

**RANCANGAN *FRACTIONAL FACTORIAL* (FF) 3^{k-p} DAN
PENGUNAAN METODE BISSELL UNTUK
MENGIDENTIFIKASI FAKTOR SIGNIFIKAN**

S K R I P S I



Oleh :

NIKI ARISKI

H 121 09 283

JURUSAN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

**RANCANGAN *FRACTIONAL FACTORIAL* (FF) 3^{k-p} DAN
PENGUNAAN METODE BISSELL UNTUK
MENGIDENTIFIKASI FAKTOR SIGNIFIKAN**

S K R I P S I



Oleh :

NIKI ARISKI

H 121 09 283

JURUSAN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

**RANCANGAN *FRACTIONAL FACTORIAL* (FF) 3^{k-p} DAN
PENGUNAAN METODE BISSELL UNTUK MENGIDENTIFIKASI
FAKTOR SIGNIFIKAN**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada

Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

Makassar

Oleh :

NIKI ARISKI

H 121 09 283

JURUSAN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

P E R N Y A T A A N

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan
sesungguhnya-sungguhnya bahwa skripsi yang saya buat dengan judul :

**“ RANCANGAN *FRACTIONAL FACTORIAL* (FF) 3^{k-p} DAN
PENGUNAAN METODE BISSELL UNTUK
MENGIDENTIFIKASI FAKTOR SIGNIFIKAN “**

adalah benar hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat
dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

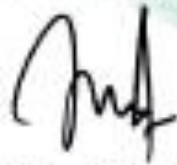
Makassar, 27 Agustus 2013

NIKI ARISKI
NIM : H 121 09 283

**Rancangan *Fractional Factorial* (FF) 3^{k-p} dan Penggunaan
Metode Bissell untuk Mengidentifikasi Faktor Signifikan**

Disetujui Oleh :

Pembimbing Utama



Anisa, S.Si., M.Si
NIP 19730227 199802 2 001

Pembimbing Pertama



Dra. Nasrah Sirajang, M.Si
NIP 19650519 199303 2 001

Pada tanggal : 29 Agustus 2013

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN

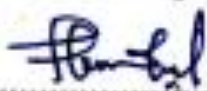
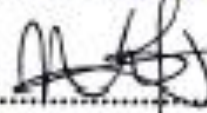
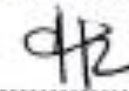
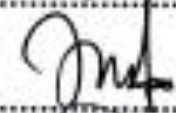
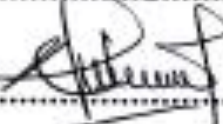
Pada hari ini, Selasa 27 Agustus 2013, Panitia Ujian Skripsi menerima dengan baik skripsi yang berjudul :

**Rancangan *Fractional Factorial* (FF) 3^{k-p} dan Penggunaan
Metode Bissell untuk Mengidentifikasi Faktor Signifikan**

yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Makassar, 27 Agustus 2013

PANTIA UJIAN SKRIPSI

		Tanda Tangan
1. Ketua	: Prof. Dr. Syamsuddin Toaha, M.Sc	()
2. Sekretaris	: Dra. Nur Erawaty, M.Si	()
3. Anggota	: Dr. Erna Tri Herdiani, M.Si	()
4. Anggota	: Anisa, S.Si, M.Si	()
5. Anggota	: Dra. Nasrah Sirajang, M.Si	()

KATA PENGANTAR



Sesungguhnya segala puji bagi Allah, atas limpahan rahmat, kesempatan, dan kesehatan yang dikaruniakan-Nya sehingga skripsi yang merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan di Program Studi Statistika Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar ini dapat terselesaikan.

Shalawat dan salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya, semoga kebaikan terus tercurah hingga akhir zaman.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang tak terhingga kepada Ayahanda **A. Nicolas** dan Ibunda tercinta **Hariani** atas doa restu dan dukungannya kepada penulis selama menjalani proses pendidikan. Untuk adik-adikku tersayang **Sri Wahyuni, dan Satrio Iriansyah Putra** serta seluruh keluarga besarku, terima kasih atas doa dan semangatnya.

Penghargaan dan ucapan terima kasih juga penulis ucapkan kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. dr. Idrus Patturusi, Sp.BO** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya. Bapak **Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M. Sc** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya, dan semua pihak birokrasi atas ilmu dan kemudahan-kemudahan yang diberikan.

2. Ibu **Dr. Hasmawati, M.Si.**, selaku Ketua Jurusan dan **segenap dosen pengajar** serta **staf Jurusan Matematika (Pak Nasir dan Pak Sutamin, S.Sos)** yang telah memberikan ilmu dan banyak bantuan selama penulis menjalani pendidikan.
3. Ibu **Annisa, S.Si., M.Si** selaku pembimbing utama, Ibu **Dra. Nasrah Sirajang, M.Si** selaku pembimbing pertama dan Bapak **Adnan Sauddin, S.Si., M.Si** yang tesisnya telah diangkat dalam penulisan skripsi ini atas kesediaan dan kesabaran untuk membimbing dan membagi ilmunya kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Prof. Dr. Syamsuddin Toaha, M.Sc** selaku ketua tim penguji, Ibu **Dra. Nur Erawaty, M.Si** selaku sekretaris tim penguji, dan Ibu **Dr. Erna Tri Herdiani, M.Si** selaku anggota tim penguji sekaligus sebagai Penasehat Akademik penulis yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. My lovely best friends **Ira, Cimma, Whay, Yuli, Hesti, dan Jejen** serta teman-teman **Statistika 2009**, senang bisa kenal kalian dan terima kasih untuk semua yang telah kita lewati bersama. Terkhusus untuk sahabatku **Istania Dianita, S.H., M.Si** terima kasih atas dukungannya selama penulis menjalani pendidikan.
6. Teman-teman **KURa-kura MERah** (Diksar 16 KSR PMI Unhas) dan seluruh Keluarga besar KSR PMI Unhas atas dukungan dan motivasi serta kebersamaannya di Markas tercinta.

7. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dan tak sempat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan terutama bagi penulis. *Amin Yaa Rabbal Alamin*

Makassar, 27 Agustus 2013

Penulis

ABSTRAK

Percobaan faktorial adalah percobaan yang melibatkan lebih dari satu faktor. Rancangan Faktorial Fraksional muncul karena keterbatasan faktor waktu, biaya serta tenaga yang tersedia untuk melakukan suatu percobaan yang melibatkan banyak faktor.

Penelitian ini dilakukan untuk 1) Menentukan Rancangan Faktorial Fraksional pada percobaan bertaraf tiga untuk banyaknya faktor, $k = 3, 4, 5$, dan 6 dengan fraksi yang digunakan $p = \frac{1}{3}, \frac{1}{9}$ dan $\frac{1}{27}$; 2) Menentukan faktor yang signifikan dengan menggunakan Metode Bissell untuk Rancangan Faktorial Fraksional tanpa pengulangan pada studi kasus mengenai faktor-faktor yang signifikan terhadap panjang tanaman kacang hijau. Adapun faktor-faktor yang digunakan adalah faktor media tumbuh, cahaya dan air.

Hasil penelitian diperoleh pemilihan Rancangan Faktorial Fraksional Tiga Level sesuai dengan generator yang dapat digunakan dan dengan menggunakan Metode Bissell untuk studi kasus mengenai faktor-faktor yang signifikan terhadap panjang tanaman kacang hijau diketahui faktor yang signifikan adalah cahaya.

Kata Kunci : Rancangan Faktorial, Rancangan *Fractional Factorial* (FF) Tiga Level, Metode Bissell, Perkecambahan Benih.

ABSTRACT

Factorial experiment is an experiment that involves more than one factor. The design of Fractional Factorial arise due to the limited time factor, cost and power available to perform an experiment that involves many factors.

This study was conducted to 1) determine the design of the FF three-class experiments to many factors, $k = 3, 4, 5,$ and 6 with fractions, $p = \frac{1}{3}, \frac{1}{9}$ and $\frac{1}{27}$; 2) Determine the significant factors Bissell Methods for unreplicated Fractional Factorial Design on a case study of the factors that significantly influence the long green bean plants. The factors used are factors growing medium, light and water.

The results were obtained by the selection of the Fractional Factorial Three Levels Design according to the generator that can be used with the Bissell Methods for case studies on the factors that significantly influence the length of green bean plants known significant factor is the light.

Keywords : Factorial Design, Fractional Factorial Three Level Design, Bissell Methods, Seed Germination.

DAFTAR ISI

SAMPUL

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR KEOTENTIKAN	ii
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Permasalahan.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan Percobaan.....	5
2.2 Percobaan Faktorial.....	7
2.2.1 Percobaan Faktorial 3^k	8
2.3 Rancangan <i>Fractional Factorial</i> (FF).....	10

2.4 Model Linear Rancangan <i>Fractional Factorial</i> (FF).....	11
2.5 <i>Fractional Factorial</i> (FF) Tiga Level.....	12
2.6 Tabel Respon pada Rancangan <i>Fractional Factorial</i> (FF) Tiga Level....	16
2.7 Metode Bissell.....	19
2.8 Perkecambahan Benih.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data.....	24
3.2 Identifikasi Variabel.....	24
3.3 Metode Analisis	25
3.4 Skema Kerja (<i>Flowchart</i>).....	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Penggunaan Rancangan <i>Fractional Factorial</i> (FF).....	27
4.2 Pembentukan Struktur Rancangan <i>Fractional Factorial</i> (FF).....	29
4.2.1 Fraksi $\frac{1}{3}$	31
4.2.2 Fraksi $\frac{1}{9}$	46
4.2.3 Fraksi $\frac{1}{27}$	69
4.3 Penggunaan Metode Bissel untuk Menentukan Faktor Signifikan.....	75
4.4 Studi Kasus	79
BAB V. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kombinasi perlakuan dari rancangan 3^3	9
Tabel 2. Matriks rancangan 3^{4-1} dengan generator $D = ABC$	14
Tabel 3. Matriks L_9 OA	18
Tabel 4. Tabel respon L_9 OA	19
Tabel 5. Kemungkinan generator untuk rancangan 3^{2-1}	32
Tabel 6. Generator untuk rancangan 3^{3-1}	34
Tabel 7. Alias yang terbentuk dengan generator $C = AB^2$	35
Tabel 8. Alias yang terbentuk dengan generator $C = AB$	35
Tabel 9. Matriks rancangan dan kombinasi perlakuan rancangan FF 3^{3-1} dengan generator $I = ABC^2$	36
Tabel 10. Generator untuk rancangan 3^{4-1}	38
Tabel 11. Alternatif rancangan 3^{4-1}	39
Tabel 12. Alias dari alternatif rancangan 3^{4-1}	39
Tabel 13. Matriks rancangan dan kombinasi perlakuan rancangan FF 3^{4-1} dengan $I = ABC^2D^2$	41
Tabel 14. Rancangan Faktorial Fraksional 3^{k-p}	45
Tabel 15. Generator untuk rancangan 3^{4-2}	47
Tabel 16. Alternatif rancangan 3^{4-2}	47
Tabel 17. Struktur alias rancangan H_1 dengan generator $C = AB$ dan $D = AB^2$	48
Tabel 18. Struktur alias rancangan H_2 dengan generator $C = AB^2$ dan $D = AB$	49

