# BAB III

# ATRIBUT DATA

## 3.1. Bentuk-bentuk Variabel Data

Variabel kuantitatif ada dua macam yaitu :

**a. Bentuk kontinu**

maksudnya bahwa dari jumlah tak hingga dari suatu harga dapat terjadi dimana saja diantara harga sangat rendah dan harga sangat tinggi. contoh variabel data bentuk kontinu adalah kecepatan, suhu, tekanan, dan lain-lain.

**b. Bentuk Diskontinu**

maksudnya hasil percobaan dapat berupa harga disket contoh variabel data bentuk diskontinu adalah hasil percobaan menunjukkan baik dan buruk, 0 dan 1. Dalam proses produksi, 0 menunjukkan bagian tanpa kerusakkan sedang 1 menunjukkan bagian dengan kerusakkan.

## 3.2. Pembagian kelas Atribut Data

**a. Atribut Data Dua Kelas**

Ada dua tipe yang didapat dari hasil percobaan atribut data dua kelas yaitu hasil baik dan hasil jelek (rusak).

| No Kelas | yang diamati |
|---|---|
| 1 | Baik |
| 2 | Jelek/ Rusak |

b. Atribut Data Multipel Kelas

Untuk memperjelas perbedaan kekuatan dari atribut data digunakan kelas yang lebih banyak.

Jika suatu eksperimen akan meneliti pada kekuatan dari keadaan rusak, maka digunakan beberapa kelas yaitu :

| No Kelas | Yang Diamati |
|---|---|
| 1 | tidak ada kerusakan |
| 2 | kerusakan ringan |
| 3 | kerusakan sedang |
| 4 | kerusakan berat |

Tabel 3.1. Klasifikasi Kerusakan Pada Suatu Percobaan

Dalam tabel tersebut semakin tinggi nomer kelas, semakin banyak kerusakan.

## 3.3. Analisa Atribut Data

Atribut Data dapat dianalisa dengan beberapa cara tergantung dari banyaknya kelas yang digunakan. Analisa Atribut data dua kelas digunakan ANOVA seperti dalam BAB II; sedang untuk multipel kelas digunakan beberapa tahap yaitu :

- Tahap awal dalam urutan analisa adalah menghitung frekuensi kumulatif untuk masing-masing percobaan.

  Harga kumulatif dihitung dengan cara :

  Kelas I = kelas 1

Kelas II = kelas 1 + kelas 2

Kelas III = kelas 1 + kelas 2 + kelas 3

kelas IV = kelas 1 + kelas 2 + kelas 3 + kelas 4

- Tahap kedua adalah menghitung lebar masing-masing kelas. Persamaan untuk lebar kelas ke-i adalah

$$W_i = \frac{N^2}{T_i(N-T_i)} \qquad (3.1)$$

dimana :

N : jumlah total dari banyaknya percobaan

$T_i$ : jumlah kejadian dalam kelas ke-i

i : kelas

- Tahap ketiga adalah menghitung total jumlah kuadrat yaitu

jumlah kuadrat masing-masing kelas dikalikan dengan lebar kelasnya. Sehingga persamaannya

$$SS_T = \sum_{i=1}^{nca} SS_{Ti}\, W_i \qquad (3.2)$$

Dimana :

nca = jumlah dari kelas yang dianalisa

$$SS_{Ti}\, W_i = T_i - \frac{T_i^2}{N}$$

Sehingga untuk $SST_T$ diperoleh :

$$SS_T = SS_{TI}\, W_I + SS_{TII}\, W_{II} + SS_{TIII}\, W_{III} + \dots\dots\dots$$

$$= \left[T_I - \frac{T_I^2}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_I(N-T_I)}\right] + \left[T_{II} - \frac{T_I^2}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_{II}(N-T_{II})}\right]$$

$$+ \left[T_{III} - \frac{T_{III}^2}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_{III}(N-T_{III})}\right] + \dots\dots$$

$$= T_I\left[f - \frac{T_I}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_I(N-T_I)}\right] + T_{II}\left[f - \frac{T_{II}}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_{II}(N-T_{II})}\right]$$

$$+ T_{III}\left[f - \frac{T_{III}}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_{III}(N-T_{III})}\right] + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= T_I\left[\frac{N - T_I}{N}\right].\left[\frac{N^2}{T_I(N-T_I)}\right] + T_{II}\left[\frac{N - T_{II}}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_{II}(N-T_{II})}\right] +$$

$$T_{III}\left[\frac{N - T_{III}}{N}\right]\left[\frac{N^2}{T_{III}(N-T_{III})}\right] + \ldots\ldots$$

$$= N + N + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= N\ (nca) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.3)$$

- Tahap keempat adalah menghitung jumlah kuadrat pada kolom Matriks Orthogonal (Orthogonal Arrays) dengan persamaan

$$SS_A = \sum_{i=1}^{nca} SS_{Ai}\, W_i \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.4)$$

dimana :

$W_i$ = lebar kelas ke - i

$$SS_{Ai} = \frac{\left[\ A1_i - A2_i\ \right]^2}{N} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.5)$$

$A_i$ = kejadian akumulatif untuk level pertama dari faktor A dalam kelas ke-i.

Dari keempat tahap tersebut dibentuk total ANOVA

## 3.4. Percobaan Kerusakan Penuangan (Casting Cracks)

Yang menjadi masalah produksi pada benda-benda logam adalah kerusakan penuangan pada struktur dasar pekerjaan

berat pemindahan otomatis (automatic transmision). Untuk menyelidiki hal tersebut digunakan rancangan percobaan Matriks Orthogonal dari Taguchi. Sedangkan faktor-faktor yang diselidiki yaitu suhu saat penuangan, waktu pada tempat penuangan, pendinginan setelah dipindahkan dari tempat penuangan dan bentuk intensif letusan.
Yang akan diteliti adalah apakah faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan kerusakan atau tidak pada hasil penuangan benda-benda logam.

