PROSIDING SEMINAR NASIONAL STATISTIKA
UNIVERSITAS DIPONEGORO 2013
ISBN: 978-602-14387-0-1

PENYUSUNAN RANCANGAN NEAR-ORTHOGONAL FRACTIONAL FACTORIAL SPLIT-PLOT

Indahwati, Yenni Angraini, Bagus Sartono
Departemen Statistika – FMIPA Institut Pertanian Bogor
indahwati_43@yahoo.co.id
yangraini11@gmail.com
bagusco@gmail.com

Abstrak

Salah satu bentuk rancangan fractional factorial split-plot yang ortogonal adalah rancangan yang pengaruh utama dari seluruh faktor bersifat saling ortogonal, baik faktor petak utama maupun anak petak. Rancangan semacam ini memberikan pendugaan model pengaruh utama yang paling baik secara statistik. Namun demikian, jika dalam model linear dimasukkan pengaruh interaksi maka ada kemungkinan pembauran (confounding) antara pengaruh utama dan pengaruh interaksi masih cukup besar sehingga dugaan yang diperoleh bukan yang terbaik. Penelitian ini dimaksudkan untuk memgembangkan metode penyusunan rancangan yang bersifat near-orthogonal, terutama pada pembauran antara pengaruh utama dari faktor petak utama dan faktor anak petak, dengan harapan bahwa pembauran antaran pengaruh utama dan pengaruh interaksi pada rancangan yang dihasilkan dapat lebih rendah kadarnya. Hasil rancangan yang diperoleh penulis nilai bersifat kompetitif dengan rancangan ortogonal yang sudah ada di literature.

Kata Kunci: *Split-Plot,* Pemrograman Linear, *Near-Orthogonal*

1. Pendahuluan

Ketika suatu percobaan melibatkan banyak faktor, maka melakukan percobaan secara faktorial lengkap tidak banyak menjadi pilihan para peneliti, terutama peneliti industri. Hal ini tidak lain karena terbatasnya biaya yang dapat disediakan untuk percobaan tersebut yang akan membesar dengan banyaknya kombinasi perlakuan yang mungkin terbentuk. Rancangan faktorial pecahan adalah pilihan yang tersedia untuk mengatasi masalah tersebut. Hanya saja ketika memilih rancangan faktorial pecahan, pertanyaan yang timbul adalah bagaimana memilih kombinasi perlakuan dari gugus seluruh kemungkinan kombinasi.

Setidaknya ada dua kelompok rancangan yang bisa dipilih. Kelompok pertama adalah rancangan yang melibatkan kombinasi perlakuan sedemikian rupa sehingga antar faktornya bersifat ortogonal. Pada kelompok ini terdapat rancangan faktorial pecahan yang bersifat reguler dan yang bersifat tak-reguler. Kelompok kedua adalah rancangan yang tidak mensyaratkan keortogonalan antar faktor. Pada kelompok ini antara lain kita dapat temukan rancangan yang dihasilkan dengan teknik rancangan optimum (optimum

ISBN: 978-602-14387-0-1

design) dan rancangan yang bersifat robust terhadap model yang digunakan (Cook & Nachtsheim 1982; Li & Nachtsheim 2000).

Schoen (2010) memberikan diskusi tentang apakah sebaiknya menggunakan rancangan ortogonal ataukah rancangan optimum. Rancangan ortogonal memiliki ciri keseimbangan atau proporsionalitas dari masing-masing taraf faktor yang terlibat. Dengan jenis rancangan ini, pada model linear berderajat tunggal, setiap dugaan pengaruh utama faktor bersifat saling bebas sehingga pembuatan kesimpulan menjadi lebih mudah. Sementara itu, rancangan optimum memiliki kelebihan dalam kemampuan memberikan lebih banyak kemungkinan model linear yang dapat diduga, hal yang serupa yang menjadi tujuan dari model-robust design. Perhatikan bahwa rancangan optimum dibangun dengan pendekatan bahwa rancangan yang dihasilkan merupakan rancangan yang bersifat optimum dengan kriteria tertentu untuk model linear yang telah ditentukan. Rancangan ortogonal merupakan rancangan optimum ketika model linear yang diduga adalah model linear dengan derjat tunggal karena pada saat itu nilai optimality-nya adalah 100%.