Tabel 19. Kombinasi perlakuan rancangan FF 3^{4-2} dengan generator $C = AB$ dan $D = AB^2$	50
Tabel 20. Generator untuk rancangan 3^{5-2}	54
Tabel 21. Alternatif rancangan 3^{5-2}	55
Tabel 22. Struktur alias rancangan H_1 dengan generator $D = AC^2$ dan $E = AB$	56
Tabel 23. Struktur alias rancangan H_2 dengan generator $D = ABC^2$ dan $E = BC$	57
Tabel 24. Struktur alias rancangan H_3 dengan generator $D = AB^2C^2$ dan $E =$ AB^2C	57
Tabel 25. Kombinasi perlakuan rancangan FF 3^{5-2} dengan generator $D = AB^2C^2$ dan $E = AB^2C$	59
Tabel 26. Generator untuk rancangan 3^{6-2}	65
Tabel 27. Alternatif rancangan 3^{6-2}	66
Tabel 28. Generator untuk rancangan 3^{6-2} dengan resolusi maksimum	67
Tabel 29. Generator pada rancangan FF tiga level dengan fraksi $\frac{1}{9}$	68
Tabel 30. Generator untuk rancangan 3^{5-3}	69
Tabel 31. Generator untuk rancangan 3^{6-3}	70
Tabel 32. Alternatif rancangan 3^{6-3}	72
Tabel 33. Matriks rancangan FF 3^{6-3} dengan generator $D = ABC^2, E = AB$ dan $F = AC^2$	73
Tabel 34. Generator pada rancangan FF tiga level dengan fraksi $\frac{1}{27}$	74
Tabel 35. Rancangan <i>Fractional Factorial</i> 3^{k-p}	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tanaman yang terkena cahaya matahari langsung	81
Gambar 2. Tanaman yang terkena cahaya lampu kamar.....	81
Gambar 3. Tanaman yang tidak terkena cahaya.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel 35. Rancangan <i>Fractional Factorial</i> 3^{k-p}	89
Lampiran 2. Tabel Distribusi χ^2	93

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Percobaan faktorial adalah percobaan dimana semua taraf dari suatu faktor dikombinasikan dengan semua taraf dari faktor lainnya. Kombinasi yang kemudian muncul dari taraf-taraf faktor inilah yang disebut faktorial. Dengan rancangan faktorial inilah dapat ditentukan faktor mana di antara sejumlah faktor yang secara terpisah maupun bersama-sama memberikan efek pada respon yang ada dalam suatu percobaan.

Namun, pada rancangan faktorial dengan jumlah faktor yang besar misalkan sebanyak k faktor dan misalkan masing-masing bertaraf 3, maka akan terdapat 3^k kombinasi perlakuan sehingga eksperimen menjadi tidak efisien untuk dilakukan. Sebagai contoh, jika $k = 6$ maka akan ada $3^6 = 729$ kombinasi perlakuan. Untuk menurunkan jumlah kombinasi perlakuan tersebut, digunakan sebuah rancangan yang disebut rancangan *Fractional Factorial* (FF). Penggunaan rancangan FF ini telah diperkenalkan oleh Tippet (Box dan Meyer, 1986). Selanjutnya, Voelkel dan Rochester (2004), dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa rancangan ini relatif lebih efisien (Saudidin, 2006).

Pada rancangan FF hanya dilakukan sebagian dari kombinasi perlakuan yang akan dicobakan namun tidak menghilangkan informasi penting yang diperlukan. Banyaknya faktor akan menentukan pembentukan struktur rancangan FF dan dengan jumlah faktor tertentu dapat dibentuk beberapa struktur rancangan

FF yang berbeda. Rancangan FF sangat berguna untuk percobaan yang melibatkan banyak faktor dan bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memiliki pengaruh.

Rancangan FF tiga taraf dinotasikan dengan 3^{k-p} . Jadi rancangan yang dicobakan hanya 3^{k-p} kombinasi perlakuan dari 3^k kombinasi perlakuan lengkap. Banyaknya total kombinasi perlakuan yang akan dicobakan dalam rancangan FF disebut fraksi percobaan. Untuk percobaan dengan tiga taraf fraksi yang bisa digunakan adalah :

1. Fraksi $\frac{1}{3}$ dari kombinasi perlakuan lengkap. Bentuknya 3^{k-1} . Misalkan percobaan dengan 4 faktor maka rancangan faktorial fraksionalnya dinotasikan 3^{4-1} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 81 kombinasi perlakuan lengkap.
2. Fraksi $\frac{1}{9}$ dari kombinasi perlakuan lengkap. Bentuknya 3^{k-2} . Misalkan percobaan dengan 5 faktor maka rancangan faktorial fraksionalnya dinotasikan 3^{5-2} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 243 kombinasi perlakuan lengkap.
3. Fraksi $\frac{1}{27}$ dari kombinasi perlakuan lengkap. Bentuknya 3^{k-3} . Misalkan percobaan dengan 6 faktor maka rancangan faktorial fraksionalnya dinotasikan 3^{6-3} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 279 kombinasi perlakuan lengkap.

Jika sudah didapatkan rancangan FF maka bisa dilakukan identifikasi faktor-faktor yang signifikan. Untuk percobaan lebih dari satu unit eksperimen untuk setiap perlakuan, maka digunakan analisis varian untuk menguji efek utama dan efek interaksi dalam model sedangkan untuk percobaan yang hanya terdapat satu pengamatan pada tiap-tiap perlakuan, karena tidak terdapat derajat bebas untuk mengestimasi σ^2 dan tidak ada *error* dalam setiap perlakuan maka dalam menaksir efek faktor yang signifikan dari rancangan FF tanpa pengulangan bisa menggunakan analisis atau metode tertentu. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu metode Bissel. Bissell (1989, 1992) dalam Sauddin 2006, mengadopsi uji dispersi Cochran dalam mengkonstruksi uji statistik untuk mengidentifikasi faktor yang signifikan.

Sehubungan dengan uraian di atas, maka pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai “ **Rancangan Faktorial Fraksional 3^{k-p} dan Penggunaan Metode Bissell untuk Mengidentifikasi Faktor Signifikan** “.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat rancangan FF pada percobaan bertaraf tiga.
2. Bagaimana mengidentifikasi faktor yang signifikan pada rancangan FF tanpa pengulangan dengan menggunakan metode Bissell.

