

ANALISIS DESAIN FAKTORIAL FRAKSIONAL 2^{k-p} DENGAN METODE LENTH

Gian Kusuma Diah Tantri¹, Tatik Widiharih², Triastuti Wuryandari³

¹ Mahasiswa Jurusan Statistika FSM UNDIP

^{2,3} Staf Pengajar Jurusan Statistika FSM UNDIP

ABSTRAK

Rancangan faktorial fraksional banyak digunakan dalam percobaan terutama di bidang industri karena dapat menentukan pengaruh faktor utama dan interaksi terhadap respon. Rancangan yang melibatkan k buah faktor dengan dua taraf dan menggunakan 2^{-p} fraksi dari percobaan faktorial lengkap disebut rancangan faktorial fraksional 2^{k-p} . Penentuan faktor signifikan jika data yang diamati tanpa pengulangan dapat diuji dengan menggunakan metode Lenth. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penaksir dan statistik uji untuk mendapatkan faktor signifikan dengan metode Lenth, serta menentukan perbedaan dalam penggunaan metode Lenth dengan metode klasik. Kasus yang digunakan adalah rancangan faktorial fraksional 2^{5-1} dengan faktor A, B, C, D, E. Hasil pengujian dengan metode Lenth diperoleh nilai estimasi S_0 dan $\hat{\sigma}_{PSE}$ sebagai penaksir awal dan akhir. Nilai *Margin Error* dan *Simultan Margin Error* sebagai batas kesalahan dalam penentuan faktor signifikan. Faktor yang berpengaruh terhadap respon adalah faktor B dan C. Apabila diuji dengan metode klasik diperoleh faktor yang berpengaruh terhadap respon adalah faktor B, C, D, E, AB, AC, dan BC, sehingga dapat dikatakan bahwa metode klasik lebih sensitif daripada metode Lenth.

Kata kunci: Faktorial, fraksional, tanpa pengulangan, plot probabilitas normal, metode Lenth

1. PENDAHULUAN

Rancangan faktorial fraksional digunakan untuk menentukan faktor mana di antara sejumlah faktor yang secara potensial memberikan efek pada respon, dengan menurunkan jumlah kombinasi perlakuan yang ada. Rancangan faktorial fraksional dengan dua buah taraf dinotasikan 2^{k-p} yang artinya rancangan tersebut terdiri atas k faktor yang masing-masing mempunyai dua taraf, dan hanya menggunakan 2^{-p} fraksi dari percobaan faktorial lengkap. Fraksi yang dapat digunakan pada rancangan faktorial fraksional dua-level adalah fraksi $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ dan seterusnya dari semua kombinasi perlakuan yang mungkin ada (Suwanda, 2011).

Rancangan faktorial fraksional 2^{k-p} yang memiliki lebih dari satu unit pengamatan untuk setiap perlakuan, dengan metode klasik menggunakan analisis varian untuk menguji efek utama dan interaksi dalam model. Pada rancangan yang hanya terdapat satu pengamatan pada tiap perlakuan, tidak terdapat derajat bebas untuk mengestimasi varian *error* sehingga dalam melakukan interpretasi terhadap faktor yang dimungkinkan berpengaruh hanya dengan membaca *normal probability plot* dari efek (Montgomery, 2005).

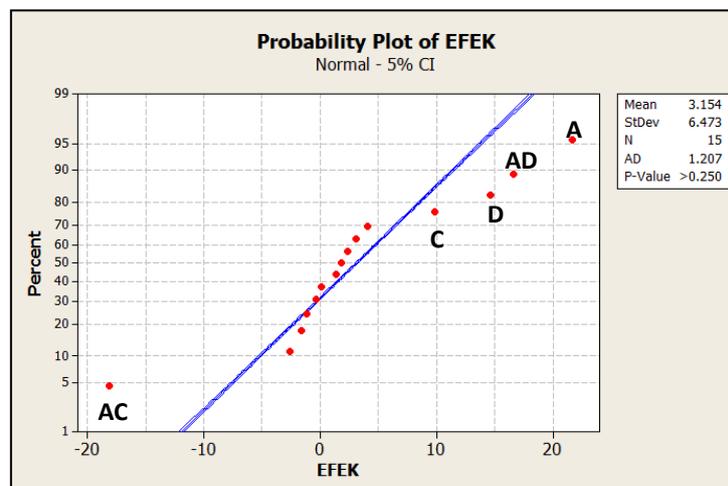
Penentuan fraksi yang terbaik dan menaksir pengaruh faktor yang signifikan dari rancangan tersebut telah dikemukakan beberapa metode, salah satunya adalah

