat, benar, jujur, dan akurat.
- (5). Pencatatan data secara teliti, akurat, dan benar.
- (6). Peneliti penanggung jawab penelitian/percobaan memiliki integritas, profesional, bertanggung jawab dan mentaati etika peneliti.

Pelaksanaan percobaan/penelitian yang baik adalah bilamana dan percobaan itu dapat diukur respon perlakuan, tidak terpengaruh oleh faktor-

faktor lain yang tidak relevan, sehingga mampu mengukur respon perlakuan secara benar dan dapat dipercaya.

5.11. Analisis data

Data yang diperoleh dari pengamatan percobaan di lapangan(bisa juga laboratorium; kandang; rumah kaca; kebun percobaan), perlu ditabulasikan atau diformat, supaya mudah untuk dimasukkan ke dalam format sesuai perangkat lunak komputer. Diperlukan kecermatan dan ketelitian dalam menyalin data lapangan tersebut, agar tidak terjadi kesalahan dan kekeliruan. Dua orang mengecek kebenaran data yang telah ditabulasikan, satu orang membaca data pada tabulasi, satu orang lagi menyimak kesesuaiannya dengan data asli, kemudian setelah penyalinan data selesai, pembacaan data dibalik, orang pertama membaca data asli, orang ke dua menyimak kesesuaiannya dengan data tabulasi. Bila data ditabulasikan sendiri, maka perlu verifikasi (pemeriksaan ulang) terhadap data yang telah disusun tersebut. Data yang meragukan karena meyimpang sangat jauh (outlier) perlu diselidiki apa penyebabnya dan perlu dipertimbangkan perlu-tidaknya dikoreksi, sesuai dengan penyebab terjadinya penyimpangan data; data dibuang, atau data tidak diikuti dalam analisis.

Seorang peneliti sebagai penanggung jawab penelitian harus memahami penanganan teknik analisis data. Dalam buku ini dibahas tentang Rancangan Percobaan, Statistik dan Analisis Data, yang perlu dipelajari oleh peneliti yang belum memahaminya secara baik. Program komputer telah memungkinkan analisis data cukup dilakukan secara instan (siap seketika), namun peneliti perlu memahami dasar-dasar prosedur analisis data seperti yang dijelaskan dalam buku ini. Berdasarkan hasil analisis data, peneliti harus mampu memahami makna hasil penelitian. Pemaknaan hasil penelitian harus mengacu kepada masalah yang diteliti, tujuan penelitian, hipotesis yang dikemukakan, dan hasil penelitian yang diperoleh. Tanpa mengaitkan antara empat hal tersebut, hasil penelitian menjadi tidak bermakna dan tidak bermanfaat, atau tidak memiliki kegunaan.

Dari hasil penelitian, setidaknya peneliti harus memperoleh informasi hal-hal sebagai berikut :

- (1). Apakah obyek masalah yang diteliti dapat dipecahkan menggunakan periakuan yang dicoba; apakah pertanyaan terkait dengan obyek penelitian dapat terjawab.
- (2). Apakah obyek masalah yang diteliti menjadi lebih jelas informasinya. Apakah hipotesis yang diajukan salah satunya (H_0 atau H_1) diterima atau ditolak.

- (3). Apakah diperoleh informasi baru yang terkait dengan masalah yang diteliti, dari hasil penelitian.
- (4). Kalau masalah yang diteliti tidak terjawab oleh hasil penelitian ini, apa penyebabnya dan saran apa yang dapat dikemukakan.

Apabila lima hal tersebut dapat terjawab oleh hasil penelitian-percobaan, maka peneliti telah melaksanakan penelitiannya dengan baik dan membuat interpretasi hasil analisis data penelitian dengan penuh makna.

5.12. Menulis Laporan dan Karya Tulis Ilmiah

Dari kemampuan memahami dan membuat interpretasi hasil analisis data, sebenarnya inti dari laporan dan atau makalah ilmiah yang ingin dipersiapkan sudah diketahui isinya. Penulisan karya tulis ilmiah tinggal mengikuti format baku dan mengisi bab-babnya sesuai dengan proses penelitiannya. Format karya tulis ilmiah standar internasional secara garis besar adalah sebagai berikut :

- (1). **Judul** : Menjelaskan substansi pokok penelitian, sehingga mampu memberikan gambaran isi dan substansi makalah.
- (2). **Abstrak** : Ringkasan substansi isi makalah. Abstrak terdiri dari 200-250 kata, menjelaskan : Latar Belakang (1-2 baris); Bahan dan Metode (2-4 baris); Hasil Penelitian (4-6 baris); Ulasan dan Kesimpulan (2-3 baris);
- (3). **Kata Kunci** : Kata penting yang dapat digunakan untuk merunut makalah dan menunjukkan pokok substansi makalah.
- (4). **Pendahuluan** : Menjelaskan latar belakang; justifikasi dan alasan dilakukannya penelitian; hasil-hasil penelitian sebelumnya; uraian masalah yang akan diteliti; tujuan penelitian dan hipotesis yang dikemukakan. Sitiran pustaka yang relevan 90% dibahas pada Bab Pendahuluan, beberapa di antaranya dapat disitir lagi pada ulasan/bahasan. Uraian Pendahuluan merupakan bagian yang sangat penting dari makalah ilmiah, dan menjadi indikator tingkat kematangan ilmiah penulisnya.
- (5). **Bahan dan Metoda** : Menjelaskan secara rinci, lengkap dan jelas bahan yang digunakan dan metoda penelitian secara berurutan, lokasi, musim, pengamatan respon peubah, dan metoda analisis data. Berdasarkan uraian Bahan dan Metoda, peneliti lain bisa mengulangi penelitian, apabila diperlukan.

- (6). **Hasil dan Pembahasan** : Membahas dan memaparkan hasil penelitian secara jelas dan sebenar-benarnya, berdasarkan interpretasi data yang telah dianalisis, seperti yang disebutkan di atas. Dalam paparan "Hasil Penelitian" tidak tepat dan tidak perlu diselipkan atau dicampur-adukkan dengan hasil penelitian orang lain yang berasal dari pustaka. Peneliti memaparkan dengan sejelas-jelasnya hasil penelitian, dengan mengacu pada : masalah yang diteliti; perlakuan yang dicoba; tujuan penelitian dan hipotesis yang dikemukakan. Penulis menguraikan makna hasil penelitiannya sendiri sejelas-jelasnya, dan menekankan pada informasi baru dari hasil penelitian yang ditemukan. Setelah hasil penelitian secara lengkap dipaparkan secara jelas, penulis dapat membuat paragraf baru yang isinya mengulas atau membahas hasil penelitian. Jelaskan apa keunikan dan hasil spesifik penelitian ini, bagaimana hasil penelitian ini apabila dibandingkan dengan hasil penelitian orang lain. Apa temuan baru dan keunikan hasil penelitian ini yang pantas ditonjolkan. Ulas bagaimana hasil penelitian ini terkait dengan hipotesis dan tujuan penelitian.
- (7). **Kesimpulan** : Kesimpulan adalah pernyataan penting secara induktif yang merupakan generalisasi hasil penelitian. Menyimpulkan bukan menuliskan kembali data hasil penelitian, tetapi membuat pernyataan lebih umum yang dibuat secara induktif berdasarkan data yang diperoleh. Dengan menyimpulkan secara induktif, maka hasil penelitian akan menjawab tujuan penelitian dan menjawab pertanyaan atau permasalahan yang dijadikan obyek penelitian. Kesimpulan hendaknya merupakan temuan baru dari penelitian, sesuai dengan tujuan penelitian. Kesimpulan harus tegas, jelas dan bersifat final berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian waktu itu.
- (8). **Daftar Pustaka** : Semua Pustaka yang disitir dalam makalah harus tertera pada Daftar Pustaka. Sebaliknya, pustaka yang tidak disitir dalam makalah tidak boleh ditulis pada Daftar Pustaka. Nama penulis dan tahun publikasi pustaka harus bersesuaian antara yang ada di dalam makalah maupun yang ada dalam Daftar Pustaka. Untuk publikasi Karya Tulis Ilmiah, pustaka harus terdiri dari sebanyak 80% atau lebih berasal dari Jurnal Primer, diutamakan publikasi baru sepuluh tahun terakhir (bila memungkinkan). Banyaknya pustaka yang disitir antara 10 hingga 25 jurnal/pustaka. Cara penulisan Pustaka harus mengikuti ketentuan Jurnal yang akan menerbitkan makalah.

5.13. Persyaratan Penting Makalah Ilmiah untuk dapat Dipublikasi

Persyaratan penting makalah ilmiah untuk dapat dipublikasi adalah sebagai berikut :

- (1). Mengandung informasi baru yang layak diketahui, menambah atau memperkaya ilmu pengetahuan dan menambah hal baru ke dalam bodi keilmuan.
- (2). Informasi baru tersebut dapat dipercaya, berasal dari penelitian yang dilakukan sesuai dengan prosedur ilmiah.
- (3). Penulisan makalah ilmiah jelas, lengkap dan runut, sesuai dengan standar baku Karya Tulis Ilmiah untuk diterbitkan pada Jurnal.
- (4). Penulisan makalah menggunakan bahasa yang baik dan benar, aliran kalimatnya lancar, mudah dipahami oleh pembaca, dan tidak menimbulkan pertanyaan atau keragu-raguan.
- (5). Tulisan Karya Tulis Ilmiah sesuai dengan kaidah ABC, yaitu : Accurate (tepat, teliti, persis), Brief (singkat, ringkas tetapi lengkap); Clarity (kejelasan makna dan substansi).
- (6). Mengikuti pedoman penulisan Karya Tulis Ilmiah yang dikehendaki oleh Redaksi Jurnal yang bersangkutan.

Menulis makalah ilmiah dari hasil penelitian sendiri harus dipandang sebagai tahapan tugas yang paling menyenangkan bagi peneliti, dalam seluruh rangkaian proses penelitian. Dengan menulis makalah ilmiah bahan publikasi, peneliti dapat memamerkan temuan-temuan baru yang dihasilkan dari penelitiannya kepada masyarakat ilmiah dan para ilmuwan. Jangan sampai terjadi hal yang sebaliknya, yaitu menulis makalah ilmiah hasil penelitian sendiri justru menjadi beban dan dianggap sebagai pekerjaan yang sulit, sehingga peneliti malas mengerjakannya, atau peneliti tidak tertarik untuk melakukannya. Peneliti yang belum dapat merasakan menikmati proses penulisan makalah ilmiah, adalah bukan peneliti yang sebenarnya, dia baru berpura-pura sebagai peneliti. Kesimpulannya, kewajiban peneliti membuat Karya Tulis Ilmiah dari hasil penelitiannya adalah suatu kewajiban yang harus dikuasai, disenangi, dan ditunaikan secara tulus, dengan berdasarkan kesadaran, serta dengan perasaan gembira.

Menulis ilmiah hasil penelitian merupakan bagian integral dari tugas meneliti dan menjadi kewajiban peneliti. Kemampuan peneliti untuk menulis karya Tulis Ilmiah ditentukan terutama oleh empat faktor, yaitu: (1). Penguasaan dan pemahaman substansi masalah dan keilmuan terkait dengan topik yang diteliti; (2) pemaknaan secara jelas hubungan antara masalah yang diteliti, tujuan penelitian dan hasil penelitian, (3) pemahaman statistik dan interpretasi hasil analisis data; (4) keterampilan menulis ilmiah karena terasah oleh latihan dan penguasaan literatur yang luas. Oleh karena itu peneliti yang ingin mahir menulis karya tulis ilmiah tidak cukup hanya dilatih teknik menulis ilmiah, tetapi harus memahami, empat hal tersebut diatas. Bagi peneliti hanya ada dua pilihan, mau dan ingin menjadi

mahir menulis karya tulis ilmiah, atau memang tidak mau dan tidak ingin mampu menulis karya tulis ilmiah. Berhubung kemampuan menulis karya tulis ilmiah merupakan persyaratan dan kewajiban peneliti, maka peneliti masing-masing harus mau dan ingin memampukan diri menulis karya tulis ilmiah, dengan cara menguasai empat hal pokok tersebut.



Penelitian pertanian berdasarkan tujuannya dapat digolongkan menjadi empat katagori utama, yaitu :

- (1). Penelitian dasar berwawasan aplikatif
- (2). Penelitian terapan strategis
- (3). Penelitian adaptif-lingkungan spesifik
- (4). Penelitian eksploratif-evaluatif

Penggolongan penelitian dengan cara lain dapat berdasarkan metode yang digunakan, seperti (1) penelitian laboratorium dan penelitian rumah kaca; (2) penelitian lapang skala petak percobaan; (3) penelitian verifikasi teknologi secara luas (disebut juga Penelitian Pengembangan); (4) penelitian eksploratif dengan observasi lapang; (5) survei sosial ekonomi; (6) penelitian evaluatif terkait adopsi teknologi atau rekomendasi; (7) penelitian efektivitas dan dampak suatu kebijakan. Penelitian laboratorium dapat digolongkan menjadi berbagai bentuk penelitian, seperti (1) penelitian karakterisasi bahan; (2) penelitian ekstraksi senyawa aktif dari suatu bahan; (3) penelitian efikasi atau pengaruh suatu produk atau bahan aktif; (4) penelitian formulasi produk dan manfaatnya; (5) penelitian bioteknologi dengan berbagai cabang kegiatan, seperti pemetaan gen, analisis molekuler gen; transfer gen; kultur sel/jaringan/embrio; dan sebagainya. Beberapa "jenis penelitian" yang disebutkan diatas sebenarnya lebih bersifat "teknik penelitian" yang dapat dikatagorikan sebagai salah satu dari empat penelitian, yaitu penelitian dasar, penelitian terapan strategis, penelitian adaptif dan penelitian eksploratif.

Setiap penelitian, apapun jenis penelitiannya harus memenuhi kaidah ilmiah yaitu memenuhi ciri-ciri umum sebagai berikut : (1) hasil penelitian dapat dipercaya dan apabila diteliti ulang oleh peneliti lain hasilnya akan sepadan; (2) penelitian dilakukan dengan ulangan yang cukup; (3) pengamatan data tidak mengandung unsur subyektivitas, tetapi bersifat obyektif, faktual; (4) meminimalkan unsur "kebetulan" atau "*chance*", dengan cara menerapkan pengacakan (*randomisasi*) dan ulangan; (5) masalah yang diteliti harus dapat dikonstruksi menjadi hipotesis yang dapat diuji; (6) pengamatan memenuhi syarat ilmiah dan data dapat dianalisis secara statistik. Agar dapat memenuhi enam persyaratan atau ciri umum tersebut, penelitian harus dirancang sesuai dengan metode baku penelitian, sebelum

penelitian dilaksanakan. Disinilah letak pentingnya perencanaan penelitian dari aspek tata laksana atau penyiapan rencana penelitian.

6.1. Penelitian Dasar

Dari penelitian dasar tidak diharapkan dapat menghasilkan teknologi aplikatif atau teknologi terapan, karena sifat penelitiannya sangat mendasar yang bertujuan untuk pemahaman terhadap suatu obyek. Le Clerg (1980) memberikan definisi Penelitian Dasar sebagai berikut: *"Penelitian dasar adalah penelitian yang ditujukan untuk memperdalam pemahaman terhadap obyek, dari aspek keilmuan"*. Penelitian dasar memberikan kesempatan penelitiannya untuk mencari jawaban terhadap pertanyaan : apa yang terjadi sebenarnya; mengapa; bagaimana dan kapan. Penelitian dasar tidak mengakomodasi pertanyaan; untuk apa, apa keuntungannya, untuk siapa, dimana, atau hal-hal lainnya yang menjadi domain penelitian terapan. Namun demikian, dari penelitian dasar bidang pertanian seyogyanya dapat diambil informasi tentang implikasi dan makna dari obyek yang diteliti, serta mendukung aspek ilmiah penelitian Terapan.

Contoh penelitian dasar bidang pertanian yang menjadi cakupan Litbang Pertanian misalnya sebagai berikut :

- (1). Susunan dan model pewarisan genetik dari suatu sifat tanaman atau genom tanaman.
- (2). Daya gabung umum dan daya gabung khusus inbrida dalam kaitannya dengan pembentukan hibrida.
- (3). Proses dan dinamika serapan unsur hara oleh tanaman.
- (4). Proses dan alur metabolisme suatu senyawa dan faktor yang mempengaruhi.
- (5). Siklus kehidupan (daur hidup) suatu organisme, insekta.
- (6). Fungsi unsur hara mikro tertentu dalam proses pertumbuhan tanaman.
- (7). Komposisi senyawa melalui kultur jaringan.

Dalam sistem Litbang Pertanian, penelitian dasar seyogyanya berfungsi sebagai pendukung penelitian terapan, atau merupakan penelitian dasar yang berorientasi pada aspek aplikatif. Penelitian dasar sebaiknya dilaksanakan berdasarkan kebutuhan informasi penelitian terapan. Penelitian dasar bila diperlukan, dapat dilaksanakan oleh peneliti bidang terapan, pada waktu yang bersamaan. Peneliti bidang teknologi terapan pada waktu (tahun) yang sama dapat dan boleh melakukan penelitian dasar dan penelitian terapan secara berbarengan. Peneliti melakukan penelitian dasar karena memerlukan informasi yang mendasar guna mendukung penelitian terapan yang dia lakukan.

Manfaat penelitian dasar :

- (1). Memperoleh data sebagai bahan karya tulis ilmiah yang memiliki informasi baru yang bersifat mendasar.
- (2). Memperoleh temuan dan informasi baru yang dapat dimanfaatkan untuk menunjang penelitian terapan.
- (3). Memahami proses atau obyek secara ilmiah, bukan hanya secara empiris.
- (4). Memupuk dan membangkitkan sifat rasa ingin tahu (curiosity) peneliti, yang perlu didorong.

Publikasi ilmiah hasil karya para peneliti bidang teknologi terapan Litbang Pertanian seyogyanya berasal dari penelitian dasar, karena hanya dari penelitian dasarlah dapat digali informasi baru, dan temuan baru sebagai bahan karya tulis ilmiah. Persyaratan utama untuk publikasi ilmiah sebenarnya adalah "adanya informasi baru dari naskah/makalah yang diajukan untuk publikasi". Untuk dapat memenuhi persyaratan tersebut hanya dapat diperoleh dari penelitian dasar. Peneliti dapat memperoleh informasi baru yang terkait dengan bidang teknologi terapan dari penelitian dasar yang berwawasan aplikatif.

Ciri penelitian dasar adalah apabila data yang dikumpulkan bukan data yang bersifat empiris, atau peubah yang dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti hasil panen, bobot karkas, pertumbuhan bobot (ternak) per hari (daily gain weight), dan sejenisnya. Pada penelitian dasar diamati peubah tentang suatu proses, misalnya : pola atau profil serapan nutrisi, distribusi hasil fotosynthesis (atau fotosintat) pada tanaman, mengapa bakal buah gugur, mengapa gabah menjadi hampa, dan data sejenisnya.

Pernyataan "masalah" sebagai justifikasi penelitian dasar kurang seberapa menonjol (obvious) seperti halnya pada penelitian terapan. Sebagai pengganti "masalah", pada penelitian dasar dapat digunakan "kondisi yang ada", yang diperkirakan memengaruhi proses yang lain. Contoh pernyataan masalah pada penelitian dasar misalnya: "Belum diketahuinya penyebab tingginya prosentasi gabah hampa pada padi varietas Fatmawati, yang dipupuk N dosis tinggi".

6.2. Penelitian Terapan Strategis

Penelitian terapan adalah penelitian terhadap masalah aktual yang terdapat di lapangan atau pada praktek usaha pertanian, dan diharapkan hasil penelitiannya dapat diterapkan guna mengatasi masalah yang terjadi di lapangan. Penelitian terapan strategis menggali teknologi atau informasi yang bersifat umum, yang berlaku pada kondisi agroekologi tertentu.

Penelitian terapan strategis tidak mengacu pada kondisi agroekologi sangat spesifik, akan tetapi domain atau wilayah yang dijadikan target penelitian secara makro perlu dibatasi. Teknologi yang dihasilkan oleh penelitian terapan strategis disebut sebagai teknologi generik, yang pengadaptasiannya pada agroekologi spesifik masih perlu diteliti. Contoh penelitian terapan strategis misalnya sebagai berikut :

- (a) Efektivitas ekstrak daun mimba untuk pengendalian hama ulat pemakan daun pada tanaman (kedelai, atau sayuran) dan pengaruhnya terhadap keseimbangan biologis populasi hama dan musuh alami.
- (b) Pengaruh dosis tinggi pupuk N terhadap pembentukan biomasa dan hasil umbi/biji pada tanaman (ubi jalar, kentang, jagung, dan lain-lain); dan pengaruh sampingnya terhadap serangan penyakit.
- (c) Pengaruh suplemen tepung ikan dalam ransum ayam kampung terhadap bobot badan ayam umur empat minggu dan tingkat kebugaran-kesehatan ayam.
- (d) Pengaruh "sub soiling" lahan kering tanah ultisol terhadap ukuran umbi dan hasil ubikayu.
- (e) Topik penelitian teknologi terapan lainnya.

Ciri penelitian terapan secara umum adalah :

- (a) Mengacu permasalahan aktual yang terdapat di lapangan.
- (b) Perlakuan yang diteliti merupakan prakiraan solusi terhadap masalah yang diidentifikasi atau diteliti.
- (c) Percobaan dilakukan pada lahan dengan kondisi sesuai dengan lingkungan dimana masalah itu terjadi.
- (d) Hipotesis yang diajukan mengacu kepada salah satu solusi terhadap masalah.
- (e) Pelaksanaan percobaan mendasarkan pada praktek operasional yang diterapkan oleh pelaku usaha pertanian, dengan maksud hasil penelitian dapat diadopsi oleh pengguna.
- (f) Teknologi yang akan dihasilkan dipertimbangkan berdasarkan aspek operasional, termasuk keuntungan ekonomi, operasionalisasi teknologi, kenyamanan kerja, aspek lingkungan dan penerimaan sosial oleh masyarakat.

Penelitian terapan strategis ingin menjawab pertanyaan tentang prinsip-prinsip teknologi yang bersifat umum dan berlaku secara umum pada berbagai kondisi yang tidak spesifik, tetapi lingkungannya bersifat sepadan atau serupa. Teknologi yang dihasilkan dari penelitian terapan strategis disebut sebagai teknologi generik.

Data yang dikumpulkan dari penelitian terapan strategis pada umumnya berupa data empiris, yang merupakan hasil akhir dari suatu proses. Sebagian data merupakan jawaban dari pertanyaan "berapa", yang mana; atau "dimana"; dan "benarkah". Akan tetapi terhadap pertanyaan "bagaimana"; "mengapa" dan "apa penyebabnya", jarang dapat dijawab secara mendasar dari penelitian terapan strategis. Analisis data dari penelitian terapan strategis mampu mengidentifikasi bagaimana "pengaruh murni" dari perlakuan yang dicoba, apakah perbedaan antar perlakuan dapat dipercaya dan bagaimana hubungan antara respon komponen dengan keragaan total, komponen yang paling menentukan keragaan akhir, dan mana perlakuan yang terbaik diantara perlakuan yang diteliti. Penelitian terapan strategis juga mampu menjawab hipotesis mana yang diterima dan mana yang ditolak.

Konsistensi data hasil penelitian terapan dapat diupayakan dengan melakukan penelitian pada banyak lokasi dan musim, atau diulang pada berbagai kondisi lingkungan. Walaupun terjadi interaksi antara perlakuan yang diteliti dengan kondisi lingkungan, namun pengaruh utama "perlakuan" yang akan diposisikan sebagai teknologi dapat diisolasi, sehingga dapat menentukan besarnya peran perlakuan murni terhadap keragaan akhir.

Jebakan Penelitian Terapan Strategis

Informasi dan atau teknologi dari hasil penelitian terapan diharapkan dapat diaplikasikan pada praktek usahatani, dengan hasil atau kinerja yang sama atau tidak jauh menyimpang dari data penelitian. Akan tetapi hal yang demikian kadang-kadang sulit diperoleh, disebabkan oleh hal-hal berikut :

- (1). Pada proses penelitian, semua faktor selain faktor yang diteliti dibuat optimal atau tidak diposisikan sebagai masalah.
- (2). Gangguan terhadap percobaan diminimalisasi, berbeda dengan kondisi usahatani petani.
- (3). Kondisi lingkungan percobaan dibuat optimal, yang berbeda dengan kondisi lingkungan praktek usahatani.
- (4). Penelitian menggunakan petak ukuran kecil (atau periode waktu uji terbatas), sehingga pada waktu dikonversikan menjadi keragaan per hektar, atau kinerja per tahun, datanya menjadi bias ke atas.
- (5). Penelitian dilakukan dengan tanpa keterbatasan biaya (*at all-cost*) berbeda dengan praktek usahatani yang sesungguhnya, sehingga terdapat kemungkinan informasi atau datanya berbeda bila teknologi diterapkan pada usahatani yang pembiayaanya terbatas.
- (6). Pada taraf penelitian, semua komponen lingkungan terkendali, faktor tenaga manusia tidak terbatas dan masalah yang timbul diupayakan

untuk diatasi, yang sangat berbeda dengan praktek usahatani yang sebenarnya.

Oleh terjadinya enam hal tersebut, maka adopsi teknologi hasil penelitian pada praktek usahatani perlu diberikan faktor koreksi (antara 10% hingga 25%, tergantung pada besarnya perbedaan kondisi percobaan dan kenyataan di lapang). Pengadopsi teknologi hasil penelitian terapan hendaknya tidak mengharapkan kinerja teknologi sama baiknya dengan kinerja teknologi pada penelitian. Bahwa pada praktek usahatani ternyata kinerja teknologi melebihi kinerja pada taraf penelitian, hal itu dapat dianggap sebagai bonus dari teknologi yang bersangkutan.

Penelitian terapan strategis mengacu permasalahan aktual di lapangan yang dihadapi oleh pelaku usaha. Penelitian di luar bidang produksi acuannya bisa berupa peningkatan nilai tambah produk; efesiensi sistem produksi; peningkatan mutu; diversifikasi produk; pengawetan produk; daya kerja alat dan mesin; kenyamanan kerja; pemendekan siklus produksi; dan aspek lain, yang mempunyai nilai aplikatif-operasional.

Penelitian terapan strategis juga dapat terkait dengan inovasi teknologi yang bersifat aplikatif. Secara umum, penelitian terapan aplikatif adalah penelitian yang dirancang untuk menghasilkan teknologi atau informasi yang dapat diaplikasikan oleh pengguna. Secara populer, penelitian terapan strategis disebutkan sebagai "*Research for technology development*", atau penelitian untuk pengembangan teknologi.

Rancangan percobaan dan berbagai teknik analisis data pada umumnya diperuntukkan bagi penelitian terapan strategis. Banyaknya alternatif bahan teknik, dan dosis yang perlu diteliti, memungkinkan untuk menggunakan salah satu rancangan percobaan yang paling efisien dan efektif. Pada penelitian terapan biasanya disertakan perlakuan pembandingan (sering juga disebut chek atau kontrol), maksudnya untuk membandingkan keragaan materi yang diteliti dengan produk, teknik, atau alat yang sudah ada.

Penelitian terapan juga dapat digunakan untuk penelitian sosial ekonomi; sumberdaya lahan; survei distribusi sebaran OPT; adopsi teknologi; preferensi konsumen atas produk baru, dan hal-hal sejenisnya. Dalam hal penelitian bidang-bidang tersebut maka rancangan penelitian digunakan bersifat khusus, seperti teknik sampling; *stratified random sampling*; random sampling dan teknik pengumpulan data serta teknik-teknik lainnya. Tentang rancangan percobaan dibahas pada bab lain pada buku ini.

Dalam metode penelitian sering digunakan istilah yang telah dibakukan dan harus dipahami oleh peneliti. Kurang paham terhadap istilah baku berakibat kurang tepatnya pelaksanaan penelitian. Di bawah ini dibahas istilah dasar yang digunakan dalam penelitian dan dalam rancangan percobaan.

7.1. Masalah Sebagai Obyek Penelitian (*Researchable Problem*)

Pentingnya masalah yang (akan) diteliti atau target masalah yang menjadi dasar dan justifikasi dilakukannya penelitian perlu dipahami oleh peneliti dengan sungguh-sungguh. Masalah yang diteliti kadang-kadang merupakan pernyataan yang menanyakan hubungan antar "kinerja suatu proses" dengan dua atau lebih peubah (*variable*) yang menjadi penyebabnya. Sebagai contoh : bagaimana hasil gabah tanaman padi dipengaruhi oleh jenis, waktu pemberian, dan dosis pupuk? Dari sudut pandang agronomi, pernyataan masalah yang diteliti tersebut dapat dinyatakan : "Keragaan hasil gabah tanaman padi yang tidak optimal, apakah dapat ditingkatkan dengan perlakuan jenis pupuk, waktu pemberian pupuk, dan dosis pupuk?". Dari sudut pandang usahatani, masalah yang diteliti atau target masalah dapat dinyatakan : "Produktivitas tanaman padi tidak optimal karena ketersediaan hara rendah". Masalah tersebut akan coba diatasi dengan perlakuan pemupukan, meliputi : jenis pupuk, waktu pemberian pupuk dan dosis pupuk.

Sebelum melakukan penelitian, Masalah yang Diteliti atau Target Masalah harus diidentifikasi secara jelas atau terdefiniskan. Masalah hendaknya merupakan kondisi atau gejala yang terjadi secara luas, konsisten dan umum. Masalah produktivitas padi yang rendah pada contoh di atas terjadi pada areal yang luas, terjadi setiap musim tanam dan merupakan gejala umum yang terjadi di suatu wilayah tertentu.

Masalah yang diteliti atau target masalah harus bersifat teknis yang memiliki peluang untuk diatasi, melalui penelitian yang akan dilakukan. "Pendapatan petani rendah karena produktivitas padi belum optimal", bukan merupakan identifikasi masalah yang jelas, karena pendapatan petani yang rendah tidak hanya semata-mata disebabkan oleh produktivitas padi yang

belum optimal, dan lagi masalah pendapatan petani yang rendah tidak dapat diatasi melalui penelitian.

Pernyataan target masalah yang akan diteliti secara jelas, ringkas dan tidak bermakna ganda (ambigu), merupakan langkah penting pertama dalam merencanakan penelitian. Apabila target masalah telah dipahami dengan baik oleh peneliti, maka peneliti akan mudah merumuskan tujuan penelitian, membuat hipotesis, dan menyusun pelakuan yang akan dicoba. Harus diingat, bahwa antara **target masalah, judul penelitian, tujuan penelitian, hipotesis, perlakuan dan kesimpulan** terdapat hubungan erat yang segaris atau konsisten. Hasil penelitian harapannya adalah dapat mengatasi target masalah yang diteliti.

7.2. Unit Percobaan (*Experiment Unit*)

Unit percobaan adalah materi percobaan atau satuan materi percobaan yang dikenai perlakuan. Unit percobaan agronomi biasanya berupa petak percobaan yang dikenai perlakuan pada komoditas yang diteliti. Tiap-tiap perlakuan dikenakan atau **diaplikasikan terhadap unit percobaan**. Antar unit percobaan harus diusahakan memiliki kondisi yang sama, sehingga respon terhadap perlakuan yang diuji dapat dianggap semata-mata hanya berasal dari pengaruh perlakuan yang diteliti. Dengan kata lain, unit percobaan adalah satuan materi percobaan yang menerima perlakuan.

Pada percobaan yang menggunakan plot, unit percobaan cukup jelas, yaitu plot atau petak. Kalau empat formulasi ransum pakan masing-masing diujikan terhadap dua ekor kambing yang diulang empat kali, maka unit percobaan adalah 2 (dua) ekor kambing. Setiap perlakuan diaplikasikan terhadap dua ekor kambing, sehingga dalam satu ulangan terdapat 4 formulasi ransum \times 2 ekor kambing = 8 ekor kambing. Ulangan II; III; dan IV, masing-masing formulasi pakan juga diuji pada 2 ekor kambing, sehingga pada masing-masing ulangan diperlukan 8 ekor kambing. Respon perlakuan ransum, pada setiap ulangan diukur dari keragaan rata-rata dua ekor kambing. Perlu diupayakan kambing pada setiap unit percobaan adalah sama, dan kambing-kambing antar unit percobaan dalam satu ulangan juga sama kondisinya, dari segi umur, jenis/breed, kelamin, dan kesehatannya. Pada ulangan II; III; dan IV, kambing-kambing dalam masing-masing ulangan kondisinya diharapkan sama.

Pengumpulan data diamati dari unit percobaan, sehingga dalam contoh percobaan ransum pakan tersebut, data diamati dari rata-rata 2 ekor pada setiap perlakuan/ulangan. Unit percobaan yang berupa 2 ekor kambing tidak perlu diambil contoh atau sample dalam pengukuran data. Apabila ada satu unit percobaan terdiri dari 10 ekor kambing atau lebih, penggunaan sampel mungkin dapat dibenarkan.

7.3. Perlakuan (*Treatments*)

Perlakuan adalah obyek yang diteliti pengaruhnya terhadap masalah, dan diharapkan salah satu diantaranya mampu mengatasi masalah. Perlakuan disebut juga materi yang diuji, terkait dengan masalah yang diteliti. Perlakuan biasanya terdiri dari satu, dua atau tiga faktor, dalam bentuk tunggal atau kombinasi. Perlakuan faktor tunggal misalnya : Penelitian delapan tingkat dosis pupuk N terhadap hasil padi. Perlakuan dua faktor misalnya : pengaruh varietas dan jarak tanam terhadap hasil kedelai. Perlakuan tiga faktor misalnya : Pengaruh varietas, jarak tanam dan dosis pupuk N terhadap hasil padi sawah.

Perlakuan pada percobaan minimal terdiri dari dua perlakuan, dapat juga sepuluh, lima belas, dua puluh, atau bisa mencapai 200 perlakuan pada uji galur padi sawah. Istilah perlakuan sering disebut juga obyek; entries; atau materi uji, atau treatment. Percobaan menguji keragaan perlakuan terhadap masalah yang diteliti. Perlakuan terkait erat dengan hipotesis yang diajukan oleh peneliti.

7.4. Ulangan atau Replikasi

Ulangan atau replikasi adalah banyaknya pengulangan setiap perlakuan dalam setiap percobaan. Ulangan dimaksudkan untuk mengukur konsistensi keragaan perlakuan dan untuk menduga galat percobaan. Banyaknya ulangan tergantung pada jenis percobaan, banyaknya perlakuan, biasanya antara dua hingga lima atau lebih, dalam setiap percobaan. Perkalian antara banyaknya perlakuan dengan ulangan minus satu, minimum dua belas. Percobaan tanpa ulangan data tidak dapat dianalisis secara statistik.

7.5. Pengacakan atau Rendumisasi

Pengacakan adalah proses penempatan perlakuan secara acak pada unit percobaan, agar tidak terjadi pilih kasih atau preferensi terhadap perlakuan tertentu. Pengacakan menjadi persyaratan bahwa suatu percobaan dilakukan sesuai kaidah ilmiah. Pengacakan dilakukan berdasarkan pengundian atau menggunakan Daftar Bilangan Acak

7.6. Peubah atau Variable

Peubah adalah sifat atau karakter bahan percobaan untuk diamati yang merespon terhadap perlakuan. Karena sifat tersebut merespon secara

beragam terhadap perlakuan, maka sifat yang diamati dinamakan peubah. Contoh peubah misalnya : tinggi batang; hasil biji per petak; bobot buah per batang; kenaikan bobot badan ternak per hari; dan sebagainya.

7. 7. Hipotesis

Hipotesis adalah prakiraan secara rasional berdasarkan informasi yang telah tersedia, terkait dengan masalah yang diteliti. Ciri terpenting penelitian yang dilakukan secara ilmiah adalah dirumuskannya Hipotesis. Pengamatan respon peubah terhadap perlakuan memperoleh data, untuk menguji hipotesis yang dikemukakan. Tanpa adanya hipotesis maka tidak ada hal yang dapat diuji secara statistik.

Hipotesis disusun atas dasar dugaan rasional terhadap perlakuan yang diteliti, terkait dengan masalah dan tujuan penelitian. Ia disusun berdasarkan sebab-akibat dan pengetahuan yang telah ada.

7.7.1. Hipotesis Nol (H_0)

Hipotesis nol (H_0) adalah hipotesis yang menyatakan bahwa diantara perlakuan yang diuji tidak ada pengaruhnya terhadap masalah yang diteliti. Kalaupun terdapat pengaruh dari perlakuan, menerima H_0 berarti tidak terdapat perbedaan pengaruh yang nyata pada peluang 95% (sering disebut nyata pada taraf uji $\alpha=5\%$). Diterimanya H_0 menunjukkan kemungkinan kurang tepatnya pemilihan perlakuan yang ditujukan untuk mengatasi masalah yang diteliti. Akan tetapi peneliti tidak boleh mempunyai prakonsepsi pada waktu melaksanakan penelitian, bahwa H_0 harus ditolak. Hal ini untuk menjaga agar tidak terjadi preferensi subyektif terhadap perlakuan tertentu atau agar tidak terjadi bias dalam pengumpulan data. H_0 merupakan uji integritas dan kejujuran terhadap peneliti, apakah peneliti berani jujur menyimpulkan bahwa perlakuan yang diuji memang tidak ada perbedaan pengaruh nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Pada penelitian efikasi (khasiat) pupuk (pupuk mikroba, pupuk hayati, pupuk mikro, dan sejenisnya), pestisida, hormon pertumbuhan, pembenah tanah, zat perangsang pertumbuhan (seperti sonic-boom), diterimanya H_0 sebenarnya bukan merupakan hal yang aneh, apabila perlakuan yang diteliti memang tidak memberikan perbedaan pengaruh yang nyata. Menerima H_0 berarti menyatakan bahwa perlakuan yang diteliti tidak terdapat perbedaan pengaruh nyata pada peluang 95% (untuk taraf uji nyata $\alpha=5\%$) atau 99% (untuk taraf uji nyata $\alpha=1\%$). Namun pada sisi yang lain peneliti membuat kesalahan atas pernyataan tersebut. Menerima H_0 berarti secara eksklusif menolak hipotesis H_1 , yang sebenarnya mungkin terdapat perbedaan pengaruh antara dua atau lebih perlakuan yang diteliti pada taraf peluang yang lebih rendah.

7.7.2. Hipotesis H_1

Hipotesis H_1 adalah pernyataan kontra terhadap H_0 . Apabila dari perlakuan yang diteliti, paling tidak terdapat satu pasang perlakuan yang memberikan pengaruh berbeda pada tingkat peluang 95% atau 99%, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Dari analisis keragaman data, apabila keragaman peubah lebih besar dibandingkan dengan keragaman yang ditimbulkan oleh error atau galat, maka H_1 terkait peubah tersebut diterima, atau H_0 ditolak. Diterimanya H_1 tidak menyebutkan perlakuan mana yang berpengaruh nyata dan juga tidak menyatakan bahwa perlakuan tertentu lebih baik hasilnya dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Diterimanya H_1 boleh jadi perlakuan tertentu lebih buruk pengaruhnya dibandingkan perlakuan yang lain. Menerima H_1 dimaknai bahwa terdapat minimal satu pasang perlakuan yang memberikan pengaruh berbeda nyata pada taraf peluang 95% atau 99%. Akan tetapi pada sisi yang lain peneliti juga membuat kesalahan atas pernyataan tersebut, karena menerima H_1 berarti secara eksklusif menolak Hipotesis H_0 .

7. 8. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian harus dirumuskan oleh peneliti, mengacu atau konsisten dengan masalah yang diteliti. Dalam konteks manajemen, tujuan penelitian identik dengan luaran hasil penelitian atau outcome. Rumusan tujuan harus mempunyai makna, terkait dengan upaya mengatasi masalah yang diteliti.

Rumusan tujuan penelitian tidak boleh bersifat "berorientasi proses", seperti misalnya : "Tujuan penelitian adalah meneliti pengaruh pupuk mikro Zn pada tanaman padi sawah". Rumusan tujuan tersebut dapat dinyatakan : "Tujuan penelitian adalah mengatasi pertumbuhan tanaman kerdil dan produktivitas padi rendah, yang diduga disebabkan oleh kahat unsur mikro Zn".

Tujuan penelitian harus dinyatakan secara spesifik, sehingga dapat diukur menggunakan respon peubah yang diamati. Pada contoh tersebut tercapai-tidaknya tujuan akan diukur dari peubah pertumbuhan tanaman seperti bobot biomasa, tinggi batang dan hasil gabah. Rumusan tujuan harus sejalan dengan masalah yang diteliti, dan mengandung upaya untuk mengatasi masalah tersebut. Dalam setiap penelitian, rumusan tujuan menjadi titik pusat atau "center-point" dari penelitian. Rumusan tujuan yang tidak jelas menandakan bahwa penelitiannya tidak jelas.