1.3. Batasan Permasalahan

Dalam tugas akhir ini, ruang lingkup permasalahan dibatasi pada :

1. Rancangan yang digunakan adalah rancangan FF tiga level yang dinotasikan 3^{k-p} di mana faktor, $k = 3, 4, 5$ dan 6 .
2. Fraksi yang digunakan adalah, $p = \frac{1}{3}, \frac{1}{9}$ dan $\frac{1}{27}$ yang dinotasikan dengan $p = 1, 2$ dan 3

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menentukan rancangan FF pada percobaan bertaraf tiga.
2. Menentukan faktor yang signifikan dengan menggunakan metode Bissell.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari hasil penelitian adalah :

1. Dapat digunakan sebagai salah satu cara untuk mengatasi masalah pada percobaan faktorial yang melibatkan banyak faktor untuk mengurangi biaya, waktu dan tenaga yang dibutuhkan.
2. Dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengidentifikasi faktor yang signifikan pada percobaan tanpa pengulangan.
3. Dapat sebagai tambahan ilmu pengetahuan khususnya pada rancangan percobaan menyangkut masalah rancangan *Fractional Factorial* (FF).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perancangan Percobaan

Perancangan percobaan adalah suatu uji atau sederetan uji baik menggunakan statistika deskripsi maupun statistik inferensi yang bertujuan untuk mengubah peubah input menjadi suatu output yang merupakan respon dari percobaan tersebut.

Perancangan percobaan banyak dimanfaatkan dalam dunia industri atau pebnelitian yang berkaitan dengan rancangan produk, perbaikan produk, penggunaan alat dan lain sebagainya. Selain bidang industri, perancangan percobaan juga banyak digunakan dalam bidang pertanian, farmasi dan lain sebagainya.

Data yang terkumpul dari suatu perancangan percobaan dikatakan sah atau valid jika data tersebut diperoleh dari suatu rancangan yang memenuhi tiga prinsip dasar berikut yaitu pengulangan (*replication*), pengacakan (*randomization*) dan pengendalian lingkungan (*local control*) (Montgomery, 2001).

Beberapa istilah dalam rancangan percobaan antara lain :

1. Pelakuan (*Treatment*)

Merupakan suatu prosedur atau metode yang diharapkan pada unit percobaan, misalnya jenis varietas tanaman yang berbeda, dosis pemupukan yang berbeda dan lain sebagainya.

2. Faktor

Merupakan peubah bebas yang dapat berupa peubah kualitatif maupun peubah kuantitatif yang dicobakan dalam percobaan sebagai penyusun struktur perlakuan.

3. Taraf/Level

Merupakan nilai-nilai dari peubah bebas (faktor) yang dicobakan dalam percobaan, misalkan jenis pupuk yang digunakan dibedakan menjadi tiga taraf yaitu pupuk kompos, pupuk kandang dan pupuk kimia.

4. Pengamatan berulang

Merupakan pengamatan yang dilakukan berulang kali dalam waktu yang berbeda pada suatu objek atau satuan amatan yang sama untuk mengetahui keragaman yang muncul pada respon.

Sebuah rancangan percobaan merupakan satu kesatuan rancangan yang terdiri atas rancangan perlakuan, rancangan lingkungan dan rancangan pengukuran. Rancangan perlakuan merupakan rancangan yang berkaitan dengan bagaimana perlakuan tersebut dibentuk, rancangan lingkungan merupakan rancangan yang berkaitan dengan bagaimana perlakuan tersebut ditempatkan, dan rancangan pengukuran merupakan rancangan yang membicarakan bagaimana respon percobaan diambil dari satuan percobaan yang diteliti (Mattjik & Sumertajaya, 2002).

Rancangan percobaan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Rancangan Perlakuan

a. Satu Faktor (Tunggal)

- b. Dua Faktor atau Lebih (Faktorial)
 - c. Split Plot (Petak Terbagi)
 - d. Split Blok (Kelompok terbagi)
 - e. Strip plot (Petak teralur)
- 2. Rancangan Lingkungan
 - a. Rancangan Acak Lengkap (RAL)
 - b. Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL)
 - c. Rancangan Bujur Sangkar Latin (RBSL)
 - d. Rancangan *Lattice*
 - 3. Rancangan Pengukuran

2.2. Percobaan Faktorial

Percobaan faktorial adalah percobaan yang menggunakan lebih dari satu faktor dimana setiap taraf dari satu faktor dikombinasikan dengan taraf-taraf faktor lain. Rancangan ini digunakan untuk menyelidiki secara bersamaan efek beberapa faktor berlainan. Disebut rancangan faktorial karena semua faktor dikombinasikan atau disilangkan dengan taraf tiap faktor lainnya yang ada dalam eksperimen.

Keuntungan dari percobaan faktorial yaitu bisa mendeteksi respon dari taraf masing-masing atribut (pengaruh utama) serta interaksi antar dua faktor atau lebih. Ada tidaknya interaksi antar dua faktor dapat dilihat dari perilaku respon suatu faktor pada berbagai kondisi faktor yang lain. Jika respon suatu faktor berubah pola dari suatu kondisi tertentu ke kondisi yang lain untuk faktor yang

lain, maka kedua faktor dikatakan berinteraksi. Jika pola respon dari suatu faktor tidak berubah pada berbagai kondisi faktor lain, maka dapat dikatakan kedua faktor tersebut tidak berinteraksi.

Berdasarkan adanya banyak taraf dalam tiap faktor, eksperimen ini sering diberi nama dengan menambahkan perkalian antara banyak taraf faktor yang satu dengan yang lainnya. Jika ada a level dari faktor A dan b level dari faktor B , maka terdapat ab kombinasi perlakuan. Misal dalam eksperimen terdapat 6 faktor yaitu A, B, C, D, E dan F yang masing-masing terdiri atas 3 taraf, a level dari faktor A , b level dari faktor B, \dots, f level dari faktor F , maka diperoleh percobaan faktorial $a \times b \times \dots \times f = 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 = 729$ kombinasi perlakuan.