Sedangkan level-level dari faktor yang diteliti terlihat dalam tabel 3.2

| Faktor | level 1 | level 2 |
|---|---|---|
| A Suhu | Lebih rendah | lebih tinggi |
| B Waktu | lebih lama | lebih pendek |
| C Pendinginan | Lebih Lama | Lebih cepat |
| D Letusan | satu putar | lebih banyak putaran |

Tabel 3.2 Faktor dan level percobaan casting cracks

### 3.4.1. Penggunaan Matriks Orthogonal ($OA_8$)

Percobaan untuk meneliti hasil optimum pada penuangan benda-benda logam, maka dilakukan pengamatan terhadap kombinasi faktor-faktor suhu, waktu, pendinginan, dan letusan pada masing-masing 2 level/ taraf. Derajat bebas masing-masing faktor adalah jumlah level dikurangi satu.

$$v_{utama} = n - 1$$
$$= 2 - 1$$
$$= 1$$

Sedang untuk faktor interaksi adalah perkalian dari derajat bebas faktor-faktor yang berinteraksi.

$$v_{interaksi} = ( n - 1 ) ( n - 1 )$$
$$= ( 2 - 1 ) ( 2 - 1 )$$
$$= 1.1$$
$$= 1$$

Sehingga keseluruhan jumlah derajat bebas untuk mengamati e (empat) faktor utama dan 1 (satu) faktor interaksi antara suhu dan waktu adalah.

$$v_{Total} = v_A + v_B + v_C + v_D + V_{AxB}$$
$$= 1 + 1 + 1 + 1 + 1$$
$$= 5$$

Jadi Matriks Orthogonal ( $OA'_S$ ) 2 level yang digunakan paling sedikit harus mempunyai 5 derajat bebas dengan 5 kolom faktor, yaitu $L_8OA$. Letak faktor pada kolom $OA'_S$ ditentukan seperti dalam tabel 3.2. Kalau menggunakan $L_4OA'_S$, tabel ini hanya mempunyai 3 derajat bebas dan kolom faktor juga 3 jadi kurang. Maka yang paling tepat digunakan adalah $L_8OA'_S$. Dengan menggunakan $L_8OA'_S$ hasil percobaan kerusakan penuangan ( casting cracks ) seperti dalam tabel dengan banyak penuangan 192 kali, setiap kali percobaan diulang 24 kali jadi ada 8 kali percobaan

| no percobaan | Faktor dan Interaksi | | | | | | | hasil penuangan | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | AxB | C | $e_1$ | $e_2$ | D | | |
| | no kolom | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | kerusakan | Baik |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 20 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 23 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 23 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 22 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 20 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 20 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 | 24 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 0 | 24 |
| | T o t a l | | | | | | | 16 | 176 |

Tabel 3.3. Penggunaan OA untuk percobaan kerusakan penuangan (Casting Cracks)

Keterangan tabel 3.3. pada $L_8OA$ untuk faktor interaksi antara Suhu ( A ) dan Waktu ( B )

| faktor dan interaksi | level 1 | level 2 |
|---|---|---|
| A = Suhu<br>B = waktu<br>AxB = interaksi suhu dan waktu<br>hasil kekerasan tuangan | lebih rendah<br>lebih lama<br>baik | lebih tinggi<br>lebih pendek<br>kurang baik |

Penyusunan level pada $L_8OA$ dari kolom 1 ( satu ), 2 ( dua ) dan 3 ( tiga ) ditentukan seperti berikut :

| No Percobaan | Faktor dan interaksi | | |
|---|---|---|---|
| | A | B | A X B |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 |
| 5 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 |

Diasumsikan bahwa :

*> 1 x 1 = 1 suhu rendah dengan waktu lama hasil baik

*> 1 x 2 = 2 suhu rendah dengan waktu pendek hasil kurang baik

*> 2 x 1 = 2 suhu tinggi dengan waktu lama hasil kurang baik

*> 2 x 2 = 1 suhu tinggi dengan waktu pendek hasil baik

### 3.4.2. Analisa Atribut data dua kelas.

Analisa varians untuk menguji perbedaan rata-rata efek level faktor dari masing-masing fektor dilakukan dengan menghitung jumlah kuadrat dan rata-rata jumlah kuadrat. Pengujian perbedaan rata-rata efek level faktor didasarkan pada hipotesa bahwa :

$$Ho : \alpha_1 = \alpha_2$$

$$Ho : \beta_1 = \beta_2$$

$$Ho : \tau_1 = \tau_2$$

$$Ho : \delta_1 = \delta_2$$

Yaitu hipotesa bahwa rata-rata efek level faktor untuk setiap faktor adalah sama. Pengujian didasarkan pada model :

$$Yijkl = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + \delta_l + \alpha_i\beta_j + eijkl$$

Jumlah kuadrat total dan jumlah kuadrat faktor utama dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$SS_T = T - \frac{T^2}{N}$$

$$= 16 - \frac{16^2}{192}$$

$$= 14,667$$

$$SS_A = \frac{(A_1 - A_2)^2}{N}$$

$$= \frac{(8 - 8)^2}{192} = 0,0$$

$$SS_B = \frac{(B_1 - B_2)^2}{N} = \frac{(13 - 3)^2}{192} = 0,521$$

$$SS_{AxB} = \frac{\left[ (AxB)_1 - (AxB_2)_2 \right]^2}{N} = \frac{(5 - 11)^2}{192} = 0,118$$

$$SS_C = \frac{(C_1 - C_2)^2}{N} = \frac{(9 - 2)^2}{192} = 0,021$$

$$SS_D = \frac{(D_1 - D_2)^2}{N} = \frac{(10 - 6)^2}{192} = 0,083$$

Dalam percobaan ini, ada dua error. Error pertama disebabkan dari kolom interaksi efek utama yang tidak ditunjukkan dalam Orthogonal Arrays ( misalnya : AxC, CxD, dsb). Error kedua ($e_2$) disebabkan oleh ulangan pada masing-masing percobaan.

