



Pembuatan Biogas dari Kotoran Sapi dengan Metode Taguchi

Debora Anne Yang Aysia^{1,*}, Togar Wiliater S. Panjaitan²⁾ dan Y. Ryan Adiputra H.S.³⁾

- 1) *Industrial Engineering Department, Petra Christian University
Siwalankerto 121-131, Surabaya, 60236, Indonesia
e-mail: debbie@peter.petra.ac.id*
- 2) *Industrial Engineering Department, Petra Christian University*
- 3) *Industrial Engineering Department, Petra Christian University*

ABSTRACT

The cow manure can be used for making fertilizer or biogas. The objective of this research is to find the best combination of factors and levels, for improving the quality of biogas, which can be used in the pasteurization process of milk production. A study case is done at a milk industry in the Middle Java province. Design of experiment with Taguchi method was used to find the best combination, for producing biogas with high methane percentage. The conclusion is made based on the analysis of mean and variance (signal to noise ratio) of the experiment's response. As a result, the best combinations are the ratio of grass and maize plant is 1 : 0, without cutting process and they are given twice in a day¹⁾; the composition of biogas's making is 1 liter of water for 3 kilograms cow manure²⁾; the amount of bio starter is 6 milliliters for every 30 kilograms biogas dough³⁾; and the food composition for a cow is 0,04 kilograms mineral, 0,03 kilograms sugar palm, 12 kilograms bran, and 18 kilograms tofu dregs⁴⁾.

Keywords: Taguchi's method, design of experiment, biogas.

PENDAHULUAN

Desain eksperimen adalah serangkaian tes atau percobaan yang dilakukan secara berurutan dengan mengubah-ubah variabel *input* dalam suatu proses sehingga dapat melihat dan mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada variabel *output* (Montgomery, 2001). Salah satu metode dalam desain eksperimen adalah metode Taguchi. Metode Taguchi digunakan untuk mengidentifikasikan faktor-faktor yang dapat dikontrol, yang secara langsung dapat menyebabkan proses atau produk tidak peka terhadap pengaruh dari *noice factor*. Salah satu keuntungan metode Taguchi adalah jumlah percobaan yang dilakukan relatif lebih sedikit dibandingkan dengan metode yang lain. *Signal to Noise Ratio* (SNR) berguna untuk mengetahui faktor dan *level* yang mempunyai efek faktor SNR paling besar, sehingga dapat mengurangi *variance* (*noise*). *S/N Ratio* didapatkan dari pembagian kekuatan suatu faktor dengan kekuatan *noise*. Berikut ini perumusan SNR untuk karakteristik kualitas *larger the better* (Taguchi, 2005):

$$SN_L = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

Dimana *n* adalah banyaknya replikasi dalam tiap eksperimen dan *y* adalah nilai respon pada cuplikan ke-*i*. Perhitungan efek tiap faktor dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar efek yang ditimbulkan oleh suatu faktor dalam mengurangi *noise*. Semakin besar efek faktor menunjukkan bahwa faktor tersebut adalah faktor yang paling berpengaruh. Efek tiap faktor dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Taguchi, 2005):



$$\text{Efek faktor} = \frac{1}{a} \sum SNR \text{ atau Efek faktor} = \frac{1}{a} \sum \bar{Y}_s \quad (2)$$

Dimana a adalah jumlah munculnya tiap *level* faktor dalam suatu kolom matriks *orthogonal* dan \bar{Y}_s adalah *mean* dari tiap eksperimen.