metode yang dikemukakan oleh Russell V. Lenth pada tahun 1989 yang terkenal dengan metode Lenth (Montgomery, 2005). Menurut Hamada dan Balakrishnan (1998), kelebihan dari metode Lenth adalah metode ini menggunakan prosedur yang lebih sederhana dibanding metode lain seperti pada metode Bissel yang menggunakan iterasi dalam penentuan faktor signifikan. Oleh karena itu pada penelitian ini dipilih menggunakan metode Lenth dalam penanganan analisis desain faktorial fraksional 2^{k-p} . Untuk memperjelas pembahasan, diberikan contoh aplikasi pada bidang industri dengan menggunakan rancangan 2^{5-1} . Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan penaksir dari metode Lenth untuk mendapatkan faktor signifikan untuk rancangan faktorial fraksional 2^{5-1} tanpa pengulangan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rancangan Faktorial 2^k

Suatu percobaan yang terdiri atas k buah faktor, dimana tiap faktornya terdiri atas dua taraf dinamakan percobaan faktorial 2^k . Misalkan terdapat rancangan percobaan yang terdiri atas lima faktor A, B, C, D, E, dimana masing-masing faktor tersebut terdiri atas dua buah taraf akan ditulis sebagai rancangan percobaan faktorial 2^5 dengan banyaknya kombinasi perlakuan adalah $2^5 = 32$. Untuk mengetahui informasi mengenai faktor dan interaksi mana yang berpengaruh dan faktor mana yang sebaiknya diperbaiki dilakukan estimasi faktor efek dan menguji signifikansinya. Pada metode klasik Apabila model pada percobaan terdapat perulangan gunakan rancangan faktorial penuh, dan apabila model tidak terdapat perulangan gunakan *normal probability plot* dari efek perlakuan seperti yang ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Normal Probability Plot Efek Perlakuan

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa terdapat titik-titik disekitar garis yang menunjukkan nilai efek perlakuan. Apabila nilai efek berada jauh dari garis normal atau nilai efek berada di luar limit konfidensi (*upper bound* dan *lower bound*) dari interval konfidensi yang ditentukan dan bukan berada di sekitar rata-rata nol, maka efek tersebut berpengaruh.

Untuk mengestimasi efek atau menghitung jumlah kuadrat dari efek, pertama-tama menentukan kontras efek yang dapat diselesaikan menggunakan tabel tanda plus minus. Secara umum penentuan kontras untuk efek AB ... K adalah

$$\text{Kontras}_{AB \dots K} = (a \pm 1)(b \pm 1) \dots (k \pm 1) \quad (1)$$

Pada persamaan (1), nilai “1” akan digantikan dengan (1) pada akhir perhitungan. Tanda negatif jika faktor termasuk dalam efek, dan tanda positif jika faktor tidak termasuk.

Setelah nilai kontras diketahui, selanjutnya menentukan estimasi efek pada rancangan percobaan tanpa perulangan dengan persamaan sebagai berikut:

$$AB \cdots K = \frac{2}{2^k} (\text{Kontras}_{AB \cdots K}) \quad (2)$$

2.2 Rancangan Faktorial Fraksional 2^{5-1}

Rancangan faktorial fraksional dua-level secara umum dinotasikan 2^{5-1} artinya rancangan tersebut terdiri atas 5 faktor yang masing-masing mempunyai dua taraf, dan hanya menggunakan $\frac{1}{2}$ fraksi dari percobaan faktorial lengkap. Fraksi $\frac{1}{2}$ hanya melakukan sebagian atau setengahnya dari faktorial penuh, sehingga kombinasi perlakuan yang dapat dilakukan dalam percobaan yaitu enam belas dari tiga puluh dua kombinasi perlakuan.