$$SS_{e1} = \frac{(9 - 7)^2}{192} = 0,021$$

$$SS_{e2} = \frac{(10 - 6)}{192} = 0,083$$

Varian untuk masing-masing faktor adalah :

$$V_A = \frac{SS_A}{v_A} = \frac{0,0}{2-1} = \frac{0,0}{1} = 0,0$$

$$V_B = \frac{SS_B}{v_B} = \frac{0,521}{2-1} = \frac{0,521}{1} = 0,521$$

$$V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{v_{AxB}} = \frac{0,188}{2-1} = \frac{0,188}{1} = 0,188$$

$$V_C = \frac{SS_C}{v_C} = \frac{0,021}{2-1} = \frac{0,021}{1} = 0,021$$

$$V_D = \frac{SS_D}{v_D} = \frac{0,083}{2-1} = \frac{0,083}{1} = 0,083$$

$$V_{e1} = \frac{SS_C + SS_D}{v_C + v_D} = \frac{0,021 + 0,083}{1 + 1} = \frac{0,104}{2} = 0,052$$

$$V_{e2} = \frac{SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_{AxB} - SS_{e1}}{v_T - v_A - v_B - v_C - v_D - v_{AxB} - v_{e1}}$$

$$V_{e2} = \frac{14,667 - 0,0 - 0,521 - 0,021 - 0,021 - 0,083 - 0,188 - 0,104}{191 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 2}$$

$$V_{e2} = \frac{13,750}{184} = 0,075$$

$$Ve_{pooled} = \frac{SS_1 + SS_2 + SS_A + SS_C + SS_D}{v_{e1} + v_{e2} + v_A + v_C + v_D}$$

$$= \frac{0,104 + 13,75 + 0,021 + 0,083 + 0,00}{2 + 184 + 1 + 1 + 1}$$

$$= \frac{13,598}{189} = 0,074$$

$$F_B = \frac{V_A}{V_{e2}} = \frac{0,521}{0,075} = 6,95$$

$$F_{AxB} = \frac{V_{AxB}}{V_{e2}} = \frac{0,188}{0,075} = 2,51$$

$$SS^1{}_B = SS_B - (V_{e2})(V_B)$$

$$= 0,521 - (0,075)(1) = 0,446$$

$$SS^1{}_{AxB} = SS_{AxB} - (V_{e2})(V_{AxB})$$

$$= 0,188 - (0,075)(1) = 0,113$$

$$P_B = \frac{SS^1{}_B}{SS_T} x\ 100 = \frac{0,446}{14,667} x\ 100 = 3,0408$$

$$P_{AxB} = \frac{SS^1{}_{AxB}}{SS_T} x\ 100 = \frac{0,113}{14,667} x\ 100 = 0,7704$$

Hitungan yang lain analog

Tabel 3.4 ANOVA dari percobaan kerusakan penuangan(Casting Cracks)

| Sumber Variasi | SS | v | V | $F_{Hitung}$ | $SS^1$ | P | $F_{tabel}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A^{XX}$ | 0,0 | 1 | 0.0 | 0,00 | | | 2,73 |
| B | 0.521 | 1 | 0.512 | 6,95 | 0,446 | 3,0408 | 2,73 |
| $C^{XX}$ | 0.021 | 1 | 0.021 | 0,28 | | | 2,73 |
| D | 0.083 | 1 | 0.083 | 1,07 | | | 2,73 |
| AxB | 0.188 | 1 | 0.188 | 2.51 | 0.113 | 0.7704 | 2,73 |
| $e_1^{XX}$ | 0.104 | 2 | 0.052 | | | | |
| $e_2^{XX}$ | 13.750 | 184 | 0.075 | | | | |
| T | 14.667 | 191 | | | | | |
| $e_p^{XX}$ | 13.958 | 189 | 0.074 | | | | |

Tabel ANOVA diatas menunjukkan bahwa pada selang kepercayaan 90% F 0,05; 1 ; 184 ≈ 2,73 ; Hipotesa nol pada efek faktor A ( suhu ), C ( pendinginan ) dan D ( letusan ) diterima yang ditujukan dengan nilai $F_{hitung}$ lebih kecil daripada $F_{tabel}$.

Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan hasil percobaan tidak terdapat perbedaan rata-rata hasil tuangan yang rusak antar level faktor tersebut. Sedang hipotesa nol pada efek faktor B ( waktu ) ditolak karena $F_{hitung}$ lebih besar daripada $F_{tabel}$, berarti terdapat perbedaan rata-rata hasil tuangan yang rusak antara level faktor waktu.

Hipotesa nol pada efek interaksi antara 2 ( dua ) faktor pengamatan adalah

Ho : tidak ada interaksi antara 2 ( dua ) faktor yang diamati.

Pada selang kepercayaan 90% interaksi antara suhu dan waktu, Ho diterima karena $F_{hitung}$ lebih kecil dari $F_{tabel}$, berarti tidak ada interaksi antara suhu dan waktu.

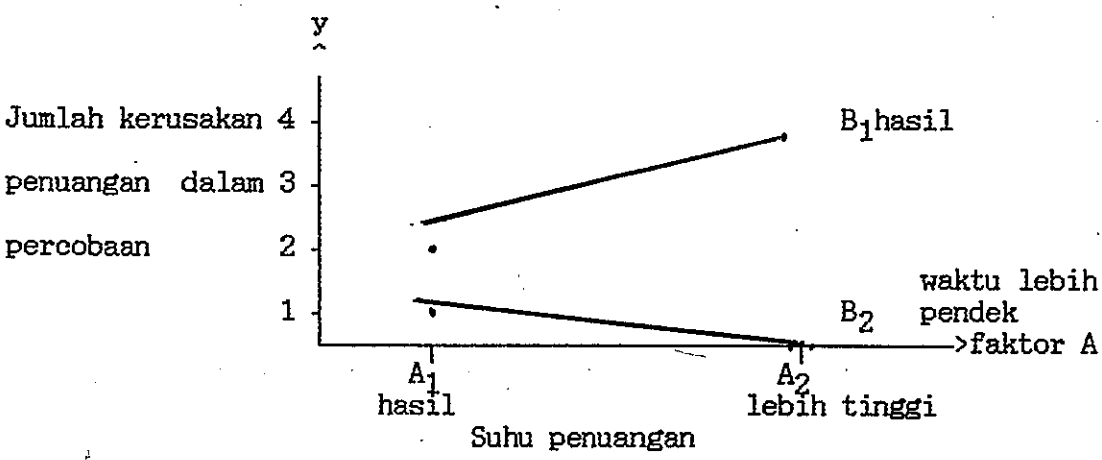
Perubahan level faktor pada waktu memberikan perubahan pada rata-rata hasil tuangan, tapi tidak memberikan perubahan pada rata-rata hasil hasil untuk setiap level suhu yang berbeda.

Jadi jika suhu tetap dan kombinasi antara waktu dan suhu tepat maka hasil percobaan akan baik.

Pada gambar 3.1 : $A_2B_2$ mempunyai semua bagian hasil yang baik, sedang untuk kombinasi yang lain ada beberapa yang baik dan jelek/ rusak.