2.2.1. Percobaan Faktorial 3^k

Percobaan faktorial dengan $k = 2$ dan $k = 3$ dapat kita perluas untuk k yang lebih tinggi, misalkan $k = 5$ atau $k = 6$ dan seterusnya. Percobaan faktorial 3^6 misalnya adalah percobaan yang menggunakan 6 faktor katakanlah A, B, C, D, E dan F yang masing-masing bertaraf 3 maka akan ada 279 kombinasi perlakuan. Dengan demikian semakin banyak faktor yang terlibat dalam suatu rancangan percobaan faktorial tentunya semakin banyak pula unit percobaan yang ada, dan akan semakin banyak lagi jika dalam percobaan itu dilakukan pengulangan terhadap tiap unit percobaan (Hakim, 1998).

Percobaan yang dilakukan dengan tiga faktor misalnya A, B dan C yang masing-masing bertaraf 3 maka dalam percobaan tersebut tanpa ulangan terdapat maka akan terdapat $3^3 = 27$ kombinasi perlakuan.

Kombinasi perlakuan tersebut, ketiga taraf faktornya diberi notasi 0 untuk taraf rendah, 1 untuk taraf menengah dan 2 untuk taraf tinggi.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan dari rancangan 3^3

Faktor A	Faktor B	Faktor C		
		0	1	2
0	0	$a_0b_0c_0$	$a_0b_0c_1$	$a_0b_0c_2$
	1	$a_0b_1c_0$	$a_0b_1c_1$	$a_0b_1c_2$
	2	$a_0b_2c_0$	$a_0b_2c_1$	$a_0b_2c_2$
1	0	$a_1b_0c_0$	$a_1b_0c_1$	$a_1b_0c_2$
	1	$a_1b_1c_0$	$a_1b_1c_1$	$a_1b_1c_2$
	2	$a_1b_2c_0$	$a_1b_2c_1$	$a_1b_2c_2$
2	0	$a_2b_0c_0$	$a_2b_0c_1$	$a_2b_0c_2$
	1	$a_2b_1c_0$	$a_2b_1c_1$	$a_2b_1c_2$
	2	$a_2b_2c_0$	$a_2b_2c_1$	$a_2b_2c_2$

Pada tabel kombinasi perlakuan, misalnya $a_1b_0c_2$ menyatakan interaksi antara taraf menengah faktor A dengan taraf rendah faktor B dan taraf tinggi faktor C.

Pada rancangan faktorial 3^k , terdapat 3^k kombinasi perlakuan dengan $3^k - 1$ total derajat bebas (*degrees of freedom*) untuk menaksir efek faktor, terdapat $\binom{k}{1}$ pengaruh utama masing-masing dengan $df = (3 - 1)$, $\binom{k}{2}$ pengaruh interaksi dua faktor masing-masing dengan $df = (3 - 1)(3 - 1)$, dan seterusnya. Jika ada

n ulangan, maka ada $n3^k - 1$ jumlah derajat kebebasan total dan $3k(n - 1)$ derajat kebebasan untuk *error*.

Interaksi i faktor memiliki 2^{i-1} ortogonal komponen dua derajat kebebasan. Sebagai contoh, empat faktor interaksi $ABCD$ memiliki $2^{4-1} = 8$ ortogonal komponen dua derajat kebebasan, dilambangkan dengan $ABCD^2, ABC^2D, AB^2CD, ABCD, ABC^2D^2, AB^2C^2D, AB^2C^2D^2, AB^2CD^2$, dan $AB^2C^2D^2$. Dalam menulis komponen ini, perhatikan bahwa satu-satunya eksponen diperbolehkan pada huruf pertama adalah 1. Jika eksponen pada huruf pertama bukan 1, maka seluruh lambang komponen harus kuadrat dan dengan menggunakan operasi modulus 3. Perhatikan komponen interaksi berikut :

$$A^2BCD = (A^2BCD)^2 = A^4B^2C^2D^2 = AB^2C^2D^2$$

(Montgomery, 2001).

2.3. Rancangan *Fractional Factorial* (FF)

Dalam suatu eksperimen, rancangan faktorial adalah suatu rancangan yang mengikutkan seluruh kombinasi perlakuan dari k faktor atau variabel input. Apabila jumlah dari k faktor ini cukup besar, maka akan berakibat pada besarnya jumlah kombinasi perlakuan yang akan dilakukan, dan ini tidak cukup efisien. Percobaan faktorial yang terdiri atas beberapa faktor misalkan sebanyak k faktor dan masing-masing faktor bertaraf katakanlah sama dengan 3, maka dari rancangan ini terdapat 3^k kombinasi perlakuan. Dengan bertambahnya faktor maka jumlah kombinasi perlakuan senantiasa bertambah. Misalkan faktor yang

digunakan sebanyak 6 maka jumlah kombinasinya adalah $3^6 = 729$ kombinasi perlakuan.

Rancangan yang sering digunakan untuk menanggulangi hal tersebut, adalah dengan menggunakan rancangan *Fractional Factorial* (FF) dalam rangka menurunkan jumlah kombinasi perlakuan, dan beberapa diantaranya dilakukan tanpa pengulangan.