Rancangan faktorial fraksional 2^{5-1} , dengan faktor A, B, C, D, dan E memiliki relasi penentu $I = ABCDE$, dengan mengalikan setiap faktor utama dan faktor interaksi dengan relasi penentu, maka akan terbentuk struktur *alias* dari faktor sebagai berikut:

Tabel 1. Struktur *Alias* Rancangan 2^{5-1}

$I = ABCDE$	$AD \cdot I = AD \cdot ABCDE = A^2BCD^2E = BCE$
$A \cdot I = A \cdot ABCDE = A^2BCDE = BCDE$	$AE \cdot I = AE \cdot ABCDE = A^2BCDE^2 = BCD$
$B \cdot I = B \cdot ABCDE = AB^2CDE = ACDE$	$BC \cdot I = BC \cdot ABCDE = AB^2C^2DE = ADE$
$C \cdot I = C \cdot ABCDE = ABC^2DE = ABDE$	$BD \cdot I = BD \cdot ABCDE = AB^2CD^2E = ACE$
$D \cdot I = D \cdot ABCDE = ABCBD^2E = ABCE$	$BE \cdot I = BE \cdot ABCDE = AB^2CDE^2 = ACD$
$E \cdot I = E \cdot ABCDE = ABCDE^2 = ABCD$	$CD \cdot I = CD \cdot ABCDE = ABC^2D^2E = ABE$
$AB \cdot I = AB \cdot ABCDE = A^2B^2CDE = CDE$	$CE \cdot I = CE \cdot ABCDE = ABC^2DE^2 = ABD$
$AC \cdot I = AC \cdot ABCDE = A^2BC^2DE = BDE$	$DE \cdot I = DE \cdot ABCDE = ABCD^2E^2 = ABC$

Pemilihan relasi penentu harus menganut pada desain resolusi yang pada dasarnya jangan sampai efek yang sedang dipelajari saling ber-*alias* atau efek tidak dapat dibedakan (Montgomery, 2005). Menurut Suwanda (2011), aturan desain resolusi terdiri atas tiga jenis yaitu desain resolusi III, desain resolusi IV, dan desain resolusi V.

Sebelum menentukan penaksir efek dari masing-masing faktor terlebih dahulu ditentukan kontras untuk masing-masing faktor. Penentuan kontras ini sama seperti cara penentuan kontras dalam rancangan faktorial penuh.

$$\begin{aligned} \text{Kontras}_A = C_A &= a - b - c - d - e + abc + abd + abe + acd \\ &\quad + ace + ade - bcd - bce - bde - cde + abcde \\ \text{Kontras}_B = C_B &= -a + b - c - d - e + abc + abd + abe - acd \\ &\quad - ace - ade + bcd + bce - bde + cde + abcde \\ &\vdots \\ \text{Kontras}_{BCDE} = C_{BCDE} &= a - b - c - d - e + abc + abd + abe + acd \\ &\quad + ace + ade - bcd - bce - bde - cde + abcde \end{aligned} \quad (3)$$

Berdasarkan kontras tiap faktor, kemudian ditentukan penaksir efek dari masing-masing faktor yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$\hat{t}_i = \frac{2(\text{Kontras}_i)}{N} \quad (4)$$

dimana: N adalah banyaknya kombinasi perlakuan terpilih (Montgomery, 2005). Diperoleh taksiran efek utama dan interaksi dua faktornya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\widehat{l}_A &= \frac{1}{8} \begin{pmatrix} a - b - c - d - e + abc + abd + abe + acd + ace \\ +ade - bcd - bce - bde - cde + abcde \end{pmatrix} \\
\widehat{l}_B &= \frac{1}{8} \begin{pmatrix} -a + b - c - d - e + abc + abd + abe - acd - ace \\ -ade + bcd + bce - bde + cde + abcde \end{pmatrix} \\
&\vdots \\
\widehat{l}_{BCDE} &= \frac{1}{8} \begin{pmatrix} a - b - c - d - e + abc + abd + abe + acd + ace \\ +ade - bcd - bce - bde - cde + abcde \end{pmatrix} \quad (5)
\end{aligned}$$

Dari penaksir efek di atas, terlihat bahwa $\widehat{l}_A = \widehat{l}_{BCDE}$, $\widehat{l}_B = \widehat{l}_{ACDE}$, $\widehat{l}_C = \widehat{l}_{ABDE}$, $\widehat{l}_D = \widehat{l}_{ABCE}$, $\widehat{l}_E = \widehat{l}_{ABCD}$ dan seterusnya sehingga tidak mungkin untuk menyatakan ada perbedaan antara A dan BCDE, B dan ACDE, C dan ABDE, D dan ABCE, dan E dan ABCD. Oleh karena itu, A disebut *alias* dengan BCDE, B *alias* dengan ACDE, C *alias* dengan ABDE, dan hal tersebut berlaku juga untuk perlakuan lainnya (Montgomery, 2005).