Untuk faktor C (pendinginan ) dan (bentuk letusan) tidak begitu berpengaruh namun dengan pendinginan yang lebih cepat dan bentuk letusan lebih dari satu putaran akan mengakibatkan hasil penuangan yang lebih baik

Gb. 3.1. Kombinasi antara faktor A (suhu) dan Faktor B (waktu) pada percobaan Casting Cracks (kerusakan penuangan)



Apabila satu atau beberapa efek faktor tidak berpengaruh ( tidak signfikan ), maka perbedaan nilai experimen pada level yang berbeda merupakan perbedaan yang disebabkan oleh variasi alami. Oleh karena itu, faktor yang mempunyai nilai yang tidak signifikan secara statistik dapat digabung dengan faktor kesalahan non sampling yang disebabkan oleh variasi alami dari eksperimen. Penggabungan ini disebut pooling ($e_{pooled}$)

Seperti yang terlihat pada tabel 3.4 ANOVA faktor A ( suhu), C ( pendinginan ) dan D ( letusan ) mempunyai efek yang tidak signifikan secara statistik. Sehingga efek faktor A, C dan D dapat digabung dengan efek residual ( error ) dan dianggap bahwa variasi yang terdapat pada faktor A, B dan D adalah variasi alami

### 3.4.3. Analisa Atribut Data Multipel kelas pada percobaan kerusakaan penuangan (casting cracks)

Frekuensi kerusakan penuangan dapat menyebabkan kerusakan yang bervariasi, hal ini dapat diperlihatkan dalam tabel

| no percobaan | Kelas | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tanpa kerusakan | Kerusakan ringan | Kerusakan sedang | Kerusakan berat | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 1 | 20 | 2 | 1 | 1 | 24 |
| 2 | 23 | 0 | 0 | 1 | 24 |
| 3 | 23 | 0 | 1 | 0 | 24 |
| 4 | 22 | 0 | 2 | 0 | 24 |
| 5 | 20 | 4 | 0 | 0 | 24 |
| 6 | 20 | 2 | 2 | 0 | 24 |
| 7 | 24 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| 8 | 24 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| Total | 176 | 8 | 6 | 2 | 192 |

Tabel 3.5. Frekuensi Kejadian pada penuangan

Tabel 3.6. Memperlihatkan frekuensi kumulatif kelas

| No. Perco-baan | kelas kumulatif | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV |
| 1 | 20 | 22 | 23 | 24 |
| 2 | 23 | 23 | 23 | 24 |
| 3 | 23 | 23 | 24 | 24 |
| 4 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 5 | 20 | 24 | 24 | 24 |
| 6 | 20 | 22 | 24 | 24 |
| 7 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 8 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Jumlah | 176 | 184 | 190 | 192 |

Dengan menggunakan data pada tabel 3.6 maka :

$$W_I = \frac{N^2}{T_I(N - T_I)} = \frac{192^2}{176(192 - 176)} = 13,09$$

$$W_{II} = \frac{N^2}{T_{II}(N - T_{II})} = \frac{192^2}{184(192 - 184)} = 25,04$$

$$W_{III} = \frac{N^2}{T_{III}(N - T_{IIII})} = \frac{192^2}{190(192 - 190)} = 13,09$$

$$SS_T = N\ (nca) = 192\ (3) = 576,0$$

$$SS_{Ai} = \frac{(A_{1i} - A_{2i})^2}{N}$$

$$SS_{AI} = \frac{(88 - 88)^2}{192} = 0,0$$

$$SS_{AII} = \frac{(90 - 94)^2}{192} = 0,0833$$

$$SS_{AIII} = \frac{(94-96)^2}{192} = 0,0208$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^{nca} SS_{AiWi}$$

$$= SS_{AI}.W_I + SS_{AII}.W_{II} + SS_{AIII}.W_{III}$$

$$= 0,0(13,09) + (0,0833)(25,04) + (0,0208)(97,01)$$

$$= 0 + 2,085832 + 2,017808$$

$$= 4,10366$$

$$SS_{Bi} = \frac{(B_{1i} - B_{2i})^2}{N}$$

$$SS_{Bi} = \frac{(83 - 93)^2}{192} = 0,521$$

$$SS_{Bii} = \frac{(91 - 93)^2}{192} = 0,021$$

$$SS_{Biii} = \frac{(94 - 96)^2}{192} = 0,021$$

$$SS_B = \sum_{i=1}^{nca} SS_{BiWi}$$

$$= SS_{BI}.W_I + SS_{BII}.W_{II} + SS_{BIII}.W_{III}$$

$$= (0,521).(13,09)+(0,021)+(0,021)(25,04)+(0,021)(97,01)$$

$$= 6,8199 + 0,5258 + 2,0372$$

$$= 9,383$$

$$SS_{Ci} = \frac{(C_{1i} - C_{2i})^2}{N}$$

$$SS_{Ci} = \frac{(87 - 89)}{192} = 0{,}021$$

$$SS_{Cii} = \frac{(93 - 91)^2}{192} = 0{,}021$$

$$SS_{Ciii} = \frac{(95 - 95)^2}{192} = 0{,}0$$

$$SS_C = \sum_{i=1}^{nca} SS_{CiWi}$$

$$= SS_{CI}.W_I + SS_{CII}.W_{II} + SS_{CIII}.W_{III}$$

$$= (0{,}021)(13{,}09) + (0{,}021)(25{,}04) + (0{,}0)(97{,}01)$$

$$= 0{,}275 + 0{,}526 + 0{,}0$$

$$= 0{,}801$$

$$SS_{Di} = \frac{(D_{1i} - D_{2i})^2}{N}$$

$$SS_{DI} = \frac{(86 - 90)^2}{192} = 0{,}083$$

$$SS_{DII} = \frac{(90 - 94)^2}{192} = 0{,}083$$

$$SS_{DIII} = \frac{(95 - 35)^2}{192} = 0{,}0$$

$$SS_D = SS_{DI}.W_I + SS_{DII}.W_{II} + SS_{DIII}.W_{III}$$

$$= (0{,}083)(13{,}09) + (0{,}083)(25{,}04) + (0{,}0)(97{,}01)$$

$$= 1{,}0865 + 2{,}0783 + 0{,}0$$

$$= 3{,}165$$

$$SS_{(AxB)i} = \frac{\left[ (AxB)_{1i} - (AxB)_{21} \right]^2}{N}$$

$$SS_{(AxB)I} = \frac{(91 - 85)^2}{192} = 0{,}1875$$

$$SS_{(AxB)II} = \frac{(93 - 91)^2}{192} = 0{,}021$$

$$SS_{(AxB)III} = \frac{(94 - 96)^2}{192} = 0{,}021$$

$$\begin{aligned} SS_{AxB} &= SS_{(AxB)I} \cdot W_I + SS_{(AxB)II} \cdot W_{II} + SS_{(AxB)III} \cdot W_{III} \\ &= (0{,}1875).(13{,}09) + (0{,}021).(25{,}04) + (0{,}021).(97{,}01) \\ &= 2{,}454 + 0{,}5258 + 2{,}0372 \\ &= 5{,}017 \end{aligned}$$