2.4. Model Linear Rancangan *Fractional Factorial* (FF)

Diberikan variabel respon y dari rancangan faktorial fraksional yang pengamatannya dilakukan tanpa pengulangan untuk tiap kombinasi perlakuan, dan x_1, x_2, \dots, x_k variabel input yang berkaitan dengan faktor independen. Hubungan antara variabel-variabel tersebut dapat digambarkan dalam persamaan berikut :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.1)$$

Jika dilakukan pengamatan sebanyak n kali, maka persamaan (2.1) menjadi :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \epsilon_i$$

Model terakhir ini dapat dituliskan dalam model linear, sebagai berikut :

$$y = X\beta + \epsilon \quad (2.2)$$

dimana :

$x_1, x_2 \dots x_k$ = Variabel bebas

y = Variabel terikat

β_0 = Koefisien Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ = Variabel bebas

ϵ = *error*

2.5. Fraksional Faktorial Tiga-Level

Secara umum rancangan fraksional pada percobaan faktorial 3^k dilambangkan dengan 3^{k-p} , biasa ditulis $\left(\frac{1}{3}\right)^p$ bagian dari 3^k untuk $p < k$. Jadi fraksional $\frac{1}{3}$ bagian dilambangkan dengan 3^{k-1} , begitu pula dengan fraksional $\frac{1}{9}$ bagian dengan 3^{k-2} dan fraksional $\frac{1}{27}$ bagian dengan 3^{k-3} dan seterusnya.

Untuk percobaan dengan tiga taraf fraksi yang bisa digunakan adalah :

1. Fraksi $\frac{1}{3}$ dari kombinasi perlakuan lengkap. Bentuknya 3^{k-1} . Misalkan percobaan dengan 4 faktor maka rancangan faktorial fraksionalnya dinotasikan 3^{4-1} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 81 kombinasi perlakuan lengkap.
2. Fraksi $\frac{1}{9}$ dari kombinasi perlakuan lengkap. Bentuknya 3^{k-2} . Misalkan percobaan 3^{5-2} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 243 kombinasi perlakuan lengkap.
3. Fraksi $\frac{1}{27}$ dari kombinasi perlakuan lengkap. Bentuknya 3^{k-3} . Misalkan percobaan 3^{6-3} , rancangan ini melakukan 27 kombinasi perlakuan dari 279 kombinasi perlakuan lengkap.

Struktur rancangan FF ditentukan oleh banyaknya faktor dan fraksi yang digunakan. Dengan jumlah faktor dan fraksi tertentu maka dapat dibentuk struktur rancangan yang berbeda bergantung pada generator, *defining relation*, alias, dan resolusi yang digunakan.

Sebagai ilustrasi, sebuah percobaan yang terdiri dari 4 faktor ($A, B, C,$ dan D) masing-masing bertaraf 3. Akan dibuat rancangan FF dengan fraksi $\frac{1}{3}$ dengan generator yang dipilih $D = ABC$ yang secara matematis dilambangkan dengan :

$$x_D = x_A + x_B + x_C \quad (\text{mod } 3)$$

Pada rancangan dengan tiga taraf, digunakan operasi modulus 3 yang artinya bahwa akan selalu menghasilkan 0, 1 atau 2. Perlu diketahui juga bahwa rancangan 3^{k-p} memiliki p buah generator yang akan membentuk *defining relation*.

Rancangan dengan generator $D = ABC$ memiliki *defining relation* $I = ABCD^2$. Jadi alias yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A &= AB^2C^2D & BC &= AB^2C^2D^2 = AD^2 \\ B &= AB^2CD^2 & BD &= AB^2C \\ C &= ABC^2D^2 & CD &= ABC^2 \\ D &= ABC & AB^2 &= AC^2D \\ AB &= ABC^2D = CD^2 & AC^2 &= AB^2D \\ AC &= AB^2CD = BD^2 & BC^2 &= AB^2D^2 \\ AD &= AB^2C^2 \end{aligned}$$

Dengan generator $D = ABC$ diperoleh matriks rancangan pada tabel 2 :

Tabel 2. Matriks rancangan 3^{4-1} dengan generator $D = ABC$

Run	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	1	0	0	1
3	2	0	0	2
4	0	1	0	1
5	1	1	0	2
6	2	1	0	0
7	0	2	0	2
8	1	2	0	0
9	2	2	0	1
10	0	0	1	1
11	1	0	1	2
12	2	0	1	0
13	0	1	1	2
14	1	1	1	0
15	2	1	1	1
16	0	2	1	0
17	1	2	1	1
18	2	2	1	2
19	0	0	2	2
20	1	0	2	0
21	2	0	2	1
22	0	1	2	0
23	1	1	2	1
24	2	1	2	2
25	0	2	2	1
26	1	2	2	2
27	2	2	2	0

Sebagai contoh, pada *run* ke-27. $x_A = 2, x_B = 2, x_C = 2$ maka :

$$x_D = 2 + 2 + 2 = 6 \pmod{3} = 0$$

Jika terdapat lebih dari satu *defining relation* yang digunakan, misalnya pada rancangan dengan fraksi $\frac{1}{9}$ maka akan ada *generalized defining relation* yang merupakan perkalian antara *defining relation*.

Alias merupakan hubungan pendugaan pengaruh yang saling terpaut (*confounded*). Pada ilustrasi di atas, pengaruh utama faktor A adalah :

$$A = AB^2C^2D$$

Jika dilihat hubungan di atas, pengaruh utama faktor A terpaut dengan pengaruh interaksi AB^2C^2D . Atau dengan kata lain bahwa kombinasi pengaruh perlakuan yang digunakan untuk menduga pengaruh utama faktor A sama dengan yang digunakan untuk menduga pengaruh interaksi faktor AB^2C^2D . Pengaruh faktor A tidak bisa diduga kecuali jika pengaruh interaksi faktor AB^2C^2D diabaikan.