2.2 Prosedur Metode Lenth

Metode Lenth digunakan untuk menduga pengaruh faktor yang signifikan dari rancangan faktorial fraksional 2^k tanpa pengulangan. Dalam metode ini dikemukakan dua bentuk penaksir untuk mengidentifikasi kontras yang signifikan, yaitu penaksir awal dan penaksir akhir (Montgomery, 2005).

Prosedur perhitungan penaksir awal yaitu

$$s_0 = 1,5 \times \text{median} \{|\hat{\beta}_i|\}; \quad i = 1, 2, \dots, v \quad (6)$$

dimana v adalah banyaknya estimasi efek (Lenth, 1989).

Selanjutnya ditentukan nilai penaksir akhir $\hat{\sigma}_{PSE}$ sebagai berikut:

$$\hat{\sigma}_{PSE} = 1,5 \times \text{median}(|\hat{\beta}_i|: |\hat{\beta}_i| < 2,5s_0) \quad i = 1, 2, \dots, v \quad (7)$$

nilai 2,5 diambil berdasarkan simulasi yang telah dilakukan oleh Haaland dan O'Connell (1995).

Penaksir akhir digunakan untuk menentukan batas kesalahan dalam penetapan kontras efek yang signifikan dengan metode Lenth. Batas Kesalahan yang digunakan sebagai penguji untuk estimasi efek utama yaitu Margin Error (ME). Apabila nilai mutlak dari penaksir efek individu lebih besar dari nilai ME, maka efek tersebut signifikan, dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$ME = \hat{\sigma}_{PSE} \times t_{0,025;d} \quad (8)$$

Nilai derajat bebas = $\frac{v}{3}$.

Batas kesalahan simultan atau SME digunakan sebagai penguji untuk estimasi efek interaksi kelompok. Apabila nilai mutlak dari penaksir efek kelompok lebih besar dari nilai SME, maka efek tersebut signifikan, dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$SME = t_{\gamma;d} \times \hat{\sigma}_{PSE} \quad (9)$$

Nilai derajat bebas dari distribusi t $\gamma = 1 - (1 + 0,95^{1/v})/2$ (Lenth, 1989).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisis data pada desain faktorial fraksional 2^{5-1} adalah:

1. Menentukan relasi penentu, struktur *alias* dan kombinasi perlakuan ke dalam tabel plus minus sehingga dapat dicari nilai taksiran efek perlakuannya.

2. Menguji signifikansi parameter berdasarkan nilai taksiran efek perlakuan menggunakan metode klasik dan metode Lenth. Pada metode klasik menggunakan *Normal Probability Plot* dari efek perlakuan. Pada metode Lenth dilakukan langkah pengujian sebagai berikut:
 - a Menentukan penaksir awal dan akhir metode Lenth, berdasarkan taksiran efek perlakuan.
 - b Menentukan statistik uji dari metode Lenth menggunakan nilai mutlak dari penaksir efek, dan nilai penaksir metode Lenth (*Margin Error* dan *Simultan Margin Error*).
3. Menguji asumsi normalitas dan kesamaan ragam untuk masing-masing metode.
4. Menentukan kesimpulan dengan membandingkan hasil dari analisis rancangan faktorial fraksional dua level menggunakan metode Lenth dan metode klasik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Contoh Kasus

Seorang insinyur menyelidiki faktor yang mempengaruhi total minyak (liter) yang dihasilkan pada setiap *batch* kacang. Terdapat lima faktor yang diselidiki, yaitu tekanan CO₂ untuk 415 bar dan 550 bar, suhu CO₂ untuk 25°C dan 95°C, kelembaban kacang untuk 5% dan 15% dari berat *batch* kacang, laju alir CO₂ untuk 40 liter/menit dan 60 liter/menit, serta ukuran partikel kacang untuk 1,28 mm dan 4,05 mm. Masing-masing faktor diujikan dengan satu unit percobaan. Data kasus untuk rancangan faktorial fraksional terdiri atas 16-*run* dengan masing-masing faktor secara berurutan dinotasikan A, B, C, D, dan E (Box *et al*, 2005).