Dalam percobaan industrial, rancangan yang banyak diterapkan adalah rancangan split-plot karena sulitnya melakukan pengacakan lengkap (lihat Jones and Nachtseim 2009). Karena itu, diskusi mengenai rancangan split-plot banyak menjadi perhatian para penulis dalam bidang perancangan percobaan industri. Saat ini tersedia beberapa teknik penyusunan rancangan split-plot berfaktor banyak yang bersifat ortogonal, misalnya Huang *et al.* (1998); Bingham & Sitter (1999); Bingham *et al.*, (2004), Sartono *et al.* (*in press*). Juga tersedia teknik rancangan optimum untuk menghasilkan rancangan split-plot, misalnya Goos & Vandebroek (2003) dan Jones & Goos (2007).

Penelitian ini bermaksud untuk memberikan alternatif lain dalam menyusun rancangan split-plot. Ide dari penelitian ini adalah membuat rancangan yang mendekati ortogonal sehingga karakteristik rancangan ortogonal tidak sepenuhnya hilang, tetapi mampu memberikan model linear yg dapat diduga dengan lebih banyak dibandingkan rancangan yang bersifat ortogonal. Kami akan menggunakan pendekatan stratum-by-stratum menggunakan teknik linear programming yang diusulkan oleh Sartono *et al.* (*in press*) untuk memperoleh rancangan FFSP ortogonal dengan melakukan modifikasi pada model pemrograman linearnya. Modifikasi yang dimaksud adalah melonggarkan

ISBN: 978-602-14387-0-1

persyaratan keortogonalan yang ada pada bagian kendala pada model dan memindahkannya ke bagian fungsi tujuan optimasi yang akan diminimumkan.

Penjelasan rinci mengenai pendekatan yang digunakan akan dipaparkan pada bagian berikutnya, diikuti dengan beberapa ilustrasi penerapan dari pendekatan tersebut. Beberapa setting rancangan akan digunakan untuk memberikan gambaran mengenai proses penerapan dari pendekatan ini. Sebuah diskusi singkat akan menjadi penutup tulisan ini.

2. Deskripsi Pendekatan Pembentukan Rancangan FFSP Near-Orthogonal

Guna memberikan penjelasan lengkap mengenai pendekatan yang diusulkan, kami akan memaparkan notasi-notasi matriks yang digunakan sepanjang tulisan ini. Sebelumnya, akan diberikan beberapa notasi parameter rancangan yang ingin diperoleh. Andaikan ingin disusun suatu rancangan split-plot dengan parameter rancangan sebagai berikut. Yang pertama, terdapat sebanyak b petak utama, yang masing-masing memiliki n/b anak petak sehingga secara total terdapat n buah *runs* atau satuan percobaan. Selanjutnya, andaikan saja terdapat sebanyak s faktor anak petak serta w faktor petak utama, yang semuanya memiliki dua level.

Karena ada b buah petak utama, maka diperlukan b buah perlakuan dengan satu perlakuan petak utama untuk masing-masing petak utama. Andaikan saja bahwa b buah perlakuan tersebut dikumpulkan dalam suatu matriks **M** berukuran $b \times w$. Selanjutnya masing-masing petak utama memiliki n/b anak petak sehingga secara total terdapat n anak petak. Dengan demikian diperlukan n buah perlakuan anak petak dan, misalkan, matriks **S** yang berukuran $n \times s$ adalah matriks yang memuat seluruh n perlakuan anak petak tersebut.

Rancangan akhir diperoleh dengan memasangkan satu buah perlakuan petak utama kepada n/b perlakuan anak petak. Andaikan **B** adalah matriks yang memasangkan dengan aturan tersebut, maka $\mathbf{W} = \mathbf{BM}$ adalah susunan perlakuan petak utama dengan urutan baris sesuai dengan posisi perlakuan anak petak pasangannya. Jika ini bisa dilakukan maka matriks rancangan akhir yang dinotasikan **R** adalah penggabungan (*augmenting*) saja antara matriks **W** dan **S**, atau $\mathbf{R} = [\mathbf{W} \mid \mathbf{S}]$.