$$SS_{e1i} = \frac{\left[ (e_i)_{1i} - (e_i)_{2i} \right]^2}{N}$$

$$SS_{e1I} = \frac{(87 - 89)^2}{192} = 0{,}021$$

$$SS_{e1II} = \frac{(91 - 93)^2}{192} = 0{,}021$$

$$SS_{eIII} = \frac{(95 - 95)^2}{192} = 0{,}0$$

$$\begin{aligned} SS_{e1} &= SS_{e1I} \cdot W_I + SS_{e1II} \cdot W_{II} + SS_{e1III} \cdot W_{III} \\ &= (0{,}021)(13{,}09)+(0{,}021)(25{,}04)+(0{,}0)(97{,}01) \\ &= 0{,}275 + 0{,}526 + 0{,}0 \\ &= 0{,}801 \end{aligned}$$

$$SS_{e2} = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_D - SS_{AxB} - SS_{eI}$$

$= 576{,}0 - 4{,}10366 - 9{,}383 - 0{,}801 - 3{,}165 - 5{,}017 - 0{,}801$

$= 552{,}73$

$$V = \frac{SS}{v}$$

$v^1_A = v_A\ (nca) = 1(3) = 3$

$v^1_B = v_B\ (nca) = 1(3) = 3$

$v^1_C = v_C\ (nca) = 1(3) = 3$

$v^1_D = v_D\ (nca) = 1(3) = 3$

$v^1_{AxB} = v_{AxB}\ (nca) = 1(3) = 3$

$v^1_{e1} = v_{e1}\ (nca) = 2(3) = 3$

$v^1_{e2B} = v_{e2}\ (nca) = 184(3) = 552$

$v^1 = v_T\ (nca) = (N-1) = 191(3) = 573$

$$V_A = \frac{SS_A}{v^1_A} = \frac{4{,}10366}{3} = 1{,}368$$

$$V_B = \frac{SS_B}{v^1_B} = \frac{9{,}383}{3} = 3{,}128$$

$$V_C = \frac{SS_C}{v^1_C} = \frac{0{,}801}{3} = 0{,}267$$

$$V_D = \frac{SS_D}{v^1_D} = \frac{3{,}165}{3} = 0{,}055$$

$$V_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{v^1_{AxB}} = \frac{5{,}017}{3} = 1{,}672$$

$$V_{ei} = \frac{SS_{ei}}{v^1_{ei}} = \frac{0{,}801}{6} = 0{,}134$$

$$V_{e2} = \frac{SS_{e2}}{v^1_{e2}} = \frac{552{,}73}{552} = 1{,}00$$

$$F_{Hitung} = \frac{V}{V_{e2}^{**}}$$

$$F_A = \frac{1,368}{1,001} = 1,366$$

$$F_B = \frac{3,128}{1,001} = 3,124$$

$$F_{AxB} = \frac{1,672}{1,001} = 1,670$$

Tabel 3.7 Analisa Varian pada Multipel kelas

| Sumber variasi | SS | v | V | $F_{hitung}$ | $F_{tabel}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 4,10366 | 3 | 1,368 | 1,366 | 2,10 |
| B | 9,383 | 3 | 3,128 | 3,124 | 2,10 |
| C | 0,801 | 3 | 0,267 | 0,267 | 2,10 |
| D | 3,165 | 3 | 0,267 | 0,267 | 2,10 |
| A x B | 5,017 | 3 | 1,672 | 1,670 | 2,10 |
| $e_1$ | 0,801 | 6 | 0,134 | | |
| $e_2$ | 552,73 | 552 | 1,001 | | |
| T | 576.0 | 573.0 | | | |

Dengan diambil $F_{Tabel}$ untuk selang kepercayaan 90% akan dibandingkan dengan $F_{hitung}$

$F_{\alpha};\ v_1;\ v_2 \quad = F\ 0,01;\ 3\ ;\ 552 \quad \approx\approx 2,10$

Ternyata $F_{hitung}B > F_{tabel}$

$$3{,}124 > 2{,}10$$

Jadi hipotesa nol untuk faktor B ditolak berarti ada perbedaan rata-rata hasil tuangan yang rusak antar level faktor waktu , sedang untuk faktor yang lain dan interaksi antara AxB Ho diterima dari $F_{Hitung} < F_{Tabel}$.

Analisa hasil multipel kelas akumulasi hampir sama dengan analisa 2 kelas.

Kesimpulan Analisa hasil multipel kelas akumulasi [illegible] sama dengan analisa 2 ( dua ) kelas.

# BAB IV

# INTERPRETASI HASIL PERCOBAAN

## 4.1. Menaksir Mean

Hasil suatu percobaan dapat berupa : hasil rata-rata lebih tinggi lebih baik (HB = Highest is Better), harga nominal yang terbaik ( NB = Nominal is Best) dan hasil rata-rata lebih rendah lebih baik (LB = Lower is Better) tergantung dari karakteristik percobaannya.