4.2 Analisis

Model yang digunakan dalam rancangan faktorial fraksional 2⁵⁻¹ dengan relasi penentunya adalah I = ABCDE dan jumlah *run* 16, sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1A + \beta_2B + \beta_3C + \beta_4D + \beta_5E + \beta_{12}AB + \beta_{13}AC + \beta_{14}AD + \beta_{15}AE + \beta_{23}BC + \beta_{24}BD + \beta_{25}BE + \beta_{34}CD + \beta_{35}CE + \beta_{45}DE + \varepsilon \quad (10)$$

Rancangan tersebut disebut juga desain resolusi V karena setiap efek utama ber-*alias* dengan interaksi empat faktor, dan setiap interaksi dua faktor ber-*alias* dengan interaksi tiga faktor. *Alias* yang terpilih dari 32 kombinasi perlakuan lengkap adalah:

I – ABCDE	[AB] → AB – CDE	[BE] → BE – ACD
[A] → A – BCDE	[AC] → AC – BDE	[CD] → CD – ABE
[B] → B – ACDE	[AD] → AD – BCE	[CE] → CE – ABD
[C] → C – ABDE	[AE] → AE – BCD	[DE] → DE – ABC
[D] → D – ABCE	[BC] → BC – ADE	
[E] → E – ABCD	[BD] → BD – ACE	

Hasil pengolahan dari kasus diperoleh estimasi efek perlakuan sesuai perhitungan pada persamaan (4), dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah diketahui nilai dari estimasi efek perlakuan tiap variabel, selanjutnya untuk menentukan efek perlakuan mana yang memiliki pengaruh, maka dapat dilakukan uji signifikansi dengan menggunakan metode klasik dan metode Lenth.

Tabel 2. Nilai Efek Perlakuan dan Limit Konfidensi 95%

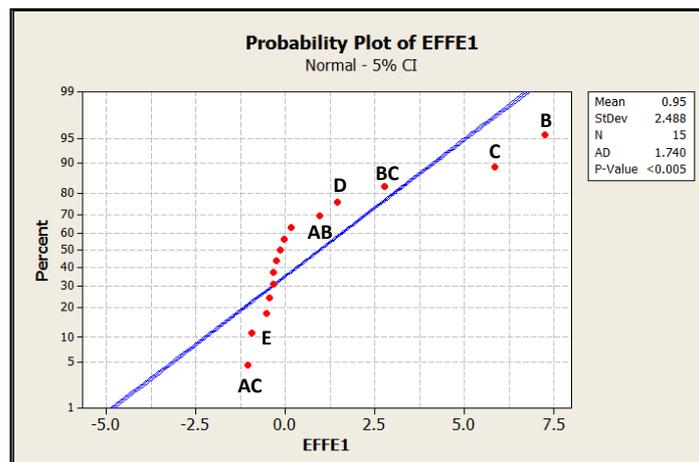
Variabel	Estimasi Efek	Lower Bound	Upper Bound
A	-0,25	0,27865	0,36057
B	7,25	4,98011	5,10553
C	5,85	4,08383	4,19383
D	1,45	2,99697	3,09137
E	-0,95	-2,29383	-2,18383
AB	0,95	2,21174	2,29795
AC	-1,05	-3,20553	-3,08011
AD	-0,05	1,53943	1,62135
AE	-0,55	-1,19137	-1,09697
BC	2,75	2,99697	3,09137
BD	-0,15	0,90971	0,99029
BE	-0,35	-0,39795	-0,31174
CD	0,15	1,53943	1,62135
CE	-0,35	-0,39795	-0,31174
DE	-0,45	-1,19137	-1,09697

4.2.1 Uji Signifikansi Metode Klasik

Pengujian didasarkan pada *normal probability plot* terhadap nilai efek. Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa terdapat titik-titik yang berada jauh dari garis normal atau tidak berada di antara limit konfidensi sesuai Tabel 2, dan titik-titik tidak berada disekitar rata-rata 0 yaitu B, C, D, E, AB, AC dan BC, sehingga dapat dicurigai B, C, D, E, AB, AC dan BC berpengaruh terhadap Y.