Perumusan tujuan penelitian tidak boleh terlalu melebar, melebihi cakupan penelitian yang direncanakan. Dari contoh penelitian tersebut, tidak boleh tujuan penelitian dirumuskan sebagai : "Meningkatkan produksi padi nasional untuk mencapai swasembada beras". Rumusan tujuan yang demikian tidak dapat diukur menggunakan peubah yang diamati dari percobaan dan lagi, swasembada beras tidak dapat dicapai melalui percobaan pemupukan unsur mikro Zn pada padi.



Metode Statistik adalah metode ilmiah dalam pengumpulan data, pengorganisasian atau penataan data, penganalisisan dan penyajian hasil analisis data. Penarikan kesimpulan dan pemaknaan data perlu dilakukan terhadap hasil analisis data.

- (1). Data : informasi yang berupa bilangan (angka) dari suatu pengamatan obyek penelitian, yang mampu membedakan/mempersamakan antara obyek yang diamati.
- (2). Populasi : Kumpulan seluruh elemen yang menjadi obyek penelitian dan dari obyek tersebut akan diambil kesimpulan. Obyek penelitian secara keseluruhan yang menjadi perhatian penelitian, seperti yang dinyatakan dalam rencana penelitian, sering juga disebut domain penelitian.
- (3). Sampel atau "Contoh" adalah bagian dari populasi yang diambil secara acak (random) yang dianggap mewakili populasi yang dimaksudkan.
- (4). Sampel pengamatan: adalah contoh individu berasal dari unit percobaan (petak) yang diambil secara acak untuk menduga karakteristik/data dari unit percobaan.

Penerapan Ilmu Statistik sebagai metode **pengelolaan data**:

8.1. Statistik Deskriptif

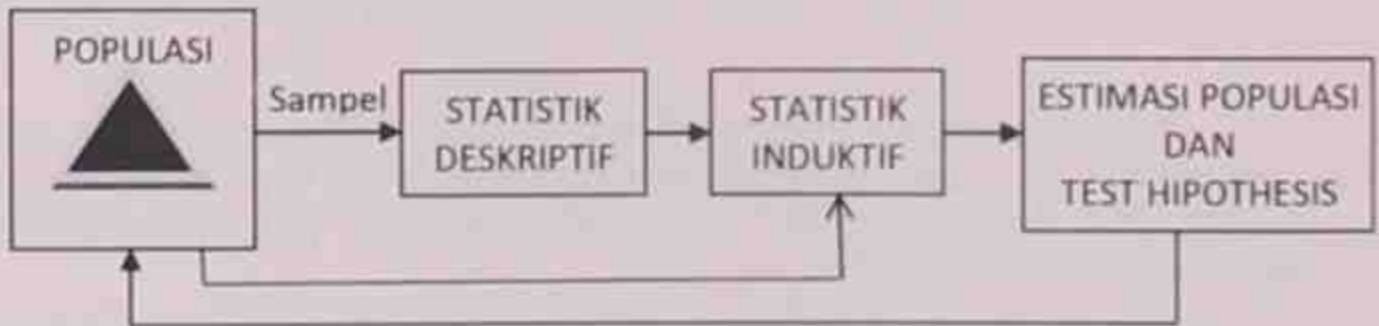
Statistik deskriptif yaitu presentasi ringkasan data, mencakup karakteristik data yang penting, seperti distribusi, frekuensi, rata-rata, standard deviasi, ranking, persentile, atau penggambaran data dalam bentuk diagram.

Metode Statistik deskriptif yaitu : pengumpulan, penataan dan presentasi data sehingga menjadi lebih informatif. Presentasi data termasuk distribusi, rata-rata, standard deviasi, frekuensi, maksimum-minimum, grafik batang, median, modus, kuartil, persentile, koefisien keragaman. Dari presentasi data tersebut diharapkan mampu memberikan informasi yang lebih bermakna dari obyek yang diteliti.

8.2. Metode Statistik Induktif (Statistik Inferensi)

Metode Statistik Induktif (Statistik Inferensi) yaitu pengelolaan dan berbagai analisis data untuk perkiraan terhadap populasi dan uji hipotesis.

Hubungan antara Statistik Deskriptif dengan Statistik Induktif seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Hubungan antara Statistik Deskriptif dengan Statistik Induktif

8.3. Statistik Parametrik

Diaplikasikan terhadap data yang menyebar sesuai dengan sebaran normal, data bersifat kontinyu, kuantitatif, dengan frekuensi terbanyak pada sekitar nilai rata-rata, dan frekuensi terkecil pada nilai ekstrim rendah dan ekstrim tinggi.

Sifat-sifat data yang mengikuti sebaran normal :

- (1). Grafik frekuensi menunjukkan puncak tunggal di bagian tengah grafik (uni modal).
- (2). Terdapat kesamaan nilai antara rata-rata, mode, dan median.
- (3). Kurva distribusi data simetrik.
- (4). Bentuk kurva normal, tidak terjal, atau landai.

Data karakter biologis di alam pada umumnya memiliki sebaran normal, dimana kondisi ekstrem adalah minoritas. Distribusi data yang tidak sesuai dengan sebaran normal kurvanya "menceng" atau miring (*skewed*) ke arah minimal (kiri) atau ke arah maksimal (kanan).

8.4. Statistik Non Parametrik

Diaplikasikan terhadap data yang kurva frekuensinya tidak sesuai dengan sebaran normal, data bersifat diskontinyu, data bersifat katagori atau data ordinal. Statistik non-parametrik menerapkan uji "goodnees of fit" atau uji kesuaian dengan frekuensi yang diharapkan, menggunakan X^2 test atau uji Chi kuadrat. Uji kesamaan antar populasi dengan uji Kruskal Wallis.

9.1. Rata-rata Hitung

9.1.1. Rata-rata Hitung Sederhana

Pengamatan data terhadap suatu peubah (variable), biasanya dilakukan beberapa kali pengukuran terhadap contoh pengamatan. Misalnya ingin diketahui bobot satu buah mangga varietas Harum manis di kebun Grati Sari. Peneliti mungkin akan mengambil contoh pengamatan 50 buah mangga Harum manis yang dipanen pada hari yang sama. Dalam proses pengambilan data, ia akan mengambil contoh 50 buah secara acak, dan menimbang 50 buah mangga satu per satu, dicatat bobot masing-masing. Pada saat melaporkan, dia tidak menyebut masing-masing bobot buah mangga, tetapi menggunakan data rata-rata yang diperoleh dari penjumlahan bobot 50 buah mangga dibagi 50. Hasilnya adalah rata-rata hitung bobot buah mangga harum manis dari Grati Sari.

Secara rumus dapat dituliskan :

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, X_i = \text{Bobot buah sampel ke } i, n = \text{banyaknya contoh buah}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{50}, X = \text{rata-rata bobot buah g/buah}$$

$$\sum X_i = \text{Penjumlahan bobot buah, dari contoh buah ke 1 s/d buah ke 50.}$$

Dalam kasus buah mangga, dapat saja 50 buah mangga ditimbang sekaligus, kemudian hasilnya dibagi 50, mendapatkan rata-rata bobot buah. Tetapi pada kasus pengukuran obyek lain, tidak mungkin diukur bersamaan sekaligus; misalnya, tinggi rata-rata batang tebu varietas PS-5 yang dipupuk 20 ton pupuk kandang per ha, umur 7 bulan. Tinggi sampel batang tebu harus diukur satu per satu, dan tinggi rata-ratanya diperoleh dari penjumlahan tinggi 50 sampel dibagi 50.

9.1.2. Rata-rata dengan Frekuensi

Rata-rata dengan frekuensi terjadi apabila pengamatan contoh terdiri dari beberapa "kelas" yang jumlahnya berbeda, misalnya pada pengukuran banyak gabah per malai padi gogo varietas Gajah Mungkur, diperoleh data sebagai berikut :

Banyaknya gabah isi per malai (X_i)	Jumlah sampel malai (f_i)
155	5
157	8
159	10
161	12
163	2

Rata-rata banyak gabah isi per malai

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{[(5 \times 155) + (8 \times 157) + (10 \times 159) + (12 \times 161) + (2 \times 163)]}{5 + 8 + 10 + 12 + 2} \\ &= \frac{(775 + 1256 + 1590 + 1932 + 326)}{37} \\ &= \frac{5879}{37} = 158,89 \text{ dibulatkan } 159\end{aligned}$$

Jadi rata-rata banyak gabah per malai = 159 butir gabah

Hitungan tersebut dapat ditulis dengan rumus :

$$\bar{X} = \frac{\sum f_i X_i}{\sum f_i}, \text{ } f_i = \text{frekuensi data } X_i$$

9.1.3. Rata-rata dengan bobot

Rata-rata dengan bobot digunakan terhadap data yang memiliki "bobot" berbeda, misalkan pada nilai suatu usulan Rencana Penelitian. Misalkan kriteria "manfaat" memecahkan masalah diberi bobot 4, peluang diadopsi pengguna, diberi bobot 5, peluang keberhasilan 5, ketersediaan dana 3, dan ketersediaan mitra 2. Bila usulan penelitian memperoleh nilai masing-masing kriteria berturut-turut: Manfaat diberi nilai 4, peluang adopsi 3, keberhasilan 4, ketersediaan dana 2, ketersediaan mitra 2, maka nilai rata-rata proposal tersebut adalah :

$$\bar{X} = \frac{(4 \times 4) + (5 \times 3) + (5 \times 4) + (3 \times 2) + (2 \times 2)}{(4 + 5 + 5 + 3 + 2)} = \frac{61}{19} = 3,21$$

Hitungan tersebut dapat ditulis dalam bentuk rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum w_i X_i}{\sum w_i}$$

\bar{X} = Rata-rata

X_i = Data ke i dari peubah X

w_i = Bobot dari masing-masing peubah

Apabila tidak ada pembobotan terhadap masing-masing kriteria usulan, maka nilai rata-rata Proposal adalah : $\bar{X} = \frac{4+3+4+2+2}{5} = 3,0$

Dari perhitungan tersebut, nilai rata-rata lebih rendah dibandingkan dengan nilai rata-rata yang masing-masing kriteria diberi bobot. Dengan nilai 3,21 Proposal yang bersangkutan layak untuk dialokasi dana penelitian bila misalnya kriteria kelayakan proposal lebih dari 3,0.

9.2. Standar Deviasi, Ragam dan Koefisien Keragaman

9.2.1. Standar Deviasi

Data peubah yang diamati dari beberapa contoh, selain mempunyai nilai rata-rata juga memiliki sifat yang dinyatakan sebagai Standar Deviasi, Ragam, dan Koefisien Keragaman. Ketiga sifat tersebut disebut sebagai Dispersi atau keragaman (*variabilitas*) dari data. Data percobaan yang diperoleh peneliti pada dasarnya adalah "contoh" atau "sample" dari seluruh data yang diteliti, atau "data dari populasi yang sebenarnya". Oleh karena itu, nilai Standar Deviasi yang diperoleh dari pengamatan data tersebut statusnya sebagai "penduga standar deviasi populasi", dan dinotasikan dengan huruf S.

Standar deviasi S dihitung dari akar penjumlahan deviasi masing-masing data dari rata-rata, dikuadratkan dibagi dengan (n-1), atau :

$$(1). \quad S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

S = Standar deviasi (sering juga disebut simpangan baku)

X_i = data ke i, $i = 1, \dots, n$

\bar{X} = rata-rata

n = banyaknya data pengamatan

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

Standar deviasi dimiliki oleh nilai rata-rata setiap peubah yang diamati, artinya setiap peubah yang diamati masing-masing mempunyai standar deviasi sendiri-sendiri. Misalkan dari percobaan diamati tiga peubah, yaitu : bobot biomas vegetatif tanaman padi umur 2 bulan, hasil gabah kering, dan tinggi batang. Nilai rata-rata masing-masing peubah tersebut memiliki standar deviasi.

Standar deviasi yang nilainya kecil menunjukkan bahwa variasi data yang diamati kecil, atau data bersifat relatif konsisten antar ulangan atau antar sampel. Misalkan percobaan pemupukan padi, diulang 5 kali. Apabila standar deviasi dari peubah yang diamati nilainya besar, berarti data

peubah yang bersangkutan memiliki variasi yang besar antar ulangan. Misalkan seperti contoh data pada tabel di bawah ini (data bukan sebenarnya) :

Tabel 1. Bobot gabah kering percobaan pemupukan padi gogo rancah.

Perlakuan	Bobot biomas kering (t/ha)	Standar deviasi
A	4,20	$\pm 0,51$
B	4,85	$\pm 0,65$
C	5,20	$\pm 0,71$
D	5,80	$\pm 0,69$
E	5,10	$\pm 0,38$

¹⁾ bukan data sebenarnya

Dari contoh data di atas, perlakuan E standar deviasinya terendah, berarti memiliki konsistensi data antar ulangan yang lebih baik, dibandingkan perlakuan lainnya. Dari aspek "kemantapan" pengaruh perlakuan, peneliti mungkin memilih perlakuan E sebagai yang terbaik dibandingkan pengaruh perlakuan D atau C, karena perlakuan E menunjukkan bobot gabah kering yang tinggi dan standar deviasi kecil.

Walaupun rumus penghitungan standar deviasi (S) tersebut di atas mudah dilakukan, namun cara penghitungan yang lebih cepat secara manual dapat digunakan rumus di bawah ini :

$$(2). \quad S = \sqrt{\frac{(\sum X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{n\sum(X_i^2) - (\sum X_i)^2}{n(n-1)}}$$

Rumus (1) dan (2) untuk menghitung standar deviasi S adalah sama. Dari kedua rumus tersebut terlihat bahwa standar deviasi merupakan simpangan data terhadap nilai rata-ratanya. Program komputer dengan sekejap dapat menghitung standar deviasi tanpa menggunakan rumus tersebut, akan tetapi peneliti perlu mengetahui asal-usulnya, dan apa sebenarnya standar deviasi itu, yang bisa terlihat dari rumus (1) ataupun rumus (2).

Standar deviasi adalah sebagai penambah atau pengurang terhadap nilai rata-rata sebagai indikator cakupan/kisaran nilai suatu peubah. Jadi nilai rata-rata suatu peubah adalah: $\text{Nilai Peubah} = \bar{X} \pm S$, dimana : \bar{X} = rata-rata, S = standar deviasi.

Faktor pembagi pada rumus (1) dan (2) adalah (n-1), dimana : (n-1) disebut derajat bebas. Derajat bebas = (n-1), karena setiap n pengamatan hanya (n-1) pengamatan yang bersifat bebas, satu n terikat oleh nilai rata-rata yang dihitung standar deviasinya. Dari masing-masing sumber keragaman, seperti : perlakuan; ulangan; lingkungan, derajat bebasnya adalah (n-1), atau banyaknya pengamatan dikurangi 1, untuk mendapatkan penduga "tak-bias".

9.3. Ragam atau Varian Sample (s^2)

Ragam atau varian adalah kuadrat nilai standar deviasi (s^2); s = standar deviasi, dari nilai peubah. Rumus penghitungan varian s^2 adalah :

$$(3). s^2 = \frac{\sum(X_i^2) - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{(n-1)}$$

Besaran $\frac{(\sum X_i)^2}{n}$ disebut sebagai **faktor koreksi** atau **Correction Factor (CF)**.

(4). Jumlah Kuadrat JK = $\sum(X_i - \bar{X})^2$, yaitu jumlah kuadrat deviasi data dari nilai rata-ratanya. Jumlah kuadrat (JK) yang ada pada tabel Sidik Ragam atau Analysis of variance (ANOVA) tidak lain adalah JK atau jumlah kuadrat dari setiap sumber keragaman, seperti pada rumus tersebut.

(5). Kuadrat tengah atau *Mean Squared* adalah: $\frac{JK}{db}$; atau $KT = \frac{JK}{db}$; dimana :
KT = Kuadrat Tengah; JK = Jumlah Kuadrat; db = derajat bebas. Jumlah kuadrat dan kuadrat tengah yang dihitung menggunakan rumus tersebut adalah sama dengan jumlah kuadrat dan kuadrat tengah pada tabel ANOVA.

Peneliti diharapkan mampu memahami makna jumlah kuadrat atau *sum of squares* dan kuadrat tengah atau *mean squares* pada tabel ANOVA, setelah memahami penghitungan standar deviasi dan ragam dari rumus-rumus tersebut. Kekurangpahaman yang sering menyelimuti angka pada tabel ANOVA hendaknya dapat dimengerti dengan adanya penjelasan tersebut.

9.4. Koefisien Keragaman (KK)

Koefisien keragaman atau *Coefficient of Variation (CV)* menunjukkan keragaman data peubah antar ulangan relatif terhadap nilai rata-ratanya dinyatakan dalam persen (%). Data peubah yang relatif konsisten antar ulangan akan menunjukkan KK yang rendah, sebaliknya bila data suatu peubah tidak konsisten antar ulangan, akan menunjukkan KK yang tinggi. Data peubah yang sangat bervariasi akibat pengaruh perlakuan, tidak mengakibatkan KK yang tinggi, yang berarti pengaruh perlakuan tersebut konsisten antar ulangan. Jadi KK yang tinggi, misalkan lebih dari 20%, disebabkan variasi data antar ulangan dari perlakuan yang diuji cukup tinggi.

Koefisien keragaman (KK) atau CV, merupakan nilai yang terkait dengan data satu peubah, masing-masing peubah memiliki nilai KK. Misalkan dalam percobaan pemupukan padi, tiga peubah yang diamati masing-masing memiliki KK. Misalkan bobot biomas vegetatif padi umur dua bulan, nilai KK = 21%; tinggi batang nilai KK = 17%; hasil gabah kering nilai KK = 12%. Percobaan lapang yang nilai KK peubahnya kurang dari 10%, data percobaan tersebut dianggap cukup baik.

$$KK = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%$$

KK = Koefisien keragaman dalam %

S = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata nilai peubah dari perlakuan

KK menunjukkan keragaman data peubah, bukan keragaman data perlakuan atau keragaman data lingkungan. Andaikan nilai KK = 0, berarti pengaruh dari ulangan seragam, sesuatu yang tidak mungkin terjadi dalam percobaan di alam.

9.5. Standar Error

Standar Error merupakan standar deviasi dari banyak nilai rata-rata sampel yang diambil dari populasi. Estimasi standar deviasi populasi, atau standar error ($S_{\bar{X}}$).

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

$S_{\bar{X}}$ = standar error dari rata-rata data peubah (*standard error of the mean*)

S = standar deviasi contoh dari nilai rata-rata

n = banyaknya pengamatan yang berasosiasi dengan nilai rata-rata (*number of observations that go to the mean*)

Hubungan antara Nilai Rata-Rata dengan Standar Deviasi

Standar deviasi menunjukkan dispersi atau sebaran nilai bertolak dari nilai rata-ratanya. **Nilai peubah dari populasi rata-ratanya = rata-rata \pm standar deviasi.** Secara umum dapat dikatakan, semakin kecil nilai standar deviasi, semakin kecil variasi data yang diukur. Dari bukti empiris bila sebaran datanya normal, ditemukan hal-hal berikut :

- Nilai rata-rata \pm 1 standar deviasi mencakup 68% populasi.
- Nilai rata-rata \pm 2 standar deviasi mencakup 95% populasi.
- Nilai rata-rata \pm 3 standar deviasi mencakup 99% populasi.

9.6. Model Linier Umum (General Linear Model/GLM)

Model linier umum (MLU atau GLM) adalah persamaan matematis linier yang menunjukkan hubungan antara nilai peubah tidak bebas (*dependent variable*), dengan peubah-peubah bebas (*independent variables*) ditambah dengan nilai galat. Dengan mengetahui Model Linier Umum maka dapat diketahui komponen yang membentuk/mempengaruhi nilai peubah tidak bebas (*dependent variable*), dari percobaan yang dilaksanakan.

Contoh MLU atau GLM yang bersifat aditif:

$$Y_{ij} = a + bx_i + \epsilon_{ij}, \text{ dalam persamaan Regresi}$$

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \text{ dalam klasifikasi satu jalan (one way classification)}$$

$$Y_{ij} = \mu + \tau_{ij} + \beta_j + \epsilon_{ij} \text{ dalam klasifikasi 2 arah (two way classification)}$$

MLU atau GLM akan dibahas pada bab Rancangan Percobaan.

Dengan mengetahui model linear dari suatu data peubah, maka dapat dengan mudah dibuat analisis ragamnya, karena komponen pada MLU masing-masing merupakan komponen sumber keragaman pada ANOVA. MLU juga menunjukkan faktor apa saja yang membentuk nilai peubah respon dalam percobaan yang bersangkutan. Komponen MLU masing-masing menunjukkan komponen keragaman data nilai peubah respon yang menentukan ragam perlakuan nyata atau tidak nyata, relatif terhadap ragam galat (error).

Sebelum melaksanakan analisis data hasil percobaan peneliti harus mampu menuliskan persamaan MLU dari rancangan dan percobaan yang digunakan, serta mampu memahami makna persamaan MLU tersebut, sehingga memiliki bayangan teknis terhadap analisis data yang akan dilakukan.

Korelasi adalah hubungan keterkaitan antara dua atau lebih peubah, dinyatakan oleh koefisien atau nilai, yang menunjukkan kecenderungan keterkaitan antara dua peubah yang dianggap saling berasosiasi. Nilai korelasi dinyatakan oleh **Koefisien Korelasi Linear** atau **Koefisien Korelasi**, dinotasikan dengan huruf r . Korelasi menunjukkan derajat keeratan hubungan dari dua peubah, bukan menunjukkan *cause and effect relationship*, melainkan lebih bersifat derajat kedekatan atau kesejajaran antara dua peubah. Misalkan terdapat korelasi positif yang nyata ($r=0,8$) antara tinggi dengan bobot tanaman. Semakin tinggi tanaman, semakin berat bobot tanamannya. Namun tidak dapat dikatakan, bahwa bobot tanaman dipengaruhi oleh tinggi atau sebaliknya, bahwa tinggi tanaman dipengaruhi oleh bobot tanaman.

Hubungan korelasi dinyatakan oleh koefisien korelasi (r), yang nilainya antara -1 hingga $+1$, dimana koefisien korelasi -1 ($r = -1$) dan $r=+1$ tidak pernah ada. Koefisien korelasi (r) antara $0,7$ sampai $0,9$ dapat disebut korelasinya tinggi, koefisien korelasi (r) antara $0,5$ sampai $0,6$ korelasinya sedang, dan koefisien korelasi (r) kurang atau sama dengan $0,4$ korelasinya rendah. Koefisien korelasi negatif menunjukkan hubungan keterkaitan antara dua peubah bersifat berlawanan.

Korelasi menunjukkan kecenderungan keterkaitan, misalkan peubah Y (hasil gabah t/ha) dengan X (bobot jerami t/ha). Korelasi linier antara hasil gabah dengan bobot jerami, misalkan $r_{y,x} = 0,65$. Korelasi $r_{y,x} = 0,65$ dapat dimaknai terdapat kecenderungan, semakin tinggi bobot jerami maka semakin tinggi hasil gabah di lingkungan yang bersangkutan. Pada materi (galur, varietas padi) yang berbeda dan lingkungan yang berbeda, koefisien korelasi hasil gabah dengan bobot jerami mungkin tidak sama, mungkin $r = 0,51$ atau mungkin $r = 0,69$, atau mungkin justru negatif, $r = -0,2$. Koefisien korelasi yang tinggi juga tidak menunjukkan bahwa hasil gabah (t/ha) tinggi, atau bobot jerami (t/ha) tinggi, atau juga tidak sebaliknya. Dengan demikian, koefisien korelasi antara dua peubah bersifat bebas satuan, dan tidak bisa menjadi satuan ukur.

Rumus Penghitungan Koefisien Korelasi (r) :

$$r = \frac{\sum(XY) - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{(\sum X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}} \sqrt{(\sum Y^2) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}}$$

X dan Y masing-masing adalah peubah yang dihitung nilai korelasinya

n = banyaknya pasangan data peubah X dan Y

r = koefisien korelasi antara X dengan Y

Dalam hubungan korelasi, status masing-masing peubah setara, artinya korelasi antara X dengan Y sama dengan korelasi antara Y dengan X. Koefisien korelasi tidak memiliki satuan ukur. Dua peubah yang dikorelasikan satuannya bisa sama (seperti antara panjang malai dengan tinggi batang, masing-masing dalam cm); atau antara dua peubah yang satuannya tidak sama, seperti antara tinggi batang (cm) dengan hasil gabah (t/ha).

Contoh penghitungan, korelasi antara diameter umbi kentang (cm) (X) dengan bobot umbi kentang (gr) (Y) adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Penghitungan korelasi antara diameter umbi kentang (cm) dengan bobot umbi kentang (gr)

Contoh	Diameter umbi (cm) (X)	Bobot umbi(gr) (Y)	XY	X ²	Y ²
1.	5,0	63	315	25	3.969
2.	6,0	115	690	36	13.225
3.	6,0	146	876	36	21.316
4.	7,0	132	924	49	17.424
5.	5,0	80	400	25	6.400
6.	6,0	125	750	36	15.625
7.	5,0	80	400	25	6.400
8.	5,0	78	390	25	6.084
9.	6,0	112	672	36	12.554
10.	6,0	96	576	36	9.216
Jumlah	57	1.027	5.993	329	112.203

Penghitungan :

Dari tabel tersebut :

$$\sum X = 57$$

$$\sum Y = 1.027$$

$$\sum XY = (57)(1.027) = 5.993$$

$$\sum X^2 = 329$$

$$\sum Y^2 = 112.203$$

$$(\sum X)^2 = (57)^2 = 3.249$$

$$(\sum Y)^2 = (1.027)^2 = 1.054.729$$

$$\begin{aligned} r &= \frac{(\sum XY) - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{[\sum(X^2) - \frac{(\sum X)^2}{n}][\sum(Y^2) - \frac{(\sum Y)^2}{n}]} = \frac{5993 - \frac{(57)(1027)}{10}}{(329 - \frac{3249}{10})(112203 - \frac{1054729}{10})} \\ &= \frac{5993 - 5853,9}{(329 - 324,9)(112203 - 105472,9)} = \frac{139,1}{(4,1)(6730,1)} \\ &= \frac{139,1}{166,1} = 0,84 \end{aligned}$$

Hubungan korelasi antara diameter dengan bobot umbi kentang $r = 0,84$ termasuk tinggi. Maknanya, terdapat kecenderungan bahwa semakin besar diameter umbi, bobot umbi semakin berat.

Koefisien korelasi memiliki nilai berkisar antara $r = -1,0$ sampai $+1,0$. Namun koefisien korelasi $r = -1,0$ atau $r = +1,0$ tidak pernah diperoleh, kecuali korelasi antara peubah dengan peubah itu sendiri, yang menurut definisi bukan disebut korelasi. Korelasi adalah derajat hubungan keeratan antara dua peubah yang berbeda, yang secara logik diperkirakan memiliki hubungan keterkaitan. Hubungan antara bobot biomasa tanaman dengan hasil bijinya, lebih logik dibandingkan dengan hubungan antara bobot biomasa dengan daya tumbuh benih yang dihasilkan. Untuk mengetahui nyata dan tidak nyatanya koefisien korelasi diperlukan uji statistik. Nilai koefisien korelasi nyata berarti r lebih besar atau lebih kecil dari nol; apabila nilai r tidak nyata, berarti tidak berbeda nyata dengan nol.

a. Uji - t untuk koefisien korelasi

Untuk menguji secara statistik apakah koefisien korelasi r nyata (berbeda dengan nol) dan bila banyaknya sampel kurang dari 30 digunakan uji -t, yaitu dengan membandingkan t-hitung dengan t-tabel. Nilai **t-hitung** diperoleh dari rumus sebagai berikut :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

r = koefisien korelasi

n = banyaknya pasangan data yang dikorelasikan

Nilai t-hitung tersebut dibandingkan dengan t-tabel dengan derajat bebas ($n-2$). Bila t-hitung lebih besar dibanding t-tabel, koefisien korelasi (r) adalah nyata. Pada contoh korelasi antara diameter dengan bobot umbi kentang tersebut dapat dihitung nilai **t**, sebagai berikut :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = \frac{0,84 \sqrt{(10-2)}}{\sqrt{(1-0,84)}} = \frac{0,84 \times 2,83}{0,4} = \frac{2,38}{0,4} = 5,95$$

Dari tabel distribusi t diperoleh $t_{(8)}(5\%) = 2,31$; $t_{(8)}(1\%) = 3,36$

t-hitung (5,95) lebih besar dibandingkan dengan t-tabel (1%)

Jadi koefisien korelasi (r) = 0,07 adalah sangat nyata.

b. Uji Signifikansi Koefisien Korelasi dengan Statistik z

Statistik untuk menguji taraf nyata atau signifikansi koefisien korelasi (r) untuk n yang lebih dari 30 menggunakan statistik z sebagai berikut :

$z = \left\{ \frac{1}{2} \sqrt{[(n-3)]x[\ln(1+r)] - [\ln(1-r)]} \right\}$, \ln = logaritma dengan bilangan dasar e , dengan kriteria pengujian jika $z < -1,96$ atau $z > 1,96$ maka r nyata pada taraf uji 5% atau jika $z < -2,57$ atau $z > 2,57$ maka r nyata pada taraf uji 1%.

Sering pula dinyatakan berapa peluang $Z < z$ tersebut yang dapat dihitung menggunakan MS-EXCEL dengan *syntax* =1-normsdist(z) untuk $z > 0$ atau *syntax* = normsdist (z) untuk $z < 0$

Misalkan diperoleh nilai $r = 0,347$ dari data 40 pasangan peubah atau $n =$

40. Nilai statistik $z = \left\{ \frac{1}{2} \sqrt{[(n-3)]x[\ln(1+r)] - [\ln(1-r)]} \right\}$

$$= \left\{ \frac{1}{2} \sqrt{[(6-3)]x[\ln(1+0,347)] - [\ln(1-0,347)]} \right\} = 2,202$$

Apabila menggunakan MS-EXCEL dengan *syntax* =1-normsdist (2,202), maka diperoleh nilai $z = 0,0138$, yang dapat ditafsirkan korelasinya positif nyata pada taraf 5%.

c. Uji Signifikansi Koefisien Korelasi (r) menggunakan Tabel

Telah dibuat tabel nilai korelasi r untuk beberapa tingkat signifikansi, seperti tercantum pada text book tabel 7.6 (Snedecor, 1956). Untuk nilai koefisien korelasi diameter umbi kentang (X) dengan bobot umbi (Y) pada Tabel2, diperoleh koefisien korelasi (r) = 0,92. Dengan derajat bebas ($n-2$) = 8, menurut tabel tersebut, r lebih besar dari nilai tabel 1% (8), yang berarti koefisien korelasi (r) = 0,92 sangat nyata.

Regresi adalah hubungan keterpengaruhan peubah tidak bebas (Y) oleh peubah bebas (X), atau banyak peubah bebas X_1, X_2, \dots, X_n . Bentuk hubungan keterpengaruhan Y oleh X tersebut, dinyatakan dalam persamaan regresi.

Garis regresi linier menggambarkan hubungan antara peubah tidak bebas (*dependent variable*) Y, dengan peubah bebas (*independent variable*) X secara linier, yang menunjukkan perubahan pada Y senilai tertentu setiap terjadi perubahan satu unit pada X. Koefisien regresi dinyatakan dengan huruf **b**, yang nilainya bisa positif atau negatif. Koefisien regresi menunjukkan besarnya pengaruh peubah X terhadap peubah Y. Persamaan dugaan regresi linear adalah: $Y = a + b x$.

Y = nilai Y pada setiap nilai X

a = intersep, yaitu titik potong garis regresi linier pada Y

b = koefisien regresi, menunjukkan kemiringan garis regresi linier pada X

X = peubah bebas, yang menunjukkan setiap perubahan satu unit X mengakibatkan perubahan Y sebesar b

Rumus penghitungan koefisien regresi b adalah sebagai berikut :

$$b = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad \text{atau} \quad b = \frac{\text{Covarian XY}}{\text{Varian X}}$$

Koefisien regresi b adalah koefisien regresi Y pada X, yang menunjukkan "slope" atau sudut garis b, dimana jumlah kuadrat deviasi vertikal antara nilai sebenarnya dengan titik pada garis regresi adalah minimum. Sifat inilah yang digunakan dalam persamaan garis regresi, yang juga disebut sebagai "Prinsip metode kuadrat terkecil" (*Principle of least square method*). Dari prinsip tersebut berlaku bahwa : $\sum (Y_i - \hat{Y})^2$ adalah minimum

Y = nilai sebenarnya peubah tidak bebas (*dependent variable*)

\hat{Y} = Nilai dugaan Y berdasarkan persamaan regresi

Nilai $\sum (Y - \hat{Y})^2$ adalah jumlah kuadrat deviasi antara Y (nilai peubah sebenarnya) dari nilai dugaan \hat{Y} berdasarkan persamaan regresi, yang juga merupakan ragam sisa (*residual variation*) antara garis linear regresi dengan data sebenarnya. Ragam sisa tersebut pada persamaan regresi

linear dibuat minimum, sehingga nilai b dapat diduga seperti yang telah disampaikan sebelumnya yaitu :

$$b_{yx} = \frac{\sum(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sum(X-\bar{X})^2} \text{ dan } a = \text{rata-rata peubah } Y - b \times \text{rata-rata peubah } X$$

Apabila deviasi antara Y sebenarnya dengan Y dugaan regresi nilainya besar, maka garis regresi disebut kurang pas atau *poor fit*, dan bila deviasinya kecil maka garis regresi disebut pas atau *good fit*.

Persamaan regresi linear diaplikasikan terhadap data hubungan peubah bebas (X) yang "bertingkat atau bertaraf kuantitatif", seperti misal dosis pupuk dari rendah hingga tinggi, dengan peubah tidak bebas yang dipengaruhi oleh X, misalnya hasil biji jagung (Y). Masing-masing dosis pupuk X dapat menunjukkan besarnya. Koefesien regresi (b) menunjukkan berapa penambahan hasil biji jagung yang akan diperoleh, setiap penambahan 1 unit (misalkan 1 kg) pupuk N.

Contoh penghitungan Analisis Regresi menggunakan data hipotetis (tidak sebenarnya) dari percobaan observasi pemberian pupuk kandang sebagai suplemen (tambahan) pupuk NPK dosis rendah pada tanaman jagung varietas hibrida "Semar". Semua petak percobaan diberi pupuk anorganik dengan dosis rendah : 70 kg urea + 80 kg NPK Ponska dan pupuk kandang antara 5 ton hingga 15 ton/ha. Hasil biji pipilan kering sebagai berikut (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil biji jagung pipilan kering dari perlakuan suplementasi pupuk kandang*)

Pupuk Kandang t/ha) (X)	Hasil jagung (t/ha) (Y)	X ²	Y ²	XY	X - \bar{X}	Y - \bar{Y}	(Y - \bar{Y}) ²
5	6	25	36	30	(4,67)	(2,33)	5,43
5	7	25	49	35	(4,67)	(1,33)	1,77
7	7	49	49	49	(2,67)	(1,33)	1,77
7	6	49	36	42	(2,67)	(2,33)	5,43
8	8	64	64	64	(1,67)	(0,33)	0,11
8	9	64	81	72	(1,67)	0,67	0,45
8	10	64	100	80	(1,67)	1,67	2,79
10	9	100	81	90	0,33	0,67	0,45
11	8	121	64	88	1,33	(0,33)	0,11
12	8	144	64	96	2,33	(0,33)	0,11
12	9	144	81	108	2,33	0,67	0,45
12	10	144	100	120	2,33	1,67	2,79
12	9	144	81	108	2,33	0,67	0,45
13	10	169	100	130	3,33	1,67	2,79
15	9	225	81	135	5,33	0,67	0,45
Σ	145	125	1.531	1.067	1.247		25,35
Rata-rata	9,67					8,33	

*) Data dari hasil petak ukuran 5x10m dikonversikan menjadi t/ha
Observasi pada hamparan yang sama tanpa ulangan

Penghitungan Koefisien Regresi (b) :

$$b = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} = \frac{1247 - \frac{(145 \times 125)}{15}}{1531 - \frac{(145)^2}{15}} = \frac{1247 - 1208,33}{1531 - 1401,67} = \frac{38,67}{129,33} = 0,30$$

Atau dapat juga dihitung dengan perhitungan berikut :

(1). Jumlah perkalian deviasi X dan deviasi Y adalah :

$$\sum [(X - \bar{X}) - (Y - \bar{Y})] = \sum (XY) - (\sum X)(\bar{Y}) = 1247 - 145 \frac{125}{15} = 1247 - 1208 = 39$$

(2). Jumlah kuadrat deviasi peubah bebas $(X_i - \bar{X})^2$ adalah :

$$\sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 1531 - \frac{(145)^2}{15} = 1531 - 1402 = 129$$

(3). Koefisien Regresi b_{YX} adalah :

$$b_{YX} = \frac{\sum [(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]}{\sum (X - \bar{X})^2} = \frac{39}{129} = 0,30$$

Koefisien regresi Y pada X adalah $b = 0,30$; maknanya setiap penambahan pupuk kandang 1 t/ha mengakibatkan penambahan hasil jagung 0,30 t/ha pipilan kering pada dosis pupuk NPK rendah, pada kisaran pemberian pupuk kandang 5 t/ha hingga 15 t/ha

Intersep a dihitung dengan memasukkan nilai \bar{X} dan b dari persamaan regresi

$$a = (\bar{Y} - b\bar{X}) = \frac{125}{15} - 0,30 \left(\frac{145}{15} \right) = 8,33 - 2,90 = 5,43$$

Persamaan regresi hasil pipilan kering (Y) pada dosis pupuk kandang (X) adalah:

$$\hat{Y} = 5,43 + 0,30X$$

Analisis regresi ini dihitung dari observasi hasil jagung dengan pemberian pupuk kandang antara 5 ton hingga 15 ton per ha sebagai suplementasi pupuk NPK dosis rendah, bukan pada percobaan yang dirancang secara formal menggunakan rancangan percobaan dan ulangan. Asumsinya adalah semua petak yang digunakan untuk observasi memiliki kesuburan, sifat fisika dan kimiawi sama, sehingga perbedaan hasil jagung semata-mata disebabkan oleh pengaruh pupuk kandang.

Data hasil jagung yang tidak konsisten memang dapat dipertanyakan atau dipertanyakan mengapa penambahan pupuk kandang dapat menaikkan hasil. Pertanyaan tersebut tidak akan dijawab pada contoh perhitungan regresi ini, anggap saja datanya begitu adanya. Fungsi data hanya untuk contoh penghitungan persamaan regresi, yaitu mencari koefisien regresi (b) dan intersep (a). Pertanyaan selanjutnya adalah : apakah koefisien regresi $b = 0,30$ nyata atau tidak nyata.

Uji Signifikansi Koefisien Regresi

Uji signifikansi koefisien regresi (b) bertujuan menguji apakah nilai b nyata atau tidak nyata. Koefisien regresi b nyata artinya nilai b lebih besar dari nol. Hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut :

$$H_0: b = 0, \text{ dan } H_1: b \neq 0$$

Uji yang digunakan untuk menguji signifikansi koefisien regresi adalah uji t

Cara menghitung nilai t- hitung adalah sebagai berikut :

(1). Hitung $\sum (Y - \hat{Y})^2$

$$\sum (Y - \hat{Y})^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2 - [\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum (x - \bar{x})^2} = 25,35 - \frac{(39)^2}{129} = 25,35 - 11,79 = 13,56$$

$$\sum (Y - \hat{Y})^2 = 13,56$$

(2). Standar Error Estimasi $\hat{Y} = S_{\hat{Y}}$

$$S_{\hat{Y}} = \sqrt{\frac{13,56}{13} \cdot \frac{1}{13}} = \sqrt{1,04} = 1,02$$

$$S_{\hat{Y}} = 1,02$$

(3). Standar Error Koefisien Regresi $S_{b(YX)}$

$$S_{b(YX)} = \sqrt{\frac{S_{\hat{Y}}}{\sum (X - \bar{X})^2}} = \frac{1,02}{\sqrt{129}} = \frac{1,02}{11,36} = 0,09$$

$$S_{b(YX)} = 0,09$$

(4). t-hitung = $\frac{b(YX)}{S_{b(YX)}} = \frac{0,30}{0,09} = 3,33$

(5). Lihat tabel t dengan derajat bebas (n-2) = $t_{0,05 (13)}$

$$t_{0,05 (13)} = 2,16$$

(6). Bandingkan t-hitung = 3,33 dengan $t_{0,05 (13)} = 2,16$

$$t\text{-hitung} > t_{0,05 (13)}$$

- (7). Dari kondisi butir (6) t -hitung lebih besar dibanding t -tabel ($n-2$), maka b adalah **nyata**, H_0 ditolak, dan H_1 diterima. Dengan kata lain, koefisien regresi $b = 0,3$ adalah nyata.
- (8). Kesimpulan dari analisis regresi adalah koefisien regresi $b = 0,30$ nyata, artinya setiap penambahan pemberian 1 ton pupuk kandang per ha, meningkatkan hasil hasil biji jagung secara nyata sebesar 0,30 t/ha. Kenaikan hasil biji jagung secara nyata 0,30 t/ha berlaku pada kisaran pemberian pupuk kandang antara 5 ton hingga 15 ton/ha, dan dosis pupuk NPK rendah. Apabila dosis pupuk kandang dinaikkan di atas 15 t/ha, misalnya 17 hingga 20 t/ha, koefisien regresi $b = 0,30$ kemungkinan tidak valid, karena respon tanaman jagung mungkin akan datar karena hasil jagung sudah cukup tinggi (10 t/ha). Pada pemberian pupuk kandang 6 t/ha, hasil jagung dapat diprediksi sebesar $y = 5,44 + 0,30 (6) \text{ t/ha} = 7,24 \text{ t/ha}$.