Kombinasi antara faktor dapat dipilih untuk memperoleh hasil percobaan yang memuaskan. Jika antara kombinasi tersebut tidak ada interaksi seperti terlihat dalam gambar 4-1 maka mean untuk kombinasi $A_2B_2$ ditaksir dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mu A_2B_2 = \overline{T} + (\overline{A}_2-\overline{T}) + (\overline{B}_2-\overline{T}) = \overline{A}_2+\overline{B}_2 - \overline{T} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

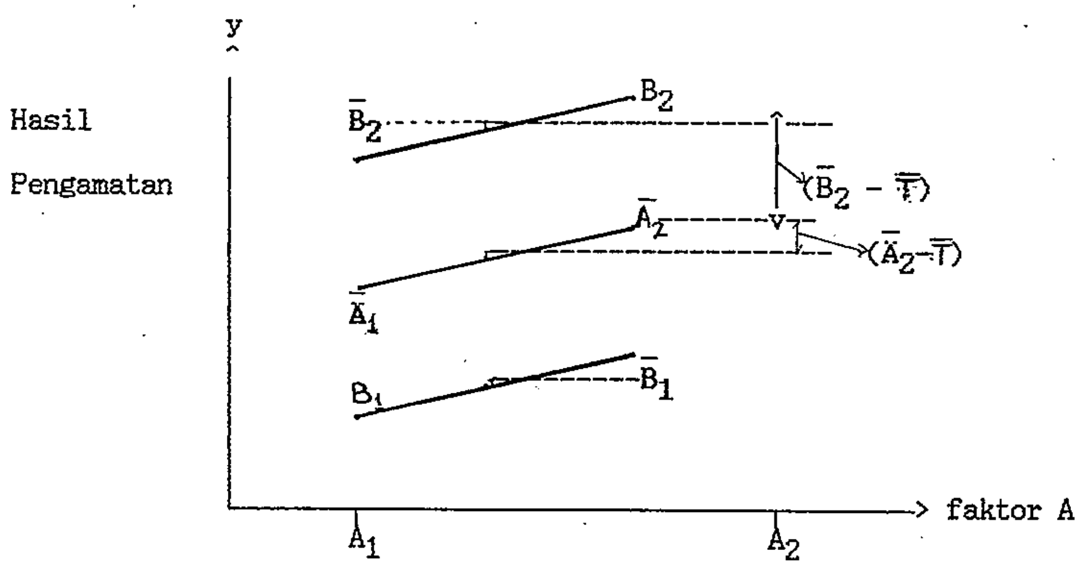
Dimana :

$\overline{A}_2$ = rata-rata pengamatan pada level 2 faktor A

$\overline{B}_2$ = rata-rata pengamatan pada level 2 faktor B

$\overline{T}$ = rata-rata seluruh pengamatan

Koefisien Dari $\overline{T}$ adalah jumlah faktor dikurangi satu




Gambar 4.1 Faktor Non Interaksi

Keterangan gambar :
- Titik tengah pada garis $B_1$ mewakili $\bar{B}_1$ yaitu rata-rata semua data hasil pengamatan dari faktor B level 1.
- Titik tengah pada garis $B_2$ mewakili $\bar{B}_2$ yaitu rata-rata semua data hasil pengamatan dari faktor B level 2
- $\bar{A}_1$ & $\bar{A}_2$ berada diantara faktor $B_1$ dan $B_2$

Misal untuk menaksir dari kombinasi faktor-faktor $A_2$ $B_2$ $C_1$ $D_1$ Bila diantara faktor-faktor tersebut antara $A_2$ dan $B_2$ ada interaksi maka :

$$\hat{\mu}A_2B_2C_1D_1 = \overline{A_2B_2} + \bar{C}_1 + \bar{D}_1 - 2\,\bar{T}$$

Koefisien $\bar{T}$ adalah 2 yaitu jumlah dari faktor-faktornya di kurangi satu ($A_2B_2$ karena berinteraksi dianggap satu)

Bila diantara faktor-faktor tersebut tidak ada interaksi maka :

$$\hat{\mu}A_2B_2C_1D_1 = \bar{A}_2 + \bar{B}2 + \bar{C}_1 + \bar{D}_1 - 3\bar{T}$$

## 4.2. Interval konfidensi disekitar Taksiran Mean

Interval konfidensi adalah harga maximum dan minimum diantara kebenaran rata-rata yang gagal pada beberapa bagian persentase dari konfidensi.

Konfidensi artinya ada beberapa peluang kesalahan.

Taksiran mean $\mu$ merupakan titik taksiran dasar pada rata-rata hasil yang diperoleh dari percobaan. Dengan statistik diketahui bahwa 50% peluang dari rata-rata benar lebih besar dari $\mu$ dan 50% peluang dari rata-rata benar kurang dari $\mu$.

Persamaan interval konfidensi :

$$CI = \sqrt{\frac{F_{\alpha} ; 1 ; v_2 ; V_e}{n}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.2)$$

Dimana :

$F_{\alpha} ; 1 ; v_2$ = $F_{tabel}$ dengan

$\alpha$ = selang kepercayaan ; konfidensi = 1 $-\alpha$

$v_1 = 1$ yaitu derajat kebebasan untuk mean mempunyai harga 1 karena mean merupakan nilai tetap.

$v_2$ = derajat kebebasan untuk error

$V_e$ = Variansi error

n = jumlah ulangan percobaan

Jadi interval konfidensi disekitar mean yaitu

$$\hat{\mu} = \bar{A}_1 \pm CI$$

$$\bar{A}_1 - CI \le \hat{\mu}\ \bar{A}_1 \le \bar{A}_1 + CI \quad \text{.......................} \quad (4.3)$$

**4.3. Metode Interpretasi**

Ada beberapa alternatif metode interpretasi yang berguna karena struktur dari matrik orthogonal dari Taguchi.

**4.3.1 Metode Observasi**

Metode ini digunakan untuk menentukan kapan suatu hasil percobaan menggunakan karakteristik lebih rendah lebih baik (LB) atau lebih tinggi lebih baik (HB).

Contoh : Penggunaan metode observasi pada percobaan untuk mengurangi kebocoran dalam mesin pompa air.