Untuk matriks **M** dan **S** yang telah ditentukan, satu-satunya matriks yang harus ditemukan untuk memperoleh rancangan akhir adalah matriks **B**.

ISBN: 978-602-14387-0-1

Tulisan ini bermaksud untuk memaparkan suatu metodologi memperoleh matriks **B** secara simultan sehingga rancangan akhir yang diperoleh memperoleh karakteristik yang baik. Karakteristik tersebut dinyatakan dalam bentuk pembauran yang seminimal mungkin antara faktor-faktor yang ada dalam rancangan. Menggunakan prinsip hirarki dalam analisis data rancangan faktorial pecahan, kami mengusulkan untuk memberikan perhatian hanya pada pengaruh utama dan pengaruh interaksi dua faktor. Dengan meminjam istilah '*word*' dan '*letter*' pada diskusi mengenai pembauran dan aliasing, kami memfokuskan diri dengan memperhatikan pembauran yang direpresentasikan dengan *word* yang berisi maksimal empat *letter*. Berikut ini diberikan ringkasan mengenai notasi yang akan digunakan dalam tulisan ini sesuai dengan uraian yang diberikan sebelumnya.

Notasi	Deskripsi
S	matriks perlakuan anak petak, yang juga merupakan matriks pengaruh utama anak petak, berukuran $n \times s$
Z	matriks merupakan matriks pengaruh interaksi dua faktor anak petak, berukuran $n \times s_2$ dengan $s_2 = s(s-1)/2$
M	matriks perlakuan petak utama, yang juga merupakan matriks pengaruh utama faktor petak utama, berukuran $b \times w$
Q	matriks pengaruh interaksi dua faktor petak utama, berukuran $b \times w_2$
B	matriks assignment/menjodohkan yang menunjukkan perlakuan petak utama tertentu dipasangkan dengan perlakuan anak petak yang mana (atau sebaliknya), berukuran $n \times b$ $b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jika perlakuan petak utama ke-}j\text{ dipasangkan dengan perlakuan anak petak }k \\ 0 & \end{cases}$ $\sum_j b_{ij} = 1$ untuk semua $i = 1, \ldots, n$ $\sum_j b_{ij} = n/b$ untuk semua $j = 1, \ldots, b$
W = BM	matriks perlakuan (pengaruh utama) dari faktor petak utama, berukuran $n \times w$
V = BQ	matriks pengaruh interaksi dua faktor petak utama, berukuran $n \times w_2$
R	matriks rancangan akhir berukuran $n \times (w + s)$ **R** = [**W** | **S**]

Menggunakan notasi matriks di atas, selanjutnya dapat diperoleh matriks-matriks yang merepresentasikan beberapa pola pembauran dua, tiga, dan empat 'huruf' dan disajikan ringkasannya pada Tabel 1.