Manfaat Persamaan Regresi

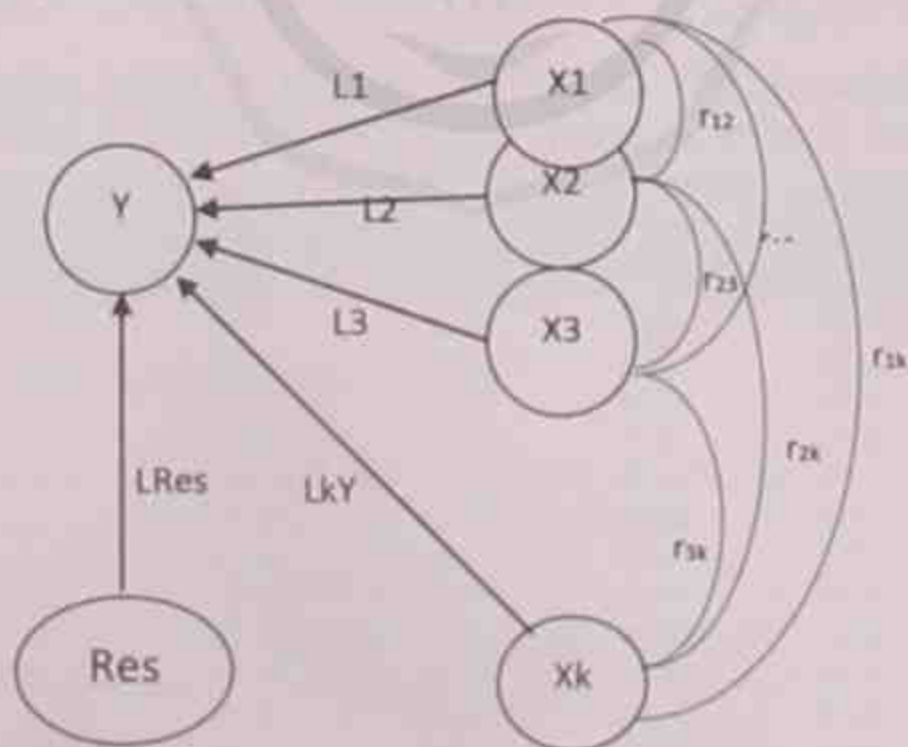
- (1). Dapat mengetahui tingkat penambahan hasil per unit penambahan input, sehingga dapat diketahui penggunaan jumlah input yang paling ekonomis.
- (2). Memperoleh nilai rata-rata umum produktivitas dari berbagai dosis input yang diberikan, sehingga dapat digunakan sebagai perkiraan total produksi dari suatu wilayah dengan tingkat pemupukan yang berbeda.
- (3). Dapat memprediksi produktivitas dan dosis input yang diperlukan.
- (4). Dapat mengetahui keuntungan ekonomis dari berbagai dosis pemberian pupuk.

Persamaan regresi memberikan gambaran umum tentang respon tanaman terhadap besarnya input yang dapat digunakan untuk membuat perkiraan besarnya input yang diperlukan untuk memperoleh produktivitas tertentu.

ANALISIS JALUR ATAU SIDIK LINTAS (*Path Analysis*)

Pada analisis korelasi keterkaitan antara peubah yang berasosiasi hanya menunjukkan derajat kedekatan antar keduanya. Korelasi tidak menunjukkan hubungan sebab-akibat antar dua peubah yang terkait. Ada kalanya peneliti ingin mengetahui suatu varietas padi yang berproduktivitas tinggi, komponen-komponen mana yang berperan terhadap produktivitas tinggi tersebut. Secara visual mungkin dapat diduga bahwa faktor penentu produktivitas padi yang tinggi adalah populasi tanaman per m^2 , banyaknya malai per rumpun, jumlah gabah isi per malai, bobot 1000 butir gabah dan rendemen beras dari gabah. Tetapi di antara komponen produktivitas tersebut, mana yang paling berperan? Berapa besar peran satu komponen relatif terhadap yang lain? Koefisien korelasi hanya dapat menunjukkan derajat keterkaitan, tetapi tidak dapat menjawab pertanyaan tersebut. Analisis statistik yang dapat menjawab pertanyaan tersebut adalah Analisis jalur atau *Path Analysis*.

Pengaruh antara peubah bebas X_1, X_2, \dots, X_k terhadap peubah tak bebas Y dapat dinyatakan dalam bentuk sistem dengan struktur hubungan pengaruh langsung dan tidak langsung (Singh dan Chaudhary, 1979), seperti disajikan pada Gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Pengaruh antara peubah bebas X_1, X_2, X_k terhadap peubah tak bebas Y

Keterangan :

- Res = Pengaruh faktor lain di luar peubah yang diamati (Residu)
- L_1, L_2, \dots, L_k = Koefisien lintas atau pengaruh langsung X_1, X_2, \dots, X_k terhadap Y
- $r_{12}, r_{13}, r_{14}, \dots, r_{67}$ = Koefisien korelasi antar peubah X_i dan X_j
- $r_{iY} \text{ LiY}$ = Pengaruh tak langsung peubah bebas X_i terhadap peubah tak bebas Y
- LRes = Pengaruh galat/sisaan (residual)

Korelasi antara peubah bebas dengan peubah tak bebas dapat dinyatakan dalam persamaan

$$r_{1Y} = L_1Y + r_{12} L_2Y + r_{13} L_3Y + \dots + r_{1k} L_kY$$

$$r_{2Y} = r_{21Y} L_1Y + L_2Y + r_{23} L_3Y + \dots + r_{2k} L_kY$$

$$r_{3Y} = r_{31Y} L_1Y + r_{32} L_2Y + L_3Y + \dots + r_{3k} L_kY$$

$$r_{kY} = r_{k1} L_1Y + r_{k2} L_2Y + r_{k3} L_3Y + \dots + L_kY$$

Persamaan simultan tersebut dapat dituliskan dalam bentuk matrik $\underline{r} = R\underline{l}$, dimana \underline{r} = vektor lajur koefisien korelasi X_i dengan Y , R = matrik korelasi antar peubah bebas X_i dan X_j , dan \underline{l} = vektor lajur pengaruh langsung.

Untuk mendapatkan nilai pengaruh langsung dapat dihitung melalui rumus $\underline{l} = R^{-1}\underline{r}$, dimana R^{-1} = invers matrik R . Pengaruh sisa peubah yang tidak dapat diterangkan oleh peubah yang diamati adalah

$$L_{res} = \sqrt{1 - \sum L_{iY} r_{iY}}$$

Sebagai ilustrasi analisis lintasan (path analysis) disajikan data hasil pengamatan pada tanaman padi umur 5 minggu sebagai berikut :

No. Galur	Waktu akar menembus lapisan (X1)	Jumlah akar tembus (X2)	Panjang akar (X3)	Tinggi tanaman umur (X4)	Jumlah anakan (X5)	Bobot gabah isi per rumpun (Y)
1	19.00	8.25	12.70	56.50	2.00	76.94
2	14.50	13.25	17.30	50.38	4.00	87.38
3	14.50	17.50	20.08	58.75	3.00	79.98
4	16.25	16.75	25.33	51.25	4.25	94.12
5	13.25	10.75	14.18	46.88	4.00	56.79
6	12.75	13.75	15.95	48.50	3.75	82.11
7	16.75	2.50	6.13	35.50	5.00	67.88
8	14.50	10.00	14.75	43.38	3.50	59.93
9	14.00	13.50	22.45	51.50	3.00	100.12
10	15.75	14.25	20.08	51.88	3.50	71.00
11	14.25	14.00	21.03	64.38	2.25	96.72
12	14.00	12.75	22.85	55.88	3.00	95.70
13	10.25	17.75	25.28	57.25	3.75	111.42
14	16.75	11.25	13.08	46.63	4.50	132.51

No. Galur	Waktu akar menembus lapisan (X1)	Jumlah akar tembus (X2)	Panjang akar (X3)	Tinggi tanaman umur (X4)	Jumlah anakan (X5)	Bobot gabah isi per rumpun (Y)
15	14.00	9.25	17.58	43.88	4.25	54.47
16	11.00	16.75	29.20	72.50	2.00	112.40
17	14.00	13.00	20.53	60.00	2.75	99.28
18	22.50	3.00	3.78	48.88	1.25	30.58
19	12.00	13.00	20.18	47.50	3.00	60.20
20	13.50	10.75	18.85	48.13	2.00	83.16
21	11.50	12.75	17.75	51.75	3.50	77.78
22	12.75	12.75	16.88	41.88	5.00	70.02
23	14.00	14.25	18.85	47.88	3.75	88.53
24	15.50	12.00	14.65	50.75	3.25	73.99
25	13.00	10.75	15.28	64.38	1.50	98.38
26	12.75	7.75	9.83	50.88	3.00	132.78
27	14.25	14.50	26.03	57.63	2.50	84.23
28	17.00	9.25	15.95	54.63	2.75	94.81
29	19.00	8.50	19.38	61.75	2.75	103.21
30	14.25	13.75	21.18	56.38	3.00	89.14
Simpangan baku	2,54	3,63	5,57	7,64	0,95	22,22

Dari data tersebut dapat diperoleh matrik korelasi sebagai berikut :

	X1	X2	X3	X4	X5	Y
X1	1.0000	-0.6140	-0.5331	-0.1374	-0.2054	-0.2937
X2	-0.6140	1.0000	0.8592	0.4470	0.0847	0.3478
X3	-0.5331	0.8592	1.0000	0.5644	-0.0667	0.3623
X4	-0.1374	0.4470	0.5644	1.0000	-0.6686	0.4717
X5	-0.2054	0.0847	-0.0667	-0.6686	1.0000	-0.0252
Y	-0.2937	0.3478	0.3623	0.4717	-0.0252	1.0000

R = Matrik Korelasi antar Peubah Bebas

1.0000	-0.6140	-0.5331	-0.1374	-0.2054
-0.6140	1.0000	0.8592	0.4470	0.0847
-0.5331	0.8592	1.0000	0.5644	-0.0667
-0.1374	0.4470	0.5644	1.0000	-0.6686
-0.2054	0.0847	-0.0667	-0.6686	1.0000

Sedangkan vector baris $r = (-0.2937 ; 0.3478 ; 0.3623 ; 0.4717 ; -0.0252)$

Invers matrik R dapat diperoleh melalui MS-EXCEL dengan syntax = minverse (array)

Invers R

1.6912	0.9011	0.2667	-0.2312	0.1342
0.9011	4.7937	-3.1883	-0.9219	-1.0502
0.2667	-3.1883	4.5855	-1.2734	-0.2205
-0.2312	-0.9219	-1.2734	3.7300	2.4395
0.1342	-1.0502	-0.2205	2.4395	2.7329

Pengaruh langsung

$$l = R^{-1} r$$

L1=	-0.1991
L2=	-0.1611
L3=	-0.1208
L4=	0.9839
L5=	0.5973

Pengaruh langsung (angka pada diagonal) dan tak langsung peubah X_i terhadap peubah Y diperoleh :

Peubah	Pengaruh langsung dan tak langsung					Korelasi Y dengan X_i
	X1	X2	X3	X4	X5	
X1	-0.1991	0.0989	0.0644	-0.1352	-0.1227	-0.2937
X2	0.1222	-0.1611	-0.1038	0.4398	0.0506	0.3478
X3	0.1061	-0.1384	-0.1208	0.5553	-0.0399	0.3623
X4	0.0274	-0.0720	-0.0682	0.9839	-0.3994	0.4717
X5	0.0409	-0.0136	0.0081	-0.6578	0.5973	-0.0252

$$\text{Pengaruh sisa } L_{res} = \sqrt{1 - \sum L_i Y r_i Y}$$

=

$$\sqrt{1 - (-0.1991)(-0.2937) + (0.1222)(0.3478) + (0.1061)(0.3623) + (0.0274)(0.4717) + (0.0409)(-0.0252)}$$

$$= \sqrt{1 - 0.4077} = \sqrt{1 - 0.4077} = \sqrt{0.5923} = 0.7695$$

Dari hasil analisis diatas dapat ditafsirkan peubah X4 (tinggi tanaman) berpengaruh langsung terhadap bobot biji. Pengaruh langsung peubah X5 (jumlah anakan) dikurangi (pengaruh tak langsung negatif) oleh pengaruh peubah X4 (tinggi tanaman).

L_{ij} = pengaruh tak langsung X_i terhadap Y melalui X_j

Model dapat menerangkan keragaman data dalam struktur hubungan seperti disajikan di atas sebanyak 40.77%, sedangkan sisanya 59.23% oleh faktor lain yang tidak diukur.

Pengaruh langsung juga dapat dihitung melalui analisis regresi berganda. Dari data di atas dengan menggunakan MS-EXCEL diperoleh hasil :

Summary Output	
Regression Statistics	
Multiple R	0.6385458
R Square	0.4077408
Adjusted R Square	0.2843534
Standard Error	18.79386
Observations	30

Anova

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	5	5836.0032	1167.2006*	3.3045592	0.0206819
Residual	24	8477.0203	353.20918		
Total	29	14313.024			

* nyata pada peluang P 0,05

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-63.802202	61.820655	-0.320531	0.3123359	191.39376	63.78936
X Variable 1	-1.7402344	1.7858977	-0.9744312	0.3395624	-5.426146	1.9456772
X Variable 2	-0.9855089	2.1044107	-0.4683063	0.6437909	-3.287992	3.3577814
X Variable 3	-0.4822816	1.342602	0.3592141	0.7225761	3.2532761	2.2887128
X Variable 4	2.8612481	0.8822638	3.2430757	0.0034597	1.0403452	4.6821511
X Variable 5	13.992387	6.0831013	2.3002062	0.0304361	1.4374834	26.547291

Pengaruh langsung peubah X_i dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan $L_i = b_i S_{xi}/S_y$, dimana b_i = koefesien regresi, L_i = pengaruh langsung, S_{xi} = simpangan baku peubah bebas, S_y = simpangan baku peubah tak bebas.

Simpangan baku $X_1 = 2.54$, $X_2 = 3.63$, $X_3 = 5.57$, $X_4 = 7.64$, $X_5 = 0.95$ dan $Y = 22.22$

Pengaruh langsung :

$$\begin{aligned} X1: L1Y &= b1 Sx1/Sy = -1.7402 (2.54/22.22) = -0.1991 \\ X2: L2Y &= b2 Sx2/Sy = -0.9855 (3.63/22.22) = -0.1611 \\ X3: L3Y &= b3 Sx3/Sy = -0.4823 (5.57/22.22) = -0.1208 \\ X4: L4Y &= b4 Sx4/Sy = 2.8612 (7.64/22.22) = 0.9839 \\ X5: L5Y &= b5 Sx5/Sy = 13.9924 (0.95/22.22) = 0.5973 \end{aligned}$$

Kesimpulan yang dapat ditarik dari analisis jalur tersebut adalah :

- (1). Diantara lima peubah yang diamati, tinggi tanaman dan jumlah anakan per rumpun memberikan pengaruh langsung terbesar terhadap tingginya hasil gabah isi per rumpun. Peubah lainnya tidak berperan langsung terhadap tingkat perolehan hasil gabah.
- (2). Tingginya nilai residu, menunjukkan bahwa keragaman hasil gabah yang diperoleh tidak semata-mata disebabkan oleh kelima peubah yang diamati, karena terdapat 59,23% keragaman disebabkan oleh faktor lain yang tidak diamati. (*Faktor lain itu misalnya: umur panen; banyaknya gabah per malai; gabah isi per malai; bobot 1000 butir gabah; dan keragaman lingkungan tumbuh yang datanya tidak ada pada contoh analisis ini*).



Apabila faktor penentu hasil akhir (misalkan hasil gabah kering pada padi terdiri lebih dari satu faktor, misalkan dosis pupuk N; P; K; pupuk kandang; dan banyaknya tindakan penyiangan gulma, dan kelima faktor tersebut akan dianalisis serentak pengaruhnya terhadap hasil gabah, maka analisis yang digunakan adalah Analisis Regresi Berganda atau Multiple Regression Analysis. Persyaratan untuk dapat dianalisis secara regresi berganda adalah peubah bebas X_i masing-masing diperkirakan mempunyai pengaruh terhadap peubah Y , dan masing-masing peubah X_i bersifat bebas satu sama lain. Peubah-peubah bebas dalam model regresi harus bersifat bebas satu dengan lainnya atau disebut tidak terjadi multikolinieritas.

Persamaan penduga regresi berganda antara peubah Y dan peubah bebas X_i dinyatakan dalam bentuk hubungan:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k$$

Penduga parameter b_0, b_1, \dots, b_k dihitung dengan menggunakan metode kuadrat terkecil diperoleh sebagai berikut:

$$\underline{b} = (X'X)^{-1} X'y$$

\underline{b} = vektor lajur penduga parameter koefisien regresi

\underline{y} = vektor lajur pengamatan peubah bebas Y

X = matrik rancangan dalam model regresi, X' = transpose matrik X

Matrik rancangan X bagi model regresi $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k$ yaitu :

1	X_{11}	X_{21}	...	X_{k1}
1	X_{12}	X_{22}	...	X_{k2}
...
1	X_{1n}	X_{2n}	...	X_{kn}

dan vektor \underline{y} dan \underline{b} :

y1	b0
y2	b1
..	..
..	..
yn	bk

Kontribusi peubah-peubah bebas dalam model regresi berganda dinyatakan oleh besaran koefisien determinasi R^2 ,

$$R^2 = \text{jumlah kuadrat regresi} / \text{jumlah kuadrat total} = \underline{b}' \underline{X}' \underline{y} / \underline{y}' \underline{y}$$

Untuk mengetahui peubah bebas nyata berpengaruh terhadap peubah tak bebas Y, menggunakan statistik $t = b_i / s_{b_i}$, b_i = penduga koefisien regresi peubah bebas X_i , dan s_{b_i} = standar deviasi dari b_i .

Sebagai ilustrasi akan dianalisis regresi berganda hasil percobaan pemupukan P dan kapur terhadap berat biomas jagung (batang, daun, tongkol) stadia awal pengisian biji sebagai berikut :

Dosis P (kg/ha) (X1)	Dosis Kapur (ton/ha) (X2)	Bobot biomasa (ton/ha) (Y)
0	0	12.4
30	0	22
60	0	30.8
90	0	27
30	3	20.7
60	3	26.5
90	3	30.6
30	6	22.9
60	6	28.2
90	6	31.9

Bentuk hubungan antara bobot biomas (Y) dengan pemberian pupuk P(X1) dan kapur (X2) dihipotesiskan sebagai :

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2$$

Y = bobot biomasa jagung

b_0 = intersep

b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 = masing-masing koefisien regresi berganda

X_1 = dosis pupuk P

X_2 = dosis kapur

Dengan menggunakan M-EXCEL, nilai peubah X_1^2 dan X_2^2 adalah X_1 dan X_2 dikuadratkan, dan X_1X_2 merupakan perkalian peubah X_1 dan X_2 . Nilai-nilai peubah yang akan digunakan untuk analisis regresi menjadi sebagai berikut :

Dosis P (X_1)	Kapur (X_2)	X_1^2	X_2^2	X_1X_2	Bobot biomas (Y)
0	0	0	0	0	12.4
30	0	900	0	0	22.0
60	0	3600	0	0	30.8
90	0	8100	0	0	27.0
30	3	900	9	90	20.7
60	3	3600	9	180	26.5
90	3	8100	9	270	30.6
30	6	900	36	180	22.9
60	6	3600	36	360	28.2
90	6	8100	36	540	31.9

Dengan menggunakan MS-EXCEL, analisis regresi memperoleh hasil sebagai berikut :

Summary Output :

Regression Statistics	
Multiple R	0.9743162
R Square	0.9492920
Adjusted R Square	0.8859071
Standard Error	2.0105189
Observations	10

Anova :

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	5	302.69126	60.538251	14.976611	0.0106845
Residual	4	16.168745	4.0421861		
Total	9	318.86			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	12.32987	1.889371	6.5259126	0.0028476	7.0841352	17.575605
X Variable 1	0.4352453 **	0.0909559	4.7852365	0.008742	0.1827114	0.6877793
X Variable 2	-1.3239538	1.1419872	-1.159342	0.3108085	-4.4946187	1.8467111
X Variable 3	-0.0028146 *	0.0009354	3.0090233	0.0395884	-0.0054116	0.0002175
X Variable 4	0.134632	0.1574476	0.8550911	0.4406942	-0.3025125	0.5717766
X Variable 5	0.0115007	0.0104965	1.0956714	0.3347642	-0.0176423	0.0406437

Keterangan :

- X variable 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut untuk dosis P (X_1), dosis kapur (X_2), X_1^2 , X_2^2 dan X_1X_2
- * dan ** nyata pada $p \leq 0.05$ dan $p \leq 0.01$

Persamaan regresi berganda dosis pupuk P, dosis kapur dan hasil biomasa jagung adalah : $Y = 12.330 + 0.435 X_1 - 1.324 X_2 - 0.003 X_1^2 + 0.135 X_2^2 + 0.011 X_1 X_2$.

Koefisien determinasi $R^2 = 0.949$ menunjukkan bahwa persamaan regresi dengan koefisien pupuk P (X_1) dan Kapur (X_2) dapat menerangkan keragaman peubah tak bebas Y sebesar 94.9%.

Dari uji t pada setiap koefisien regresi menunjukkan bahwa peubah X_1 dan $(X_1)^2$ nyata, sedangkan koefisien regresi yang lain tidak nyata (bila nilai P value < 0.05 maka nyata pada taraf 5%). Koefisien x_2 (kapur) tidak nyata pengaruhnya terhadap biomasa.

Oleh karena itu, model regresi berganda dapat disederhanakan menjadi $y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_1^2$.

Dengan MS-EXCEL menghasilkan :

Summary output :

Regression Statistics	
Multiple R	0.9591103
R Square	0.9198926
Adjusted R Square	0.8970048
Standard Error	1.9102367
Observations	10

Anova					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	293.31697	146.65848	40.19137	0.0001455
Residual	7	25.54303	3.6490043		
Total	9	318.86			

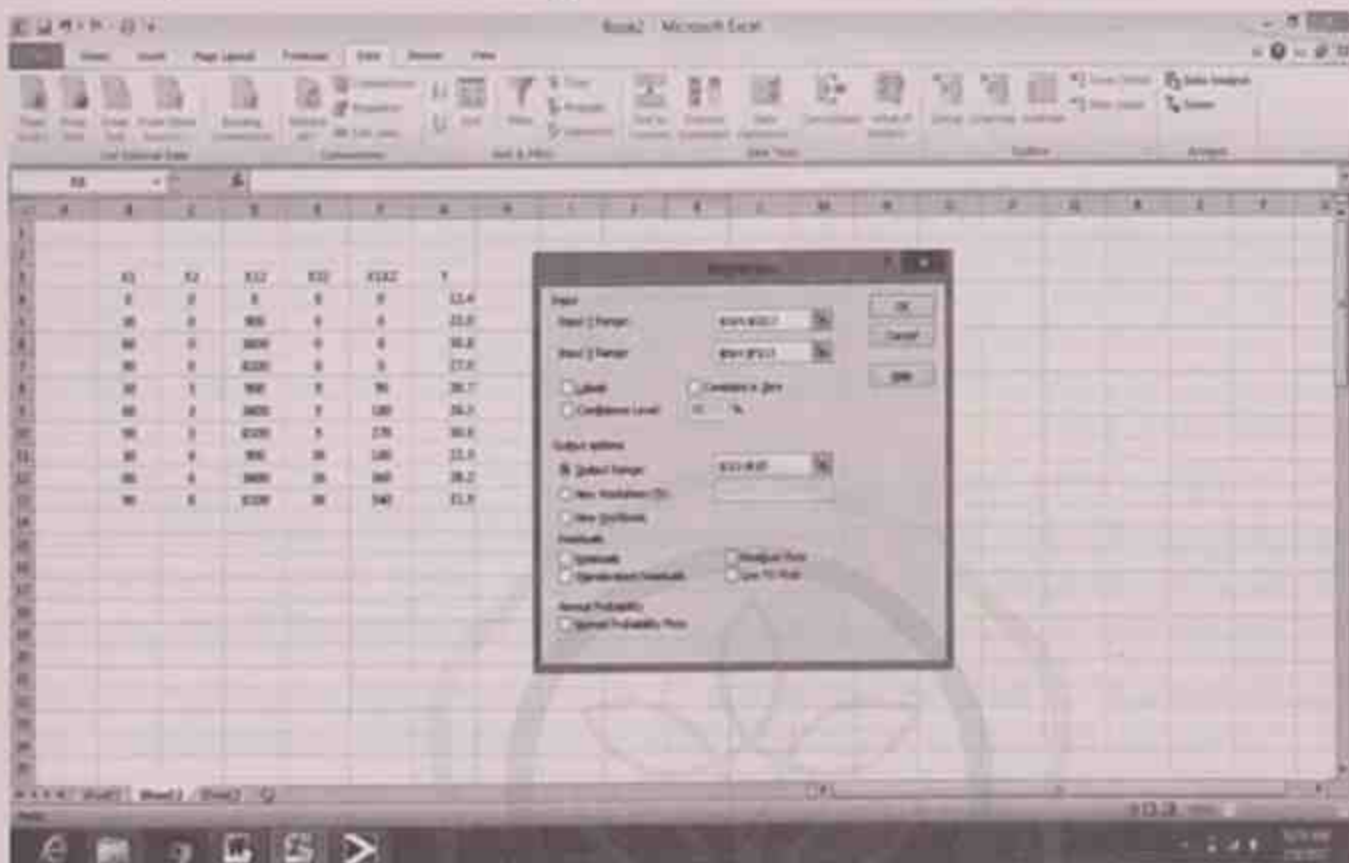
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	12.063636	1.7752219	6.7955653	0.0002542	7.8659036	16.261369
X Variable 1	0.4076263	0.0775902	5.2535776	0.0011816	0.2241545	0.591098
X Variable 2	-0.0023215	0.000739	-3.1416667	0.0163411	-0.0040689	0.0005742

Persamaan regresi berganda pengaruh pupuk P dan kapur terhadap bobot biomasa adalah : $Y = 12.063 + 0.407 X_1 - 0.002 X_1^2$ dengan $R^2 = 0.9199$.

Cara penggunaan program MS-EXCEL untuk analisis regresi;

Pilih Data → Data Analysis → pilih Regression,

selanjutnya muncul kotak dialog untuk menentukan variabel Y dan X serta output hasil analisis sebagai berikut :



Untuk menduga persamaan regresi berganda $Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2$, pada *input Y range* dipilih nilai pada kolom Y dan *Input X range* dipilih (diblok) nilai pada kolom peubah bebasnya. Selanjutnya *Output Range* pilih letak hasil analisis, dan klik OK akan mendapatkan hasil analisis regresi.

Dari persamaan regresi berganda : $Y = 12,063 + 0,407 X_1 - 0,002 X_1^2$; dapat disimpulkan bahwa :

Hasil bobot biomasa jagung stadia pengisian biji nyata dipengaruhi oleh dosis pupuk P. Secara matematik dosis P maksimum dapat dihitung dari turunan (derivative) pertama=0. Dari persamaan regresi turunan pertama diperoleh $y' = 0,407 - 2(-0,002) X_1 = 0$, dan diperoleh $X_1 = 0,406 / 0,004 = 102$. Nilai Y maksimum, bila turunan kedua < 0 . Turunan kedua $y'' = -0,002 < 0$, maka diperoleh Y maksimum. Nilai maksimum $Y = 12,063 + 0,407 (102) - 0,002 (102)^2 = 32,77$.

Jadi dugaan bobot biomasa maksimum sebanyak 32,77 diperoleh dengan dosis P maksimum 102 kg.

UJI DUA PASANG NILAI RATA-RATA DENGAN RANCANGAN PETAK BERPASANGAN

Peneliti terutama di BPTP, sering harus menguji secara berulang-ulang keunggulan produk baru dibandingkan dengan produk yang biasa digunakan oleh petani. Misalnya, varietas unggul baru dibandingkan dengan varietas unggul yang biasa ditanam petani, atau misalnya perlakuan pupuk NPK + bahan organik dibandingkan dengan pupuk NPK saja; atau antara hasil tanaman yang diberi pupuk daun dibandingkan dengan hasil tanaman tanpa pupuk daun.

Percobaan untuk menguji dua perlakuan, perlakuan A dibandingkan dengan perlakuan B dapat dilakukan menggunakan Rancangan Percobaan Petak Berpasangan atau Paired Plots. Syarat untuk dapat menguji satu perlakuan A dengan perlakuan lainnya B dalam petak berpasangan adalah :

- (1). Perlakuan A dengan perlakuan B diuji pada lingkungan yang sama, sehingga pengaruh yang timbul hanyalah semata-mata berasal dari pengaruh A atau B.
- (2). Materi uji yang mendapat perlakuan A, sama dengan materi uji perlakuan B.
- (3). Setiap uji perlakuan yang berpasangan dilakukan secara berdekatan (*paired plots*), bersamaan waktu, oleh pelaksana yang sama.
- (4). Uji perbedaan perlakuan A dan B dilakukan dengan ulangan yang cukup, minimal 8 ulangan (untuk memberikan derajat bebas yang cukup pengujian).
- (5). Unit percobaan (atau ukuran petak dalam hal tanaman) untuk perlakuan A dan perlakuan B sama
- (6). Uji perlakuan A dan B bersifat setara atau sejenis, misalnya :
 - (a) antara hasil biji jagung perlakuan tidak dipupuk (A) dengan hasil biji jagung perlakuan dipupuk (B), membandingkan hasil biji jagung.
 - (b) antara hasil padi diberi pupuk dosis sedang (A) dengan hasil padi dosis tinggi (B), membandingkan hasil gabah padi.
 - (c) antara hasil gabah varietas baru (A) dengan hasil gabah varietas yang ada di petani (B), membandingkan hasil gabah padi.

Yang akan diuji adalah rata-rata pengaruh perlakuan A apakah sama ataukah berbeda dengan rata-rata pengaruh perlakuan B. Apabila rata-rata pengaruh perlakuan A konsisten sama dengan perlakuan B, maka tanpa diuji statistikpun dapat diketahui pengaruh A = pengaruh B. Akan tetapi hal demikian sangat jarang terjadi.

Uji statistik untuk rancangan petak berpasangan adalah Uji t, yaitu membandingkan t-hitung dengan tabel-t 5% atau 1%, menggunakan derajat bebas (n-1), n adalah banyaknya ulangan atau banyaknya pasangan.

Rumus mencari nilai t-hitung, adalah sebagai berikut :

$$t_{hitung} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{s^2}{n}}}$$

\bar{d} = rata-rata perbedaan perlakuan A dengan perlakuan B

$$s^2 = \frac{\sum d^2 - \frac{(\sum d)^2}{n}}{n-1}$$

n = banyaknya pasangan atau ulangan

Sebagai contoh, peneliti ingin menguji pengaruh penambahan unsur SiO_2 (silika) pada dosis pupuk NPK (300 kg/ha) pada hasil gabah padi sawah. Pertanyaan yang akan dijawab: adakah manfaat menambahkan unsur Si sebanyak 100 kg/ha, pada dosis pupuk anjuran 300 kg NPK/ha, terhadap hasil gabah varietas Ciherang. Bahan dan Metoda percobaan tersebut secara ringkas adalah sebagai berikut:

- Rancangan percobaan : Petak berpasangan
- Ulangan : 8 petani. Setiap petani menguji satu ulangan berupa dua petak berpasangan, berisi perlakuan A dan perlakuan B.
- Ukuran petak perlakuan : 2,4 m x 10,4 m
- Perlakuan : A. 100 kg SiO_2 (bahan) ditaburkan pada petak A, sebelum bibit ditanam. Pupuk NPK 300 kg/ha, ditebar 14 hari setelah tanam.
- B. Pupuk NPK (300 kg/ha) diberikan seperti pada perlakuan A, tanpa unsur Si.
- Hipotesis : $H_0: \mu_1 = \mu_2$
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

Pengamatan : Hasil gabah kering petak neto 2 x 10 m (baris pinggir sekeliling dibuang), dari semua perlakuan dan ulangan.

Data hasil gabah kering adalah sebagai berikut (Tabel 4) :

Tabel 4. Data hasil gabah kering dari petak 20 m², dikonversi menjadi kuintal/ha gkg (10 kuintal = 1 ton).

Petani sebagai ulangan	Hasil Gabah (Kw/ha) gkg			
	A (\bar{X}_1)	B (\bar{X}_2)	Perbedaan (d) ($\bar{X}_1 - \bar{X}_2$)	d ²
Petani - 1	71,0	54,7	16,3	265,69
Petani - 2	73,9	60,6	13,3	176,89
Petani - 3	48,9	45,1	3,8	14,44
Petani - 4	78,9	71,0	7,9	62,41
Petani - 5	43,5	40,9	2,6	6,76
Petani - 6	47,9	45,4	2,5	6,25
Petani - 7	63,0	53,4	9,6	92,16
Petani - 8	48,4	41,2	7,2	51,84
Petani - 9	48,1	44,8	3,3	10,89
Jumlah (Σ)	523,6	457,1	$\Sigma d = 66,5$	$\Sigma d^2 = 687,33$
Rata-rata	58,2	50,8	7,39	76,37

Keterangan :

X1 = NPK + 300 kg SiO₂

X2 = NPK

$\Sigma d^2 = 687,33$

$(\Sigma d)^2 = (66,5)^2 = 4.422,25$

$$S^2 = \frac{\Sigma d^2 - \frac{(\Sigma d)^2}{n}}{n-1} = \frac{687,33 - \frac{4.422,25}{9}}{9-1} = \frac{687,33 - 491,36}{8} = 24,50$$

$$t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{S^2}{n}}} = \frac{7,39}{\sqrt{\frac{24,50}{9}}} = 4,48$$

Daftar $t_{0,05}$ (t_{tabel}) derajat bebas n-1 atau derajat bebas 8 adalah 2,306, sedangkan $t_{\text{hitung}} = 4,48$. Ternyata t_{hitung} lebih besar dibandingkan dengan nilai $t_{(8),0,05}$, atau $t_{\text{hitung}} > t_{(8),0,005}$ yang berarti H_0 ditolak.

Analisis menggunakan program MS-EXCEL Dari analisis tersebut diketahui bahwa dengan probabilitas 95% atau 19 : 1 rata-rata perlakuan A (pupuk NPK + Si) memberikan pengaruh yang berbeda dengan perlakuan B (pupuk NPK saja). Atau dapat dikatakan pengaruh perlakuan A berbeda nyata dengan pengaruh B, dan interpretasi praktisnya : penambahan pupuk SiO₂ sebanyak 100 kg/ha pada dosis NPK 300 kg/ha meningkatkan hasil gabah secara nyata dibandingkan hasil gabah dari pemupukan NPK 300 kg/ha, tanpa pupuk SiO₂.

Keuntungan menggunakan uji petak berpasangan dan *t-test* adalah :

- (1). Percobaan dapat menguji hanya satu perlakuan dibandingkan dengan materi pembanding (materi atau teknologi pembanding harus sama pada semua ulangan).
- (2). Pelaksanaan percobaannya sederhana, pengelolaannya mudah.
- (3). Pengacakan (randomisasi) penempatan perlakuan pada setiap ulangan mudah, karena hanya antara dua perlakuan.
- (4). Analisis statistiknya mudah dan sederhana.
- (5). Data yang dihasilkan memenuhi kriteria prosedur ilmiah untuk publikasi karya tulis ilmiah (KTI), dengan digunakannya rancangan percobaan dan analisis statistik.
- (6). Memberikan kesempatan kepada peneliti BPTP menggunakan rancangan percobaan sederhana untuk menguji adaptasi materi atau teknologi baru secara mudah, tetapi memenuhi persyaratan ilmiah..
- (7). Apabila percobaan dilakukan di satu lokasi, cara pengacakan penempatan perlakuan tetap berpasangan, yaitu setiap letak perlakuan A pada masing-masing ulangan diikuti oleh perlakuan B pada petak yang berdekatan.
- (8). Mudah untuk melakukan penyesuaian, apabila terdapat ulangan yang gagal, cukup dengan cara membatalkan ulangan yang gagal.
- (9). Dapat diaplikasikan pada percobaan laboratorium, kandang ternak, rumah kaca, tanaman tahunan, produk baru yang ingin diuji, alsintan, atau obyek apa saja asalkan merupakan pembanding dua obyek yang berbeda.

UJI KESESUAIAN

(Test Goodness of Fit) : X^2 (Chi Kuadrat)

Uji Chi-kuadrat diaplikasikan terhadap data enumerasi atau penghitungan berdasarkan kategori atau kelas, seperti misalnya ratio segregasi gen pada persilangan tanaman yang berbeda sifatnya. X^2 menyebar secara kontinyu sebagaimana halnya sebaran normal, tetapi data yang akan diuji bersifat deskrit atau tidak kontinyu, atau menyebar secara binomial. Oleh karena itu, tabel X^2 yang memuat besaran peluang dengan derajat bebas tertentu hanya merupakan nilai kira-kira besarnya peluang.

Uji X^2 menguji kesesuaian ratio atau perbandingan antara frekuensi nilai yang diperoleh dari pengamatan yang sebenarnya dengan frekuensi nilai berdasarkan teori atau harapan. Frekuensi nilai berdasarkan teori itu dalam uji X^2 disebut nilai harapan. Uji kesesuaian frekuensi atau perbandingan nilai pada data dari berbagai kejadian sehari-hari juga dapat dilakukan menggunakan **Chi-Kuadrat**.

Rumus penghitungan X^2 adalah : $X^2 = \sum \left[\frac{(O-E)^2}{E} \right]$

O = data nilai berdasarkan pengamatan, nilai yang sebenarnya.

E = data nilai berdasarkan teori atau harapan

Nilai X^2 selalu positif dan semakin kecil selisih (O-E), akan semakin kecil nilai X^2 yang berarti semakin sesuai antara nilai pengamatan dengan nilai harapan.

Pada Uji X^2 , ratio berdasarkan teori atau harapan diposisikan sebagai hipotesis yang akan diuji, H_0 apabila data hasil observasi sesuai dengan data berdasarkan harapan atau teori, dan H_1 apabila data hasil observasi berbeda nyata dari data teori. Menerima H_0 berarti nilai data pengamatan sama dengan data yang diharapkan berdasarkan teori.

Bila diperoleh nilai X^2_{hitung} lebih kecil dari $X^2_{tabel (n) 0,05}$, hipotesa H_0 diterima, dan H_1 ditolak, yang berarti nilai hasil observasi sama dengan nilai berdasarkan harapan atau teori.

Pernyataan yang harus dipenuhi dalam penggunaan X^2 adalah (Little and Hill 1998) :

- (1). Kesesuaian hipotesis yang diuji *goodness of fit*, menggunakan X^2 harus rasional, berdasarkan teori dan atau bukti empiris yang ada.
- (2). Nilai harapan dapat dihitung dari teori atau informasi data yang ada.

- (3). Tabel X^2 memberikan kira-kira besarnya peluang, karena distribusi X^2 adalah kontinyu atau menyebar normal, sedangkan distribusi sampel pengamatan bersifat tidak kontinyu (*discret*).

Penggunaan Uji-Chi kuadrat antara lain untuk uji kesesuaian rasio segregasi sifat genetik Mendelian pada F_2 guna mengetahui susunan gen pengatur sifat yang bersangkutan. Misalkan pada persilangan tetua tahan penyakit dengan tetua peka penyakit diharapkan diperoleh ratio 3:1 antara individu tahan dan individu peka pada F_2 Uji Chi-kuadrat menerima H_0 , maka berarti gen pembawa sifat tahan adalah monogenik bersifat dominan. Dalam praktek, frekuensi segregasi tidak akan persis 3 : 1, itulah gunanya uji X^2 untuk menguji apakah nilai yang diperoleh tidak berbeda nyata dari harapan.