Dengan menggunakan 7 faktor (A = gesekan, B= Tekanan air, C = kualitas bahan mesin, D = lubang pipa pompa, E = frekuensi putaran mesin, F = suhu, G = kecepatan putaran mesin) dan 8 perbedaan dasar diukur pada bagian yang bocor. Masing-masing faktor mempunyai 2 level.

| faktor | level 1 | level 2 |
|---|---|---|
| A | lemah | kuat |
| B | kuat | lemah |
| C | rendah | tinggi |
| D | kecil | besar |
| E | lebih sering | sering |
| F | rendah | tinggi |
| G | cepat | lebih cepat |

Hasil kebocoran dicatat dengan skala, dimana 0 menunjukkan kondisi tidak bocor dan 4 menunjukkan kondisi paling jelek. Hasil percobaan ditunjukkan pada tabel 4-1

| No Percobaan | faktor | | | | | | | data ukuran kebocoran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| | no kolom | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 4 | 1 | (2) | 2 | 2 | (2) | 1 | (1) | 0 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| 7 | 2 | (2) | 1 | 1 | (2) | 2 | (1) | (0) |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |

Tabel 4.1 test kebocoran mesin pompa air

( Metode Observasi )

Hasil percobaan ke 4 dan ke 7 mempunyai hasil yang baik yaitu mesin pompa air tidak bocor. Ukuran kebocoran adalah termasuk dalam karakteristik lebih rendah lebih baik (LB). Untuk percobaan ke 4 dan ke 7 faktor-faktor $B_2$, $E_2$ dan $G_1$ agaknya satu atau semua faktor level ini mendukung terhadap hasil yang baik. Kombinasi khusus dari faktor-faktor B, E dan G dapat digunakan untuk memperoleh hasil seperti yang diharapkan .

## 4.3.2 Metode Rangking

Yang menarik dari metode ini adalah level dapat diurutkan dari hasil percobaan yang baik hingga ukuran yang jelek. Data dari pengamatan untuk metode ini diperlihatkan seperti dalam tabel 4.2.

| No Percobaan | faktor | | | | | | | data ukuran kebocoran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| | no kolom | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 |

Tabel 4.2 : Test kebocoran mesin pompa air (Metode Rangking)

Pada tabel terlihat bahwa semua level $B_2$ ukuran kebocoran makin keatas semakin kecil dan semua dari level $B_1$ semakin kebawah semakin besar kebocorannya.
Faktor E pada level 2 yang atas mendukung pada hasil percobaan yang baik dan level 1 yang bawah mempengaruhi kebocoran yang besar. Kebocoran akan sangat kecil, jika beberapa efek interaktif diantara masing-masing dari faktor B dan E, dengan efek B lebih kuat daripada efek E.

### 4.3.3. Metode Kolom Efek ( K-E)

Metode ini digunakan oleh Taguchi sebagai penyingkat ANOVA. Percobaan kebocoran mesin pompa air dengan metode kolom efek terlihat seperti pada tabel 4.3.

Jumlah data untuk ukuran kebocoran pada level 2 dikurangi jumlah data pada level 1 dari masing-masing kolom. Perbedaan ini penting untuk membandingkan kolom yang satu dengan yang lain yang digunakan untuk memperoleh efek relatif yang lebih besar.

Tabel 4.3 : Uji kebocoran mesin pompa air

(Metode Kolom- Efek)

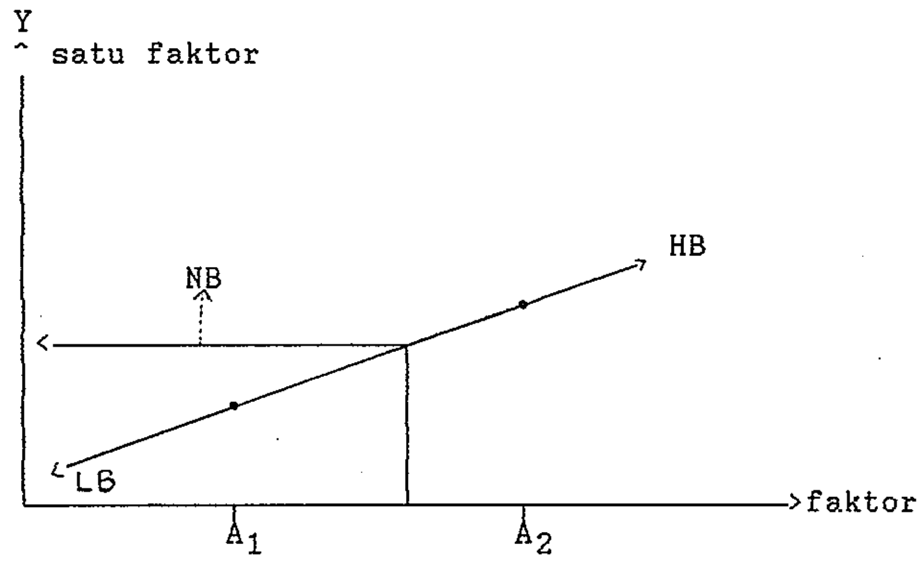
| No Percobaan | faktor | | | | | | | data ukuran kebocoran |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | |
| | no kolom | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| $Jumlah_1$ | 8 | 13 | 8 | 7 | 10 | 7 | 8 | |
| $Jumlah_2$ | 7 | 2 | 7 | 8 | 5 | 8 | 7 | |
| Perbedaan | -1 | -11 | -1 | 1 | -5 | 1 | -1 | |

Pada tabel terlihat bahwa faktor B mempunyai efek paling besar, lalu faktor E dan faktor yang lain mempunyai efek yang lemah.

## 4.4. Tahap Lanjutan Percobaan

Tahap awal dari suatu percobaan adalah untuk meneliti faktor yang dapat memproduksi hasil sesuai dengan harapan. Tetapi diantara level dari faktor-faktor tersebut belum mendukung terhadap hasil yang optimum. Sehingga untuk eksperimen selanjutnya akan digunakan faktor dengan level yang dapat memperbaiki hasil percobaan sebelumnya untuk mencapai nilai optimum.