ISBN: 978-602-14387-0-1

Tabel 1. Ringkasan Jenis Pola Pembauran dan Matriks yang Merepresentasikannya

Pola Pembauran	Matriks
WS pembauran pengaruh utama faktor petak utama (W) dan pengaruh utama faktor anak petak (S)	$\mathbf{S}^T\mathbf{W} = \mathbf{S}^T\mathbf{BM}$
WWS - pembauran pengaruh utama faktor petak utama (W) dengan pengaruh interaksi antara faktor petak utama dan faktor anak petak (WS) - pembauran pengaruh utama faktor anak petak S dengan pengaruh interaksi antar dua faktor petak utama (WW)	$\mathbf{S}^T\mathbf{V} = \mathbf{S}^T\mathbf{BQ}$
WSS - pembauran pengaruh utama faktor petak utama (W) dengan pengaruh interaksi antar dua faktor anak petak (SS) - pembauran pengaruh utama faktor anak petak S dengan pengaruh interaksi antara faktor petak utama dan faktor anak petak (WS)	$\mathbf{Z}^T\mathbf{W} = \mathbf{Z}^T\mathbf{BM}$
WWSS - pembauran antara WW dan SS - pembauran antar WS dengan WS yang lain	$\mathbf{Z}^T\mathbf{V} = \mathbf{Z}^T\mathbf{BQ}$
WSSS - pembauran antara WS dan SS	$\mathbf{Z}^T\mathbf{T} = \mathbf{Z}^T[(\mathbf{1}^T_s \otimes \mathbf{W}) \odot (\mathbf{S} \otimes \mathbf{1}^T_w)]$ $\mathbf{Z}^T\mathbf{T} = \mathbf{Z}^T[(\mathbf{1}^T_s \otimes \mathbf{BM}) \odot (\mathbf{S} \otimes \mathbf{1}^T_w)]$ **Catatan:** $\otimes$: Kronecker Product $\odot$: Hadamard Product

Perhatikan bahwa pada rancangan FFSP yang ortogonal diinginkan **B** bersifat orthogonal terhadap **S**, atau $\mathbf{B}^T\mathbf{S} = \mathbf{S}^T\mathbf{B} = 0$ sehingga pembauran WS dan WWS juga bernilai 0, dan model linear programming digunakan untuk mencari matriks **B** yang meminimumkan pembauran WSS, WWSS, dan WSSS. Pada rancangan yang bersifat near ortogonal, kami tidak mengharuskan sifat orthogonal B terhadap S sehingga model optimasi digunakan untuk mencari **B** yang meminimumkan kelima jenis pembauran.

Berdasarkan deskripsi di atas, selanjutnya dapat dituliskan model optimasi pemrograman linear yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

Fungsi Tujuan :

Minimumkan

$$a_1 g + a_2\left[\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=1}^{w} g_{(ik)}\right] + a_3 h + a_4\left[\sum_{i=1}^{s}\sum_{k=1}^{w} h_{(ik)}\right] + a_5 d + a_6\left[\sum_{i=1}^{s_2}\sum_{k=1}^{w} d_{(ik)}\right] + a_7 e + a_8 \left[\sum_{i=1}^{s_2}\sum_{k=1}^{w_2} e_{(ik)}\right] + a_9 f + a_{10}\left[\sum_{i=1}^{s_2}\sum_{k=1}^{sw} f_{ik}\right]$$

Dengan Kendala:

ISBN: 978-602-14387-0-1

Pembauran WS: untuk $\forall(i,k)$ i = 1, 2, …s dan k = 1, 2, …, w

$$\sum_{j=1}^{n} s_{ij} w_{jk} - g_{ik} \le 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} s_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} m_{lk}\right) - g_{ik} \le 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} s_{ij} w_{jk} + g_{ik} \ge 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} s_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} m_{lk}\right) + g_{ik} \ge 0$$

$0 \le g_{ik} \le g$

Pembauran WWS: untuk $\forall(i,k)$ i = 1, 2, …s dan k = 1, 2, …, w_2

$$\sum_{j=1}^{n} s_{ij} v_{jk} - h_{ik} \le 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} s_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} q_{lk}\right) - h_{ik} \le 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} s_{ij} v_{jk} + h_{ik} \ge 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} s_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} q_{lk}\right) + h_{ik} \ge 0$$

$0 \le h_{ik} \le h$

Pembauran WSS: untuk $\forall(i,k)$ i = 1, 2, …s_2 dan k = 1, 2, …, w

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} w_{jk} - d_{ik} \le 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} m_{lk}\right) - d_{ik} \le 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} w_{jk} + d_{ik} \ge 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} m_{lk}\right) + d_{ik} \ge 0$$

$0 \le d_{ik} \le d$

Pembauran WWSS: untuk $\forall(i,k)$ i = 1, 2, …s_2 dan k = 1, 2, …, w_2

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} v_{jk} - e_{ik} \le 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} q_{lk}\right) - e_{ik} \le 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} v_{jk} + e_{ik} \ge 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij}\left(\sum_{l=1}^{b} b_{jl} q_{lk}\right) + e_{ik} \ge 0$$