Penggunaan kriteria resolusi diperkenalkan Box dan Hunter (1961). Suatu rancangan dikatakan memiliki resolusi R jika setiap pengaruh i faktor tidak beralias dengan pengaruh lain dengan $R - i$ faktor. Besarnya resolusi dilambangkan dengan angka romawi. Adapaun resolusi yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

1. Rancangan resolusi III, pengaruh utama tidak beralias dengan pengaruh utama lainnya, tetapi pengaruh utama beralias dengan interaksi tingkat tinggi. Misalnya rancangan 3^{3-1} adalah rancangan dengan resolusi III.
2. Rancangan resolusi IV, pengaruh utama tidak beralias dengan pengaruh utama lainnya maupun dengan interaksi dua faktor tetapi beralias dengan interaksi tiga faktor. Interaksi dua faktor beralias dengan interaksi dua faktor lainnya dan interaksi yang lebih tinggi. Misalnya rancangan 3^{4-1} adalah rancangan dengan resolusi IV.

3. Rancangan resolusi V, pengaruh faktor utama tidak beralias dengan pengaruh utama lainnya, pengaruh interaksi dua faktor dan tiga faktor tetapi beralias dengan interaksi empat faktor dan yang lebih tinggi. Interaksi dua faktor tidak beralias dengan interaksi dua faktor lainnya tetapi beralias dengan interaksi tiga faktor dan interaksi yang lebih tinggi. Misalnya rancangan 3^{5-1} adalah rancangan dengan resolusi V.

Kadangkala rancangan dengan resolusi tertinggi tidak cukup untuk digunakan karena terdapat beberapa rancangan yang memiliki resolusi yang sama. Untuk itu, dapat digunakan kriteria yang disebut Fries dan Hunter (1980) dalam Winarni 2006 adalah kriteria *minimum aberration* (MA) yaitu rancangan yang meminimalkan banyaknya kata dalam *defining relation* yang panjangnya minimum. Rancangan *minimum aberration* meminimalkan banyaknya interaksi tingkat rendah yang saling beralias (*confounded*).

Rancangan FF terbaik dapat didapatkan dengan memenuhi kriteria resolusi maksimum dan *minimum aberration* tetapi jika diinginkan untuk mengetahui pengaruh faktor tertentu, maka rancangan didasarkan pada pengaruh faktor tertentu yang ingin diduga.

2.6. Tabel Respon pada Rancangan FF Tiga Level

Ada beberapa efek atau pengaruh faktor dalam faktorial yang didefinisikan sebagai perubahan nilai variabel respon akibat perubahan taraf faktor (Wahyuni, 1998). Macam-macam efek tersebut adalah :

- a. Efek sederhana (simple effect)

Pengaruh suatu faktor tertentu terhadap taraf tertentu faktor lain.

- b. Pengaruh utama (main effect)

Rata-rata dari pengaruh sederhana.

- c. Efek interaksi (*interaction*)

Jika pengaruh dari suatu faktor berbeda pada tiap taraf untuk faktor lainnya maka antara faktor tersebut dikatakan terjadi interaksi dimana nilai dari efek interaksi adalah rata-rata dari selisih efek sederhana suatu faktor.

Untuk perhitungan efek dari masing-masing faktor dapat menggunakan table respon atau yang biasa disebut tabel *Orthogonal Array* (OA) dan disimbolkan dengan L_q dimana q adalah jumlah percobaan yang dilakukan. *Orthogonal array* ini dikembangkan oleh Taguchi dalam keluarga matriks Fractional Factorial Experiment (FFE). Tabel OA dapat digunakan untuk menentukan pengaruh setiap faktor. OA diciptakan oleh Jaques Hardmand pada tahun 1897 dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett Burman.

Efek dari faktor A terhadap respon y adalah rata-rata perubahan dalam respon yang dihasilkan pada saat faktor A menuju taraf rendah, taraf sedang dan taraf tinggi. Misalkan tabel OA dengan 9 kombinasi perlakuan terpilih yang terdiri dari 3 faktor (A , B , dan C) dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Matriks L_9 OA

Run	Faktor yang Diamati			y
	A	B	C	
1	0	0	0	y_1
2	1	0	1	y_2
3	2	0	2	y_3
4	0	1	1	y_4
5	1	1	2	y_5
6	2	1	0	y_6
7	0	2	2	y_7
8	1	2	0	y_8
9	2	2	1	y_9

Efek dari masing-masing faktor dapat diperoleh dengan mengurangkan nilai terbesar dengan nilai terkecil diantara nilai masing-masing faktor untuk taraf rendah, taraf sedang dan taraf tinggi dimana nilai dari masing-masing faktor untuk setiap taraf diberikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \overline{A_0} &= \frac{y_1 + y_4 + y_7}{n} & \overline{B_0} &= \frac{y_1 + y_2 + y_3}{n} & \overline{C_0} &= \frac{y_1 + y_6 + y_8}{n} \\ \overline{A_1} &= \frac{y_2 + y_5 + y_8}{n} & \overline{B_1} &= \frac{y_4 + y_5 + y_6}{n} & \overline{C_1} &= \frac{y_2 + y_4 + y_9}{n} \\ \overline{A_2} &= \frac{y_3 + y_6 + y_9}{n} & \overline{B_2} &= \frac{y_7 + y_8 + y_9}{n} & \overline{C_2} &= \frac{y_3 + y_5 + y_7}{n} \end{aligned}$$

Secara umum, tabel respon untuk 3 faktor (A, B , dan C) di atas dituliskan pada tabel 4.

Tabel 4. Tabel respon L_9 OA

Run	Response	A			B			C		
		0	1	2	0	1	2	0	1	2
1	y_1	y_{10}	-	-	y_{10}	-	-	y_{10}	-	-
2	y_2	-	y_{21}	-	y_{20}	-	-	-	y_{21}	-
3	y_3	-	-	y_{32}	y_{30}	-	-	-	-	y_{32}
4	y_4	y_{40}	-	-	-	y_{41}	-	-	y_{41}	-
5	y_5	-	y_{51}	-	-	y_{51}	-	-	-	y_{52}
6	y_6	-	-	y_{62}	-	y_{61}	-	y_{60}	-	-
7	y_7	y_{70}	-	-	-	-	y_{72}	-	-	y_{72}
8	y_8	-	y_{81}	-	-	-	y_{82}	y_{80}	-	-
9	y_9	-	-	y_{92}	-	-	y_{92}	-	y_{91}	-
Average (\bar{y})		\bar{A}_0	\bar{A}_1	\bar{A}_2	\bar{B}_0	\bar{B}_1	\bar{B}_2	\bar{C}_0	\bar{C}_1	\bar{C}_2
Estimated main effect		Terbesar- Terkecil			Terbesar- terkecil			Terbesar- terkecil		

2.7. Metode Bissell

Diberikan rancangan faktorial fraksional berjumlah k faktor dengan $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$ sebagai efek faktor dan $R_1, R_2, R_3, \dots, R_k$ rata-rata kuadrat yang saling bebas masing-masing mempunyai derajat bebas v .