Model linier akhir untuk rancangan tersebut adalah

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_2 B + \hat{\beta}_3 C + \hat{\beta}_4 D + \hat{\beta}_5 E + \hat{\beta}_{12} AB + \hat{\beta}_{13} AC + \hat{\beta}_{23} BC \quad (11)$$



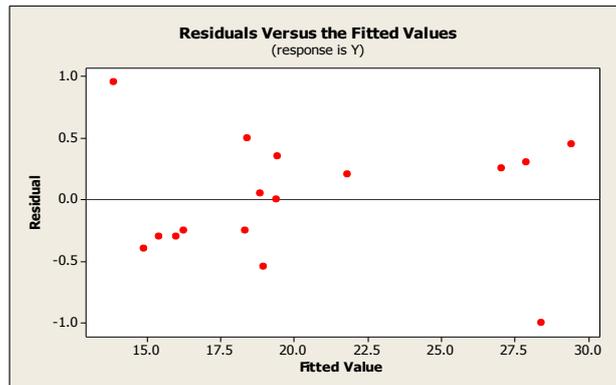
Gambar 2. Normal Probability Plot Efek dari Kasus

Selanjutnya dilakukan cek asumsi normalitas dan kesamaan ragam berdasarkan nilai residual dari model linier, dengan hasil sesuai pada Gambar 3.

Mean	8.881784E-16
StDev	0.4789
N	16
KS	0.137
P-Value	>0.150

Gambar 3. Nilai Kolmogorov Smirnov Residual dengan Metode Klasik

Berdasarkan Gambar 3, terlihat nilai P-Value sebesar >0,150 lebih dari $\alpha = 5\%$, jadi data residual berdistribusi normal.



Gambar 4. Uji Kesamaan Ragam berdasarkan Metode Klasik

Berdasarkan Gambar 4, terlihat plot menyebar merata di atas dan di bawah sumbu 0. Selain itu titik-titik tidak membentuk suatu pola tertentu, sehingga ragam residual percobaan sama. Berdasarkan analisis disimpulkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap respon Y adalah faktor B, C, D, E, AB, AC dan BC.

4.2.2 Uji Signifikansi Metode Lenth

Hipotesis untuk pengujian ini terdiri atas dua kelompok, yaitu

Hipotesis untuk faktor utama

$$H_0: \beta_i = 0 \quad i = 1,2,3,4,5$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

Hipotesis untuk efek interaksi

$$H_0: \beta_{ij} = 0 \quad i \neq j \text{ dan } i, j = 1,2, \dots, 5$$

$$H_1: \beta_{ij} \neq 0$$

Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 5\%$. Pada metode ini nilai statistik uji yang digunakan adalah nilai mutlak estimasi efek perlakuan $\hat{\beta}_i$. Penentuan kriteria uji untuk metode Lenth dimulai dengan menentukan estimasi awal dan akhir serta nilai batas kesalahan sehingga menghasilkan nilai kriteria uji dengan perhitungan sebagai berikut:

- Estimasi awal $S_0 = 1,5 \times \text{median} |\hat{\beta}_i| = 1,5 \times 0,55 = 0,825$
- Estimasi akhir $\hat{\sigma}_{PSE} = 1,5 \times \text{median} (|\hat{\beta}_i| : |\hat{\beta}_i| < 2,5s_0) = 1,5 \times 0,4 = 0,6$
- Batas kesalahan $ME = \hat{\sigma}_{PSE} \times t_{0,025; \frac{15}{3}} = 0,6 \times 2,571 = 1,5423$
- Batas kesalahan simultan $SME = t_{0,00171; \frac{15}{3}} \times \hat{\sigma}_{PSE} = 5,219 \times 0,6 = 3,1312$

Kriteria uji yang digunakan adalah apabila H_0 ditolak jika nilai mutlak estimasi efek utama perlakuan $|\hat{\beta}_i| >$ nilai *margin error* (ME) dan nilai mutlak estimasi efek interaksi perlakuan $|\hat{\beta}_{ij}| >$ nilai *simultan margin error* (SME). Berdasarkan nilai mutlak estimasi efek sesuai Tabel 2, terlihat bahwa nilai mutlak estimasi efek utama B dan C >

ME. Jadi dapat dikatakan bahwa B dan C berpengaruh terhadap respon Y, dengan model linier akhir adalah $\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_2 B + \hat{\beta}_3 C$.