$0 \le e_{ik} \le e$

Pembauran WSSS: untuk $\forall(i,k)$ i = 1, 2, …s_2 dan k = 1, 2, …, sw
dengan $u = \lceil k/w \rceil$, $l = k - (u-1)w$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} t_{jk} - f_{ik} \le 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij} s_{ju} w_{jl} - f_{ik} \le 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij} s_{ju} \sum_{g=1}^{b} b_{jg} m_{gl} - f_{ik} \le 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} z_{ij} t_{jk} + f_{ik} \ge 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij} s_{ju} w_{jl} + f_{ik} \ge 0 \rightarrow \sum_{j=1}^{n} z_{ij} s_{ju} \sum_{g=1}^{b} b_{jg} m_{gl} + f_{ik} \ge 0$$

$0 \le f_{ik} \le f$

ISBN: 978-602-14387-0-1

Karakteristik Matriks B

$$\sum_{s=1}^{n} b_{st} = \frac{n}{b} \text{ untuk } \forall t = 1,2,\ldots,b$$

$$\sum_{t=1}^{b} b_{st} = 1 \text{ untuk } \forall s = 1,2,\ldots,n$$

$$b_{st} \in \{0,\ 1\} \text{ untuk } \forall (s,t)\ s = 1,2,\ldots,n \text{ and } t = 1,2,\ldots,b$$

3. Ilustrasi

Pada bagian ini kami menampilkan dua buah ilustrasi untuk memperjelas pendekatan yang kami usulkan dalam penyusunan rancangan FFSP. Penulis memanfaatkan PROC OPTMODEL pada SAS/OR untuk menghasilkan rancangan yang diinginkan.

Ilustrasi 1: Rancangan 24 run.

Andaikan diinginkan sebuah rancangan split-plot dengan karakteristik sebagai berikut. Tersedia sebanyak 4 petak utama yang masing-masing memiliki 6 anak petak sehingga secara total terdapat 24 satuan percobaan. Banyaknya faktor yang terlibat adalah dua faktor petak utama, W1 dan W2, serta empat faktor anak petak yaitu S1, S2, S3, S4. Untuk menjalankan metodologi yang kami usulkan, diperlukan dua sub-rancangan yaitu sub-rancangan petak utama yang merupakan matriks berukuran 4×2 dan sub-rancangan anak petak yang berukuran 24×4. Kami menggunakan rancangan faktorial penuh 2^2 untuk rancangan petak utama dan dua rancangan berukuran 24×4 yang tersedia pada Sartono *et al.* (*in press*).

Selanjutnya sub-rancangan tersebut kami jadikan input bagi model optimasi pemrograman linear yang kami susun. Karena ada dua sub-rancangan anak petak, kami memperoleh dua buah rancangan split-plot, masing-masing kami notasikan NO24-1 dan NO24-2. Untuk melihat kualitas rancangan yang diperoleh kami membandingkan hasil yang kami peroleh dengan rancangan yang bersifat ortogonal yang terdapat pada Sartono *et al.* (*in press*) yang dinotasikan S24-1 dan S24-2.

Rancangan yang diperoleh dengan metode usulan ini disajikan pada Tabel 2, sedangkan pada Tabel 3 disajikan perbandingan karakteristik kualitas dari rancangan tersebut dengan S24-1 dan S24-2. Ada dua hal yang digunakan untuk menilai kualitas dari rancangan. Yang pertama adalah banyaknya pengaruh yang dapat diduga pada

ISBN: 978-602-14387-0-1

berbagai model dengan jenis interaksi yang berbeda-beda di dalamnya. Parameter kualitas ini diinginkan memiliki nilai besar yang berarti bahwa semakin banyak pengaruh yang dapat diduga. Namun jika dua rancangan memiliki banyaknya pengaruh yang dapat diduga sama besar, maka parameter kualitas yang kedua yang diperbandingkan yaitu *D-efficiency* model. Parameter kedua ini pun diinginkan semakin besar untuk menilai rancangan yang semakin baik

Dari Tabel 3 tampak bahwa pendekatan near-orthogonal tidak mampu memberikan rancangan yang lebih baik jika melibatkan sub-rancangan anak petak nomor satu, namun jelas tampak bahwa jika sub-rancangan yang kedua hasilnya jauh lebih baik dari rancangan orthogonal.