Contoh lain, dari persilangan kedelai berbunga ungu (PP) berbulu coklat (BB) dengan kedelai berbunga putih (pp) bulu putih (bb). Pada keturunan F_1 tanaman berbunga ungu bulu coklat (PpBb). Menurut teori Mendel, tanaman F_2 akan menunjukkan segregasi gen-gen sehingga diperoleh tanaman dengan porsi sebagai berikut : 9 P-B-; 3 ppB-; 3 P-bb; 1 ppbb, atau perbandingan 9:3:3:1.

Dari 3638 batang tanaman F_2 diperoleh segregasi tanaman, bila dilihat dari aspek bunga dan bulunya, memiliki komposisi sebagai berikut :

2061 batang, bunga ungu bulu coklat
645 batang, bunga putih bulu coklat
675 batang, bunga ungu bulu putih
256 batang, bunga putih bulu putih

Uji yang akan dilakukan, apakah populasi tanaman F_2 tersebut sesuai dengan rasio (perbandingan) segregasi keturunan persilangan 2 gen yang menurut Mendell memiliki perbandingan 9:3:3:1

Hypothesis :

H_0 : segregasi F_2 , sesuai dengan perbandingan 9:3:3:1

H_1 : segregasi F_2 tidak sesuai dengan perbandingan 9:3:3:1

Uji *Chi-kuadrat* : Frekuensi (jumlah batang tanaman) F_2 :

Kelas	Perbandingan berdasar teori	Data dari pengamatan (O)	Nilai Harapan berdasarkan teori (E)	(O-E)	(O-E) ²
Bunga ungu, bulu coklat	9	2061	2045,81	15,19	230,74
Bunga putih, bulu coklat	3	645	681,94	-36,94	1364,56
Bunga ungu, bulu putih	3	675	681,94	-6,94	48,16
Bunga putih, bulu putih	1	236	227,31	8,69	823,12
Jumlah	16	3637	3637		

$$X^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

$$X^2 = \sum \frac{230,74}{2045,81} + \frac{1364,56}{681,94} + \frac{48,16}{681,94} + \frac{823,12}{227,31}$$

$$X^2 = 0,113 + 2,001 + 0,071 + 3,621 = 5,806$$

Derajat bebas perbandingan adalah (n-1), atau 4-1 = 3

Dari tabel X^2 , nilai X^2 hasil hitungan terletak pada peluang $P=0,20$ dan $P = 0,10$, atau $X^2_{hitung} < X^2_{0,05}$, yang berarti terima H_0 , atau tidak terdapat perbedaan nyata antara data pengamatan dengan perbandingan 9:3:3:1. Segregasi atau frekuensi segregasi F_2 yang diamati sesuai (*good fit*) dengan Teori Mendel, 9:3:3:1.

Perlu diketahui bahwa Uji X^2 lebih mementingkan pengujian H_0 , berbeda dengan Uji statistik percobaan yang lebih mementingkan untuk menguji H_1 . Pada uji X^2 , menerima H_0 bukan berarti bahwa data pengamatan sama persis dengan data berdasarkan Teori atau harapan (*as expected*), tetapi menerima H_0 , berarti data pengamatan "tidak menyimpang nyata" dibanding data harapan.

Prosedur penelitian melalui percobaan/eksperimen dimulai dengan formulasi masalah sebagai obyek penelitian, diikuti dengan penyusunan rencana pemecahan masalah, dan menguji Hipotesis yang berkaitan dengan pemecahan masalah. Pengujian Hipotesis dapat dilakukan bila tersedia data dan data ini dapat diperoleh melalui percobaan yang diikuti dengan analisis data. Data yang diperoleh dari percobaan harus memiliki validitas dan reliabilitas yang tinggi, agar kesimpulan dari hasil pengujian Hipotesis dapat diandalkan kebenarannya. Oleh karena itu, perlu dipenuhi prinsip-prinsip persyaratan ilmiah dalam perancangan percobaan.

Prinsip perancangan percobaan mencakup 3 hal, yaitu adanya ulangan, random atau pengacakan dan pengendalian lokasi percobaan.

16.1. Ulangan (*replication*).

Ulangan berarti perlakuan yang diteliti dicobakan lebih dari sekali pada unit percobaan. Unit percobaan adalah satuan atau unit kecil percobaan yang menerima perlakuan. Misalnya pada percobaan pemupukan yang dilaksanakan di lapang yang menggunakan plot percobaan berukuran 4 m x 5 m. Plot berukuran 4 m x 5 m adalah **unit percobaan** yang diberi perlakuan pemupukan. Pada percobaan pemupukan tanaman dalam pot di rumah kaca, maka pot berstatus sebagai unit percobaan.

Ulangan dimaksudkan untuk menduga pengaruh random atau error percobaan. Makin banyak ulangan akan semakin teliti, tetapi konsekuensinya biaya percobaan juga meningkat. Ulangan diperlukan karena jarang atau tidak ada kejadian yang muncul/terjadi persis sama. Dengan ulangan maka pengaruh "kebetulan" dapat dieliminasi, sehingga data yang diperoleh berasal dari pengaruh perlakuan.

16.2. Pengacakan (*randomization*).

Penempatan perlakuan percobaan pada, unit percobaan harus dilakukan secara acak (*random*). Hal ini dimaksudkan untuk menghindari adanya bias atau pilih kasih terhadap perlakuan tertentu, dan untuk menghindari adanya kesalahan sistematis. Dengan pengacakan semua

unit percobaan memperoleh kesempatan posisi atau letak yang sama dalam menerima perlakuan yang dicobakan. Tujuan dari pengacakan adalah untuk menjamin agar pendugaan pengaruh perlakuan dan galat (error) percobaan menjadi tidak bias.

16.3. Pengendalian Lokasi (*Local Control*).

Tujuannya adalah agar semua unit percobaan homogen, tidak terdapat keragaman yang akan berpengaruh terhadap respon perlakuan yang diuji. Bila unit percobaan homogen, maka perlakuan percobaan merupakan satu-satunya faktor yang ingin diuji pengaruhnya terhadap materi uji. Oleh karena itu dalam melaksanakan percobaan harus diperhatikan agar faktor-faktor lain diluar perlakuan tidak memberikan pengaruh yang beragam terhadap unit percobaan. Dengan demikian maka pendugaan pengaruh perlakuan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor lain yang mungkin dapat berpengaruh terhadap materi uji.

Penerapan tiga prinsip dasar tersebut merupakan syarat utama pelaksanaan percobaan sesuai dengan prosedur ilmiah. Penggunaan ulangan juga untuk mengetahui konsistensi respon perlakuan disamping untuk menduga besarnya galat. Ulangan yang sedikit berakibat nilai galat menjadi relatif besar, sehingga pengukuran pengaruh perlakuan "kurang teliti". Secara umum, perkalian antara banyaknya perlakuan dengan ulangan minus satu atau $t(n-1)$, minimal dua belas. Kalau perlakuan yang diuji lima, banyaknya ulangan minimal empat, jadi $t(n-1) = 15$.

Pengacakan dalam penempatan perlakuan bertujuan agar tidak terjadi bias atau pilih kasih terhadap perlakuan tertentu. Walaupun semua unit percobaan atau semua petak percobaan dipersyaratkan homogen, akan tetapi pengacakan penempatan perlakuan tetap harus dilakukan.

Pengendalian lokasi dimaksudkan agar semua tindakan terhadap percobaan selain perlakuan yang diuji, adalah sama. Terhadap seluruh unit percobaan atau petak percobaan pengelolaannya sama, kecuali perlakuan yang diuji.

Dengan mengikuti tiga prinsip pelaksanaan percobaan tersebut, maka data hasil percobaan dinilai sah atau dapat dipercaya.

SUMBER KERAGAMAN DALAM PERCOBAAN

17.1. Tempat Percobaan

Heterogenitas atau ketidakseragaman unit-unit percobaan sebelum menerima perlakuan dapat mengakibatkan respon yang berbias terhadap perlakuan, dari respon yang sesungguhnya. Misalkan percobaan dilaksanakan menggunakan tanah dalam pot. Apabila tanah yang digunakan berasal dari bekas tanaman yang berbeda-beda maka kehomogenan tanah dalam pot tidak dapat diperoleh, sehingga respon tanaman terhadap perlakuan bersifat bias. Pada percobaan di lapang, seringkali percobaan memerlukan petak yang luas dan ini seringkali sulit dipenuhi. Penambahan area percobaan dengan membongkar galengan akan menimbulkan keragaman kesuburan tanah antar petak, karena bekas galengan mempunyai sifat fisik dan kimia yang berbeda dengan lahan disampingnya. Oleh karena itu kalau percobaan memerlukan lahan yang relatif luas, penggunaan bekas galengan dalam petak percobaan harus dihindari.

Kehomogenan lahan percobaan umumnya juga dipengaruhi oleh jenis tanaman pada musim sebelumnya, atau adanya perbedaan dosis pemupukan. Misalnya, bekas tanaman kacang-kacangan biasanya tanah menjadi lebih subur daripada bekas tanaman ubikayu. Oleh karena itu pengelompokan perlakuan dalam setiap ulangan atau "blok" perlu memperhatikan bekas tanaman sebelumnya. Setiap ulangan/kelompok/blok diusahakan harus berada pada petak bekas tanaman yang sama.

Pengaruh pemberian pupuk anorganik dan organik yang dosisnya berbeda pada tanaman musim sebelumnya sering kali juga ada pengaruhnya terhadap pertanaman percobaan. Oleh karena itu perlu menghindari penggunaan petak-petak yang menerima pupuk yang berbeda-beda pada musim tanam sebelumnya.

17.2. Bahan Percobaan

Jika bahan percobaan melibatkan benih tanaman, benih tanaman yang mempunyai viabilitas rendah tidak boleh digunakan untuk bahan percobaan, karena populasi tanaman percobaan menjadi sangat beragam. Sebelum ditanam seyogyanya ada informasi tentang daya tumbuh benih,

sehingga dapat ditentukan jumlah benih yang harus ditanam. Bila ada tanaman/rumpun yang hilang (*missing hill*), maka sewaktu penjarangan sekaligus dilakukan penyulaman agar banyaknya tanaman mendekati populasi yang diinginkan. Bahan percobaan yang bukan merupakan perlakuan, misalnya air untuk mengairi, pestisida untuk pengendalian OPT, juga harus sama.

17.3. Perlakuan Percobaan

Pada percobaan adaptasi varietas atau percobaan populasi tanaman dan percobaan sejenisnya, pemberian pupuk harus seragam. Ketakseragaman pemberian pupuk akan mengakibatkan keragaman respon percobaan yang berasal bukan dari perlakuan. Cara pemberian pupuk diusahakan setiap tanaman pada setiap plot memperoleh jumlah pupuk yang sama banyaknya. Pemberian pupuk yang disebar pada plot dapat mengakibatkan jumlah pupuk yang diterima setiap tanaman kurang seragam dibandingkan dengan pemberian pupuk pada setiap baris tanaman. Hal yang sama juga berlaku untuk percobaan efikasi pestisida atau herbisida. Materi percobaan pada setiap unit percobaan harus seragam, hanya perlakuan yang diteliti yang berbeda.

17.4. Pengendalian Percobaan di Luar Perlakuan Percobaan

Pertanaman percobaan di lapang seringkali dilakukan pengendalian hama-penyakit dan penyiangan. Pengendalian hama-penyakit dengan cara menyemprot pestisida harus dengan cara yang seragaman, terutama terhadap petak-petak dalam satu ulangan. Penyemprotan harus dilakukan seragam untuk semua unit percobaan atau untuk masing-masing ulangan. Demikian juga penyiangan, bila pelaksana tidak dapat menyelesaikan pekerjaan dalam sehari untuk satu percobaan, maka penyiangan harus diselesaikan pada satu ulangan terlebih dahulu dan ulangan yang lain dilanjutkan pada hari berikutnya.

Pada musim kemarau sering terjadi periode kekurangan air, terutama pada kebun yang jauh dari fasilitas pengairan. Dengan terbatasnya air, maka pemberian air pada semua petak harus sama banyaknya untuk semua ulangan. Perbedaan jumlah pemberian air akan berakibat terhadap respon perlakuan yang menjadi bias.

17.5. Pengukuran Respon Peubah

Satuan pengukuran respon peubah setiap perlakuan harus teliti sesuai ketentuan yang dijelaskan pada Bahan dan Metoda dan perlu dicatat dengan jelas. Penimbangan untuk mengukur bobot hasil percobaan harus sama ketelitiannya. Penggunaan alat timbang untuk mengukur bobot

tanaman atau hasil panen harus menggunakan timbangan yang sama. Bila menggunakan timbangan yang berbeda maka ada kemungkinan terjadi perbedaan bobot hasil yang bukan disebabkan oleh pengaruh perlakuan, tetapi karena alat ukur yang digunakan berbeda ketelitiannya.

17.6. Ukuran Petak dan Sampel Tanaman

Ukuran petak dan banyaknya sample yang akan diambil untuk pengamatan berbeda-beda tergantung jenis percobaan dan jenis obyek yang diteliti. Petak neto yang akan diambil datanya minimal 3 baris tanaman bagian tengah, yang memiliki kompetisi antar tanaman yang sama. Tanaman sampel yang diamati juga perlu diambil dari tanaman yang kompetisinya sama, bukan tanaman baris pinggir. Fungsi sampel adalah untuk menduga data dari unit percobaan, sehingga data sampel dari masing-masing perlakuan harus dirata-ratakan. Sampel dalam masing-masing petak percobaan tidak boleh diposisikan sebagai ulangan pengamatan, karena yang diulang adalah unit percobaan atau petak perlakuan percobaan.



RANCANGAN ACAK LENGKAP (*Completely Randomized Design*)

Rancangan acak lengkap digunakan apabila unit percobaan bersifat homogen atau relatif seragam. Rancangan ini biasanya digunakan pada percobaan yang berlangsung di laboratorium atau rumah kaca, tetapi tidak selalu percobaan yang dilaksanakan di rumah kaca atau laboratorium menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Dalam RAL tidak ada faktor lain yang dapat diperhitungkan sebagai sumber keragaman, selain perlakuan yang dicobakan.

Percobaan di rumah kaca menggunakan pot-pot, setiap pot dianggap sebagai unit percobaan. Bila kondisi pot, baik ukuran maupun isi tanah serta intensitas cahaya yang masuk, dan faktor lainnya bersifat homogen, maka percobaan dapat dilaksanakan dengan rancangan acak lengkap (RAL). Tetapi apabila diperkirakan dalam pengamatan peubah tanaman nantinya tidak dapat dilakukan pada hari yang sama untuk seluruh unit percobaan sehingga perlu pengamatan lanjutan untuk menyelesaikan pengamatan, maka faktor waktu pengamatan ikut mempengaruhi respon peubah tanaman. Dalam kondisi demikian rancangan, percobaan yang digunakan kurang tepat bila menggunakan RAL.

Apabila materi bahan percobaan jumlahnya terbatas, sehingga jumlah ulangan setiap perlakuan tidak sama banyaknya, maka dapat menggunakan RAL asalkan kondisi-kondisi seperti yang telah disebutkan terpenuhi.

18.1. Denah Percobaan RAL

Penempatan perlakuan pada seluruh unit percobaan dilakukan secara acak. Banyak alternatif cara pengacakan, misalnya dengan menggunakan daftar bilangan acak atau dengan cara undian. Misalnya perlakuan 5 (A,B,C,D, E), ulangan 4 kali. Salah satu kemungkinan dari denah percobaan dalam RAL dapat digambarkan sebagai berikut :

A	E	B	A	D
C	D	E	A	B
B	E	D	C	A
C	B	D	E	A

Perhatikan letak perlakuan pada RAL, setiap set lima perlakuan (A, B, C, D, E) tidak dilakukan pengelompokan, asalkan masing-masing perlakuan diulang lima kali

18.2. Model dan Analisis Data Percobaan dalam RAL

Model linier atau GLM RAL adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

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

μ = rata-rata umum

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i

ε_{ij} = galat pengamatan perlakuan ke-i dan ulangan ke-j.

Hipotesis yang diuji $H_0: \tau_i = 0$ dan $H_1: \tau_i \neq 0$

Data hasil pengamatan dari percobaan yang menggunakan RAL dengan t perlakuan dan r ulangan dapat disusun sebagai berikut :

Perlakuan	Ulangan					Jumlah
	1	2	..	..	r	
1	y_{11}	y_{12}	..	..	y_{1r}	$y_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	..	..	y_{2r}	$y_{2.}$
..
..
t	y_{t1}	y_{t2}	..	..	y_{tr}	$y_{t.}$
Jumlah	$y_{.1}$	$y_{.2}$	..	..	$y_{.r}$	$y_{..}$

$y_{.i}$ adalah jumlah data semua perlakuan pada ulangan -i

$y_{i.}$ adalah jumlah data semua ulangan pada perlakuan -i

$y_{..}$ adalah jumlah data semua perlakuan semua ulangan

Dari data yang telah diperoleh dapat disusun analisis keragaman sebagai berikut :

Anova

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F _{-hitung}
Perlakuan	t-1	JKP	KTP	KTP/KTG
Galat	t(r-1)	JKG	KTG	
Total	tr-1	JKT		

$$\text{Faktor koreksi (FK)} = \frac{Y_{..}^2}{tr} = \frac{(\sum Y_{ij})^2}{tr}$$

$$\text{Jumlah kuadrat total (JKT)} = \sum Y_{ij}^2 - \text{FK}$$

$$\text{Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)} = \frac{(\sum y_{i.})^2}{r} - \text{FK}$$

$$\text{Jumlah kuadrat galat (JKG)} = \text{JKT} - \text{JKP}$$

Hipotesis yang diuji :

Ho: Tidak ada perbedaan antar rata-rata perlakuan ($H_0: \tau_i = 0$)

H1: Paling sedikit ada sepasang rata-rata perlakuan yang berbeda ($H_1: \tau_i \neq 0$)

Kriteria pengujian pada taraf α :

- Jika $F_{\text{hitung}} \leq F_{\alpha}(\text{db. perlakuan, db. galat})$ maka terima H_0 , berarti tidak ada pengaruh nyata dari perlakuan yang diuji.
- Jika $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(\text{db. perlakuan, db. galat})$ maka tolak H_0 atau terima H_1 , berarti terdapat pengaruh nyata paling sedikit pada sepasang perlakuan yang diuji.

Percobaan dalam RAL dengan jumlah ulangan tidak sama.

Dari data yang telah diperoleh dapat disusun analisis keragaman (ANOVA=analysis of variance) sebagai berikut :

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Kuadrat tengah	F _{-hitung}
Perlakuan	t-1	JKP	KTP	KTP/KTG
Galat	n - t	JKG	KTG	
Total	n - 1	JKT		

n_i = banyaknya ulangan ke-i

Sebagai ilustrasi analisis RAL digunakan data uji varietas padi, dengan data panjang akar tanaman padi, 7 varietas pada umur 4 minggu, sebagai berikut :

- Judul Percobaan : Pertumbuhan akar tanaman padi pada pot, umur 4 minggu.
- Rancangan : RAL
- Perlakuan : 7 varietas
- Ulangan : 3

Data hasil pengamatan panjang akar (cm) :

Varietas	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3
A	23.1	23.9	25.5
B	23.2	30.1	20.8
C	6.8	14.9	21.1
D	17.2	7.1	13.1
E	17.6	18.3	13.6
F	17.5	13.5	19.8
G	22.9	15.0	11.5

Data dianalisis dengan MS-EXCEL dengan tahapan sebagai berikut :

- Pilih data → data analysis → Anova-Single Factor,
- Pilih *input range*,
- Pilih *output range*,
- Pilih *group by: row* (bila data perlakuan sebagai *row*),
- Ok.

Hasilnya sebagai berikut :

Pada Output :

- Group : berarti perlakuan atau varietas
- Count : berarti ulangan
- Between groups : artinya "perlakuan"
- Within groups : artinya galat atau error percobaan
- SS : jumlah kuadrat, df (derajat bebas)
- MS : kuadrat tengah (*mean square*)
- F : F_{hitung}

Anova : Single Factor

Summary

Groups	Count	Sum	Average	Variance
A	3	72.5	24.16667	1.493333
B	3	74.1	24.7	23.31
C	3	42.8	14.26667	51.42333
D	3	37.4	12.46667	25.80333
E	3	49.5	16.5	6.43
F	3	50.8	16.93333	10.16333
G	3	49.4	16.46667	34.10333

Anova :

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups (perlakuan)	399.5295	6	66.58825 ⁷⁾	3.051974	0.040017	2.847726
Within Groups (Galat)	305.4533	14	21.8181			
Total	704.9829	20				

P-Value < 0,05 berarti pengaruh perlakuan nyata pada taraf 5%.

$F_{hitung} = 3,052$ lebih besar dari pada $F_{tabel (0,05)} = 2,848$ jadi tolak H_0 , berarti terima H_1

Jika data dianalisis dengan software Minitab, maka data dimasukkan dalam kolom:

Data dalam Minitab:

Rep	varitas	pjakar
1	1	23.1
1	2	23.2
1	3	6.8
1	4	17.2
1	5	17.6
1	6	17.5
1	7	22.9
2	1	23.9
2	2	30.1
2	3	14.9
2	4	7.1
2	5	18.3
2	6	13.5
2	7	15
3	1	25.5
3	2	20.8
3	3	21.1
3	4	13.1
3	5	13.6
3	6	19.8
3	7	11.5

Untuk menghasilkan Anova, pada menu Minitab :

- Pilih Stat → Anova → General Linear model,
- Pilih peubah yang dianalisis,
- Pada kotak diaalog model → pilih varietas.

Hasil Anova sebagai berikut :

Analysis of Variance for panjang akar

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
varietas	6	399,53	399,53	66,59	3,05	0,040
Error	14	305,45	305,45	21,82		
Total	20	704,98				

$F_{hitung} = 3,05$ terletak pada peluang $P = 0,04$ atau lebih kecil dari $P = 0,05$. Jadi tolak H_0 dan terima H_1

Hasil Anova menunjukkan bahwa terdapat pengaruh nyata varietas terhadap panjang akar, atau terdapat perbedaan nyata panjang akar antara varietas yang diuji pada taraf nyata $< 5\%$. Nilai P dalam Anova terletak pada $P = 0,040$. Bila taraf nyata ditetapkan sebesar 5% atau $0,050$, maka dapat dinyatakan terdapat pengaruh nyata dari varietas terhadap panjang akar, atau terdapat perbedaan nyata antar panjang akar, yang berasal dari varietas yang diuji. Untuk menguji perlakuan varietas mana yang panjang akarnya berbeda dilakukan uji beda nilai rata-rata perlakuan, menggunakan beda nyata terkecil (BNT) atau *least significant different* (LSD) atau menggunakan beda nyata jujur (BNJ).

RANCANGAN ACAK KELOMPOK LENGKAP

(Randomized Blocks Design)

Percobaan di lapangan yang kurang homogen kondisinya, setiap ulangan dikelompokkan dalam satu kelompok. Percobaan yang dilakukan dengan empat ulangan memiliki empat kelompok atau empat blok. Apabila antar kelompok terdapat perbedaan, maka kelompok atau blok atau ulangan menjadi faktor lain yang dapat memengaruhi besarnya respon peubah tak bebas (*dependent variable*), yang dapat dipisahkan sebagai sumber keragaman lain selain keragaman yang berasal dari perlakuan.

Perlakuan-perlakuan yang diuji setiap ulangan ditempatkan dalam kelompok. Syarat pengelompokan yaitu keragaman (*variasi*) dalam kelompok lebih kecil dibandingkan variasi antar kelompok. Dalam bidang pertanian, pengelompokan ini misalnya berdasarkan tingkat kesuburan tanah yang berbeda atau bekas pertanaman musim sebelumnya yang berbeda. Misalnya, pengelompokan perlakuan berdasarkan bekas tanaman jagung atau kedelai, agar unit-unit percobaan dalam satu kelompok tidak banyak variasinya, karena ditanam pada bekas tanaman yang sama. Petak-petak antar kelompok variasinya lebih besar, karena unit-unit percobaan dalam kelompok I pada bekas tanaman jagung, sedangkan unit percobaan kelompok II, III dan IV pada bekas tanaman kedelai. Yang penting dalam pengelompokan adalah semua perlakuan yang dicobakan terdapat dalam kelompok yang lingkungannya homogen. Apabila percobaan menggunakan lahan bekas tanaman yang sama, penggunaan RAK tetap dapat dianjurkan, gunanya untuk memisahkan pengaruh dari keragaman lingkungan percobaan.

Model linier umum (MLU) atau general linear model (GLM); percobaan RAK adalah : $Y_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \epsilon_{ij}$

- Y_{ij} = nilai pengamatan perlakuan ke i ulangan ke j
- μ = nilai tengah umum
- β_j = pengaruh blok atau ulangan ke j
- τ_i = pengaruh perlakuan ke i
- ϵ_{ij} = pengaruh galat atau error percobaan

Prosedur menentukan denah percobaan:

- Kelompok atau blok berisi semua perlakuan dalam satu ulangan
- Penentuan kelompok atas dasar pengelompokan seperti disebutkan di atas, dalam satu blok percobaan kondisinya relatif homogen
- Setiap kelompok dibagi menjadi unit-unit percobaan sebanyak jumlah perlakuan yang dicobakan. Jumlah kelompok atau blok adalah sama dengan jumlah ulangan
- Penempatan secara acak semua perlakuan dalam satu kelompok, masing-masing perlakuan dalam satu unit percobaan. Penempatan perlakuan pada unit percobaan dilakukan secara acak dalam setiap kelompok.

Bila perlakuan ada 6, yaitu A, B, C, D, E dan F, banyaknya ulangan/kelompok ada 4, maka denah percobaan dapat berupa sebagai berikut:

Kelompok I	A	C	B	E	F	D
Kelompok II	B	C	D	F	A	E
Kelompok III	D	E	B	A	F	C
Kelompok IV	A	B	C	D	E	F

Dalam RAK setiap kelompok berfungsi sebagai satu ulangan. Setiap perlakuan menempati satu "unit percobaan", sehingga setiap ulangan terdapat 6 (enam) unit percobaan, dan satu percobaan dengan 4 (empat) ulangan, terdapat 6×4 unit percobaan = 24 unit percobaan. Data diamati dari setiap unit percobaan.

Model dan Analisis Data Percobaan dalam RAK

Dalam rancangan acak kelompok lengkap (RAK) terdapat dua sumber keragaman yaitu berasal dari perlakuan dan dari kelompok atau blok atau ulangan.

Model statistika atau GLM bagi rancangan acak kelompok adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

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

μ = rata-rata umum

β_i = pengaruh kelompok atau blok ke j

τ_i = pengaruh perlakuan ke i

ϵ_{ij} = galat pengamatan

Percobaan yang menggunakan RAK, terdapat 2 Hipotesis yang dapat diuji, pengaruh kelompok dan pengaruh perlakuan. Pengaruh faktor lain yang tidak bisa dilakukan pada blok dan perlakuan dimasukkan pada galat percobaan. Semakin kecil galat percobaan maka semakin teliti pengukuran pengaruh blok dan pengaruh perlakuan, dan sebaliknya.

Pengaruh Kelompok :

H0 Tidak ada perbedaan rata-rata antar pengaruh blok atau ulangan ($\beta_i=0$).

H1: Paling sedikit ada sepasang rata-rata blok yang berbeda ($\beta_i \neq 0$).

Dalam praktek uji hipotesis terhadap kelompok atau ulangan tidak dipentingkan, karena tidak memberikan informasi terkait dengan tujuan penelitian atau tentang pengaruh perlakuan yang diuji.

Hipotesis Pengaruh Perlakuan :

H0: Tidak ada perbedaan antar rata-rata perlakuan; dengan simbol ($\tau_i = 0$)

H1: Paling sedikit ada sepasang rata-rata perlakuan yang berbeda ($\tau_i \neq 0$)

Apabila $F_{hitung} > F_{tabel\ 0,05}$, tolak H0 dan terima H1

Apabila $F_{hitung} < F_{tabel\ 0,05}$, terima H0 dan tolak H1

Data hasil pengamatan percobaan yang menggunakan RAK dengan t perlakuan dan r ulangan dapat disusun sebagai berikut :

Perlakuan	Kelompok/Ulangan				r	Jumlah
	1	2	..	..
1	y11	y12	..	..	y1r	y1.
2	y21	y22	..	..	y2r	y2.
..
..
t	yt1	yt2	..	..	ytr	yt.
Jumlah	y.1	y.2	..	..	y.r	y..

y_{ij} = data peubah perlakuan ke-i pada ulangan ke -j

$y_{i.}$ = jumlah perlakuan ke-i semua ulangan

$y_{.j}$ = jumlah semua ulangan, perlakuan ke -j

$y_{..}$ = jumlah semua perlakuan, semua ulangan, atau disebut *grand total*

Analisis keragaman (Anova)

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-hitung
Ulangan	$r - 1$	JKK	KTK	KTK/KTG
Perlakuan	$t - 1$	JKP	KTP	KTP/KTG
Galat	$(r-1)(t-1)$	JKG	KTG	
Total	$(t \times n) - 1$	JKT		

r = banyaknya ulangan

t = banyaknya perlakuan

$$\text{Faktor koreksi (FK)} = \frac{y_{..}^2}{tr} = \frac{(\sum y_{ij})^2}{tr}$$

$$\text{Jumlah kuadrat total (JKT)} = (\sum y_{ij})^2 - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat kelompok (JKK)} = \frac{(\sum y_{i.})^2}{t} - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)} = \frac{(\sum y_{.i})^2}{r} - FK$$

$$\text{Jumlah kuadrat galat (JKG)} = JKT - JKP - JKK$$

$$KTK = \frac{JKK}{r-1}$$

$$KTP = \frac{JKP}{t-1}$$

$$KTG = \frac{JKG}{(r-1)(t-1)}$$

Contoh data berat biji (kg/plot), percobaan RAK, 3 ulangan dengan 8 perlakuan sebagai berikut : *)

Perlakuan	Blok 1	Blok 2	Blok 3
A	9.9	9.1	11.0
B	9.8	9.9	9.8
C	10.5	9.4	12.9
D	12.3	12.2	12.8
E	13.3	14.5	13.9
F	11.1	13.0	11.4
G	13.1	12.4	15.0
H	9.7	10.9	11.4

*) Jenis percobaan dan perlakuan sengaja tidak dijelaskan hanya sebagai ilustrasi analisis data rancangan RAK)

Keterangan :

Blok = Ulangan; 3 ulangan

Berat biji dalam kg/plot

Analisis data menggunakan MS-EXCEL.

Pilih *Data* → *Data analysis* → *Two-Factor without replication*

Pilih *input range*,

Pilih *output range*

Hasilnya sebagai berikut :

Anova, Two-Factor Without Replication :

Summary	Count	Sum	Average	Variance
Row 1	3	29.995	9.998333	0.934233
Row 2	3	29.445	9.815	0.004225
Row 3	3	32.815	10.93833	3.159108
Row 4	3	37.285	12.42833	0.098433
Row 5	3	41.7075	13.9025	0.357006
Row 6	3	35.58	11.86	1.063525
Row 7	3	40.52	13.50667	1.762433
Row 8	3	31.995	10.665	0.758125
Column 1	8	89.67	11.20875	2.253098
Column 2	8	91.48	11.435	3.685971
Column 3	8	98.1925	12.27406	2.840861

Row = perlakuan; Count = ulangan per perlakuan; Column = ulangan semua perlakuan

Anova :

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows (Perlakuan)	50.22561	7	7.175088 ¹⁾	8.941797	0.000299	2.764199
Columns (Ulangan)	5.040282	2	2.520141	3.140671	0.074683	3.738892
Error	11.2339	14	0.802421			
Total	66.49979	23				

$F_{hitung\ perlakuan} = 8,94$ lebih besar daripada $F_{tabel\ 0.05} = 2,76$, jadi tolak H_0 dan terima H_1 . Paling sedikit terdapat sepasang perlakuan yang berbeda nyata.

$F_{hitung\ blok} = 3,14$ lebih kecil daripada $F_{tabel\ 0.05} = 3,74$, terima H_0 , tolak H_1 , tidak terdapat perbedaan nyata antar blok

Analisis keragaman menggunakan Minitab,

data peubah dientry dalam kolom :

Blok	Perl	Berat
1	1	9.9
1	2	9.8
1	3	10.5
1	4	12.3
1	5	13.3
1	6	11.1
1	7	13.1
1	8	9.7
2	1	9.1
2	2	9.9
2	3	9.4
2	4	12.2
2	5	14.5
2	6	13

Blok	Perl	Berat
2	7	12.4
2	8	10.9
3	1	11
3	2	9.8
3	3	12.9
3	4	12.8
3	5	13.9
3	6	11.4
3	7	15
3	8	11.4

Menu Minitab:

- Pilih Stat → Anova → General Linear,
- Pilih respon peubah,
- Pada kotak dialog Model cantumkan peubah → Blok perlakuan
- Ok

Hasil Anovanya:

Analysis of Variance for berat biji.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blok	2	5.0575	5.0575	2.5288	3.12	0.076
Perlakuan	7	49.9029	49.9029	7.1290 [*]	8.80 ^{**}	0.000
Error	14	11.3358	11.3358	0.8097		
Total	23	66.2962				

^{**} = pengaruh perlakuan sangat nyata; pengaruh blok tidak nyata

Dari hasil analisis menggunakan MS-EXCEL maupun Minitab menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh blok terhadap berat biji, tetapi perlakuan sangat nyata ($P < 0.01$) mempengaruhi berat biji.

Hipotesis perlakuan tolak H_0 dan terima H_1 , atau dengan kata lain, paling sedikit terdapat sepasang perlakuan yang memberikan pengaruh sangat nyata.

Untuk menunjukkan perlakuan mana yang berbeda nyata, data perlakuan dari tiga ulangan dirata-ratakan, dan perbedaan nilai rata-rata (mean separation) dihitung menggunakan BNT atau HSD 5%

Pada setiap Anova dari setiap data peubah ditunjukkan koefisien keragaman (KK) atau coefficient of variation (CV) : dalam %

Anova menggunakan data asli, misalnya kg/petak, atau menggunakan data yang telah dikonversi menjadi t/ha, hasilnya Anovanya sama, walaupun angkanya berbeda.

RANCANGAN BUJUR SANGKAR LATIN (*Latin Square Design*)

Rancangan Bujur Sangkar Latin (*Latin Square Design*) digunakan untuk mengeluarkan pengaruh lingkungan percobaan dari dua arah, sehingga pengukuran keragaman pengaruh perlakuan lebih teliti. Kalau percobaan akan dilaksanakan pada suatu petak atau pada bahan percobaan, yang unit-unit percobaannya mempunyai kecenderungan keragaman dalam dua arah karena pengaruh radiasi sinar matahari atau kesuburan tanah, maka penempatan perlakuan dapat dibuat dalam 'baris' dan 'kolom'. Percobaan yang menggunakan rancangan RBSL mengharuskan jumlah ulangan sama dengan banyaknya perlakuan, seperti 6 perlakuan dengan 6 ulangan; 5 perlakuan, dengan 5 ulangan; dan seterusnya.

Prosedur pengacakan RBSL harus memenuhi syarat bahwa perlakuan yang ditempatkan dalam satu baris atau kolom tidak boleh ada yang sama, seperti pada contoh di bawah ini

Untuk RBSL perlakuan sebanyak 4 dan 5, pengacakan penempatan perlakuan dapat dibuat seperti berikut :

Rancangan Bujur Sangkar Latin (RBSL)

RBSL 4 x 4				RBSL 5 x 5				
A	B	D	C	A	D	B	E	C
B	C	A	D	D	A	C	B	E
C	D	B	A	C	B	E	D	A
D	A	C	B	B	E	A	C	D
				E	C	D	A	B

Model dan analisis data percobaan dalam RBSL

Model statistika RBSL atau MLU/GLM adalah :

$$y_{ijk} = u + \beta_i + \kappa_j + \tau_k + \varepsilon_{ijk}$$

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

u = rata-rata umum

β_i = pengaruh baris ke-i

κ_j = pengaruh kolom ke-j

τ_k = pengaruh perlakuan ke-k

ε_{ijk} = pengaruh galat pengamatan

Anova RSBL disusun seperti dibawah ini :

Sumber keragaman	db	JK	KT	F _{hitung}
Baris	k-1	JKB	KTB	KTB/KTG
Kolom	k-1	JKK	KTK	KTK/KTG
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	KTP/KTG
Galat	(k-1)(k-2)	JTG	KTG	
Total	kk-1	JKT		

$$\text{Faktor Koreksi (FK)} = y_{...}^2/k^2$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum y_{ijk}^2 - \text{FK}$$

$$\text{JKB} = \sum y_{i.}^2 - \text{FK}$$

$$\text{JKK} = \sum y_{.j}^2 - \text{FK}$$

$$\text{JKP} = \sum y_{.k}^2 - \text{FK}$$

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

Ada 3 Hipotesis yang dapat diuji yaitu pengaruh baris, kolom dan perlakuan. Namun yang terpenting dari segi tujuan percobaan adalah uji hipotesis perlakuan. F_{hitung} (perlakuan) adalah KTP/KTG dibandingkan dengan $F_{tabel 0,05}$

Contoh penerapan analisis data RBSL :

Data tinggi tanaman 4 perlakuan jenis pupuk (A, B, C dan D) diberikan pada 4 lahan berteras dari 4 petani. Hasil analisis data RBSL dengan MS-EXCEL dan secara manual disajikan dibawah ini :

Data tinggi tanaman (cm) :

Jenis Perlakuan Pupuk	Petani			
	P	Q	R	S
1	41 (A)	38 (B)	35 (C)	30 (D)
2	33 (C)	32 (D)	45 (A)	40 (B)
3	30 (D)	42 (A)	35 (B)	32 (C)
4	38 (B)	30 (C)	33 (D)	44 (A)

Pupuk	Petani				Jumlah baris	Kuadrat
	P	Q	R	S		
1	41	38	35	30	144	20736
2	33	32	45	40	150	22500
3	30	42	35	32	139	19321
4	38	30	33	44	145	21025
Jml kolom	142	142	148	146	578	83582
Kuadrat	20164	20164	21904	21316	83548	

Jenis Pupuk	Petani				Jumlah baris	Kuadrat
	P	Q	R	S		
A	41	42	45	44	172	29584
B	38	38	35	40	151	22801
C	33	30	35	32	130	16900
D	30	32	33	30	125	15625
Jml Kolom	142	142	148	146	578	84910

Teras	Kuadrat nilai pengamatan			Jumlah
1	1681	1444	1225	900
2	1089	1024	2025	1600
3	900	1764	1225	1024
4	1444	900	1089	1936
				21270
FK = 20880				

Anova

SK	db	JK	KT	F-hitung	F-Tabel 5%
Teras	3	15.25	5.08	1.48	4.75
Petani	3	6.75	2.25	0.65	4.75
Jenis pupuk	3	347.25	115.75**)	33.87	4.75
Galat	6	20.5	3.41		

**) = sangat nyata pada taraf peluang $<0,01$

Dari Anova menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh teras dan petani terhadap tinggi tanaman, tetapi jenis pupuk nyata mempengaruhi tinggi tanaman.

Analisis data RBSL pengaruh pemupukan terhadap tinggi tanaman menggunakan MINITAB.

Data disajikan sebagai berikut:

Teras	Petani	Pupuk	Data
1	1	1	41
2	1	3	33
3	1	4	30
4	1	2	38
1	2	2	38
2	2	4	32
3	2	1	42
4	2	3	30
1	3	3	35
2	3	1	45
3	3	2	35
4	3	4	33
1	4	4	30
2	4	2	40
3	4	3	32
4	4	1	44

Menu Minitab:

- Pilih Stat → ANOVA → General Linear,
- Pilih Response Data
- Pada kotak dialog Model cantumkan peubah → Teras Petani Pupuk
- Ok

Hasil ANOVAny sebagai berikut.

Analysis of Variance for Data, using Ajusted SS for Tests :

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Teras	3	15,250	15,250	5,083	1,49	0,310
Petani	3	6,750	6,750	2,250	0,66	0,607
Pupuk	3	347,250	347,250	115,750 ^{*)}	33,88	0,00
Error	6	20,500	20,500	3,417		
Total	15	389,750				

^{*)} = sangat nyata pada taraf peluang <0,01

UJI BEDA ANTAR RATA-RATA PERLAKUAN

Bila dalam Anova F-hitung lebih besar daripada $F_{\text{tabel}} 0,05$, maka berarti Hipotesis H_0 ditolak, dan analisis dilanjutkan untuk menguji perlakuan yang berbeda satu terhadap lainnya. Uji beda rata-rata perlakuan disebut juga pembedaan antar rata-rata perlakuan (*means separation*).