Hipotesis yang akan diuji adalah :

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0; i = 1, 2, 3, \dots, k$$

Untuk rata-rata kuadrat dari masing-masing faktor diberikan sebagai berikut

:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2}{v}$$

$$vR = \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2$$

Yang jika dikalikan dengan $\frac{1}{\sigma^2}$ maka :

$$\frac{vR}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2}{\sigma^2} \chi_{k-1}^2$$

Jika m merupakan faktor skala dari distribusi chi kuadrat, maka :

$$Var(R) = \frac{2m^2}{v}$$

Dan jika s^2 merupakan penaksir variansi dari sampel, maka :

$$\frac{(k-1)s^2}{\hat{\sigma}^2} \sim \chi_{k-1}^2$$

Selanjutnya didapatkan nilai dari statistik Bissell yang dinyatakan sebagai berikut :

$$B_k = \frac{(k-1)v}{2} (s/m)^2 \sim \chi_{k-1}^2$$

Untuk menentukan apakah suatu faktor signifikan atau tidak, diuji hipotesis di bawah H_0 untuk setiap nilai B_k yang diperoleh dengan kriteria penolakan H_0 :

Tolak H_0 jika

$$P\left(B_k < \chi_{\frac{\alpha}{2}; k-1}^2 | H_0\right) \text{ atau } P\left(B_k > \chi_{1-\frac{\alpha}{2}; k-1}^2 | H_0\right)$$

(Saudin, 2006).

2.8. Perkecambahan Benih

Perkecambahan benih dapat dikatakan sebagai proses dimulainya pertumbuhan embrio dari benih yang sudah matang. Benih dapat berkecambah bila tersedia faktor-faktor pendukung selama terjadi perkecambahan.

Perkembangan [benih](#) dipengaruhi oleh faktor dalam (internal) dan faktor luar (eksternal).

Faktor Dalam

Faktor dalam yang mempengaruhi perkecambahan [benih](#) antara lain :

a. Tingkat kemasakan benih

Benih yang dipanen sebelum tingkat kemasakan fisiologisnya tercapai tidak mempunyai viabilitas yang tinggi karena belum memiliki cadangan makanan yang cukup serta pembentukan embrio belum sempurna (Sutopo, 2002).

b. Ukuran benih

Benih yang berukuran besar dan berat mengandung cadangan makanan yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kecil pada jenis yang sama. Cadangan makanan yang terkandung dalam jaringan penyimpan digunakan sebagai sumber energi bagi embrio pada saat perkecambahan (Sutopo, 2002). Menurut Blackman dalam Sutopo 2002, Berat benih berpengaruh terhadap kecepatan pertumbuhan dan produksi karena berat benih menentukan besarnya kecambah pada saat permulaan dan berat tanaman pada saat dipanen.

c. Dormansi

Benih dikatakan dormansi apabila benih tersebut sebenarnya hidup tetapi tidak berkecambah walaupun diletakkan pada keadaan yang secara umum dianggap telah memenuhi persyaratan bagi suatu perkecambahan.

Faktor Luar

Faktor luar utama yang mempengaruhi perkecambahan diantaranya :

a. Air

Penyerapan air oleh benih dipengaruhi oleh sifat benih itu sendiri terutama kulit pelindungnya dan jumlah air yang tersedia pada media di sekitarnya, sedangkan jumlah air yang diperlukan bervariasi tergantung kepada jenis benihnya, dan tingkat pengambilan air turut dipengaruhi oleh suhu (Sutopo, 2002).

b. Suhu

Suhu optimal adalah yang paling menguntungkan berlangsungnya perkecambahan benih dimana presentase perkembangan tertinggi dapat dicapai yaitu pada kisaran suhu antara 26.5 sd 35°C (Sutopo, 2002).

c. Oksigen

Saat berlangsungnya perkecambahan, proses respirasi akan meningkat disertai dengan meningkatnya pengambilan oksigen dan pelepasan CO₂, air dan energi panas. Terbatasnya oksigen yang dapat dipakai akan menghambat proses perkecambahan benih (Sutopo, 2002).

d. Cahaya

Kebutuhan benih akan cahaya untuk perkecambahannya bervariasi tergantung pada jenis tanaman (Sutopo, 2002). Adapun besar pengaruh cahayanya terhadap perkecambahan tergantung pada intensitas cahaya, kualitas cahaya dan lamanya penyinaran. Menurut Adriance and Brison dalam Sutopo

(2002) pengaruh cahaya terhadap perkecambahan benih dapat dibagi atas 4 golongan yaitu golongan yang memerlukan cahaya mutlak, golongan yang memerlukan cahaya untuk mempercepat perkecambahan, golongan dimana cahaya dapat menghambat perkecambahan, serta golongan dimana benih dapat berkecambah baik pada tempat gelap maupun ada cahaya.

e. Medium

Medium yang baik untuk perkecambahan haruslah memiliki sifat fisik yang baik, gembur, mempunyai kemampuan menyerap air dan bebas dari organisme penyebab penyakit terutama cendawan (Sutopo, 2002). Pengujian viabilitas benih dapat digunakan media antara lain substrat kertas, kapas, pasir dan [tanah](#).