Tabel 2. Rancangan FFSP yang Bersifat *Near-Orthogonal* menggunakan Pendekatan yang diusulkan

Petak Utama	**W1**	**W2**	**Anak Petak**	**NO24-1**				**NO24-2**			
				S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
			2	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
			3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
			4	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
			5	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
			6	1	1	-1	-1	1	-1	1	1
2	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
			2	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1
			3	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
			4	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
			5	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
			6	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
3	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1
			2	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
			3	1	-1	1	1	-1	1	1	-1
			4	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1
			5	1	-1	1	-1	1	1	1	1
			6	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
			2	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
			3	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
			4	1	1	1	-1	-1	1	1	-1
			5	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1
			6	1	1	1	1	1	1	-1	1

ISBN: 978-602-14387-0-1

Tabel 3. Perbandingan Karakteristik Rancangan yang dihasilkan dengan Metode Usulan dengan Rancangan pada Sartono et al. (in press)

Interaksi dalam model linear	S24-1		NO24-1		S24-2		NO24-2	
	#estimable effects	D-Eff	#estimable effects	D-Eff	#estimable effects	D-Eff	#estimable effects	D-Eff
Tidak ada	7	28.31	7	26.90	7	28.31	7	27.41
WW	8	22.94	8	21.92	8	22.94	8	22.29
SS	13	46.12	13	44.32	13	45.68	13	47.42
WS	15	49.42	15	43.36	15	49.03	15	50.31
WW SS	14	39.50	14	38.04	14	38.87	14	40.50
WW WS	16	42.96	16	37.85	16	42.65	16	43.62
SS WS	21	49.76	21	40.84	18	0.00	21	48.14
WW SS WS	22	44.93	22	36.53	18	0.00	22	43.43

Ilustrasi 2: Rancangan 32 runs

Pada ilustrasi ini rancangan yang ingin dibangun memiliki tiga faktor petak utama dan lima faktor anak petak. Percobaan yang akan dilakukan dapat menyediakan sebanyak 8 petak utama yang masing-masing berukuran empat sehingga secara total ada 32 satuan percobaan. Dengan setting seperti itu, maka diperlukan sub-rancangan petak utama berukuran 8 × 3 dan sub-rancangan anak petak berukuran 32 × 5. Sub-rancangan petak utama yang kami gunakan adalah rancangan factorial penuh 2^3, sedangkan sub-rancangan anak petak kami gunakan rancangan faktorial penuh 2^5. Sub-rancangan yang sama digunakan oleh Sartono *et al*. (*in press*).

Hasil rancangan yang diperoleh menggunakan pendekatan yang penulis usulkan, dinotasikan NO32, ditampilkan pada Tabel 4. Sedangkan karakteristik kualitas rancangan ditampilkan pada Tabel 5. Pada tabel tersebut juga ditampilkan karakteristik kualitas dari beberapa rancangan ortogonal yang ada diliteratur yaitu ILP32 (dari Sartono *et al*. (*in press*)), H32 (dari Huang *et al*. (1998)) dan C32 (dari Capehart *et al*. (2011)). Tampak jelas bahwa rancangan near-orthogonal yang dihasilkan pada Tabel 4 memiliki lebih banyak pengaruh yang dapat diduga, terutama pada model yang melibatkan interaksi antara dua faktor anak petak dan interaksi antara faktor anak petak dan faktor petak utama