Metode pengujian antar rata-rata perlakuan, diantaranya adalah :

- (1). Uji LSD (*Least Significant Difference*) atau BNT (Beda Nyata Terkecil).
- (2). Uji Dunnet
- (3). Uji Tukey (HSD = *Honest Significant Difference*) atau BNJ (Beda Nyata Jujur).
- (4). DMRT (*Duncan Multiple Range Test*)

21.1. Uji LSD (*Least Significant Difference*) atau BNT (Beda Nyata Terkecil).

Uji BNT diterapkan apabila dari masing-masing perlakuan yang diuji akan dibandingkan dengan perlakuan standar atau kontrol atau pembanding baku. Apabila perbedaan antara perlakuan dengan standar melebihi nilai BNT 5%, dikatakan perbedaan itu nyata, dan bila melebihi nilai BNT 1% perbedaan sangat nyata.

BNT dihitung menggunakan rumus : $BNT = \frac{t}{2} \sqrt{\frac{2 KTG}{r}}$.

Bila banyaknya ulangan tak sama, $BNT = \frac{t}{2} \sqrt{KTG \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{r} \right)}$; $t_{\text{tabel-t}} (5\%)$; KTG = kuadrat tengah galat, dengan derajat bebas (db) galat.

$$BNT = t \sqrt{\frac{2MS_{\text{error}}}{r}} = t \sqrt{\frac{2 KTG}{r}} \quad ; \text{ tabel-t pada taraf } \alpha \text{ dan menggunakan } v=\text{db galat.}$$

Jika beda perlakuan dengan standar lebih besar dari BNT, maka perlakuan tersebut dinyatakan berbeda nyata pada taraf α . Uji BNT sangat sesuai untuk perbandingan berpasangan yang direncanakan, tetapi tidak sah untuk membandingkan semua pasangan perbandingan yang mungkin dapat disusun (Gomez dan Gomez, 1985). Satuan BNT harus disesuaikan dengan satuan nilai rata-rata yang akan diuji, yang telah dikonversikan, misalnya dari kg/petak menjadi t/ha.

21.2. Uji Dunnett

Perbandingan suatu perlakuan terhadap kontrol menggunakan uji Dunnett. Nilai pembeda Dunnett $D = d_{\alpha, fe, t}$, $t = p - 1$, $t = \text{jumlah perlakuan}$, $d_{\alpha, p} = \text{nilai dari Tabel uji Dunnett pada taraf } \alpha \text{ (selang kepercayaan } 1 - \alpha) \text{ dan pada } p \text{ dengan derajat bebas galat } fe$. Jika selisih perlakuan dengan perlakuan kontrol lebih besar dari nilai D , maka perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan kontrol.

Cuplikan Tabel Dunnett untuk uji dua arah dengan taraf $\alpha = 5\%$ (selang kepercayaan 95%) untuk derajat fe (Steel dan Torrie, 1989) sebagai berikut:

Derajat bebas fe	p				
	4	5	6	7	8
8	3.13	3.28	3.40	3.51	3.60
9	3.04	3.18	3.29	3.39	3.48

21.3. Uji Tukey (HSD = *Honest Significant Difference*) atau BNJ (Beda Nyata Jujur).

Uji BNT digunakan untuk membandingkan satu perlakuan terhadap perlakuan lain (semua kemungkinan pasangan perlakuan). Nilai rata-rata antara dua perlakuan dinyatakan berbeda nyata, bila perbedaannya melebihi BNJ taraf α , $BNJ = q \sqrt{\frac{KTG}{r}}$; $q = \text{nilai pada tabel } q \text{ taraf } \alpha$; dengan bebas perlakuan; $KTG = \text{kuadrat tengah galat}$; $r = \text{ulangan masing-masing perlakuan}$.

Bila ulangan berbeda, r didekati dengan rata-rata harmonik (rh), dengan rumus: $rh = \frac{t}{(\sum \frac{1}{r_i})}$. Bila perlakuan berbeda: $rh = \frac{p}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \dots + \frac{1}{r_n}} = \frac{p}{(\sum \frac{1}{r_i})}$

Cuplikan Tabel $q_{\alpha, fe, p}$ untuk uji Tukey (HSD) $\alpha = 0.05$ (Steel dan Torrie, 1989)

Derajat bebas f	p				
	4	5	6	7	8
8	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60
9	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43

21.4. Uji DMRT (Duncan Multiple Range Test)

Uji DMRT dapat digunakan untuk membandingkan semua kemungkinan pasangan perlakuan. Selisih dua perlakuan yang dibandingkan lebih besar dari nilai kritis DMRT (R_p), maka kedua perlakuan tersebut berbeda nyata.

Nilai kritis DMRT: $R_p = r_{\alpha, p; db, galat} \sqrt{KTG/r}$. Bila ulangan tak sama r didekati dengan rata-rata harmonik rh ; $rh = t / \sum 1/r_i$.

Sebagai contoh penerapan uji beda rata-rata perlakuan dengan Uji Tukey (BNJ/HSD) dan Uji Dunnet yang menggunakan varietas 1 sebagai perlakuan kontrol, digunakan data pada percobaan yang dilaksanakan dalam RAK sebelumnya serta menggunakan MINITAB.

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Response variable; Pilih Model blok var

Pilih Multiple comparison → Tukey atau Dunnet → Ok

Hasil ANOVA dan hasil uji beda rata-rata perlakuan dengan uji Tukey sbb:

Analysis of variance for biji, using adjusted SS for tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rep	2	5,0575	5,0575	2,5287	3,12	0,076
Var	7	49,9029	49,9029	7,1290	8,80	0,000
Error	14	11,3358	11,3356	0,8097		
Total	23	66,2963				

S = 0,899845 R-Sq = 82,90% R-Sq (Adj) = 71,91%

Grouping Information Using Turkey Method and 95% Confidence

Var	N	Mean	Grouping			
6	3	13,900	A			
7	3	13,500	A	B		
4	3	12,433	A	B	C	
6	3	11,833	A	B	C	D
3	3	10,933		B	C	D
8	3	10,667			C	D
1	3	10,000				D
2	3	9,833				

Nilai rata-rata diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata

Hasil ANOVA dan hasil uji beda rata-rata perlakuan dengan uji Dunnet sebagai berikut:

Analysis of variance for biji, using adjusted SS for tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rep	2	5,0575	5,0575	2,5287	3,12	0,076
Var	7	49,9029	49,9029	7,1290	8,80	0,000
Error	14	11,3358	11,3356	0,8097		
Total	23	66,2963				

S = 0,899845 R-Sq = 82,90% R-Sq (Adj) = 71,91%

Var	N	Mean	Grouping
1 (control)	3	10,000	A
5	3	13,900	
7	3	13,500	
4	3	12,433	
6	3	11,833	A
3	3	10,933	A
8	3	10,667	A
2	3	09,833	A

Nilai rata-rata yang diikuti huruf yang tidak berbeda nyata dengan kontrol

21.5. Uji beda rata-rata antar kelompok perlakuan (uji kontras)

Uji beda nilai rata-rata yang telah dibahas sebelumnya masing-masing membandingkan antar rata-rata perlakuan. Bila yang akan dibandingkan merupakan rata-rata kelompok perlakuan, maka digunakan adalah uji pembandingan kontras. Uji pembandingan kontras juga dapat digunakan untuk menguji pola kecenderungan respon, akibat perlakuan yang berupa taraf-taraf kuantitatif. Uji pola kecenderungan (*trend*) bisa dalam bentuk polinomial berderajat satu (*linier*), derajat dua (*kuadratik*), dan seterusnya. Uji kontras juga disebut uji dengan derajat bebas satu (*single degree of freedom comparison*), karena yang dibandingkan merupakan rata-rata dua kelompok perlakuan.

Dari tabel Anova, derajat bebas sumber keragaman perlakuan dapat dirinci menjadi komponen-komponen pembandingan kontras, masing-masing dengan derajat bebas 1 (satu). Gambaran sederhana perbandingan kontras adalah seperti :

$$T_1 - T_2 = 0$$

$$\frac{T_1 + T_2}{2} - T_3 = 0$$

$$(T_1 + T_2) - (T_3 + T_4) = 0$$

Masing-masing persamaan tersebut berfungsi sebagai H_0 .

Perbandingan kontras berderajat bebas satu menguji hipotesis :

$$H_0 = c_1\mu_1 + c_2\mu_2 + c_3\mu_3 + \dots + c_t\mu_t = 0$$

c_i = koefisien perbandingan kontras perlakuan ke- i

Syarat perbandingan kontras adalah :

1. Jumlah koefisien perbandingan = 0; $\sum c_i = 0$
2. Ortogonal, yaitu : $\sum c_i = 0$, $\sum d_i = 0$; $\sum c_i d_i = 0$ (d_i = koefisien pembandingan kontras yang lain).

3. Jumlah kuadrat perbandingan kontras, $JKC = \frac{(\sum ciYi)^2}{r(\sum ci)^2}$

Kriteria Uji Kontras

Jika $F\text{-hitung} > F\alpha$ ($db1=1$, $db2=db$ galat), maka tolak H_0 dan terima H_1 , artinya ada perbedaan nyata antar kelompok perlakuan yang dibandingkan secara kontras pada taraf α .

21.6. Kontras ortogonal polinomial

Kontras polinomial digunakan bila kelompok perlakuan/faktor yang akan diuji bersifat kuantitatif. Bentuk polinomial yang diuji dapat berupa ordo-1 (linier), ordo-2 (kuadratik), ordo-3 (kubik), dan seterusnya. Koefisien kontras untuk menguji pola kecenderungan telah ditetapkan nilainya. Bila jarak (interval) antar perlakuan sama panjangnya, maka koefisien kontras disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Koefisien perbandingan kontras ortogonal polinomial beberapa perlakuan dengan jarak taraf yang sama.

Jumlah perlakuan	Ordo polinomial	T1	T2	T3	T4
3	Linier	-1	0	1	
	Kuadratik	1	-2	1	
4	Linier	-3	-1	1	3
	Kuadratik	1	-1	-1	1
	Kubik	-1	3	-3	1

Syarat Ortogonal :

$$\sum Li = ta + \sum Xi = 0$$

$$\sum Qi = tb + c \sum Xi + \sum Xi^2 = 0$$

$$\sum LiQi = (a + Xi)(b + cXi + Xi^2) = 0$$

Nilai a, b dan c dapat dihitung dari ketiga persamaan tersebut diatas.

Sebagai contoh bila perlakuan yang diuji pada taraf: 0, 2, 3 dan 4

Perlakuan (t)	1	2	3	4	Jumlah
X_i	0	2	3	4	9
X_i^2	0	4	9	16	29

$$4a + 9 = 0$$

$$4b + 9c + 29 = 0$$

$$(a + 9)(b + 9c + 29) = 0$$

$$a = -9/4$$

$$b = 10/7$$

$$c = -27/7$$

Dengan demikian koefisien kontrasnya yaitu :

Untuk $X = 0$, $L1 = a + X1 = -9/4 + 0 = -9/4$

$Q1 = b + cX1 + X1^2 = 10/7 - 27/7(0) + 0^2 = 10/7$

$X = 2$, $L2 = a + X2 = -9/4 + 2 = -1/4$

$Q2 = b + cX2 + X2^2 = 10/7 - 27/7(2) + 2^2 = -16/7$

Koefisien kontras selanjutnya dinyatakan dalam bilangan bulat menjadi:

Perlakuan	Koefisien kontras	
	Linier	Kuadrat
0	-9	5
2	-1	-8
3	3	-4
4	7	7
Jumlah	0	0

Jumlah kuadrat kontras untuk pembanding kontras linier dan kuadrat dapat dihitung dengan menggunakan koefisien kontras tersebut dan pengujiannya sama dengan pembanding kontras sebelumnya.

Penelitian teknik pertanian jarang hanya menguji satu faktor "perlakuan" biasanya dua atau tiga faktor perlakuan diteliti sekaligus. Misalnya kombinasi dua faktor antara jenis pupuk dan varietas perlu diteliti sekaligus, disebut percobaan dua faktor. Percobaan yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemupukan N dan P terhadap hasil panen tanaman, juga percobaan dua faktor. Misalnya menginginkan data pengaruh pupuk N (4 taraf) dan pupuk P (5 taraf), sehingga perlakuan merupakan kombinasi dari dua taraf faktor. Jumlah perlakuan yang diteliti sebanyak $4 \times 5 = 20$ perlakuan. Penelitian yang menguji dua faktor atau lebih sekaligus dalam satu percobaan disebut sebagai "**Percobaan dengan perlakuan Berfaktor**". Rancangan percobaan dengan perlakuan berfaktor sama dengan rancangan percobaan untuk perlakuan satu faktor.

Apabila percobaan dua faktor (faktor A terdiri 3 taraf : A1, A2, A3), dan faktor B terdiri 2 taraf (B1, B2), maka kombinasi perlakuan kedua faktor sebanyak 6 kombinasi: (1) A1B1; (2) A1B2; (3) A2B1; (4) A2B2; (5) A3B1; (6) A3B2. Percobaan dapat dilaksanakan dalam RAL, RAK, Split Plot, Strip Plot atau Tersarang. Denah/layout percobaan masing-masing rancangan dapat disusun sebagai berikut:

22.1. Percobaan dalam RAL

Layout percobaan: RAK, dua faktor, 6 perlakuan, 3 ulangan.

1	5	4	4	5	3
5	2	3	1	4	2
2	6	6	3	1	5

22.2. Percobaan dalam RAK

Layout percobaan: RAK, 2 faktor, 6 perlakuan, 3 ulangan.

1	4	2	6	5	3	Blok I
6	2	3	1	4	5	Blok II
2	6	4	3	1	5	Blok III

22.3. Percobaan dalam Split Plot RAK

Layout percobaan: Main Plot, Faktor B, sub plot, Faktor A; 6 perlakuan, 3 ulangan.

Blok I

A1B1	A2B2
A3B1	A1B2
A2B1	A3B2

Blok II

A3B2	A2B1
A1B2	A3B1
A2B2	A1B1

Blok III

A1B1	A2B2
A3B1	A1B2
A2B1	A3B2

22.4. Percobaan dalam Strip Plot RAK

Layout percobaan: Plot Vertikal, Faktor B, Plot horizontal; Faktor A; 6 perlakuan; 3 ulangan

Blok I

A1B1	A1B2
A3B1	A3B2
A2B1	A2B2

Blok II

A3B2	A3B1
A1B2	A1B1
A2B2	A2B1

Blok III

A2B1	A2B2
A1B1	A1B2
A3B1	A3B2

22.5. Percobaan dalam Rancangan Tersarang (nested) - blok tersarang dalam faktor

Layout percobaan : 6 perlakuan, 3 ulangan. Ulangan/Blok tersarang dalam Faktor B

Blok I

Blok II

Blok III

A1B1	A2B1	A2B1
A3B1	A3B1	A1B1
A2B1	A1B1	A3B1

Blok I

Blok II

Blok III

A1B2	A2B2	A1B2
A2B2	A1B2	A3B2
A3B2	A3B2	A2B2

21.6. Percobaan Perlakuan 2 faktor dalam RAL

Model linier rancangan perlakuan 2 faktor dalam RAL adalah :

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

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

μ = rata-rata umum

- α_i = pengaruh taraf ke-i faktor A
 β_j = pengaruh taraf ke-j faktor B
 $\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B
 ϵ_{ijk} = pengaruh acak atau error

Analisis keragaman (Anova) perlakuan dua faktor dalam RAL dapat disusun menurut model dari faktor yang diuji; dapat sebagai model acak, model tetap atau model campuran. Pengujian signifikansi pengaruh faktor A, B dan interaksinya menggunakan nilai harapan kuadrat tengah, tergantung pada masing-masing model tersebut, seperti contoh berikut :

Percobaan perlakuan dua faktor menggunakan rancangan percobaan RAL (rancangan acak lengkap), Anova seperti berikut :

Tabel 6. Anova perlakuan 2 faktor dalam RAL

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat tengah	F-hitung
Faktor A	a-1	JKA	KTA	KTA/KTG
Faktor B	b-1	JKB	KTB	KTB/KTG
Interaksi A x B	(a-1)(b-1)	JKAB	KTAB	KTAB/KTG
Galat	ab(r-1)	JKG	KTG	
Total	abr-1	JKT		

- JKA = Jumlah kuadrat faktor A
 JKB = Jumlah kuadrat faktor B
 JKG = Jumlah kuadrat galat
 KTA = Kuadrat tengah faktor A
 KTB = Kuadrat tengah faktor B
 KTG = Kuadrat tengah galat
 JKT = Jumlah kuadrat total
 a = Banyaknya taraf faktor A
 b = Banyaknya taraf faktor B
 r = Ulangan

Penghitungan secara umum :

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor koreksi (FK)} &= \frac{y_{..}^2}{abr} = \frac{(\sum y_{ijk})^2}{abr} \\
 \text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} &= \sum y_{ijk}^2 - \text{FK} \\
 \text{Jumlah Kuadrat Faktor A (JKA)} &= \frac{\sum y_{i.}^2}{br} - \text{FK} = \\
 \text{Jumlah Kuadrat Faktor B (JKB)} &= \frac{\sum y_{.j}^2}{ar} - \text{FK} \\
 \text{Jumlah Kuadrat Faktor AB (JKAB)} &= \frac{\sum y_{ij.}^2}{r} - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{FK} \\
 \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{JKAB}
 \end{aligned}$$

Nilai Kuadrat Tengah (KTA, KTB, KTAB, KTG) masing-masing diperoleh dari Jumlah Kuadrat dibagi dengan Derajat Bebas masing-masing.

Uji nyata/tidak nyata faktor A; B; dan interaksi faktor A x B, masing-masing menggunakan KTA, KTB, dan KTAB; dibagi KTG, selanjutnya dibandingkan dengan F_{tabel} pada taraf α .

Contoh analisis data respon pertumbuhan vegetatif tanaman jagung percobaan perlakuan 2 faktor dalam RAL dengan 3 ulangan :

Perlakuan :

Faktor I. Takaran pupuk P::

1. 0 ppm (P0)
2. 30 ppm (P1)
3. 60 ppm (P2)

Faktor II. Takaran pupuk seng (Zn) :

1. 0 ppm (Z0)
2. 2.5 ppm (Z1)
3. 5 ppm (Z2)
4. 10 ppm (Z3)

Faktor I (pupuk P) dan faktor II (pupuk Zn) masing-masing dianggap sebagai faktor tetap (fixed).

Kombinasi perlakuan: Faktor A dan Faktor B:

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| 1. P0 Z0 | 2. P1 Z0 | 3. P2 Z0 |
| 4. P0 Z1 | 5. P1 Z1 | 6. P2 Z1 |
| 7. P0 Z2 | 8. P1 Z2 | 9. P2 Z2 |
| 10. P0 Z3 | 11. P1 Z3 | 12. P2 Z3 |

Data pengamatan tinggi tanaman jagung berumur 3 minggu, adalah sebagai berikut (Format data Minitab) :

rep	Faktor1	Faktor2	Tinggi
1	1	1	32.2
1	1	2	31.6
1	1	3	28.2
1	1	4	26.9
1	2	1	32.3
1	2	2	27.6
1	2	3	28.7
1	2	4	29.2
1	3	1	34.0
1	3	2	28.8
1	3	3	28.6
1	3	4	36.0
2	1	1	24.3
2	1	2	22.5
2	1	3	23.0

rep	Faktor1	Faktor2	Tinggi
2	1	4	23.4
2	2	1	26.8
2	2	2	21.6
2	2	3	27.4
2	2	4	24.3
2	3	1	26.7
2	3	2	28.7
2	3	3	29.6
2	3	4	24.6
3	1	1	22.0
3	1	2	25.8
3	1	3	27.6
3	1	4	25.8
3	2	1	25.5
3	2	2	36.0
3	2	3	27.3
3	2	4	24.5
3	3	1	27.3
3	3	2	31.0
3	3	3	29.4
3	3	4	28.0

Faktor1=perlakuan P, Faktor2=perlakuan Zn

Analisis menggunakan Minitab :

Pilih Stat → ANOVA → General linear model,

Pilih Response peubah

Pada kotak dialog Model masukkan: faktor1 faktor2 faktor1*faktor2

OK

Hasil analisis ANOVA sebagai berikut :

Analysis of Variance for tinggi - tanaman

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Faktor 1	2	64.86	64.86	32.43	2.08	0.147
Faktor2	3	7.28	7.28	2.43	0.16	0.925
Faktor 1 * faktor 2	6	6.30	6.30	1.05	0.07	0.999
Error	24	374.88	374.88	15.62		
Total	35	453.32				

Dari tabel Anova dapat diketahui bahwa pengaruh pupuk P tidak nyata pengaruh pupuk Zn tidak nyata dan begitu pula pengaruh interaksi P x Zn tidak nyata.

22.7. Percobaan 2 Faktor dalam RAK

Percobaan lapang yang sulit memperoleh keseragaman lahan, maka perlakuan dalam setiap ulangan perlu dikelompokkan dalam satu blok.

Tindakan demikian akan meminimalisasi error percobaan, sehingga pengaruh perlakuan terukur lebih teliti. Dengan mengelompokkan perlakuan setiap ulangan dalam satu kelompok, pelaksanaan percobaannya juga menjadi lebih mudah.

Model linier atau Model Linier Umum (MLU/GLM) perlakuan 2 faktor dalam RAK adalah :

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

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

u = rata-rata umum

ρ_k = pengaruh kelompok ke-k

α_i = pengaruh taraf ke-i faktor A

β_j = pengaruh taraf ke-j faktor B

$\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B

ϵ_{ijk} = pengaruh acak/error percobaan.

Tabel 7. Anova percobaan dengan perlakuan 2 faktor dalam RAK

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat tengah	F _{hitung}
Kelompok	r-1	JKK	KTK	KTK/KTG
Faktor A	a-1	JKA	KTA	KTA/KTG
Faktor B	b-1	JKB	KTB	KTB/KTG
Interaksi A x B	(a-1)(b-1)	JKAB	KTAB	KTAB/KTG
Galat	ab(r-1)	JKG	KTG	
Total	abr-1	JKT		

$$\text{Faktor koreksi FK} = \frac{y_{..}^2}{abr}$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Total JKT} = \sum_{ijk} y_{ijk}^2 - \text{FK}$$

$$\text{JKK} = \frac{\sum y_{.k}^2}{ab} - \text{FK}$$

$$\text{JKA} = \frac{\sum y_{i.}^2}{br} - \text{FK}$$

$$\text{JKB} = \frac{\sum y_{.j}^2}{ar} - \text{FK}$$

$$\text{JKAB} = \sum \sum y_{ij}^2 / r - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{FK}$$

$$\text{JKG} = \text{JKT} - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{JKAB} - \text{JKK}$$

Nilai Kuadrat Tengah (KTA, KTB, KTAB, KTG) masing-masing diperoleh dari Jumlah Kuadrat dibagi dengan derajat bebas masing-masing.

Contoh Analisis Data percobaan pemupukan 4 varetas jagung (perlakuan 2 faktor dalam RAK) :

Faktor A : Varietas 4 taraf; faktor B : pupuk 6 taraf; kelompok (ulangan) 3, jumlah perlakuan 24; banyaknya unit percobaan 72 unit. Hasil biji kering t/ha. Data tiap plot dikonversikan ke t/ha¹)

Var	pupuk	rep	Hasil (t/ha)
1	1	1	5.6
2	1	1	5.1
3	1	1	4.6
4	1	1	5.2
1	2	1	6.5
2	2	1	7.6
3	2	1	5.9
4	2	1	6.3
1	3	1	7.2
2	3	1	7.1
3	3	1	7.3
4	3	1	5.7
1	4	1	7.6
2	4	1	8.3
3	4	1	6.9
4	4	1	3.9
1	5	1	8.4
2	5	1	8.8
3	5	1	8.2
4	5	1	2.5
1	6	1	9.6
2	6	1	7.3
3	6	1	6.7
4	6	1	3.4
1	1	2	5.6
2	1	2	6.4
3	1	2	4.1
4	1	2	5.6
1	2	2	6.3
2	2	2	7.0
3	2	2	7.1
4	2	2	5.7
1	3	2	7.5
2	3	2	7.2
3	3	2	6.8
4	3	2	6.9
1	4	2	8.2
2	4	2	8.1
3	4	2	7.0
4	4	2	6.2
1	5	2	9.0
2	5	2	7.7
3	5	2	7.8
4	5	2	3.1
1	6	2	10.0

Var	pupuk	rep	Hasil (t/ha)
2	6	2	8.5
3	6	2	8.2
4	6	2	2.5
1	1	3	5.0
2	1	3	4.8
3	1	3	4.3
4	1	3	6.0
1	2	3	7.6
2	2	3	6.7
3	2	3	6.7
4	2	3	5.8
1	3	3	7.8
2	3	3	7.8
3	3	3	7.1
4	3	3	5.3
1	4	3	7.8
2	4	3	7.7
3	4	3	7.5
4	4	3	4.8
1	5	3	8.7
2	5	3	7.7
3	5	3	7.4
4	5	3	3.9
1	6	3	9.9
2	6	3	7.1
3	6	3	6.6
4	6	3	3.1

*) = konversi data dari plot asli ($\text{kg}/15\text{m}^2$) menjadi t/ha tidak mempengaruhi penghitungan Analisis Varian atau Anova. Oleh karena itu, untuk analisis data dapat menggunakan data asli plot, atau data yang telah dikonversikan menjadi t/ha, untuk masing-masing plot.

Analisis Data menggunakan Minitab :

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Response hasil

Pada kotak dialog Model masukkan: rep faktor1 faktor2 faktor1*faktor2

OK

Hasil ANOVA nya sebagai berikut:

Analysis of variance for Hasil

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F _{hitung}	P
Rep	2	1.0744	1.0744	0.5372	1.74	0.187
Pupuk	5	29.8824	29.8824	5.9765	19.34**)	0.000
Varietas	3	89.5015	89.5015	29.8338	96.56**)	0.000
Pupuk*var	15	69.2993	69.2993	4.6200	14.95**)	0.000
Error	46	14.2122	14.2122	0.3090		
Total	71	203.9699				

**) = Sangat nyata ($P < 0,01$)

Anova menunjukkan pengaruh pupuk dan varietas terhadap hasil biji jagung masing-masing sangat nyata; interaksi pupuk x varietas juga sangat nyata ($P < 0,01$). Langkah selanjutnya adalah membandingkan antara perlakuan untuk menentukan kombinasi perlakuan yang hasilnya terbaik.

Kesimpulan :

Dari percobaan tersebut secara tentatif disimpulkan bahwa :

- (1). Varietas dan dosis pupuk masing-masing memberikan pengaruh sangat nyata terhadap hasil biji jagung.
- (2). Respon varietas terhadap dosis pupuk yang diteliti sangat beragam, sehingga untuk mendapatkan hasil tertinggi perlu ditentukan pilihan varietas terbaik dengan dosis pupuk yang optimal.

Dari hasil ANOVA, pengaruh interaksi varietas dengan pupuk nyata. Selanjutnya dengan menguji perbedaan rata-rata antar perlakuan dengan uji Tukey (BNJ) melalui MINITAB dengan cara:

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Response hasil

Pada kotak dialog Model masukkan: rep faktor1 faktor2 faktor1*faktor2

Pada kotak dialog Pilih Comparison → Tukey

OK

Hasil uji beda rata-rata antra perlakuan diperoleh sebagai berikut:

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Var	pupuk	N	Mean	Grouping
1	6	3	9,833	A
1	5	3	8,700	A B
2	5	3	8,067	B C
2	4	3	8,033	B C
1	4	3	7,867	B C
3	5	3	7,800	B C
2	6	3	7,633	B C D
1	3	3	7,500	B C D
2	3	3	7,367	B C D
3	6	3	7,167	B C D E
3	4	3	7,133	B C D E F
2	2	3	7,100	B C D E F
3	3	3	7,067	B C D E F
1	2	3	6,800	C D E F
3	2	3	6,567	C D E F G
4	3	3	5,967	D E F G H
4	2	3	5,933	D E F G H
4	1	3	5,600	E F G H
2	1	3	5,433	E F G H
1	1	3	5,400	F G H
4	4	3	4,967	G H
3	1	3	4,333	H I
4	5	3	3,167	I
4	6	3	3,000	I

Means that do not share a letter are significantly different.

Hasil pengujian tersebut dapat disajikan dalam bentuk tabel 2 arah (kolom sebagai faktor 1 dan baris sebagai kolom 2), diurutkan sesuai urutan perlakuan.

RANCANGAN PETAK TERPISAH (*Split Plot Design*)

Penelitian terhadap dua faktor atau lebih yang dilaksanakan dalam satu percobaan dapat juga menggunakan "Rancangan Petak Terpisah" atau Split plot design. Faktor yang pengaruhnya ingin diketahui tidak harus sangat teliti ditempatkan pada petak utama, dan faktor yang pengaruhnya ingin diketahui lebih teliti pada anak petak. Dengan perkataan lain, faktor yang dinilai "kurang dipentingkan" ketelitian pengukuran pengaruhnya, dialokasikan pada petak utama. Manfaat dari rancangan Petak terpisah, dari segi operasional di lapangan adalah pelaksanaannya lebih mudah, yaitu apabila salah satu faktor perlakuan memerlukan luasan petak yang besar, seperti perlakuan pengairan, pengolahan tanah, pengapuran dan sejenisnya, dapat dialokasikan sebagai petak utama.

Beberapa pertimbangan penggunaan Rancangan Percobaan Split Plot atau petak terpisah adalah :

- a. Salah satu faktor yang diteliti tingkat ketelitiannya dinilai lebih penting daripada faktor yang lain.

Faktor yang pengaruhnya lebih penting atau pendugaan pengaruh diharapkan lebih teliti ditempatkan sebagai anak petak atau *sub plot*, sedangkan faktor lainnya yang pendugaan pengaruhnya tidak harus sangat teliti ditempatkan sebagai *main plot* (petak utama).

- b. Ada kesulitan penempatan perlakuan di lapangan.

Bila operasionalisasi perlakuan memerlukan luasan petak yang relatif besar, maka menempatkan perlakuan tersebut akan mengalami kesulitan bila petaknya kecil. Unit percobaan yang memerlukan luas petak yang lebih besar, dapat diakomodasi pada petak utama.

Model linier percobaan dengan perlakuan 2 faktor dalam rancangan Split Plot adalah :

$$Y_{ijk} = u + p_k + \alpha_i + \delta_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

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

u = rata-rata umum

p_k = pengaruh kelompok ke-k

α_i = pengaruh taraf ke-i faktor A (pengaruh mainplot)

δ_{ik} = pengaruh acak (a) atau Error (a)

- β_j = pengaruh taraf ke-j faktor B (pengaruh sub-plot)
 $\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B
 ϵ_{ijk} = pengaruh acak (b) atau Error (b)

Tabel 8. Anova Rancangan Petak Terpisah atau Split – Plots

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat tengah	F-hitung
Blok/Kelompok	r-1	JKK	KTK	KTK/KTGa
Faktor A (Petak Utama)	a-1	JKA	KTA	KTA/KTGa
Galat (a)	(a-1)(r-1)	JKGa	KTGa	
Faktor B (Anak Petak)	b-1	JKB	KTB	KTB/KTGb
Interaksi A x B	(a-1)(b-1)	JKAB	KTAB	KTAB/KTGb
Galat (b)	ab(r-1)	JKGb	KTGb	
Total		JKT		

$$\text{Faktor koreksi (FK)} = \frac{y^2}{abr}$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum Y_{ijk}^2 - \text{FK}$$

$$\text{JKK} = \frac{\sum y_{.k}^2}{ab} - \text{FK}$$

$$\text{JKA} = \frac{\sum y_{i.}^2}{br} - \text{FK}$$

$$\text{JKGa} = \frac{\sum y_{ik}^2}{b} - \text{JKA}$$

$$\text{JKB} = \frac{(\sum y_{.j})^2}{ar} - \text{FK}$$

$$\text{JKAB} = \frac{\sum y_{ij}^2}{r} - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{FK}$$

$$\text{JKGb} = \text{JKT} - \text{JKA} - \text{JKB} - \text{JKAB} - \text{JKGa}$$

Nilai Kuadrat Tengah (KTA, KTB, KTAB, KTG) masing-masing diperoleh dari Jumlah Kuadrat dibagi dengan derajat bebas masing-masing.

Kriteria pengujian Hypothesis :

Jika $F_{\text{hitung}} \leq F_{\text{tabel}}$ (dengan derajat bebas disesuaikan dengan db) maka terima H_0 (pengaruh tidak nyata pada taraf uji α)

Jika $F\text{-hitung} \geq F\text{-tabel } \alpha$, tolak H_0 dan terima H_1 . Perhatikan, bahwa test signifikan petak utama menggunakan Error (a), dan uji signifikansi anak petak menggunakan Error (b).

Berikut ini contoh data percobaan Respon empat hibrida jagung dan enam taraf pemupukan dalam rancangan Petak Terpisah empat ulangan.

Petak utama adalah 6 taraf pemupukan : $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$.

Anak petak adalah empat hibrida : V_1, V_2, V_3, V_4 .

Data yang dianalisis adalah hasil biji jagung pipilan, t/ha.

Data :

Var	pupuk	rep	Hasil (t/ha)
1	1	1	5.6
2	1	1	5.1
3	1	1	4.6
4	1	1	5.2
1	2	1	6.5
2	2	1	7.6
3	2	1	5.9
4	2	1	6.3
1	3	1	7.2
2	3	1	7.1
3	3	1	7.3
4	3	1	5.7
1	4	1	7.6
2	4	1	8.3
3	4	1	6.9
4	4	1	3.9
1	5	1	8.4
2	5	1	8.8
3	5	1	8.2
4	5	1	2.5
1	6	1	9.6
2	6	1	7.3
3	6	1	6.7
4	6	1	3.4
1	1	2	5.6
2	1	2	6.4
3	1	2	4.1
4	1	2	5.6
1	2	2	6.3
2	2	2	7.0
3	2	2	7.1
4	2	2	5.7
1	3	2	7.5
2	3	2	7.2
3	3	2	6.8
4	3	2	6.9
1	4	2	8.2
2	4	2	8.1

Var	pupuk	rep	Hasil (t/ha)
3	4	2	7.0
4	4	2	6.2
1	5	2	9.0
2	5	2	7.7
3	5	2	7.8
4	5	2	3.1
1	6	2	10.0
2	6	2	8.5
3	6	2	8.2
4	6	2	2.5
1	1	3	5.0
2	1	3	4.8
3	1	3	4.3
4	1	3	6.0
1	2	3	7.6
2	2	3	6.7
3	2	3	6.7
4	2	3	5.8
1	3	3	7.8
2	3	3	7.8
3	3	3	7.1
4	3	3	5.3
1	4	3	7.8
2	4	3	7.7
3	4	3	7.5
4	4	3	4.8
1	5	3	8.7
2	5	3	7.7
3	5	3	7.4
4	5	3	3.9
1	6	3	9.9
2	6	3	7.1
3	6	3	6.6
4	6	3	3.1

Analisis dengan MINITAB:

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Response hasil

Pada kotak dialog Model masukkan: rep faktor1 rep*faktor1 faktor2 faktor1*faktor2

OK

Hasil Anova sebagai berikut:

Analysis of Variance for Hasil

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rep	2	1.0744	1.0744	0.5372	1.51	0.234
Pupuk	5	29.8824	29.8824	5.9765**	16.83	0.000
Rep*pupuk	10	1.4306	1.4306	0.1431	0.40	0.936
Varietas	3	89.5015	89.5015	29.8338**	84.03	0.000
Pupuk*var	15	69.2993	69.2993	4.6200**	13.01	0.000
Error	36	12.7817	12.7817	0.3550		
Total	71	203.9699				

** : sangat nyata pada $P < 0,01$

Hasil ANOVA di atas seharusnya pengaruh rep*pupuk tidak diuji, karena merupakan galat/Error (a) seperti pada Tabel ANOVA Split Plot. Oleh karena itu, untuk menguji pengaruh utama faktor Pupuk, nilai $F = MS \text{ Pupuk}$ dibagi dengan $MS \text{ rep*pupuk}$.

Kesimpulan :

Perlakuan pemupukan dan varietas masing-masing berpengaruh nyata terhadap hasil biji jagung. Pengaruh yang sangat nyata dari interaksi pupuk x varietas mengindikasikan terdapat diferensiasi kebutuhan pupuk untuk masing-masing varietas hibrida guna mencapai produktivitas optimal.

RANCANGAN PETAK BERJALUR (*Split Block atau Strip Plot*)

Varian dari Rancangan Petak Terpisah adalah Rancangan Petak Berjalur atau strip plot. Dalam rancangan Petak Berjalur, sub plot atau anak petak diletakkan pada "jalur memotong petak utama".

Percobaan menggunakan rancangan ini bila pengaruh interaksi dari dua faktor lebih penting daripada pengaruh faktor utamanya atau ketepatan pendugaan pengaruh interaksi lebih dipentingkan dari pada masing-masing faktor.

Model linier rancangan petak berjalur adalah :

$$Y_{ijk} = u + p_k + \alpha_i + \delta_{ik} + \beta_j + \gamma_{jk} + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

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

u = rata-rata umum

p_k = pengaruh kelompok ke- k

α_i = pengaruh taraf ke- i faktor A

δ_{ik} = pengaruh acak (a) atau Error (a)

β_j = pengaruh taraf ke- j faktor B

γ_{jk} = pengaruh acak (b) atau Error (b)

$\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh interaksi taraf ke- i faktor A dan taraf ke- j faktor B

ε_{ijk} = pengaruh acak (c) atau Error (c)

Tabel 9. Anova rancangan petak berjalur

Sumber keragaman	Derajat bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat tengah	F-hitung
Kelompok	$r-1$	JKK	KTK	KTK/KTGa
Faktor A	$a-1$	JKA	KTA	KTA/KTGa
Galat (a)	$(a-1)(r-1)$	JKGa	KTGa	
Faktor B	$b-1$	JKB	KTb	KTb/KTGb
Galat (b)	$(b-1)(r-1)$	JKGb	KTGb	
Interaksi A x B	$(a-1)(b-1)$	JKAB	KTAB	KTAB/KTGc
Galat (r)	$(a-1)(b-1)(r-1)$	JKGc	KTGc	
Total	$abr-1$	JKT		

$$\text{Faktor koreksi (FK)} = \frac{y^2}{abr}$$

$$\text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} = \sum y_{ijk}^2$$

$$\text{JKK} = \frac{\sum y_{.k}^2}{ab} - \text{FK}$$

$$\text{JKA} = \frac{\sum y_{i.}^2}{br} - \text{FK}$$

$$\text{JKGa} = \frac{(\sum \sum y_{i.k})^2}{b} - \text{FK} - \text{JKA}$$

$$\text{JKB} = \frac{\sum y_{.j}^2}{ar} - \text{FK}$$

$$\text{JKGb} = \frac{\sum y_{.jk}^2}{a} - \text{FK} - \text{JKB}$$

$$\text{JKAB} = \frac{\sum y_{ij}^2}{r} - \text{FK} - \text{JKA} - \text{JKB}$$

$$\text{JKGc} = \text{JKT} - \text{JKK} - \text{JKA} - \text{JKGa} - \text{JKB} - \text{JKGb} - \text{JKAB}$$

Nilai Kuadrat Tengah (KTA, KTB, KTAB, KTG) masing-masing diperoleh dari Jumlah Kuadrat dibagi dengan derajat bebas masing-masing.