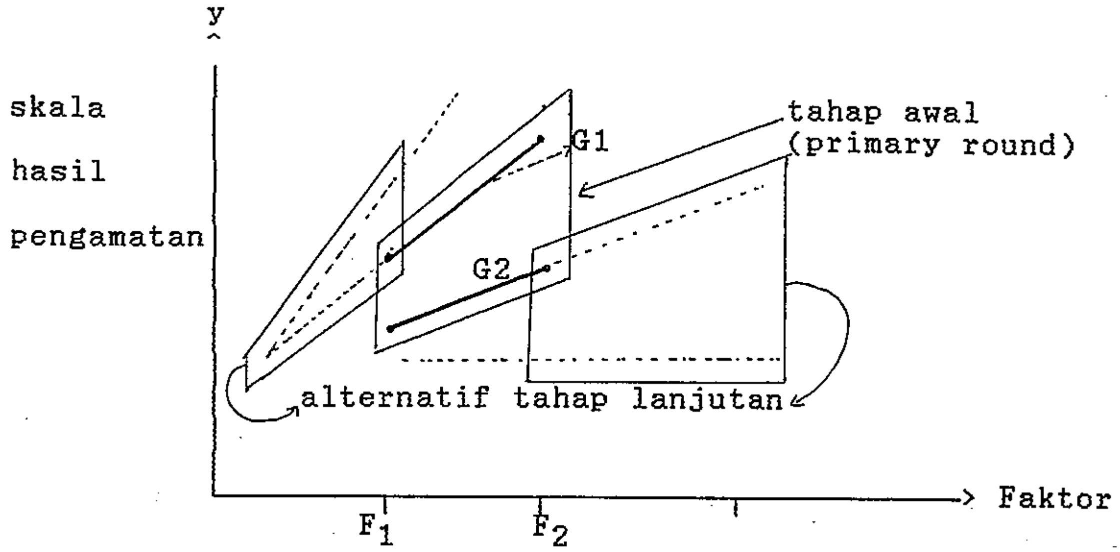
Strategi untuk mencapai nilai optimum tersebut tergantung dari tipe karakteristik percobannya (LB, NB atau HB). Gambar 4.2 memperlihatkan kemungkinan yang harus dicapai untuk memperoleh hasil optimum pada masing-masing karakteristik suatu percobaan ; untuk faktor tunggal



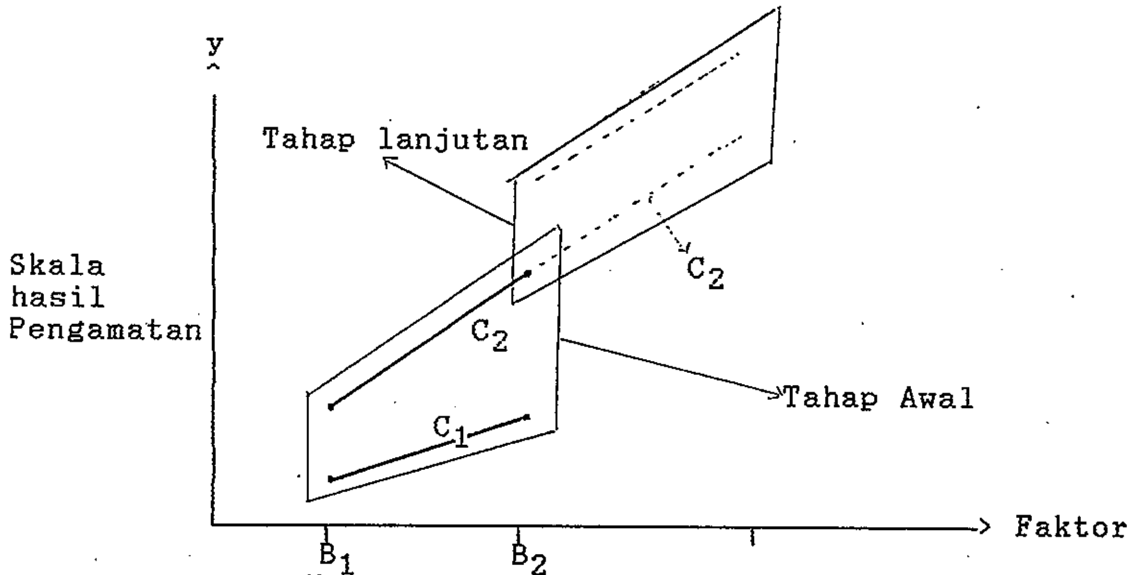

Gambar 4.2. Tahap lanjutan percobaan untuk 1 faktor

Penggunaan level tertentu dari satu faktor tersebut diperbolehkan untuk mencapai hasil optimum yang lebih tinggi (HB), sedang (NB) atau lebih rendah (LB) tergantung dari tipe karakteristik percobaanya.

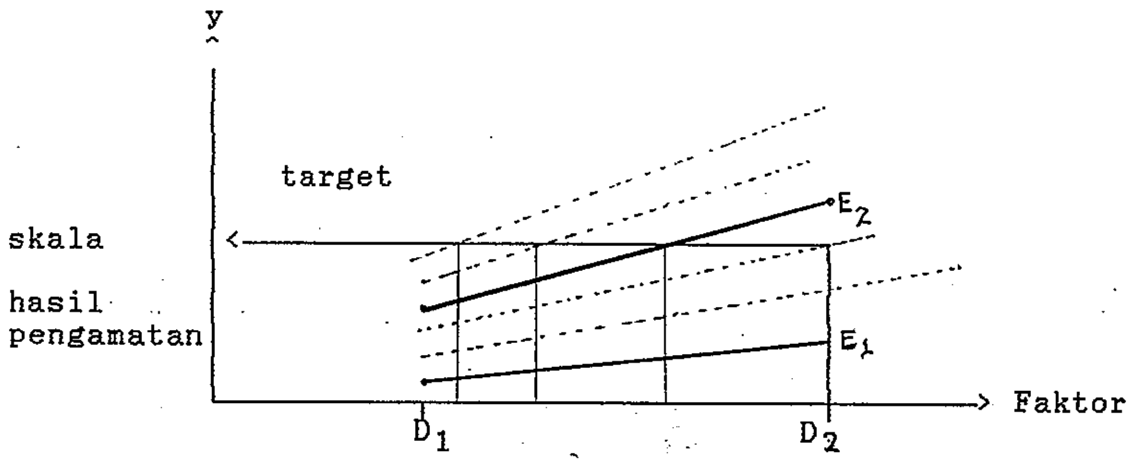
Gambar 4.3 memperlihatkan kemungkinan yang harus dicapai untuk memperoleh hasil optimum pada karakteristik Lb, HB dan NB untuk 2 faktor




(a) . faktor interaksi (LB)




(b) faktor interaksi (HB)




( c ) faktor interaksi (NB)

Jika nilai yang ditargetkan lebih besar daripada se-mua rata-rata interaksi faktor-faktor percobaan berarti menggunakan karakteristik HB dan nilai-nilai yang ditargetkan lebih rendah daripada semua rata-rata interaksi faktor-faktor percobaan berarti dengan karakteristik LB.