ISBN: 978-602-14387-0-1

Tabel 4. Rancangan FFSP 32 runs yang Bersifat *Near-Orthogonal*

Petak Utama	W1	W2	W3	Anak Petak	NO 32				
					S1	S2	S3	S4	S5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
				2	-1	-1	1	1	-1
				3	1	-1	1	-1	-1
				4	1	-1	-1	1	1
2	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
				2	-1	1	-1	-1	1
				3	1	1	-1	1	-1
				4	-1	1	1	1	-1
3	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
				2	-1	-1	1	-1	1
				3	-1	1	-1	-1	-1
				4	1	1	1	-1	-1
4	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1
				2	1	-1	-1	-1	-1
				3	-1	-1	1	-1	-1
				4	1	-1	1	1	-1
5	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
				2	-1	1	1	-1	-1
				3	1	1	1	1	-1
				4	-1	1	-1	1	-1
6	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1
				2	-1	1	-1	1	1
				3	1	1	-1	-1	1
				4	-1	-1	-1	-1	-1
7	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1
				2	1	1	-1	1	1
				3	1	1	1	-1	1
				4	-1	1	1	1	1
8	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1
				2	-1	-1	-1	-1	1
				3	-1	-1	1	1	1
				4	1	-1	-1	1	-1

Tabel 5. Perbandingan Karakteristik Rancangan yang dihasilkan dengan Metode Usulan dengan Beberapa Rancangan di Literatur

Interaksi	ILP32		H32		C32		Near-Orthogonal	
	#estimable effects	D-Eff	#estimable effects	D-Eff	#estimable effects	D-Eff	#estimabl e effects	D-Eff
Tidak Ada	9	31.98	9	31.98	9	31.98	9	26.74
WW	12	22.40	12	22.40	12	22.40	12	19.40
SS	19	44.49	19	38.87	16	0.00	19	48.65
WS	24	58.10	19	0.00	24	65.21	24	37.99
WW SS	21	0.00	19	0.00	19	0.00	22	37.62
WW WS	27	46.41	22	0.00	27	51.43	27	29.21
SS WS	28	0.00	29	0.00	26	0.00	32	0.00
WW SS WS	30	0.00	29	0.00	29	0.00	32	0.00

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilaksanakan atas biaya program Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi BOPTN Institut Pertanian Bogor Tahun 2013. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ditjen Dikti Kemendikbud dan LPPM IPB atas dukungan pendanaan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Bingham, D. R. and Sitter, R. R. (1999). Minimum-aberration two-level fractional factorial split-plot designs. Technometrics, 41:62–70.

Bingham, D. R., Schoen, E. D., and Sitter, R. R. (2004). Designing fractional factorial splitplot experiments with few whole-plot factors. *Journal of the Royal Statistical Society, Ser. C (Applied Statistics)*, 53: 325–339. Corrigendum, 54:955-958.

Cook, R.D. & Nachtsheim, C.J. (1982). Model Robust, Linear-Optimal Designs. *Technometrics* 24: 49-54.

Goos, P. and Vandebroek, M. (2003). D-optimal split-plot designs with given numbers and sizes of whole plots. *Technometrics* 45: 235-245.

Huang, P., Chen, D., and Voelkel, J. O. (1998). Minimum-aberration two-level split-plot designs. *Technometrics*, 40: 314–326.

Jones, B. & Nachtsheim, C. J. (2009). Split-plot designs: What, why, and how. *Journal of Quality Technology*, 41:340–361.

Jones, B. and Goos, P. (2007). A candidate-set-free algorithm for generating D-optimal splitplot designs. *Journal of the Royal Statistical Society, Ser. C (Applied Statistics)*, 56: 347–364.

Li, W. & Nachtsheim, C.J. (2000). Model-Robust Factorial Designs. Technometrics Volume 42, Issue 4: 345-352.

Sartono, B., Goos, P., and Schoen, E. (*in press)*. Constructing General Orthogonal Fractional Factorial Split-Plot Designs. (tentatively accepted by *Technometrics*)

Schoen, E.D. (2010). Optimum Designs Versus Orthogonal Arrays for Main Effects and Two-Factor Interactions. *Journal of Quality Technology* 42: 197 – 208.