Pada Rancangan Petak Berjalur terdapat Galat (a), Galat (b), dan Galat (c). Test disignifikasi interaksi faktor (A) dengan faktor (B) menggunakan Galat (c)

Sebagai contoh data hasil percobaan dengan Strip plot, dimana faktor A: cara tanam sebagai petak jalur vertikal, faktor B: varietas sebagai petak jalur horizontal sebagai berikut:

tanam	var	rep	Hasil (t/ha)
1	1	1	3.6
2	1	1	5.3
3	1	1	8.5
1	2	1	5.2
2	2	1	6.8
3	2	1	8.3
1	3	1	3.8
2	3	1	5.9
3	3	1	8.9
1	4	1	3.9
2	4	1	6.0
3	4	1	8.1
1	5	1	5.6
2	5	1	6.7
3	5	1	8.1
1	6	1	3.8
2	6	1	5.1
3	6	1	2.8
1	1	2	5.2
2	1	2	7.6
3	1	2	8.0
1	2	2	7.0

tanam	var	rep	Hasil (t/ha)
2	2	2	8.5
3	2	2	9.5
1	3	2	5.7
2	3	2	7.9
3	3	2	8.5
1	4	2	6.8
2	4	2	8.2
3	4	2	8.9
1	5	2	4.5
2	5	2	6.5
3	5	2	6.3
1	6	2	4.9
2	6	2	4.0
3	6	2	3.9
1	1	3	5.6
2	1	3	6.1
3	1	3	9.8
1	2	3	6.2
2	2	3	8.4
3	2	3	7.5
1	3	3	6.8
2	3	3	8.2
3	3	3	9.8
1	4	3	5.0
2	4	3	6.0
3	4	3	7.9
1	5	3	5.8
2	5	3	7.2
3	5	3	7.3
1	6	3	4.5
2	6	3	5.6
3	6	3	4.4

Analisis dengan MINITAB:

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Response hasil

Pada kotak dialog Model masukkan: rep faktor1 rep*faktor1 faktor2
rep*faktor2 faktor1*faktor2

OK

Hasil ANOVA sebagai berikut:

Analysis of Variance for Hasil

Source	df	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Rep	2	9.0144	9.0144	4.5072**	10.84	0.001
Tanam	2	51.2633	51.2633	25.6317**	61.65	0.000
Rep*Tanam	4	3.1822	3.1822	0.7956	1.91	0.148
Var	5	57.2644	57.2644	11.4529**	27.55	0.000
Rep*var	10	14.5144	14.5144	1.4514**	3.49	0.008
Tanam*var	10	23.7189	23.7189	2.3719**	5.70	0.000
Error	20	8.3156	8.3156	0.4158		
Total	53	167.2733				

** Sangat Nyata ($P < 0.01$)

Hasil ANOVA di atas seharusnya pengaruh rep*faktor1 dan rep*faktor2 tidak diuji, karena merupakan galat/Error (a) seperti pada Tabel ANOVA Split Plot. Oleh karena itu, untuk menguji pengaruh utama faktor Tanam, nilai $F = MS \text{ Tanam} / MS \text{ rep*Tanam}$, sedangkan pengaruh faktor2 (varietas), nilai $F = MS \text{ var} / MS \text{ rep*Var}$.

Kesimpulan :

1. Pengaruh varietas dan pengaruh pupuk terhadap hasil biji, masing-masing sangat nyata.
2. Terdapat interaksi pupuk x varietas yang pengaruhnya sangat nyata menunjukkan untuk memperoleh hasil biji maksimal perlu dipilih varietas dan dosis pupuk yang tepat.

Rancangan percobaan augmented sering digunakan bila perlakuan yang akan diuji banyak, misalkan pengujian galur-galur hasil persilangan atau evaluasi sifat koleksi plasma nutfah. Rancangan augmented dilaksanakan dalam Rancangan Acak Kelompok, perlakuan yang diuji dikelompokkan dalam blok. Pada setiap blok terdapat perlakuan kontrol yang dimaksudkan untuk menduga keragaman antar blok dan mengoreksi data pengamatan perlakuan pada blok yang bersangkutan. Perlakuan kontrol dipilih dengan tujuan tertentu (misalnya varietas yang tahan hama penyakit, hasil tinggi, dan sifat lainnya)

Banyaknya blok atau kelompok b yang diperlukan adalah minimum :

$$b \geq \frac{12}{(c-1)+1}$$

c = jumlah perlakuan kontrol

v = jumlah perlakuan yg diuji

b = jumlah kelompok.

Jumlah perlakuan pada setiap blok $n=v/b$. Dengan demikian tiap blok memiliki $p= c + n$ = jumlah plot atau unit percobaan dan total jumlah plot atau unit percobaan sebanyak $N = bc + v = b(c+n)$.

Misalkan ingin menguji 60 varietas lokal dengan 6 varietas unggul sebagai pembanding atau kontrol; maka $c=6$ (varietas A,B,C,D,E,F), $v=60$; $b=4$; $n=v/b = 60/4 = 15$; $p=c+n=6+15 = 21$; $N = bc+v = 24+60 = 84$ atau $N=b(c+n) = 4(21) = 84$. Pengaruh kelompok R_j diduga dengan $R_j=B_j - M$, B_j =rata-rata semua perlakuan kontrol kelompok ke- j dan M =rata-rata keseluruhan perlakuan kontrol. Nilai B_j akan digunakan untuk mengoreksi data pengamatan dari setiap perlakuan yang diuji. Untuk menguji perbedaan antar perlakuan dapat disusun ANOVA berdasarkan RAK dari data perlakuan kontrol. Nilai KTE dari ANOVA yang dihasilkan untuk menghitung nilai standard error.

Standard error (SE) untuk uji beda antar perlakuan sebagai berikut:

$$SE \text{ untuk beda antar perlakuan kontrol} = \sqrt{\frac{2 \text{ KTE}}{b}}$$

$$SE \text{ untuk beda antar hasil terkoreksi antar perlakuan dalam blok yg sama} = \sqrt{2 \text{ KTE}}$$

$$\text{SE untuk beda antar hasil terkoreksi antar perlakuan dalam blok yg berbeda} \\ = \sqrt{2 \text{ MSE } (1 + \frac{1}{c})}$$

$$\text{SE untuk beda antar hasil terkoreksi antar perlakuan dengan kontrol} = \\ \sqrt{\frac{2 \text{ MSE } (b+1)(c+1)}{bc}}$$

Sebagai ilustrasi dipergunakan data evaluasi 60 varietas lokal, dan 6 varietas unggul sebagai pembanding. Denah percobaan di lapang disajikan seperti berikut (Gambar 4).

Numerator	db	Seq MS	F	F
Pupuk	5	5.976	41.78 **	0.000

Blok I	1	2	A	3	4	B	5	6	C	7	8	9	10	D	11	E	12	13	14	F	15
Blok II	16	B	17	C	18	D	19	20	A	21	22	F	23	24	25	26	E	27	28	29	30
Blok III	31	32	F	33	34	E	35	36	B	37	38	A	39	40	C	41	42	43	44	D	45
Blok IV	46	47	A	48	B	49	50	B	51	52	53	F	54	55	C	56	57	58	E	59	60

Gambar 4. Denah percobaan evaluasi 60 varietas lokal dan 6 varietas unggul sebagai pembanding dalam Augmented Design

Keterangan :

- A, B, C, D, E, F = Varietas pembanding
- 1 s/d 60 = Varietas lokal yang diuji.

Data pengamatan hasil perlakuan kontrol sebagai berikut (kg/petak) :

Var	I	II	III	IV	V
A	4,50	4,20	4,40	4,10	4,30
B	3,50	3,20	3,40	3,00	3,28
C	3,20	3,00	3,20	3,30	3,18
D	5,40	5,20	5,30	5,10	5,25
E	5,20	5,50	5,30	5,10	5,28
F	3,90	3,50	4,00	4,20	3,90
R _j =	4,28	4,10	4,27	4,13	
M					4,20
R _j -M=	0,09	-0,10	0,07	-0,06	

R_j = rata-rata kelompok ke-j; M = rata-rata umur

Anova

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows (kontrol)	17,05708	5	3,411417	95,12858	8,15E-11	2,901295
Columns (blok)	0,154583	3	0,051528	1,436871	0,271423	3,287382
Error	0,537917	15	0,035861			
Total	17,74958	23				

Cuplikan data hasil pengamatan dari 60 perlakuan sebagai berikut:

No. Blok	No.Var	Var	Terkoreksi
Blok I	1	5,60	5,51
	2	4,00	3,91
	3	3,20	3,11
Blok II	16	3,50	3,60
	17	5,50	5,60
	18	4,90	5,00
Blok III	31	2,80	2,73
	32	4,70	4,63
	33	5,90	5,83
Blok IV	45	4,50	4,56
	46	5,50	5,56
	60	4,8	4,86

Uji beda antar perlakuan/varietas :

$$\bullet \text{ Beda antar perlakuan (kontrol)} = \sqrt{\frac{2 \text{ KTE}}{b}} = \sqrt{2 \times 0,035861/4} = 0,133905024$$

$$\bullet \text{ BNT} = \frac{t_{\alpha}}{2} \times \sqrt{\frac{2 \text{ KTE}}{b}}, \frac{t_{\alpha}}{2} = \text{nilai } t \text{ dari distribusi pada taraf } \alpha/2 \text{ dan } v = \text{db error}$$

Untuk $\alpha=0,05$, nilai t dari distribusi t pada taraf $\alpha/2$ (atau t pada $0,025$) dan $v=15$, diperoleh $t_{\alpha/2}(v) = 2,48988$. Dengan demikian $\text{BNT} = 2,48988 \times 0,133905024 = 0,33$

$$\bullet \text{ Beda antar hasil terkoreksi antar perlakuan dalam blok yg sama} = \sqrt{2 \text{ MSE}} = \sqrt{2 \times 0,035861} = 0,071722222$$

$$\bullet \text{ BNT } \alpha\% = \frac{t_{\alpha}}{2} \times \sqrt{\frac{2 \text{ KTE}}{b}}$$

$$\text{BNT } 5\% = 0,18$$

- Beda antar hasil terkoreksi antar perlakuan dalam blok yg berbeda =
$$\sqrt{2\text{MSE} \left(1 + \frac{1}{c}\right)} = \sqrt{2 \times 0,035861 \left(1 + \frac{1}{6}\right)} = 0,289268$$

$$\text{BNT } 5\% = 0,72$$

- Beda antar hasil terkoreksi antar perlakuan dengan kontrol =
$$\sqrt{\frac{2 \text{ KTE } (b+1)(c+1)}{bc}} = \sqrt{\frac{2 \times 0,035862 (4+1)(6+1)}{4 \times 6}} = 0,299421$$

$$\text{BNT } 5\% = 0,75$$

Kelebihan dan Kekurangan Rancangan *Augmented*

Pada rancangan *Augmented* yang diulang hanya pembanding, masing-masing satu ulangan pada setiap blok perlakuan. Entri atau perlakuannya sendiri tidak diulang. Entri atau perlakuan dibagi dalam blok dan setiap blok disertakan pembanding. Misalkan akan diuji 300 galur dan tiga varietas pembanding. Supaya diperoleh lingkungan yang homogen, entri atau perlakuan dibagi menjadi 10 blok. Pada setiap blok berisi 30 entri + 3 pembanding = 33 plot, sehingga percobaan terdiri dari 10 x 33 plot = 330 plot. Pembanding sebanyak 3 varietas diulang 10 kali, yaitu satu ulangan per blok.

Anova dihitung hanya dari perlakuan pembanding, yaitu 3 perlakuan dengan sepuluh ulangan. Hasil dari masing-masing entri dikoreksi menggunakan data pembanding pada blok yang bersangkutan.

Dengan menggunakan Rancangan *Augmented*, jumlah plot yang diperlukan menjadi lebih sedikit, karena perlakuan tidak diulang. Penempatan perlakuan pada blok bersama pembanding (jumlahnya 33 plot), diacak pada blok, seperti halnya pengacakan pada satu ulangan rancangan acak kelompok (RAK). Karena blok perlakuan relatif sempit (kecil) maka pembandingan secara visual antara masing-masing entri dengan varietas pembanding lebih mudah dilakukan dan lebih teliti. Hal ini terutama bermanfaat apabila yang ingin dibandingkan, misalnya toleransi terhadap penyakit, dari galur-galur yang diuji.

Apabila 300 galur tersebut diuji menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan dua ulangan, maka diperlukan 606 plot, dan kalau tiga ulangan memerlukan 909 plot, jauh lebih banyak dibandingkan rancangan *Augmented*, yang menggunakan 330 plot. Untuk melaksanakan percobaan dengan 606 plot atau bahkan 909 plot tentu biayanya lebih mahal, perawatannya sulit dan lahan yang tersedia cukup heterogen.

Kelemahan rancangan Augmented, perlakuan hanya diuji satu ulangan (tanpa ulangan). Apabila terjadi kerusakan pada entri atau perlakuan yang diuji, datanya menjadi hilang.

Ragam galat (error) pada rancangan augmented lebih besar karena derajat bebas galatnya kecil, berasal hanya dari perlakuan dan ulangan perlakuan pembandingan. Hal ini berakibat perbedaan antar perlakuan tidak terdeteksi secara teliti dibandingkan bila menggunakan RAK. Apabila RAK digunakan, maka derajat bebas galat lebih besar dan ragam galat kecil, sehingga F-hitung perlakuan menjadi lebih besar. Akan tetapi pada uji pendahuluan, perbedaan nyata dapat saja digunakan pada tingkat peluang 80% ($P \leq 0,20$), agar beda nyata mudah diperoleh dari perlakuan yang diuji apabila menggunakan rancangan augmented.

Keragaman antar blok perlakuan berpeluang mengakibatkan data perlakuan bias yang mengurangi akurasi data per perlakuan. Walaupun hal ini dapat dikoreksi dengan data pembandingan, akan tetapi akan lebih akurat apabila perlakuan diuji menggunakan tiga atau empat ulangan. Keragaman pengaruh interaksi antara perlakuan dengan blok, apabila terjadi, juga tidak dapat dipisahkan dari ragam perlakuan, sehingga akurasi ragam perlakuan kurang.

Terlepas dari plus minus tersebut, rancangan augmented dapat dimanfaatkan untuk uji pendahuluan apabila ketersediaan benih entri yang diuji sangat terbatas jumlahnya, tidak mencukupi untuk diuji menggunakan dua ulangan atau lebih.

RANCANGAN TERSARANG (*Nested*)

Perlakuan dua faktor yang diujikan dalam percobaan, secara teknis seringkali sulit dilakukan atau tidak praktis dilakukan bila menggunakan Rancangan Split Plot. Misalkan dalam percobaan 2 faktor dalam penelitian Pengaruh Genangan Air atau Pengaruh Naungan. Pemberian perlakuan genangan air atau naungan, secara praktis mengalami kesulitan bila dilakukan dalam petak-petak kecil. Agar pelaksanaan percobaan lebih mudah dilakukan, maka perlakuan genangan dan naungan dapat dilakukan dalam petak yang lebih besar.

Misalnya, akan meneliti respon calon varietas padi gogo terhadap naungan tanaman karet, yang dalam penelitian ini disimulasi naungan paranet. Faktor pertama, perlakuan naungan ada 2 taraf, faktor kedua 5 varietas. Percobaan dilaksanakan dengan 3 ulangan.

Denah percobaan Rancangan Tersarang :

Naungan (N)		
I	II	III
V1	V4	V2
V3	V2	V3
V4	V3	V1
V5	V1	V5
V2	V5	V4

Tanpa Naungan (TN)		
I	II	III
V3	V4	V3
V1	V5	V5
V2	V3	V1
V4	V2	V4
V5	V1	V2

Keterangan :

- I, II, III = Ulangan (3 ulangan)
 V1, ..., V5 = Perlakuan Varietas
 N = Naungan
 TN = Tanpa Naungan

Dari denah percobaan tersebut, terlihat ulangan tersarang (*nested*) di dalam faktor naungan

Model Linier Umum (GLM)

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \text{pk}(\alpha_i) + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Nilai pengamatan pada taraf ke-i faktor A, taraf ke-j faktor B dan ulangan ke-k

u = rata-rata umum

α_i = pengaruh taraf ke-i faktor A (naungan)

$\text{pk}(\alpha_i)$ = pengaruh kelompok ke-k dalam faktor A

β_j = pengaruh taraf ke-j faktor B (varietas)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi taraf ke-i faktor A dan taraf ke-j faktor B

ε_{ijk} = pengaruh acak

Tabel Anova Rancangan Tersarang

Sumber Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	F_{hitung}
Faktor A	a-1	JKA	KTA	KTA/KTU(A)
Ulangan dalam faktor A	a(r-1)	JKU(A)	KTU(A)	-
Faktor B	b-1	JKB	KTB	KTB/KTG
Interaksi AxB	(a-1)(b-1)	JKAB	KTAB	KTAB/KTG
Galat	a(r-1)(b-1)	JKG	KTG	-

A=Naungan, B =Varietas

Contoh data hasil percobaan sebagai berikut :

Varietas	Naungan	Rep	Hasil (t/ha)
1	1	1	5,8
2	1	1	6,9
3	1	1	7,6
4	1	1	7,4
5	1	1	6,5
1	2	1	5,9
2	2	1	7,3
3	2	1	7,0
4	2	1	5,7
5	2	1	4,4
1	1	2	3,5
2	1	2	7,6
3	1	2	7,6
4	1	2	7,6
5	1	2	7,8

Varietas	Naungan	Rep	Hasil (t/ha)
1	2	2	4,4
2	2	2	7,2
3	2	2	6,9
4	2	2	5,0
5	2	2	5,0
1	1	3	5,5
2	1	3	6,6
3	1	3	7,7
4	1	3	7,6
5	1	3	6,6
1	2	3	6,3
2	2	3	7,5
3	2	3	6,8
4	2	3	6,7
5	2	3	4,7

Analisis dengan MINITAB sebagai berikut:

Pilih Stat → ANOVA → General Linier Model

Pilih Response hasil

Pada kotak dialog Model masukkan: faktor1 rep(faktor1)faktor2 faktor1*faktor2

OK

Hasil ANOVA sebagai berikut:

Analysis of variance for Data Hasil

Source	db	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F		P
Naungan	1	4.4853	4.4853	4.4853	10.07	**)	0.006
Rep (naungan)	4	1.2347	1.2347	0.3087	0.69		0.608
Varietas	4	18.5487	18.5487	4.6372	10.41	**)	0.000
Naungan*varietas	4	9.4380	9.4380	2.3595	5.30	**)	0.007
Error	16	7.1253	7.1253	0.4453			
Total	29	40.8320					

**) sangat nyata pada peluang <0.01

Hasil ANOVA di atas seharusnya pengaruh rep (naungan) tidak diuji. Untuk menguji pengaruh naungan dari nilai $F = MS \text{ Naungan} / MS \text{ rep(naungan)}$.

Numerator	DF	Seq MS	F	P
naungan	1	4.85	14.53	0.19

Kesimpulan

- (1). Pengaruh naungan terhadap hasil padi gogo sangat nyata
- (2). Pengaruh varietas terhadap hasil padi gogo sangat nyata
- (3). Interaksi varietas dengan naungan juga berpengaruh sangat nyata terhadap hasil padi gogo, sehingga dapat diidentifikasi varietas yang relatif toleran naungan dengan produktivitas tinggi.



PENGUJIAN ASUMSI DALAM ANOVA DAN TRANSFORMASI DATA

Dalam melakukan penelitian yang berbentuk eksperimen, peneliti ingin mengetahui pengaruh perlakuan terhadap materi penelitian. Untuk mengetahui pengaruh perlakuan tersebut perlu dilakukan analisis ragam (Anova) terhadap data yang telah dikumpulkan melalui pengamatan. Seringkali data pengamatan oleh peneliti langsung dianalisis, tanpa dilakukan pemeriksaan data secara seksama.

Dalam analisis ragam untuk mengetahui pengaruh perlakuan berdasarkan anggapan bahwa pengaruh perlakuan dan lingkungan bersifat aditif, galat percobaan bersifat acak, menyebar bebas dan normal di sekitar nilai tengah nol dengan ragam yang sama (Gomez dan Gomez, 1984). Maknanya, penelitian tidak berinteraksi dengan unit percobaan yang dipersyaratkan homogen dan galat terkait secara acak dengan semua unit percobaan (petak).

Tidak dipenuhinya satu atau lebih asumsi tersebut dapat mempengaruhi taraf nyata maupun kepekaan uji dalam ANOVA. Dalam kasus ketidaknormalan taraf nyata yang sesungguhnya menjadi lebih besar daripada yang dinyatakan (Steel dan Torrie, 1989). Dengan demikian sering diperoleh pengaruh perlakuan nyata atau berbeda, padahal sesungguhnya tidak.

Bila sebaran galat dan sifat yang diamati diketahui aditif atau tidak, maka dapat disusun uji yang lebih teliti untuk mendeteksi atau menduga pengaruh perlakuan sesungguhnya. Oleh karena itu, untuk memeriksa kesakhian asumsi dalam ANOVA, perlu dilakukan pemeriksaan data melalui berbagai uji.

27.1. Uji Kehomogenan Ragam

Uji kehomogenan ragam dilakukan mengikuti prosedur Bartlett (Steel dan Torrie, 1989), menggunakan statistik Chi-Kuadrat dengan derajat bebas $(k-1)$, k =banyaknya perlakuan..

Nilai Chi-Kuadrat (X^2) dihitung dengan :

$$X^2 = [(2.3096)(\sum n_i - 1)(\log S_1^2)] - [(\sum n_i - 1)(\log S^2)]$$

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{N - k}$$

n_i = banyaknya ulangan/pengamatan perlakuan ke- i

S_i^2 = ragam perlakuan ke- i

N = banyaknya seluruh data pengamatan

Nilai X^2 -hitung dibandingkan dengan X^2 -tabel dengan db ($t-1$). Bila X^2 -hitung lebih kecil dari X^2 -tabel, maka ragam bersifat homogen.

27.2. Uji Kenormalan Galat

Untuk menguji kenormalan galat percobaan dapat diduga melalui diagram titik. Prosedurnya:

- Urutkan data galat dari kecil ke besar
- Untuk setiap Y_i tetapkan $p_i = (i-0.5)/n$
- Untuk setiap p_i tetapkan $F_i = Q(p_i)$, F sebaran kumulatif normal, $Q(p_i)$ = kuantil normal baku
- Buat plot antara y_i dengan $Q(p_i)$, jika memiliki pola garis lurus maka mendekati sebaran normal.

27.3. Transformasi Data

(1). Transformasi Pangkat (Y^λ)

Transformasi pangkat digunakan bila terdapat hubungan fungsional antara ragam dan nilai tengah. Jenis transformasi pangkat disusun berdasarkan hubungan $\log S^2 = a + b \log X$, sedangkan $b = -2(\lambda - 1)$ dan λ = pangkat transformasi data.

(2). Tranformasi log.

Transformasi logaritma digunakan untuk data yang mempunyai simpangan baku proporsional terhadap nilai tengahnya. Bila data memiliki nilai kurang dari 10, maka digunakan $\log(Y+1)$

(3). Transformasi akar kuadrat.

Digunakan untuk data yang ragamnya cenderung proporsional dengan nilai tengahnya, untuk data persentase dengan kisaran 0-30%. Bila terdapat nilai 0, transformasi $\sqrt{Y + 0.5}$.

(4). Transfromasi arc sin.

Digunakan pada data proporsi atau persentase yang diperoleh dari data nisbah jumlah.

(a). Bila data dalam kisaran 30-70% tidak perlu transformasi data.

- (b) Bila kisaran nilai 0-30% atau 70-100% tetapi tidak keduanya, digunakan data transformasi akar kuadrat

Bila tidak memenuhi ketentuan a dan b, maka digunakan transformasi arc sin dan bila ada nilai 0 diganti $1/(4n)$ dan 100% diganti $100-(1/4n)$

Uji kehomogenan ragam Bartlett, kenormalan dan transformasi Box dapat dilakukan melalui MINITAB.

Uji kehomogenan ragam melalui pilhan Stat → ANOVA → Test for Equal Variance.

Hasil uji kehomogenan variance bagi data RAK terdahulu sebagai berikut:

Test for Equal Variances: biji versus var

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Var	N	Lower	StDev	Upper
1	3	0,397188	0,95394	17,0512
2	3	0,024039	0,05774	1,0320
3	3	0,745206	1,78979	31,9916
4	3	0,133843	0,32146	5,7459
5	3	0,249820	0,60000	10,7247
6	3	0,425292	1,02144	18,2577
7	3	0,560163	1,34536	24,0478
8	3	0,363775	0,87369	15,6168

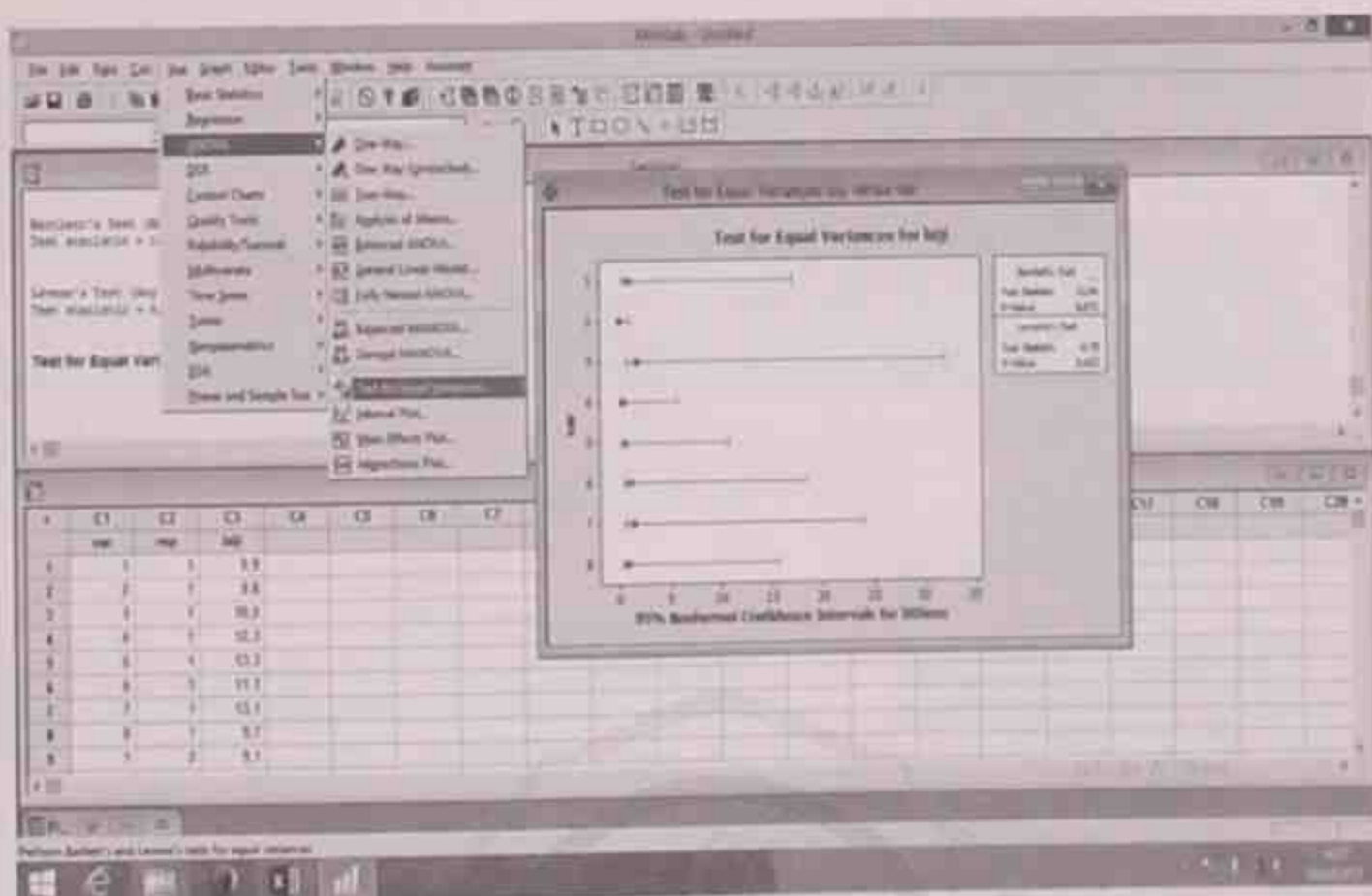
Bartlett's Test (Normal Distribution)

Test statistic = 13,06; p-value = 0,071

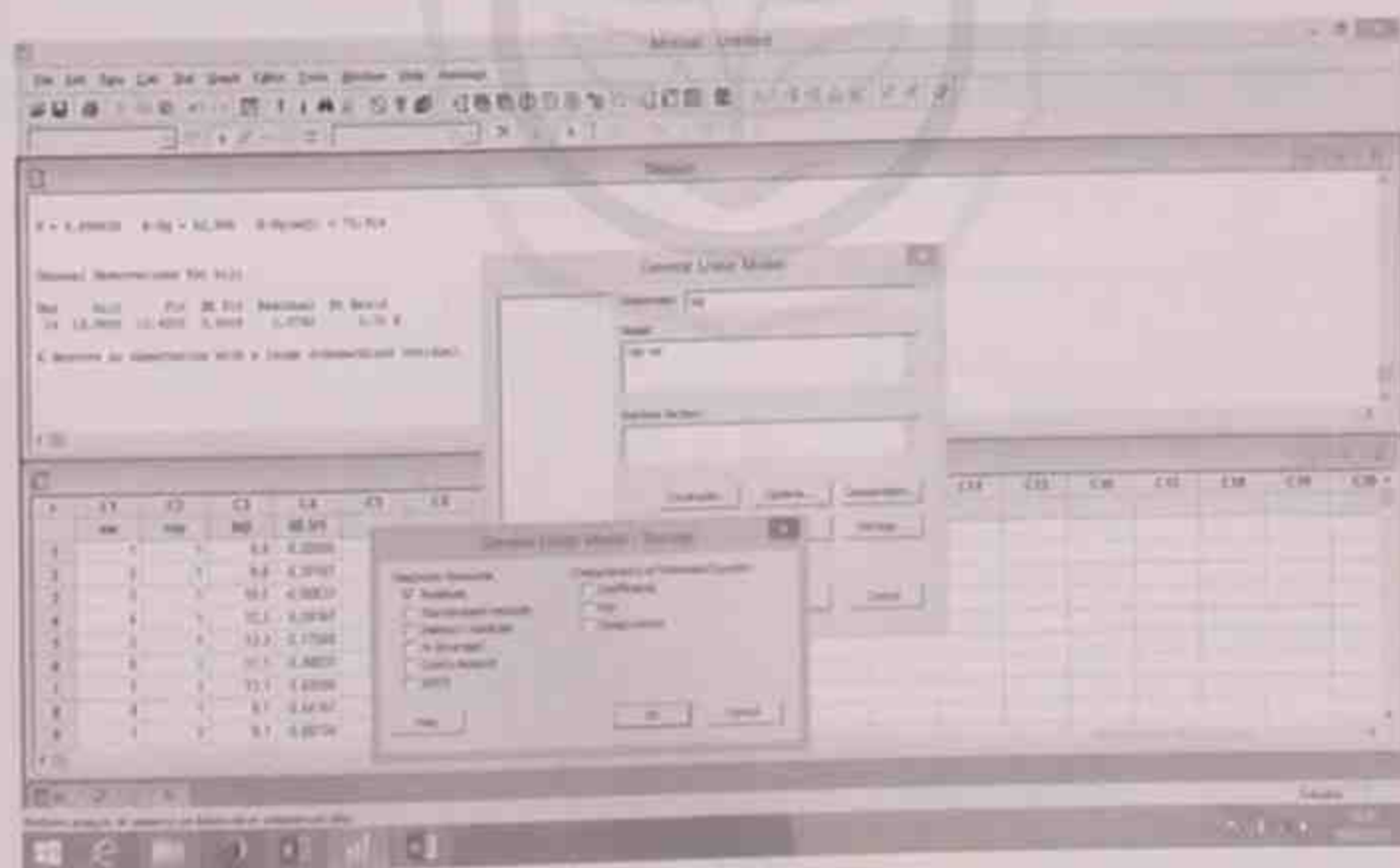
Levene's Test (Any Continuous Distribution)

Test statistic = 0,78; p-value = 0,612

Hasil analisis menunjukkan pada taraf uji 5%, ragam antar perlakuan tidak homogen

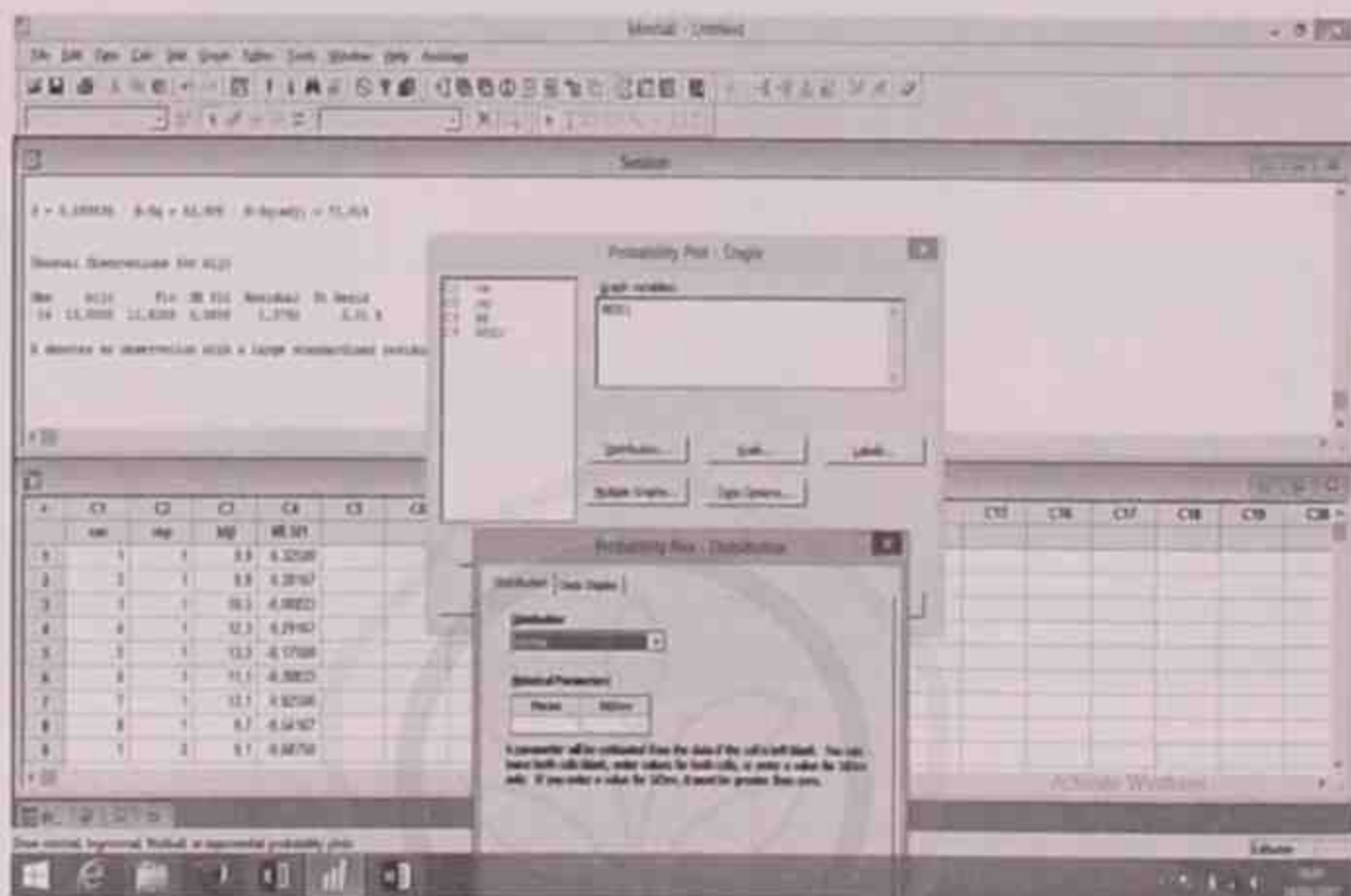


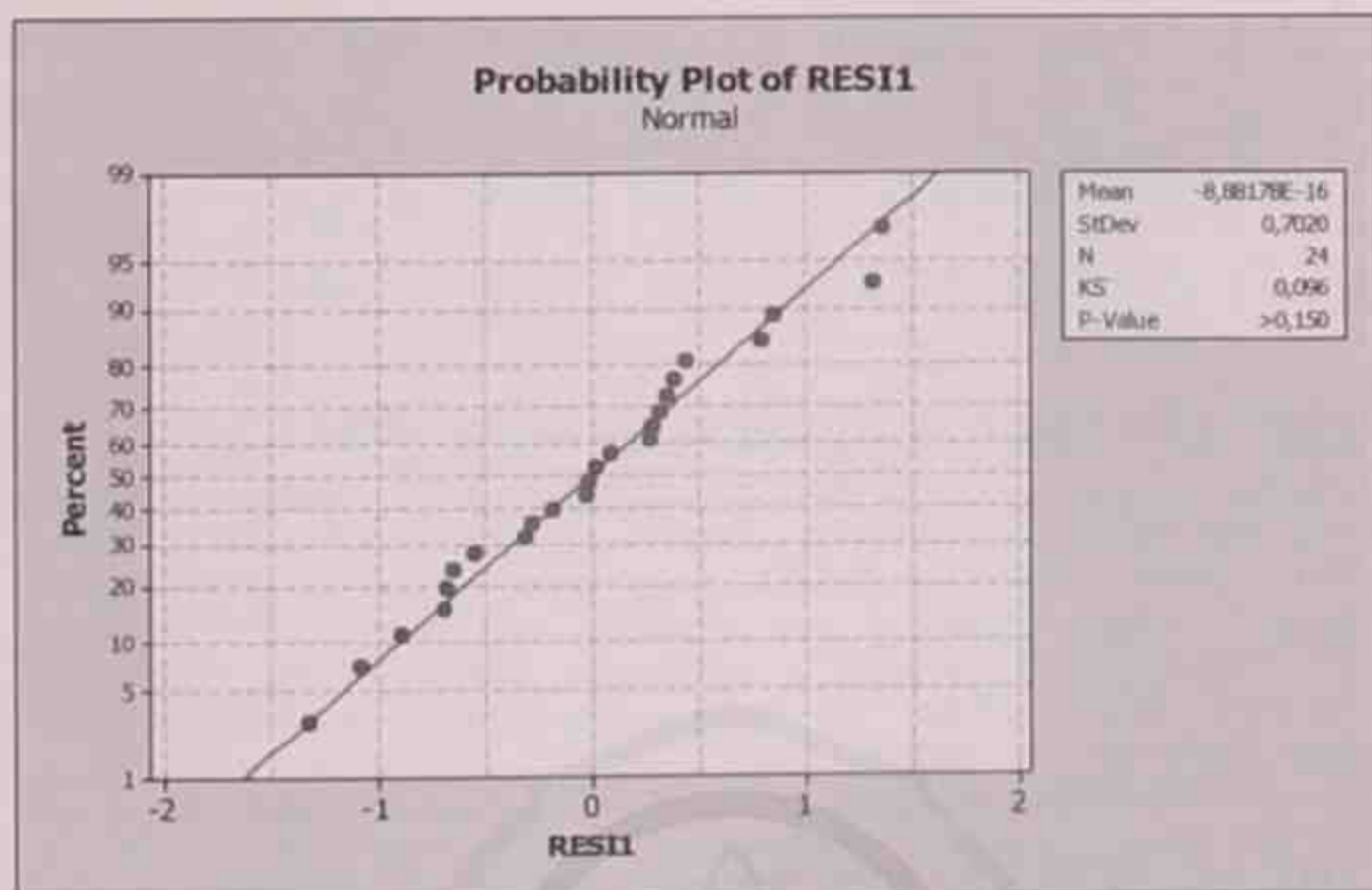
Kenormalan galat



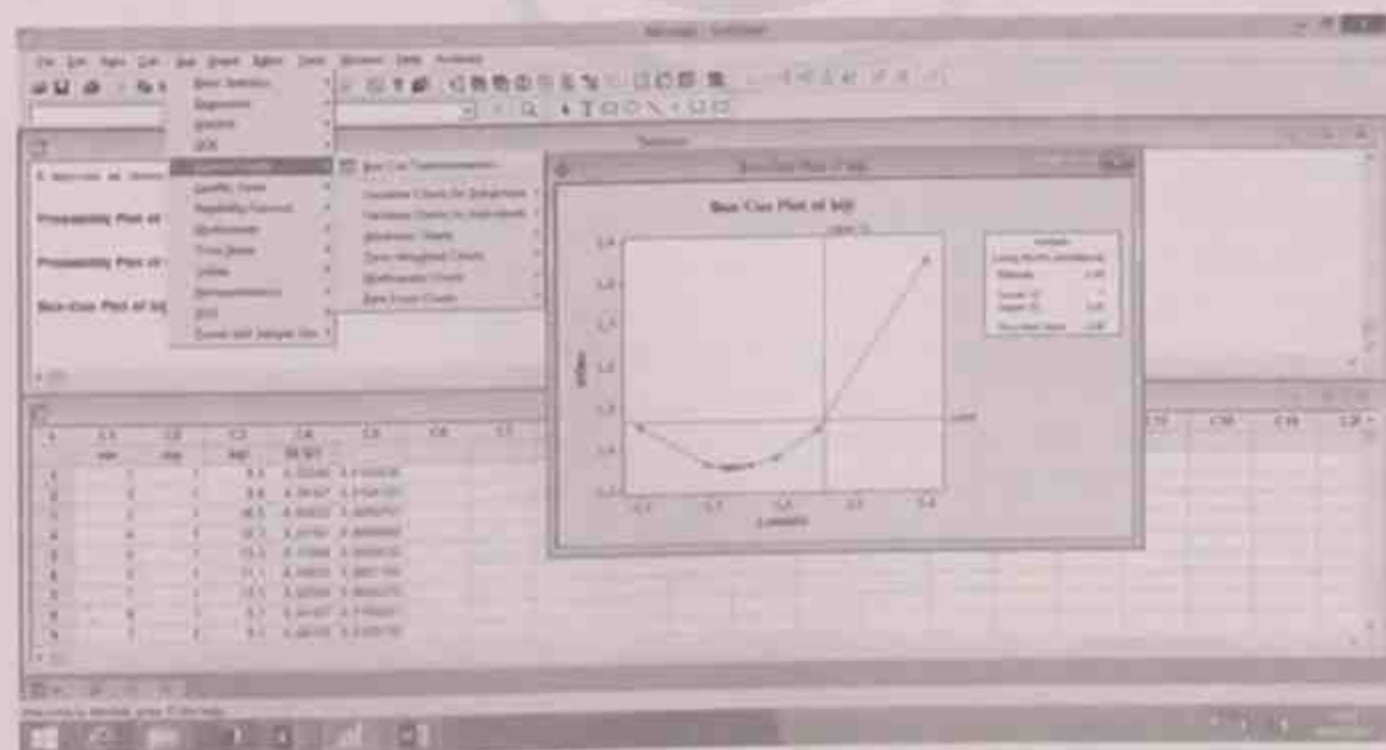
Plot nilai residu (sisaan) dapat diperoleh melalui ANOVA dengan pilihan pada storage residuals. Lalu buat diagram melalui Graph dengan pilihan Probability Plot dengan option normal.