Selanjutnya dilakukan cek asumsi normalitas dan kesamaan ragam berdasarkan nilai residual dari model linier yang ditentukan.

Mean	9.992007E-16
StDev	1.893
N	16
KS	0.172
P-Value	>0.150

Gambar 5. Nilai Kolmogorov Smirnov Residual berdasarkan Metode Lenth

Berdasarkan Gambar 5, terlihat nilai P-Value lebih dari $\alpha = 5\%$, jadi data residual berdistribusi normal.

Bartlett's Test	
Test Statistic	2.64
P-Value	0.451
Levene's Test	
Test Statistic	0.41
P-Value	0.749

Gambar 6. Uji Kesamaan Ragam Bartlett berdasarkan Metode Lenth

Berdasarkan Gambar 6, terlihat nilai P-Value lebih dari $\alpha = 5\%$, jadi ragam residual percobaan sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa rancangan faktorial fraksional 2^{5-1} dapat digunakan untuk kasus ini, dengan faktor yang berpengaruh terhadap respon Y adalah faktor B dan C.

4.3 Perbandingan Metode Klasik dan Metode Lenth

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa terdapat perbedaan hasil analisis antara kedua metode. Pada metode klasik terdapat tujuh faktor yang berpengaruh sedangkan pada metode Lenth hanya dua faktor yang berpengaruh. Pada kasus ini jumlah faktor signifikan dalam pengujian metode klasik lebih banyak dibandingkan dengan metode Lenth, sehingga dapat dikatakan bahwa metode klasik lebih sensitif daripada metode Lenth.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prosedur penentuan penaksir menggunakan metode Lenth untuk rancangan faktorial fraksional 2^{k-p} tanpa pengulangan adalah:
 - a. $s_0 = 1,5 \times \text{median} \{|\hat{\beta}_i|\}$, sebagai penaksir awal dalam penentuan penaksir akhir.
 - b. $\hat{\sigma}_{PSE} = 1,5 \times \text{median}(|\hat{\beta}_i|: |\hat{\beta}_i| < 2,5s_0)$, sebagai penaksir akhir.
 - c. $ME = \hat{\sigma}_{PSE} \times t_{0,025;d}$
 - d. $SME = t_{\gamma;d} \times \hat{\sigma}_{PSE}$
 ME dan SME merupakan statistik yang digunakan dalam menetapkan faktor yang signifikan. Faktor dikatakan signifikan jika nilai mutlak estimasi masing-masing efek utama lebih besar dari ME dan nilai mutlak estimasi masing-masing efek interaksi lebih besar dari SME.
2. Berdasarkan pengujian kasus dengan metode Lenth dan metode klasik diperoleh perbedaan banyaknya faktor yang signifikan. Pada pengujian dengan metode klasik

diperoleh lebih banyak faktor yang signifikan, sehingga dapat dikatakan bahwa metode klasik lebih sensitif daripada metode Lenth.

5.2 Saran

Rancangan faktorial fraksional 2^{k-p} tanpa perulangan dapat digunakan dalam berbagai bidang, sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut. Disarankan bagi pembaca yang tertarik untuk menggunakan metode Lenth ini hanya gunakan sebagai alternatif dikarenakan dalam kasus tertentu metode ini kurang sensitif dalam penentuan faktor signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Box, G.E.P., W.G. Hunter. dan J.S. Hunter. 2005. *Statistics for Experimenters*, 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Halaand, D.P. dan O'Connell, M.A. 1995. "Inference for Effect-Saturated Fractional Factorial", *Technometrics* 37,1. pp 82-93.
- Hamada, M. dan Balakrishnan, N. 1998. "Analyzing Unreplicated Factorial Experiments: A Review with Some New Proposals", *Statistics Sinica* 8. pp 1-41.
- Lenth, R.V. 1989. "Quick and Easy Analysis of Unreplicated Factorial", *Technometrics* 31. pp 469-473.
- Montgomery, D.C. 2005. *Design and Analysis of Experiments*, 5th Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Suwanda. 2011. *Desain Eksperimen untuk Penelitian Ilmiah*. Bandung: Alfabeta.