Untuk data RAK terdahulu diperoleh sebagai berikut:





Hasil uji kehomogenan ragam bagi data RAK terdahulu menunjukkan bahwa ragam tidak homogen. Selanjutnya ditransformasi menurut Box Cox. Data dapat ditransformasi melalui MINTAB dengan memilih Stat, Control Charts, Box Cox Transformation. Hasil transformasinya sebagai berikut. Nilai lambda optimal $\lambda = -2$. Artinya data perlu ditransformasi $1/y^2$.



Hasil analisis setelah transformasi data dengan uji Tukey:

var	N	Mean	Grouping
2	3	0,010343	A
1	3	0,010181	A
8	3	0,008913	A B
3	3	0,008799	A B C
6	3	0,007243	A B C
4	3	0,006477	B C
7	3	0,005592	B C
5	3	0,005195	C

Hasil analisis sebelum transformasi data dengan uji Tukey:

var	N	Mean	Grouping
5	3	13,900	A
7	3	13,500	A B
4	3	12,433	A B C
6	3	11,833	A B C D
3	3	10,933	B C D
8	3	10,667	C D
1	3	10,000	C D
2	3	9,833	D

Hasil uji beda rata-rata antar perlakuan nampak berbeda antara sebelum dan sesudah transformasi.

ANALISIS KOMPONEN UTAMA (*Principal Component Analysis*)

Tujuan penggunaan Analisis Komponen Utama (PCA) untuk menyederhanakan besaran keragaman data asal yang berupa peubah ganda (*multi-variates*) sehingga menjadi lebih mudah untuk ditafsirkan, dalam bentuk peubah baru yang disebut komponen utama, yang merupakan kombinasi dari peubah asal. Penyederhanaan dapat mengurangi jumlah dimensi peubah yang dapat dicermati, tanpa harus menghilangkan keragaman-keragaman dari peubah asal. Dengan menggunakan beberapa komponen utama dapat menerangkan total keragaman data asal yang cukup besar. Analisis komponen utama sering digunakan sebagai awal dari analisis lebih lanjut, misalnya analisis kluster atau analisis gerombol.

Pendugaan koefisien pada komponen utama ke- i dari $y_j = a_{j1} X_1 + a_{j2} X_2 + \dots + a_{jp} X_p$ dapat dihitung melalui matrik ragam-peragam atau matrik korelasi ($j \leq p$). Bila dari suatu populasi diamati sebanyak p peubah dari n sample (contoh acak), maka dapat disusun matrik ragam-peragam. Bila matrik ragam-peragam berpangkat penuh (*full rank*) maka akan mempunyai penduga akar ciri yang positif dan unik sebanyak p buah yaitu $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$.

Komponen utama pertama dapat ditulis sebagai $y_1 = a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + \dots + a_{1p} X_p$. Ragam komponen utama pertama y_1 memiliki nilai ragam maksimum bila $\sum a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$, dan komponen utama kedua $y_2 = a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + \dots + a_{2p} X_p$ dan memiliki ragam maksimum bila $\sum a_{21}^2 + a_{22}^2 + \dots + a_{2p}^2 = 1$ serta bersifat bebas dengan komponen utama pertama $\sum a_{11} a_{21} + a_{11} a_{22} + \dots + a_{11} a_{2p} = 0$. Dengan pendekatan matrik maka secara umum \underline{a}_j dapat diperoleh bila determinan $(S - \underline{A}_j I) \underline{a}_j = 0$, vektor koefisien pembobot \underline{a}_j dapat diperoleh, S =matrik ragam peragam, \underline{A}_j =vektor akar ciri, I =matrik identitas berukuran $p \times p$ atau bila menggunakan matrik korelasi R , maka $(R - \underline{A}_j I) \underline{a}_j = 0$. Nilai ragam komponen utama ke- $j = \lambda_j$ (ragam komponen utama sama dengan nilai akar ciri (*Eigen value*)). Matrik ragam peragam digunakan apabila ukuran/satuan pengamatan dari peubah yang diamati sama. Bila peubah yang diamati tidak sama PCA menggunakan matrik korelasi.

Sebagai ilustrasi penghitungan analisis komponen utama digunakan data hasil pengamatan X_1 dan X_2 dari 10 varietas padi, sebagai berikut :

Varietas	Skor hama (X1)	Skor penyakit (X2)
A	8	9
B	7	8
C	9	9
D	2	1
E	3	3
F	3	2
G	2	2
H	8	9
I	7	8
J	9	9

Dari 2 peubah tersebut dapat diperoleh matrik korelasi :

	X1	X2
X1	1	0.98495
X2	0.98495	1

Nilai akar ciri atau *Eigen value* dapat dihitung dari determinan matrik :

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & 0.98495 \\ 0.98495 & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

atau $(1-\lambda)(1-\lambda) - (0.98495)(0.98495) = 0$, atau $\lambda^2 - 2\lambda - 0.03 = 0$ dan diperoleh $\lambda_1 = 1.98$ dan $\lambda_2 = 0.02$.

Untuk mencari vector ciri (atau nilai pembobot setiap peubah asal) untuk komponen utama pertama, $(R - \lambda_1 I) a_1 = 0$, dengan $\lambda_1 = 1.98$. Selanjutnya dapat diperoleh untuk komponen utama pertama $a_1 = a_2$ dengan ortonormal ($a_1^2 + a_2^2 = 1$) sehingga dapat diperoleh $a_1 = 0.707$ dan $a_2 = 0.707$. Sedangkan untuk komponen utama kedua, vektor ciri untuk $\lambda_2 = 0.02$, diperoleh $a_1 = 0.707$ dan $a_2 = -0.707$. Dengan demikian komponen utama pertama diperoleh $y_1 = 0.707X_1 + 0.707X_2$ dan komponen utama kedua $y_2 = 0.707X_1 - 0.707X_2$.

Cara menghitung kontribusi keragaman dari setiap komponen utama ke- $i = \lambda_i / (\lambda_1 + \lambda_2)$ adalah sebagai berikut : Bila menggunakan matrik korelasi $\sum \lambda_i = p$. Kontribusi untuk komponen utama pertama $= \lambda_1 / p = 1.98 / 2 = 0.99$ dan kontribusi untuk komponen utama kedua $= \lambda_2 / p = 0.008 = 0.01$.

Dengan menggunakan program Minitab diperoleh :

Pilih Stat → Multivariate → Principal Component

Pilih Variabel

Pilih correlation

Pada kotak dialog cantumkan banyaknya komponen utama yang dihasilkan
Ok

Hasil analisis komponen utama sebagai berikut:

Principal Component Analysis

Eigen analysis of the Correlation Matrix

Eigen value	1.9850	0.0150
Proportion	0.992	0.008
Cumulative	0.992	1.000

Variable	PC1	PC2
X1	0.707	0.707
X2	0.707	-0.707

Dalam menafsirkan hasil analisis komponen utama dapat diperiksa berdasarkan besarnya kontribusi setiap komponen utama. Selanjutnya kontribusi dari peubah asal terhadap komponen utama dapat pula ditentukan oleh koefisien pembobot masing-masing peubah-asal dalam komponen utamanya.

Misalnya diamati 6 peubah terhadap 10 varietas padi sebagai berikut :

Varietas	Skor hama (X1)	Skor penyakit I (X2)	Skor penyakit II (X3)	Skor toleransi lahan masam (X4)	Skor toleransi kekeringan (X5)	Skor toleransi salinitas (X6)
A	8	9	7	2	3	3
B	7	8	8	1	3	2
C	9	9	8	3	2	2
D	2	1	3	8	8	7
E	3	3	2	9	9	8
F	3	2	2	7	8	9
G	2	2	3	8	9	8
H	8	9	7	8	9	7
I	7	8	8	7	8	8
J	9	9	8	9	9	8

Hasil analisis komponen utama menggunakan Minitab adalah:

Principal Component Analysis: Hama; Penyl; Penyll; Masam; Kering; salin

Eigen analysis of the Correlation Matrix

Eigenvalue	4,4215	1,3913	0,0812	0,0680	0,0331	0,0049
Proportion	0,737	0,232	0,014	0,011	0,006	0,001
Cumulative	0,737	0,969	0,982	0,994	0,999	1,000

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
X1	-0,406	0,424	0,412	0,266	-0,228	0,603
X2	-0,410	0,417	0,137	0,243	0,487	-0,586
X3	-0,413	0,377	-0,617	-0,465	-0,299	-0,029
X4	0,397	0,434	0,510	-0,466	-0,301	-0,294
X5	0,405	0,428	-0,212	-0,164	0,631	0,428
X6	0,418	0,365	-0,355	0,640	-0,364	-0,153

Dari hasil analisis tersebut, komponen utama pertama (PC1) dapat menjelaskan total keragaman data sebanyak 73,7%, dan komponen utama kedua (PC2) sebesar 23,2%. Dengan 2 komponen utama pertama dan kedua secara kumulatif dapat menjelaskan total keragaman sebanyak 96,9%. Dengan demikian dapat ditafsirkan bahwa keragaman 6 peubah asal telah dapat dijelaskan oleh keragaman dua komponen utama sebesar 96,9%. Selanjutnya kontribusi peubah asal pada komponen utama pertama dan kedua, sama besar peranannya karena nilai absolutnya tidak banyak berbeda. Yang berbeda adalah tanda negatif dan positif (arah saling berlawanan). Tanda positif ditafsirkan sebagai meningkatkan nilai skor komponen utama, dan tanda negatif mengurangi nilai komponen utamanya.

Untuk mengetahui pola sebaran data dilakukan dengan membuat diagram/plot data sebaran antar nilai skor komponen utama. Nilai skor komponen utama pertama dan kedua dapat dihitung melalui komponen utama pertama dan kedua (yang telah menerangkan keragaman 96,9%) yaitu :

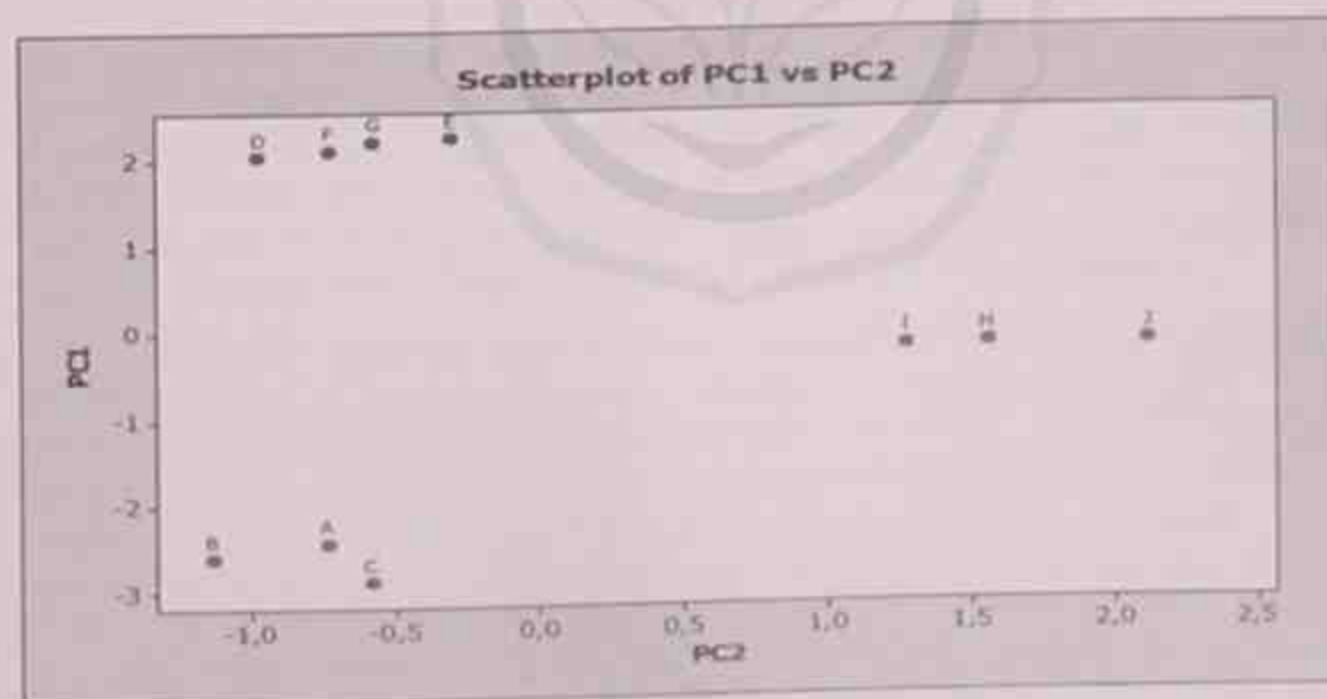
$$PC1 = -0,406 X1 - 0,410 X2 - 0,413 X3 + 0,397 X4 + 0,405 X5 + 0,418 X6$$

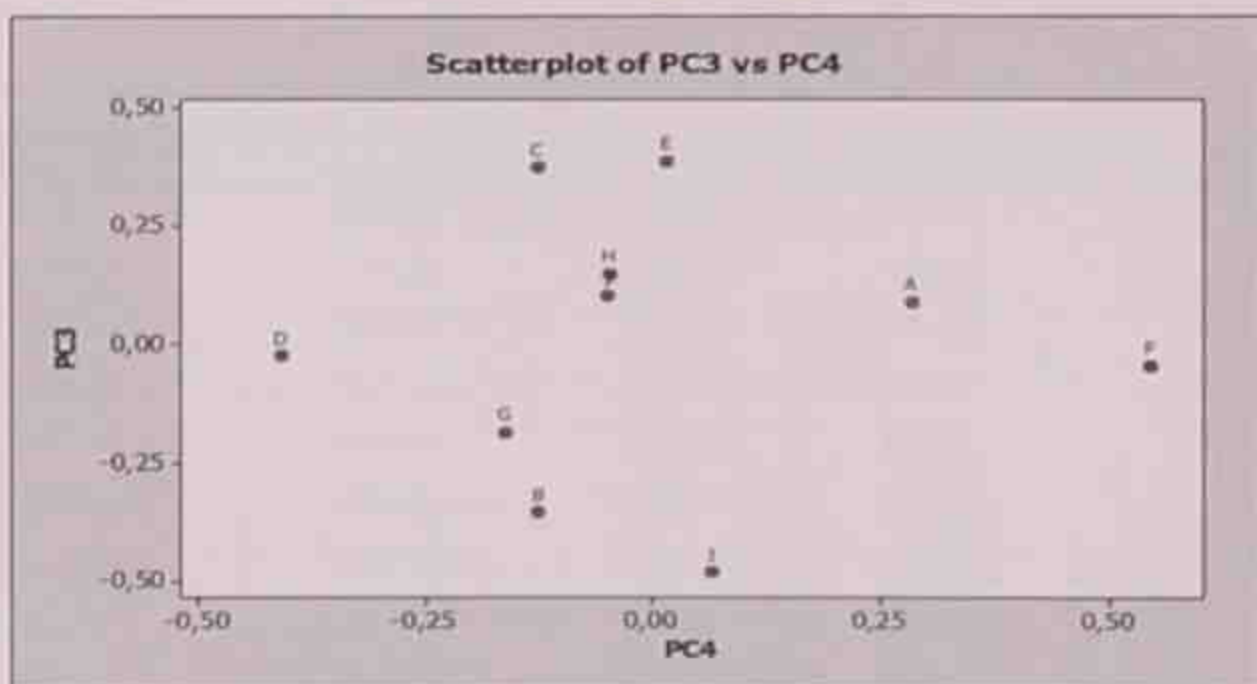
$$PC2 = 0,424 X1 + 0,417 X2 + 0,377 X3 + 0,434 X4 + 0,428 X5 + 0,365 X6$$

Nilai X1, X2, X3, X4, X5 dan X6 merupakan nilai pengamatan yang telah dibakukan dengan transformasi sebaran normal baku. Nilai skor komponen utama pertama hingga ke-4 dari varietas diperoleh berikut ini :

Varietas	Skor PC1	Skor PC2	Skor PC3	Skor PC4
A	-2,4422	-0,7236	0,0889	0,2859
B	-2,6231	-1,1255	-0,3577	-0,1244
C	-2,8927	-0,5771	0,3737	-0,1262
D	2,0342	-0,9616	-0,0247	-0,4072
E	2,2376	-0,2930	0,3880	0,0161
F	2,1036	-0,7151	-0,0462	0,5461
G	2,2091	-0,5617	-0,1880	-0,1606
H	-0,2017	1,5602	0,1485	-0,0473
I	-0,2174	1,2768	-0,4839	0,0662
J	-0,2074	2,1206	0,1013	-0,0487

Diagram/scatter plot sebaran data dengan PC1 (73,7%) dan PC2 (23,2%), serta sebaran data PC3 (1,4%) dan PC4 (1,1%) sebagai koordinat, diperoleh gambar berikut. Diagram PC1 dan PC2 telah dapat menjelaskan pola sebaran data, sedangkan diagram PC3 dan PC4 (kedua PC3 dan PC4 mencakup keragaman hanya 2,5%) belum dapat menjelaskan adanya pola.





Melalui plot diagram PC1 dan PC2 nampak dapat memisahkan varietas-varietas ke dalam 3 kelompok, tetapi PC3 dan PC4 varietas-varietas nampak menyebar.

Tujuan melakukan analisis kluster adalah untuk mengelompokkan obyek ke dalam beberapa kluster atau gerombol berdasarkan kemiripan sifat tertentu antar obyek. Kemiripan antar obyek pada analisis gerombol ditentukan oleh jarak antara dua obyek. Metode kluster/penggerombolan dilakukan berhirarki secara bertahap. Pada awalnya peneliti menganggap setiap obyek adalah sebuah gerombol yang beranggotakan satu obyek, dan selanjutnya menggabungkan dua obyek yang berdekatan menjadi sebuah gerombol baru, dengan anggota yang lebih banyak.

Penggerombolan berhirarki atau secara bertahap merupakan metode yang paling sering digunakan oleh peneliti karena merupakan metode yang paling sederhana dan mudah diimplementasikan. Pada penggerombolan berhirarki, jarak *Euclidian* digunakan apabila antar peubah memiliki satuan yang sama, keragaman yang sama, dan saling bebas (Johnson & Wichern, 2007). Jarak *Euclid* dinotasikan sebagai $d(x,y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2 + \dots + (x_k - y_k)^2}$, peubah X dan Y saling bebas. Jika antar peubah tidak saling bebas, maka analisis menggunakan peubah skor komponen utama untuk mengatasi data yang tidak saling bebas tersebut. Prosedur pengklusteran/ penggerombolan dimulai dengan menganggap semua anggota populasi masing-masing berbeda. Berikutnya dihitung matrik jarak antar anggota dalam kluster/gerombol, dan antara anggota yang memiliki jarak terdekat digabungkan. Apabila menggunakan korelasi, jarak terdekat menunjukkan koefisien korelasinya terbesar.

Metode analisis kluster dapat berupa metode pautan tunggal (*single linkage*), pautan lengkap (*complete linkage*), pautan rata-rata (*average linkage*), pautan sentral (*centroid linkage*) dan pautan Ward. Metode pautan tunggal prinsipnya menggabungkan kluster berdasarkan jarak minimum/terdekat antar dua kluster. Pautan lengkap, menggabungkan kluster berdasarkan jarak maksimum/terjauh antar dua kluster. Pautan rata-rata, menggabungkan kluster berdasarkan rata-rata jarak seluruh anggota suatu kluster terhadap rata-rata seluruh anggota pada kluster lainnya. Pautan sentral, menggabungkan kluster berdasarkan jarak antar sentral antara dua kluster dan Ward menggabungkan kluster dengan meminimumkan ragam galat/error dalam kluster.

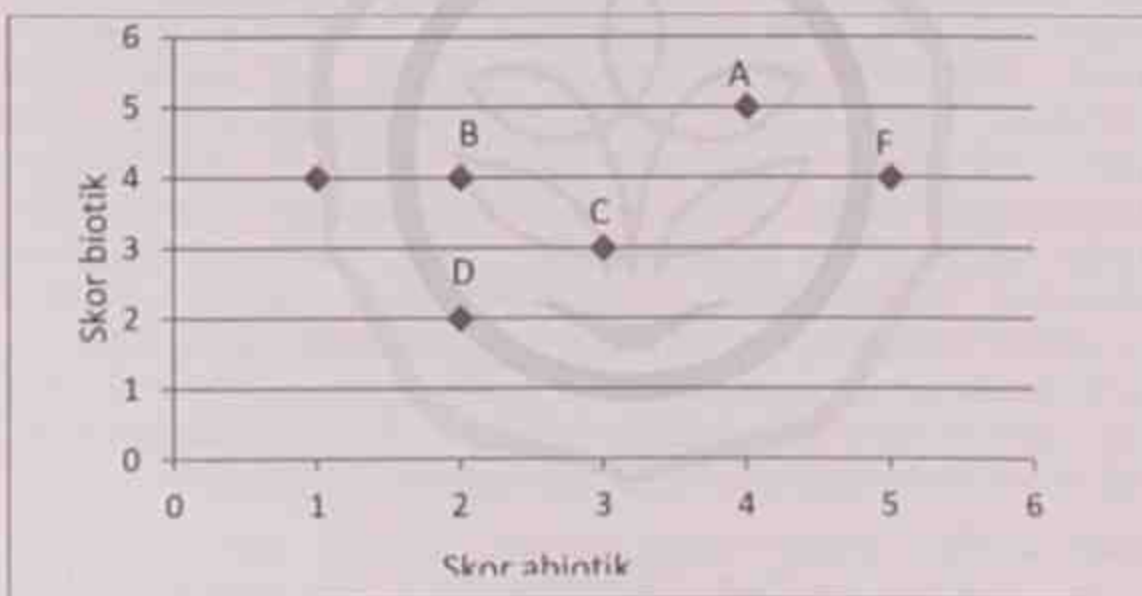
Sebagai ilustrasi dilakukan analisis kluster antar varietas menggunakan metode *single linkage* (pautan tunggal) berdasarkan data pengamatan sebagai berikut.

Data pengamatan 6 varietas meliputi peubah cekaman biotik dan abiotik, dengan anggapan kedua peubah ini saling bebas (tidak berkorelasi).

Varietas	Skor biotik	skor abiotik
A	4	5
B	2	4
C	3	3
D	2	2
E	1	4
F	5	4

Apabila dari data pengamatan tersebut dibuat plot antara 2 variabel skor biotik dan abiotik maka terlihat sebaran titik pengamatan sebagai berikut :

Plot data :



Selanjutnya dihitung jarak Euclidian antar masing-masing varietas.

$$\text{Jarak varietas A dengan B} = \sqrt{(4-2)^2 + (5-4)^2} = 2.24$$

$$\text{Jarak varietas A dengan C} = \sqrt{(4-3)^2 + (5-3)^2} = 2.24$$

$$\text{Jarak varietas A dengan D} = \sqrt{(4-2)^2 + (5-2)^2} = 3.61$$

$$\text{Jarak varietas A dengan E} = \sqrt{(4-1)^2 + (5-4)^2} = 3.16$$

$$\text{Jarak varietas A dengan F} = \sqrt{(4-5)^2 + (5-4)^2} = 1.41$$

Jarak antar varietas lain dapat disajikan pada matrik berikut :

Matrik Jarak Euclidian antara enam varietas berdasarkan dua peubah

Var	A	B	C	D	E	F
A	0.00	2.24	2.24	3.61	3.16	1.41
B	2.24	0.00	1.41	2.00	1.00	3.00
C	2.24	1.41	0.00	1.41	2.24	2.24
D	3.61	2.00	1.41	0.00	2.24	3.61
E	3.16	1.00	2.24	2.24	0.00	4.00
F	1.41	3.00	2.24	3.61	4.00	0.00

Analisis kluster dengan pautan tunggal, yaitu pengelompokkan antar anggota yang memiliki jarak minimum, atau kedekatan antar 2 kluster berdasarkan jarak minimum, yang berarti memiliki maksimum kemiripan /similarity. Berdasarkan matrik jarak tersebut, antara varietas B-E memiliki jarak yang paling kecil (1.00), sehingga varietas B dan E dapat dikelompokkan dalam satu kluster. Pada kluster pertama ini, terdapat 2 varietas atau anggota kluster, yaitu B dan E.

Selanjutnya dihitung antara jarak { (B, E) } dengan {A, C, D, dan F } = jarak { (B,A), (B,C), (B,D), (B,F), (E,A), (E,C), (E,D), (E,F) }. Jarak kedua varietas ini dengan varietas lainnya dapat diperoleh:

Varietas	A	C	D	F
B	2.24	1.41	2.00	3.00
E	3.16	2.24	2.24	4.00

Jarak minimum kluster (B,E) dengan {A, C, D, F} adalah 1.41 yaitu antara varietas B dengan C. Maka dapat dibuat kluster baru dengan anggota kluster (B,E, C).

Selanjutnya, dihitung Jarak kluster (B,E,C) dengan {A, D, F} diperoleh berikut :

Var	A	D	F
B	2.24	2.00	3.00
C	2.24	1.41	2.24
E	3.16	2.24	4.00

Jarak minimum kluster (B,E,C) adalah dengan varietas D yaitu 1.41. maka dapat dibuat kluster baru dengan anggota (B,E,C,D). Selanjutnya dihitung jarak kluster (B,E,C,D) dengan {A, F} diperoleh jarak sbb :

Var	A	F
B	2.24	3.00
C	2.24	2.24
D	3.61	3.61
E	3.16	4.00

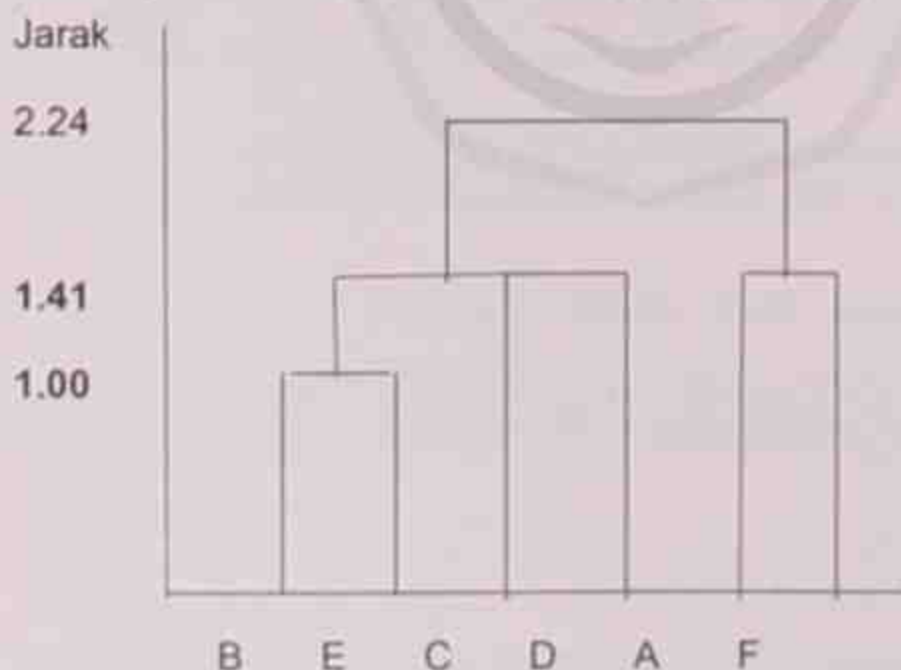
Jarak minimum kluster (B,C,D,E) dengan (A,F) adalah 2,24, jarak (B,C) dengan A dan (F dengan C), Maka dapat dibentuk kluster berikutnya dengan anggota (B,E,C,D, A) atau (B,E,C,D, F).

Jarak kluster (B,E,C,D, A) dengan F diperoleh :

Var	F
A	1.41
B	3.00
C	2.24
D	3.61
E	4.00

Jarak minimum kluster (B,C,D,E,A) dengan varietas F adalah sebesar 1,41, antara A dengan F.

Berdasarkan proses hirarki pengklusteran tersebut dapat disusun dendrogram kluster antar varietas sebagai berikut:



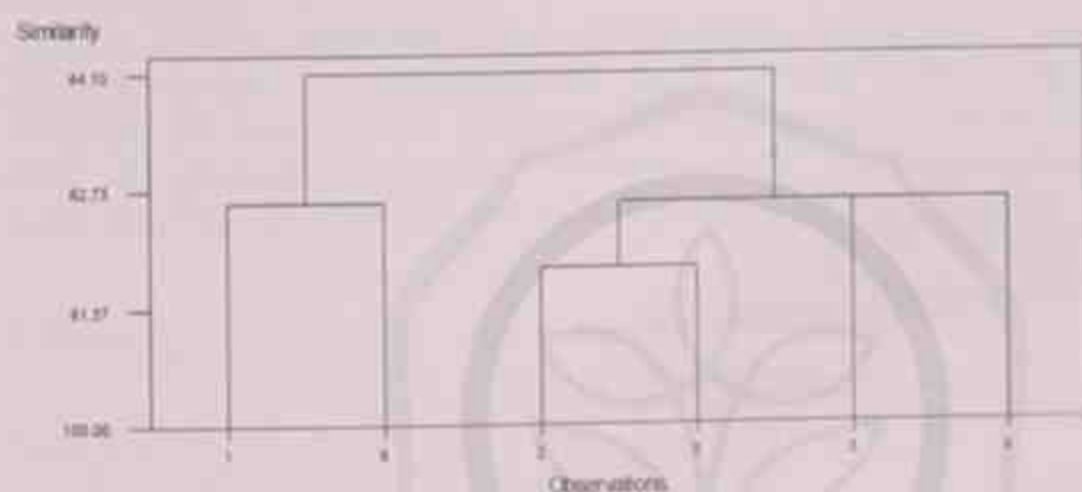
Jumlah kluster yang dihasilkan sering menentukan tingkat kemiripan (similarity) antar anggota-anggotanya. Jarak antar varietas semakin dekat maka varietas-varietas tersebut semakin mirip. Untuk mengekspresikan

tingkat kemiripan anggota kluster dalam skala 0-1 (0-100%), maka nilai jarak ditransformasi dalam kemiripan (similarity) sebagai

$S(ij) = 100(1-d(ij)/d(\max))$, $d(\max)$ =jarak maksimum dari matrik jarak asli/awal.

Pada data diatas jarak maksimum $d(\max) = 4,00$. Dengan demikian untuk jarak B-E sebesar 1,00, similarity= $100(1-1,00/4,00) = 75$. Untuk jarak C-D = 1,41, similarity = $100(1-1,41/4,00) = 64,75$. Jarak minimum (B,E,C,D) dengan F = 2.24 sehingga similarity = $100(1-2,24/4,00) = 44,0$.

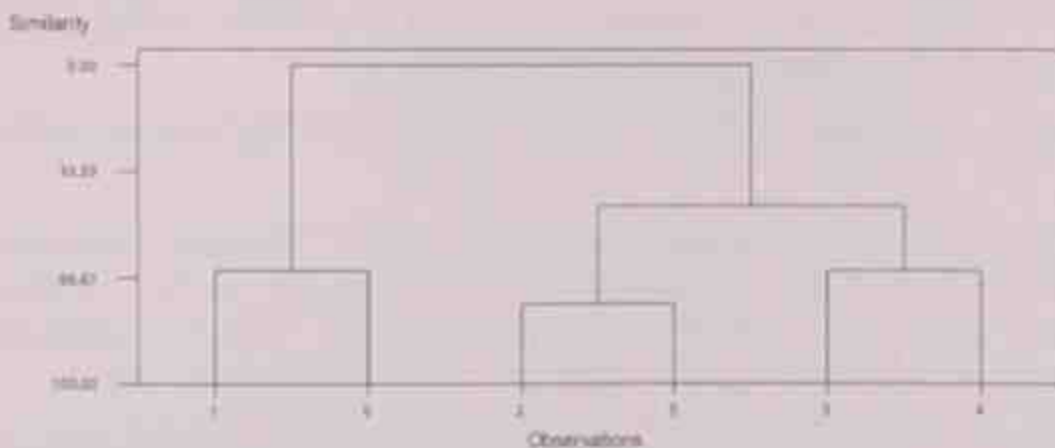
Penghitungan menggunakan Minitab berdasarkan beberapa metod analisis kluster, diperoleh dendrogram kluster seperti berikut di bawah ini.



Angka 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 berturut-turut melambangkan varietas A, B, C, D, E dan F. Perhatikan, bahwa dendrogram kluster di atas sebenarnya sama dengan dendrogram kluster sebelumnya.

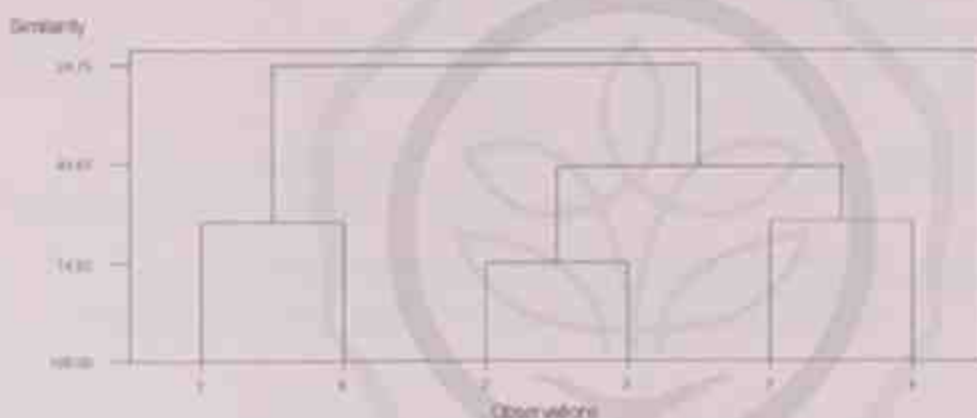
Pengklusteran berdasarkan Complete link (pautan lengkap)

Metode ini berdasarkan jarak maksimum (kemiripan minimum) di antara dua anggota kluster yg berbeda kluster.



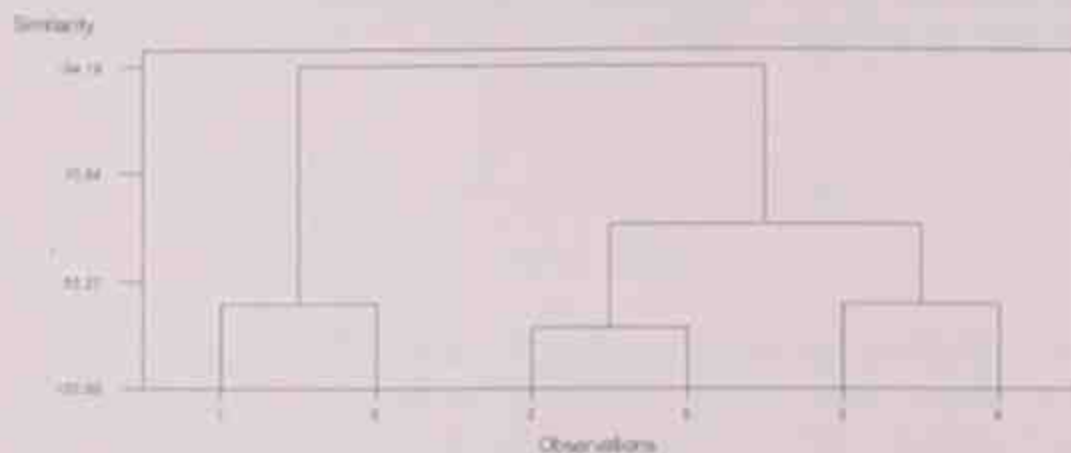
Pengklusteran berdasarkan Average link (Pautan rataaan)

Klusteran dibuat berdasarkan jarak minimum rata-rata antar kluster



Ward's Metode :

Pengklusteran dibuat dengan pengelempokan berdasarkan nilai square error. Bila dua kluster digabung, maka square error meningkat.



Penggunaan berbagai metode sebagai dasar pengklusteran, tersebut ternyata menghasilkan pola kluster yang sama. Anggota kluster dengan jarak terdekat memiliki kemiripan yang paling "dekat" dan anggota kluster dengan jarak terjauh memiliki kemiripan yang rendah.

Perlu diingat, bahwa kedekatan antara anggota kluster yang ditunjukkan dalam dendogram adalah berdasarkan nilai peubah yang digunakan untuk menentukan jarak antar anggota. Apabila peubah yang digunakan untuk menghitung jarak diganti atau berbeda, maka jarak antar anggota menjadi berbeda, dan pola hubungan dalam kluster juga berbeda. Dengan demikian, kedekatan atau kejauhan antar anggota dalam kluster adalah semata-mata berdasarkan nilai peubah yang digunakan untuk menyusun kluster. Oleh karena itu kedekatan jarak antar varietas dalam kluster tidak harus menentukan jarak genetik secara umum dari varietas-varietas yang bersangkutan, walaupun ada kemungkinan terdapat kedekatan genetik berdasarkan sifat peubah yang digunakan untuk menentukan jarak antara varietas-varietas yang bersangkutan. Kedekatan antar anggota kluster adalah semata-mata kedekatan berdasarkan sifat yang digunakan untuk membentuk kluster.



STATISTIK NON PARAMETRIK - UJI KRUSKALWALLIS

Analisis Statistik Non Parametrik digunakan bila asumsi yang mendasari analisis parametrik tidak dipenuhi, seperti asumsi dasar data yang diambil dari populasi yang memiliki sebaran/distribusi normal atau data peringkat (skala ordinal). Hipotesis yang diuji tidak melibatkan parameter populasi (Daniel, 1978). Uji kesamaan dua atau lebih populasi, lebih ditekankan pada apakah populasi-populasi tersebut merupakan populasi yang identik.

Pada percobaan yang melibatkan lebih dari 2 perlakuan, dan data hasil pengamatan paling tidak dalam skala ordinal, maka pengaruh perlakuan terhadap variable respon dapat dianalisis dengan Uji Kruskal-Wallis. Pada Uji Kruskal Wallis, data hasil pengamatan diberi nilai peringkat.

Statistik Uji Kruskal-Wallis dengan statistik $H = \left[\frac{12}{N(N+1)} \right] \left[\frac{(\sum R_i^2)}{n_i} \right] - 3(N+1)$

R_i = Jumlah peringkat perlakuan ke-i,

n_i = jumlah sample/ulangan perlakuan e-i,

N = jumlah sample seluruh pengamatan.

Bila terdapat angka yang sama maka nilai statistik H perlu disesuaikan $H_c = \frac{H}{F_x}$. Faktor koreksi $FK = 1 - \frac{\sum T^3}{(N^3 - N)}$; $T = t^3 - t$; t = banyaknya angka yang sama pada suatu nilai pengamatan.

Nilai pengamatan paling kecil diberi nilai peringkat terendah 1 dan nilai pengamatan terbesar diberi nilai peringkat N . Apabila ada nilai pengamatan yang sama maka peringkat diberi nilai rata-ratanya.

Kriteria pengujian nilai H atau H_c dibandingkan dengan table nilai kritis pada uji Kruskal-Wallis. Namun nilai kritis pada table untuk perlakuan paling banyak 3 dan jumlah sample 1 sampai 5. Untuk perlakuan lebih dari 3 (untuk n_i dan k yang besar) maka dapat menggunakan criteria pengujian berdasarkan statistik Chi-Kuadrat dengan derajat bebas $v = k-1$.

Contoh :

Data percobaan skor ketahanan penyakit (0-9) dari 6 varietas padi adalah sebagai berikut :

Varietas	Sample		
	1	2	3
1	9	9	7
2	6	7	5
3	5	7	6
4	9	8	8
5	2	3	4
6	6	5	7

Data pengamatan dan peringkat (angka dalam tanda kurung) pengamatan di atas menjadi :

Varietas	Sampel			Jumlah peringkat	Rata-rata peringkat
	1	2	3		
1	9 (18)	8 (16)	7 (12.5)	46.5	15.5
2	6 (9)	7 (12.5)	5 (5.5)	27.0	9.0
3	5 (5.5)	7 (12.5)	5 (5.5)	23.5	7.83
4	8 (16)	6 (9)	8 (16)	41.0	13.67
5	2 (1)	3 (2)	4 (3)	6.0	2.0
6	6 (9)	5 (5.5)	7 (12.5)	27.0	9.0

$$H = \left(\frac{12}{N(N+1)} \right) \left[\frac{(\sum R_i)^2}{n_i} \right] - [3(N+1)]$$

$$= \left(\frac{12}{18(18+1)} \right) (46.5^2/3) + (27.0^2/3) + (23.5^2/3) + (23.5^2/3) + (41.0^2/3) + (6.0^2/3) + (27.0^2/3) - [3(18+1)]$$

$$= 11.88$$

$$FK = \frac{1 - (\sum T)}{(N^3 - N)}$$

$$T = t^3 - t$$

t = banyaknya nilai pengamatan yang sama pada suatu nilai pengamatan.

Untuk nilai pengamatan 5 ada 4, $T=4^3-4=60$

6 ada 3, $T=3^3-3=24$

7 ada 4, $T=4^3-4=60$

8 ada 3, $T=3^3-3=24$

$$FK = \frac{1 - [60+24+60+24]}{(183-18)} = \frac{1-168}{5814} = 0.971$$

$$H_c = \frac{H}{FX} = \frac{11.88}{0.971} = 12.23$$

Nilai statistik Chi-Kuadrat dari table distribusi Chi-Kuadrat pada $\alpha = 0.05$ dan $v=k-1=6-1=5$ diperoleh nilai $\chi^2 = 11.070$ (Nilai Chi Kuadrat dengan MS EXCEL dapat diperoleh dengan syntax = `chiinv(0.05,5)`)

Nilai H lebih besar dari nilai $\chi^2 = 11.070$. Kesimpulan dari analisis adalah terdapat perbedaan skor ketahanan penyakit di antara enam varietas yang diuji.

Analisis dengan MINITAB:

Pilih Stat → Non Parametric → Kruskal Wallis
Pilih Response
Pilih Factor
Ok

Hasil analisis dengan Minitab :

Kruskal-Wallis Test on skor

var	N	Median	Ave Rank	Z
1	3	8.000	15.5	2.13
2	3	6.000	9.0	-0.18
3	3	5.000	7.8	-0.59
4	3	8.000	13.7	1.48
5	3	3.000	2.0	-2.67
6	3	6.000	9.0	-0.18
Overall	18		9.5	

H = 11.88 DF = 5 P = 0.036

H = 12.24 DF = 5 P = 0.032 (adjusted for ties)

* NOTE * One or more small samples

Uji beda antar 2 sample populasi menggunakan pembeda untuk perbandingan berganda. Besarnya pembeda = $(z_{\alpha}) \sqrt{\left(\frac{N(N+1)}{12}\right) \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right)}$; dimana z_{α} = nilai tabel distribusi normal baku yang luas sebelah kanan $\alpha/k(k-1)$, k =banyaknya perlakuan, n_i dan banyaknya sampel pada perlakuan ke- i dan perlakuan ke- j . Jika selisih rata-rata peringkat perlakuan ke- i dengan rata-rata peringkat perlakuan ke- j lebih besar dari pembeda maka terdapat perbedaan antara perlakuan ke- i dengan perlakuan ke- j .

Dari data di atas, untuk $k = 6$, dan $\alpha = 0.10$, maka $\frac{\alpha}{k(k-1)} = \frac{0.10}{6(6-1)} = 0.0033$. Dari table distribusi normal baku diperoleh $z = 2.72$.

Nilai dari distribusi z dapat diperoleh melalui MS-EXCEL dengan syntax `=norminv (0.9967,0,1)` akan diperoleh 2.716 [nilai 0,9967 diperoleh dari $1-0.0033$]

$$\begin{aligned}\text{Pembeda} &= (z_{\alpha}) \sqrt{\left(\frac{N(N+1)}{12}\right) \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right)} \\ &= (2.72) \sqrt{\left(\frac{18(18+1)}{12}\right) \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)} \\ &= 11.88\end{aligned}$$

Berdasarkan nilai pembeda ini, maka skor varietas 1 berbeda nyata dengan varietas 5, karena selisih peringkat varietas 1 dengan varietas 5 $= 15.5 - 2.0 = 13.5$ lebih besar dari pembeda 11.88.



ANALISIS GABUNGAN DAN ANALISIS STABILITAS HASIL

Tahapan akhir dari pembentukan varietas unggul adalah Uji Multi Lokasi (UML) galur harapan, guna mengetahui daya hasil dan stabilitas hasil galur harapan calon varietas. Dari data UML, selain diketahui daya hasil galur, juga dapat dimanfaatkan untuk mengetahui stabilitasnya pada banyak lokasi pengujian. Analisis data dari multi-lokasi (lokasi dan musim jamak) disebut analisis gabungan (*combined analysis*)

Salah satu metode analisis stabilitas hasil adalah menggunakan regresi linear hasil galur yang bersangkutan pada "Indeks Lingkungan", dimana Indeks Lingkungan menunjukkan "produktivitas" lingkungan yang bersangkutan, relatif terhadap rata-rata hasil seluruh galur yang diuji pada semua lokasi.

Model linier analisis data untuk stabilitas hasil varietas /galur harapan sama dengan analisis gabungan percobaan RAK yang dilaksanakan di banyak lingkungan/lokasi.

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

Y_{ijk} = nilai pengamatan pada lingkungan ke-i, varietas ke-j, dan ulangan ke-k

U = rata-rata umum

α_i = pengaruh lingkungan ke-i

$\rho_k (\alpha_i)$ = pengaruh kelompok ke-k dalam lingkungan ke-i

β_j = pengaruh varietas ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi lingkungan ke-1, varietas ke-j

ϵ_{ijk} = pengaruh acak

Anova

Sumber Keragaman	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (JK)	Kuadrat tengah (KT)	F
Lingkungan (L)	L-1	JKL	KTL	KTL/KTU/L
Ulangan dalam lingkungan	L(r-1)	JKU/L	KTU/L	
Varietas (V)	V-1	JKV	KTV	KTV/KTG
Interaksi (LxV)	(L-1)(V-1)	JKLV	KTLV	KTLV/KTG
Galat	L(r-1)(V-1)	JKG	KTG	

Banyaknya ulangan (r) pada setiap percobaan RAK dipersyaratkan agar hasil pengujian statistik layak adalah dipenuhinya derajat bebas galat $((r-1)(v-1) > 12$. Bila varietas yang diuji $V=5$, maka r minimal 4

Untuk menentukan banyaknya lingkungan agar pengujian hipotesis pengaruh lingkungan layak, dipersyaratkan derajat bebas denominator (penyebut) pada statistik F untuk lingkungan $L(r-1) > 12$. Bila $r=3$ maka L minimal 6 atau bila $r=4$ maka L minimal 4. Banyaknya lingkungan (lokasi) tergantung dari besarnya tingkat keragaman lingkungan target yang dimaksudkan dalam penelitian.

Untuk pengujian pada lingkungan yang spesifik, maka lokasi dipilih yang memiliki keragaman, dengan demikian jumlah lokasi untuk mewakili menjadi lebih sedikit. Untuk menentukan banyaknya lokasi, dipersyaratkan derajat bebas galat (*pool error*) $L(r-1)(v-1) > 12$. Bila $V=5$, $r=3$ maka L minimal 2, atau bila $V=5$ maka L minimal 2. Bila $L=1$ belum dapat mewakili lingkungan spesifik yang dimaksud, karena tidak ada lingkungan yang persis sama.

Data yang diperlukan dan Prosedur :

- (1). Data entry dalam file MS-Excel
- (2). Analisis data gabungan dengan software Minitab.
- (3). Jika Anova menunjukkan pengaruh interaksi (varietas*lokasi) nyata, dilanjutkan dengan Analisis Stabilitas Hasil.
- (4). Hitung indeks lingkungan dengan MS-Excel.
- (5). Hitung koefisien regresi linier dan MS-errornya setiap varietas dengan MS-Excel. B.
- (6). Uji hipotesis koefisien regresi $\beta=1$ setiap varietas.
- (7). Uji hipotesis deviasi/simpangan dari regresi $S_d = 0$ setiap varietas.
- (8). Varietas dengan $\beta = 1$ dan $S_d = 0$ dinyatakan stabil.

Data entry dalam file MS-Excel

Ketik data dalam work sheet pada MS-Excel

Data : Lokasi, ulangan, varietas hasil :

Lokasi	Ulangan/Blok	Varietas	Hasil
1	1	1	Y_{111}
1	1	2	Y_{112}
...
l	r	t	Y_{lrt}

l = banyaknya lokasi; r = banyaknya ulangan; t = banyaknya varietas

Hitung rata-rata tiap varietas dan lokasi, dengan syntax =average (sel-data;sel -data)

Contoh Data (data dari Singh dan Chaudhori, 1976):

lokasi	varitas	ulangan	hasil
1	1	1	36.4
1	2	1	40.0
1	3	1	32.4
1	4	1	33.5
1	5	1	41.3
1	6	1	27.9
1	7	1	38.5
1	8	1	38.6
1	9	1	41.6
1	10	1	22.6
1	1	2	41.3
1	2	2	38.9
1	3	2	30.9
1	4	2	40.1
1	5	2	43.6
1	6	2	36.3
1	7	2	43.0
1	8	2	29.6
1	9	2	34.4
1	10	2	35.1
1	1	3	51.7
1	2	3	37.1
1	3	3	25.5
1	4	3	47.4
1	5	3	39.5
1	6	3	36.1
1	7	3	40.6
1	8	3	28.6
1	9	3	32.8
1	10	3	33
2	1	1	22.6
2	2	1	42.6
2	3	1	52.8
2	4	1	20.3
2	5	1	38.3
2	6	1	39.4
2	7	1	36.5
2	8	1	31.7
2	9	1	22.8
2	10	1	33.2
2	1	2	39.4
2	2	2	28.2
2	3	2	45.8
2	4	2	28.6
2	5	2	35.4
2	6	2	36.5
2	7	2	37.4
2	8	2	21.0
2	9	2	25.4

lokasi	varitas	ulangan	hasil
2	10	2	28.3
2	1	3	30.2
2	2	3	29.5
2	3	3	32.9
2	4	3	29.5
2	5	3	47.6
2	6	3	40.3
2	7	3	30.8
2	8	3	30.1
2	9	3	34.5
2	10	3	35.8
3	1	1	21.8
3	2	1	27.1
3	3	1	28.6
3	4	1	25.5
3	5	1	28.5
3	6	1	24.5
3	7	1	27.1
3	8	1	25.4
3	9	1	22.4
3	10	1	32.4
3	1	2	26.4
3	2	2	27.7
3	3	2	36.8
3	4	2	21.5
3	5	2	29.6
3	6	2	31.5
3	7	2	25.8
3	8	2	17.3
3	9	2	24.3
3	10	2	24.3
3	1	3	22.6
3	2	3	17.7
3	3	3	35.6
3	4	3	32.8
3	5	3	25.8
3	6	3	28.8
3	7	3	28
3	8	3	24.8
3	9	3	26.7
3	10	3	29.8
4	1	1	31.2
4	2	1	20.2
4	3	1	28
4	4	1	21.3
4	5	1	36.9
4	6	1	41.2
4	7	1	27.9
4	8	1	20.6
4	9	1	20.9
4	10	1	20.8

lokasi	varitas	ulangan	hasil
4	1	2	25.4
4	2	2	29.7
4	3	2	26.3
4	4	2	33.7
4	5	2	29.8
4	6	2	27.3
4	7	2	25.9
4	8	2	25.3
4	9	2	30.2
4	10	2	17.8
4	1	3	23.7
4	2	3	23.9
4	3	3	32.2
4	4	3	34.7
4	5	3	30.6
4	6	3	28.3
4	7	3	27.2
4	8	3	23.9
4	9	3	23.8
4	10	3	15
5	1	1	24.3
5	2	1	28.2
5	3	1	20.3
5	4	1	32.2
5	5	1	18.5
5	6	1	28.1
5	7	1	22
5	8	1	30.7
5	9	1	32.4
5	10	1	26.1
5	1	2	34.3
5	2	2	30.2
5	3	2	25.6
5	4	2	28.1
5	5	2	29.2
5	6	2	40.1
5	7	2	28.2
5	8	2	27.7
5	9	2	37
5	10	2	32.4
5	1	3	36.5
5	2	3	30.1
5	3	3	35.1
5	4	3	28.2
5	5	3	34.5
5	6	3	42.1
5	7	3	38.7
5	8	3	15.1
5	9	3	25.4
5	10	3	38.7

Analisis data gabungan dengan software MINITAB

- Copy data yang telah di entry di MS-EXCEL
- Paste ke worksheet MINITAB

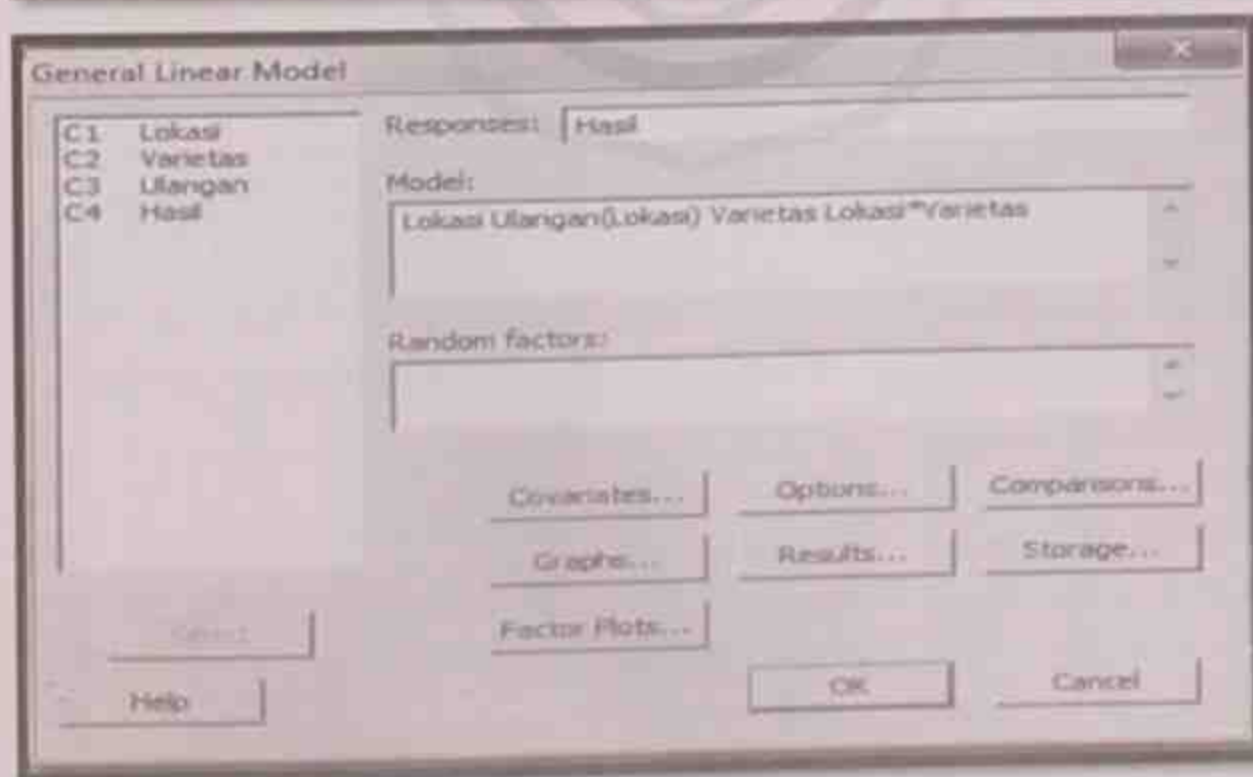
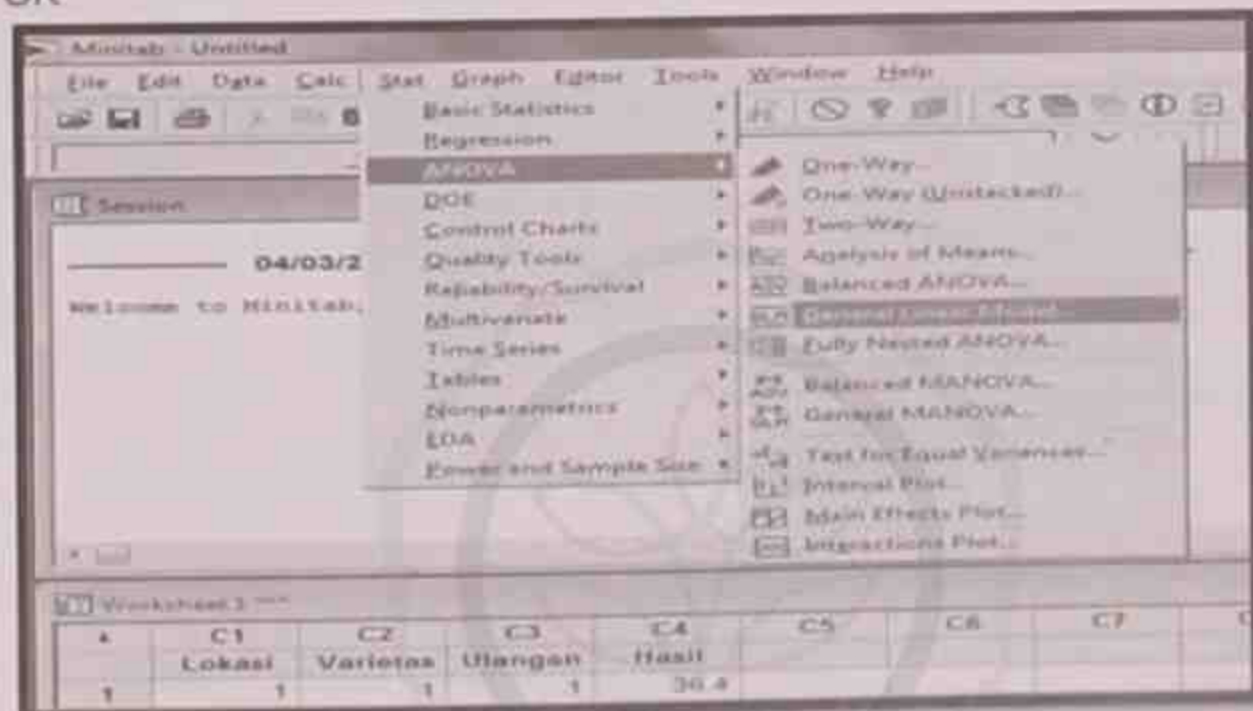
Analisis data Anova gabungan :

Pilih Stat → ANOVA → General linear Model

Pilih Responses peubah hasil

Pada kotak dialog Model : lokasi ulangan(lokalasi) varietas lokasi*varietas.

OK



Output dari MINITAB

Analysis of Variance for hasil, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Lokasi	4	2249,02	2249,02	562,25**	18,94	0,000
Ulangan (lokasi)	10	263,62	263,62	26,36	0,89	0,547
Varietas	9	848,12	848,12	94,24**	3,17	0,002
Lokasi*varietas	36	1889,28	1889,28	52,48**	1,77	0,016
Error	90	2671,37	2671,37	29,68		
Total	149	7921,41				

Dari Anova di atas menunjukkan bahwa pengaruh interaksi (lokasi*varietas) nyata ($P=0,016$).

Anova di atas untuk menduga besaran pool error. Pool Error = MS Error / replications = $29,68 = 9,7833$ (digunakan untuk uji individual deviation from linier regression)

Analisis selanjutnya dengan MS-EXCEL data diolah untuk menghasilkan indeks lingkungan.

Indeks lingkungan ke-i = (rata-rata hasil semua varietas di lokasi ke-i) – (rata-rata umum).

Formula dalam MS-EXCEL :

Rata-umum pada sel G13=AVERAGE(B2:F11)

Indeks pada sel B13 = average(B2:B11)-\$G\$13

Copy sel B13 ke sel C13 hingga F13

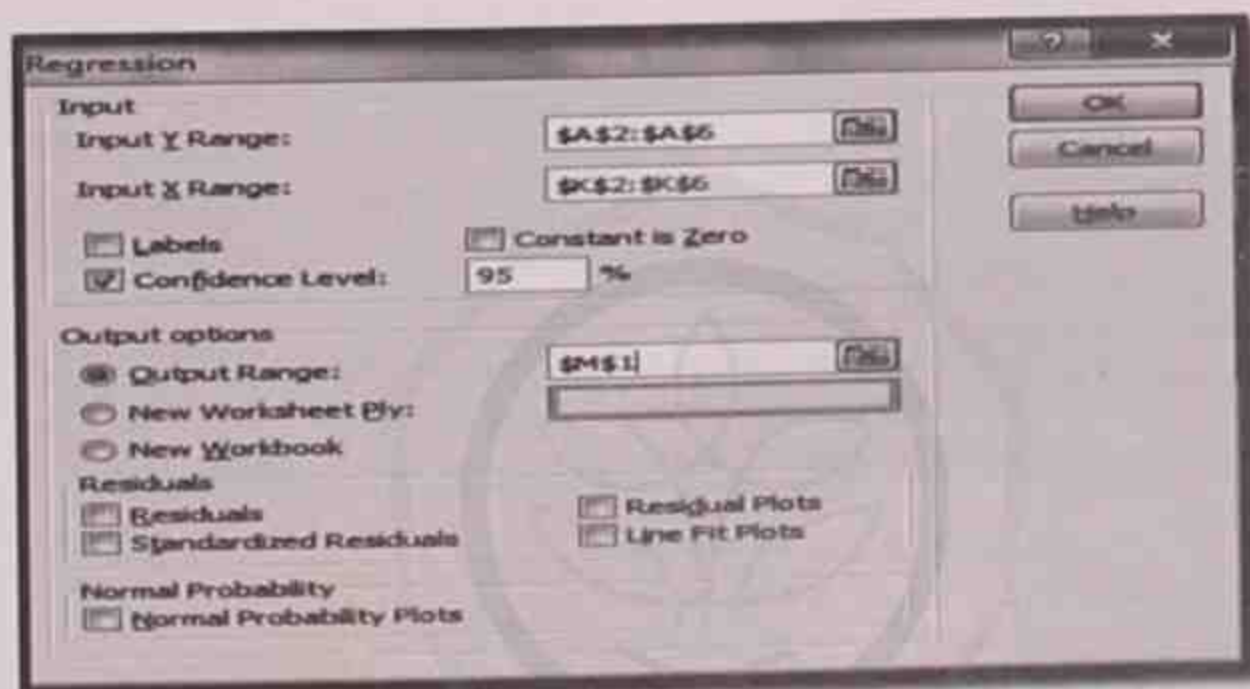
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	var	1	2	3	4	5		
2	1	43,13	30,73	23,60	26,77	31,70		
3	2	38,67	33,43	24,37	24,60	29,50		
4	3	29,60	43,83	33,67	28,83	27,00		
5	4	40,33	26,13	26,60	29,90	29,50		
6	5	41,87	40,43	27,97	32,43	27,40		
7	6	33,43	38,73	28,27	32,27	36,77		
8	7	40,70	34,90	26,97	27,00	29,63		
9	8	32,27	27,60	22,50	23,27	34,50		
10	9	36,27	27,57	24,47	24,97	31,60		
11	10	30,23	32,43	28,83	17,87	32,40		
12								
13	indeks	5,87	2,84	-4,03	-3,95	-0,74	30,74	
14								
15								

Koefisien regresi b_i untuk setiap lokasi dapat diperoleh melalui MS-EXCEL atau MINITAB

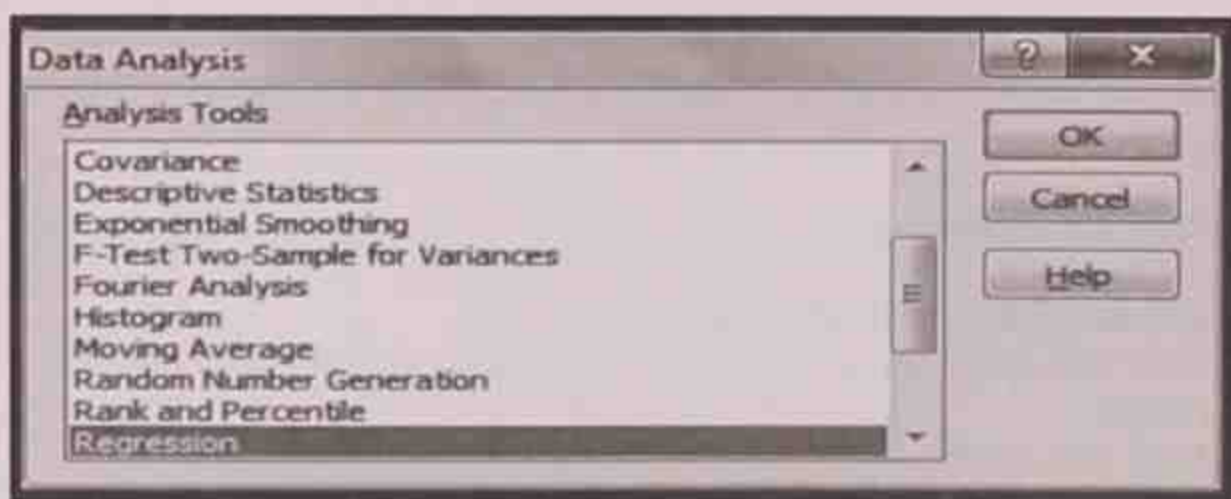
- Bila dari MS-EXCEL

Dari pilihan : **Data Analysis Regression :**

- Blok sel untuk peubah tak bebas atau data rata-rata hasil (Input Y range)
- Blok sel untuk peubah bebas atau data indeks (Input X range)
- Blok sel untuk OUTPUT Range
- OK



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Varietas 1	Varietas 2	Varietas 3	Varietas 4	Varietas 5	Varietas 6	Varietas 7	Varietas 8	Varietas 9	Varietas 10	Indeks
2	43.13	38.67	38.67	40.33	41.47	33.43	40.7	32.27	36.27	30.23	5.87
3	30.73	33.43	33.43	26.13	40.43	38.73	34.9	27.6	27.57	32.43	2.64
4	23.6	24.17	24.17	26.6	27.97	28.27	26.97	22.9	24.47	28.83	-4.03
5	26.77	24.6	24.6	29.9	32.43	32.27	27	23.27	24.97	17.87	-3.95
6	31.7	29.5	29.5	29.5	27.4	36.77	29.63	24.5	31.6	32.4	-0.74
7											
8											



Hasil output dari MS-EXCEL

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	181.0189	181.0189	13.86735	0.033717
Residual	3	39.16081	13.0536		
Total	4	220.1797			

	Coefficient	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	31.18911	1.615773	19.30291	0.000304	26.047	36.33122	26.047	36.33122
X Variable	1.554469	0.417432	3.723889	0.033717	0.226015	2.882922	0.226015	2.882922

Koefisien b untuk varitas-1 = 1,554592
 SS regression = 181,1775
 SS residual = 39,10827
 MS residual = 13.0536

Koefisien regresi b , SS residual dan SS regression untuk masing-masing varietas dapat diperoleh :

Varietas	bi	SS reg	SS-residual	MS- residual
1	1,5546	181,1775	39,1083	13,0361
2	1,4122	149,5183	0,7914	0,2638
3	0,3870	11,2252	170,6472	56,8824
4	0,8560	54,9334	77,3986	25,79953
5	1,3009	126,8728	52,6637	17,55457
6	0,5077	19,3200	46,8786	15,6262
7	1,3489	136,4005	3,5070	1,169
8	0,8986	60,5333	3,2654	1,088467
9	0,9456	67,0373	31,3970	10,46567
10	0,7885	46,6117	100,1452	33,38173
Pool		853,6300	525,8025	175,2675

Untuk menguji hipotesis $b=1$, dari output regression dengan MS-EXCEL dapat diketahui dari nilai intervalnya. Seperti pada contoh di atas, nilai selang b dari varietas 1 antara 0,2260-2,8829 (lower95%-Upper95%), sehingga dapat ditafsirkan $b=1$ karena nilai 1 berada dalam selang nilai tersebut.

Untuk deviasi dari regresi linear setiap varietas :

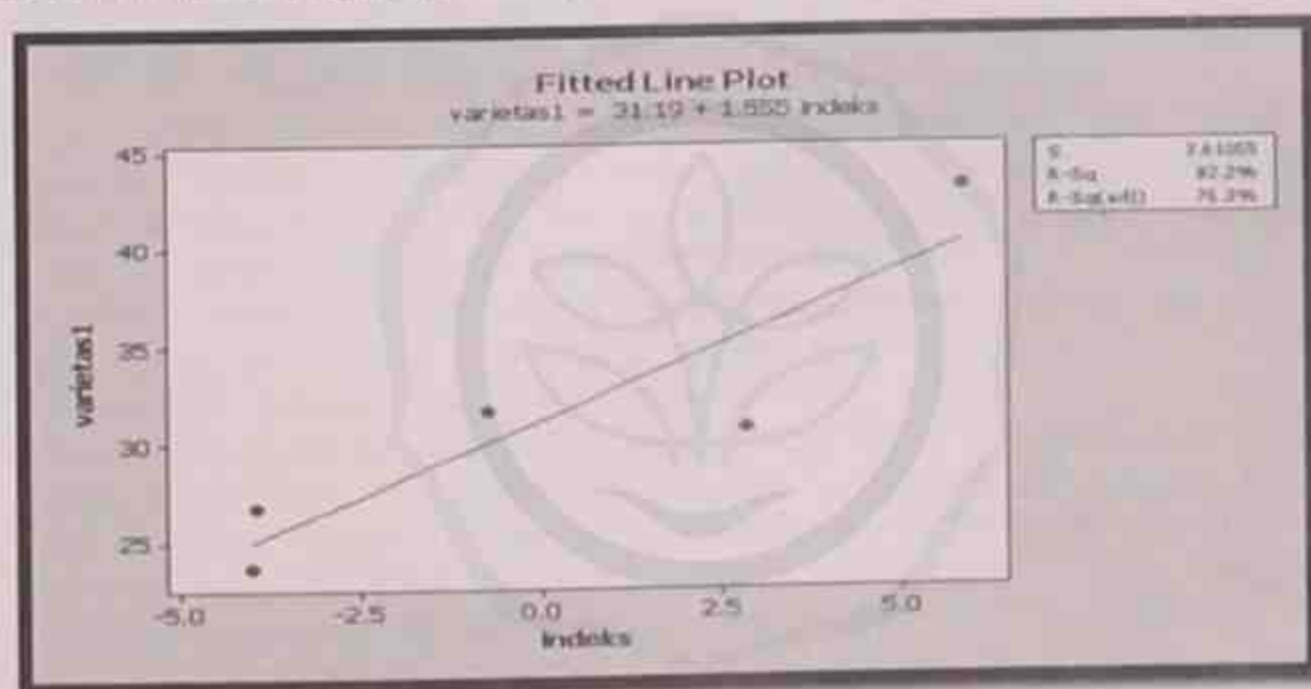
Hitung $F = MS \text{ residual} / \text{pool error}$

Jika $F > F\text{-tabel}$ dengan $v1=s-2$, $v2=st(r-1)$ maka deviasi dari regresi linier nyata.

Untuk varietas 1, $F = 13,03609/9,7833 = 1,332484$

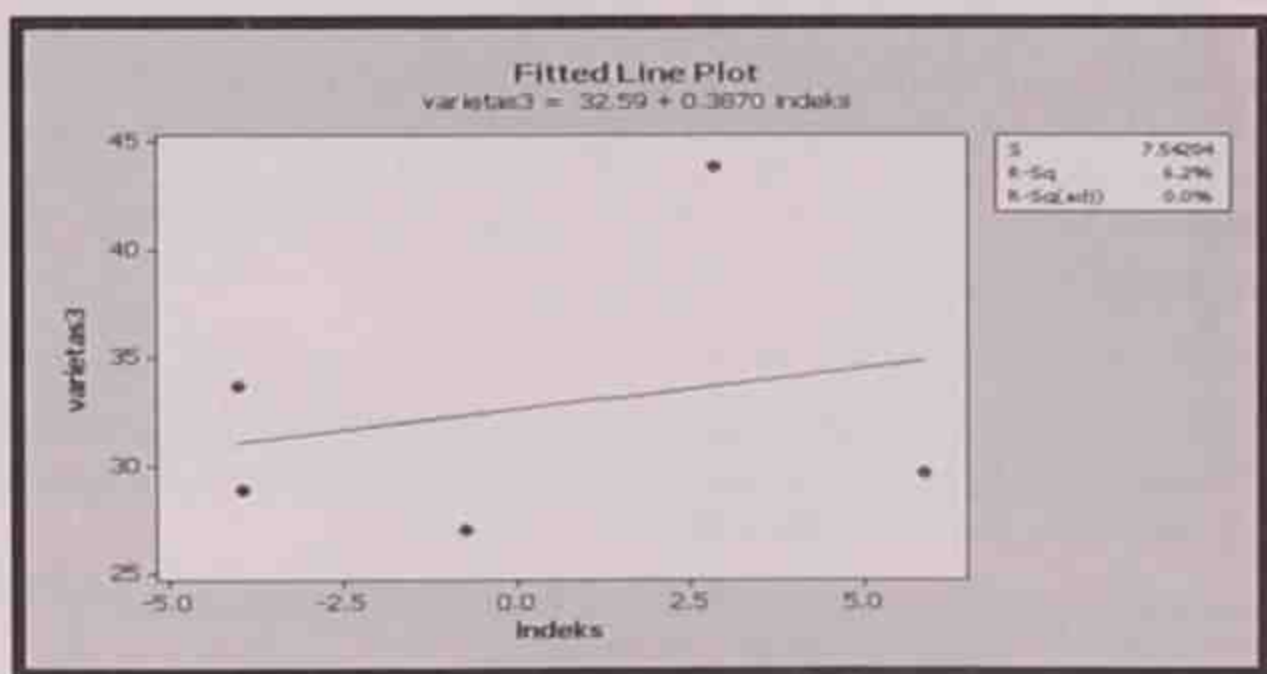
F tabel pada taraf 5% dengan $v1=s-2= 3$ dan $v2=st(r-1)=100$ diperoleh F tabel = 2,695. $F \text{ hitung} < F \text{ tabel}$, maka $sd=0$.

Oleh karena itu, varietas 1 dinyatakan 'stabil' ($b=1$ dan $sd=0$)



Gambar : Hubungan indeks lingkungan dan hasil varietas yang stabil

Dari gambar hubungan antara indeks lingkungan dengan hasil varietas, menunjukkan bahwa varietas yang stabil memiliki titik-titik pengamatan data hasil yang dekat dengan garis regresi.



Gambar : Hubungan indeks lingkungan dengan hasil varietas-3 yang tidak stabil (titik-titik data hasil jauh dari garis regresi)

Perencanaan penelitian dan Rancangan percobaan beserta teknik analisis data, harus dipahami oleh peneliti, dan hukumnya wajib. Tanpa pemahaman dua hal tersebut, maka peneliti dalam bekerja hanya mainan dan coba-coba yang hasilnya diragukan kemanfaatannya. Perencanaan penelitian dan Rancangan percobaan bermanfaat sebagai sarana penguasaan medan "belantara penelitian ilmiah" dan berfungsi sebagai pemandu, patok dan rambu-rambu dalam dunia penelitian. Dapat dibayangkan, tanpa pemahaman dua hal tersebut, peneliti akan bekerja dalam kegelapan, meraba-raba tanpa mengetahui apa yang ingin dicari dan bagaimana cara mencarinya.

Paket program komputer tidak dapat disangkal, sangat membantu peneliti dalam menganalisis data; peneliti harus dapat menentukan berbagai pilihan, termasuk teknik analisis apa yang diinginkan; perlu tidaknya mengelompokkan data menjadi beberapa grup sebelum data dianalisis; memberi makna hasil analisis data; menyimpulkan hasil analisis data; dan peringatan apa yang harus diperhatikan dalam membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis data. Luaran berupa *print-out* komputer dan berbagai paket program tidak dapat dimaknai oleh peneliti tanpa memahami rancangan percobaan beserta prinsip-prinsip analisis data. Sebagai contoh, paket program dengan cepat dapat menunjukkan koefisien korelasi; koefisien regresi, koefisien keragaman; atau nilai F_{hitung} perlakuan yang nyata. Akan tetapi apa makna dari hasil analisis data tersebut? Pertanyaan tersebut dapat terjawab dengan jelas, dengan membaca buku ini dan memahaminya.

Hambatan bagi sebagian peneliti adalah anggapan bahwa belajar statistik dan analisa data sulit, dan sukar untuk dipahaminya. Anggapan yang demikian tidak benar, lebih-lebih bagi peneliti yang tugas profesinya mempersyaratkan harus memahami rancangan percobaan, statistik dan analisa data. Kenyataannya, statistik dan analisa data tidak lebih dari menjumlahkan, mengurangi, membagi, mengalikan dan dikuadratkan. Prosedur penghitungan telah disediakan rumusnya, dan komputer dengan cepat mengeksekusi data untuk memberikan hasil akhirnya.

Bagi peneliti, yang penting adalah memahami langkah-langkah teknik analisis data yang diperlukan dalam pengolahan data, bagaimana mendapatkan hasil akhir, dan apa maknanya. Kiat memahami statistik,

rancangan percobaan, dan analisis data bagi peneliti yang belum menguasainya disarankan untuk hal-hal berikut :

- (1). Berniat dengan tulus untuk mempelajari dan memahami berkaitan dengan rancangan percobaan, dan rancangan penelitian serta cara mengolah data.
- (2). Mempelajari dari bagian awal secara progresif (maju secara bertahap) pada bab-bab berikutnya.
- (3). Pahami notasi statistik tanpa nerasa ada rasa takut.
- (4). Pahami konsep dasar statistik, seperti harga rata-rata, standar deviasi, standar error, koefisien keragaman, dan lainnya.
- (5). Statistik hanyalah alat bantu berpikir, sedangkan keputusan terhadap makna hasil analisis data tetap pada peneliti. Perbedaan antara perlakuan sangat nyata, tetapi kalau perbedaan itu nilainya kecil menurut ukuran praktek di lapangan, maka perbedaan tersebut tidak ada manfaatnya dalam praktek.
- (6). Merasa nyaman hati dalam mempelajari statistik dan tidak merasa sungkan untuk bertanya bila menemui kurang-pahaman.

Tentu saja hal-hal di atas diperuntukkan bagi peneliti yang belum memahami statistik dan teknik analisis data. Bagi peneliti yang sudah menguasai dan memahami statistik dan teknik analisis data, hal-hal yang disarankan tersebut tidak ada relevansinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Daniel, W.W. 1978. Applied Non Parametric Statistic. Houghton Mifflin Company
- Gomez, K.A. 1972. Techniques for field experiments with rice. IRRI. Los Banos.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons. Singapore
- Gomez, K.A., A.A. Gomez. 1995. Prosedur statistik untuk penelitian pertanian. Edisi Kedua. Penerjemah Endang Sjamsuddin, Justika S. Baharsyah. UI-Press. Jakarta
- Hinz, P.N. and H.A. Eagles. 1976. Estimation of a transformation for the analysis of some agronomic and genetic experiments. Crop Sci. 16:280-283
- Johnson, R.A., D.W. Wichern. 2007. Applied Multi Variate Statistical Analysis. 6th edition. New Jersey: Prentice-Hall
- Le Clerg E. L., W.H. Leonard, and A.G. Clark. 1980. Field Plot Technique. Second Ed. Burgess Prub. Co. Minneapolis. USA. 373 hal.
- Little T.M. and F.J. Hills. 1998. Agricultural Experimentation. Design and Analysis. John Willy & Sons Inc. New York. 350 hal.
- Mattjik A.A., dan Made Sumertajaya. 2000. Perancangan Percobaan. IPB Press. Bogor
- Montgomery D.C. 1976. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons. New York.
- Singh R.K. dan B.D. Chaudhuri. 1979. Biometricals methods in quantitativ genetic analysis. Kalyani Publishers. New Delhi
- Steel, R.G.D. dan J.H. Torre. 1989. Prinsip dan prosedur statistika, suatu pendekatan biometrik. PT. Gramedia. Jakarta.
- Sumarno dan D. Hamowo. 2016. Manajemen Penelitian dan Pengembangan Pertanian. AARD Press. Jakarta. 185 hal.





00

ISBN 978-602-6916-51-8

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Jl. Ragunan No 29 Pasar Minggu Jakarta, 12540
Telp. +62217806202, Faks. +62217800644
Website : www.litbang.pertanian.go.id