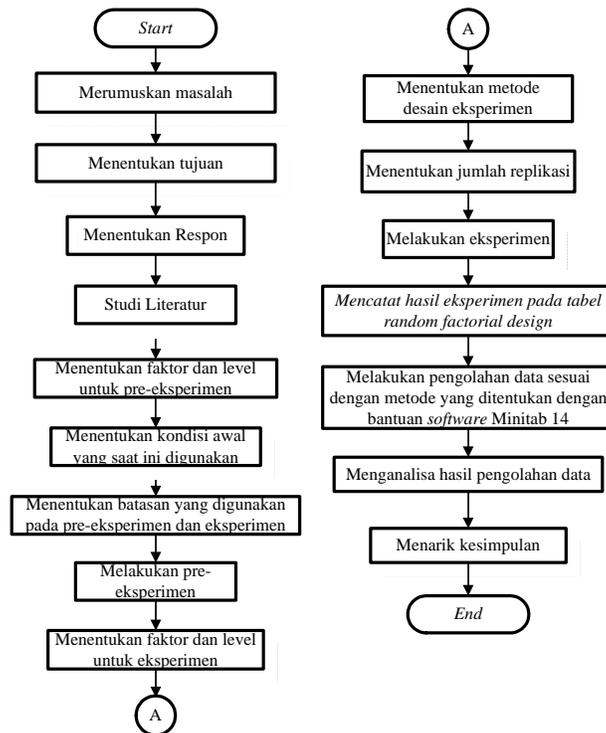
Biogas merupakan sebuah proses produksi gas bio dari material organik dengan bantuan bakteri. Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH₄) sebesar 55%-65% dan karbon dioksida (CO₂) sebesar 35%-45%, dan beberapa kandungan yang jumlahnya sekitar 0%-1% diantaranya hydrogen (H₂), oksigen (O₂), nitrogen (N₂) dan Hidrogen Sulfida (H₂S) (Abdul Kadir, 1987). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH₄). Kandungan metana yang semakin tinggi akan menyebabkan semakin besar pula kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya.

CV X merupakan sebuah industri susu sapi di kecamatan Purwodadi, Jawa Tengah. Salah satu produknya berupa susu pasteurisasi yang dikemas menyerupai bentuk bantal. Bahan baku didapatkan dari peternakan sendiri, dengan jumlah sapi produktif sekitar 160 ekor sapi. Selama ini, perusahaan hanya mengolah kotoran sapi menjadi pupuk kandang. Oleh karena itu, perusahaan berupaya membuat biogas dari kotoran sapi, dimana biogas yang dihasilkan akan dipergunakan sebagai bahan bakar pada proses pasteurisasi susu, sehingga perusahaan dapat mengurangi biaya bahan bakar untuk proses pasteurisasi dengan memanfaatkan limbah sapi yang ada.

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari kombinasi faktor dan level terbaik untuk menghasilkan biogas dari kotoran sapi dengan prosentase gas metana yang tinggi. Eksperimen dilakukan dengan metode Taguchi, dimana jumlah percobaan yang akan dilakukan relatif lebih sedikit, mengingat banyaknya faktor dugaan.

METODE

Tahapan penelitian pembuatan biogas untuk mendapatkan prosentase gas metana yang tinggi dapat dilihat pada Gambar 1. Respon yang dijadikan tolak ukur dalam pre-eksperimen dan eksperimen adalah prosentase metana dalam biogas dari kotoran sapi. Sebagai langkah awal, dilakukan studi literatur mengenai biogas dan bahan-bahan pembentuk biogas. Setelah itu, faktor dan *level* yang nantinya digunakan pada pre-eksperimen ditentukan melalui studi literatur dan wawancara dengan beberapa sumber, seperti Dinas Peternakan di Jawa Tengah, lembaga penelitian & pengabdian masyarakat, serta ahli. Survei lapangan baik di perusahaan maupun masyarakat dilakukan untuk menentukan kondisi awal dari segala aspek penyusun biogas. Kondisi awal ini akan dijadikan tolak ukur untuk penyeleksian faktor dan *level* yang digunakan pada eksperimen. Selanjutnya pre-eksperimen dilakukan dan prosentase metana dalam biogas diukur dengan menggunakan alat ukur tertentu. Hasil dari pre-eksperimen berupa penentuan faktor beserta *level* yang akan digunakan pada eksperimen. Setelah itu, eksperimen dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan metode eksperimen desain yang sesuai dengan hasil penyeleksian faktor dan *level* pada pre-eksperimen. Prosentase metana dalam biogas hasil eksperimen didapatkan dengan cara melakukan pengujian laboratorium. Tahap selanjutnya adalah pengolahan dan analisa data, serta penarikan kesimpulan.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

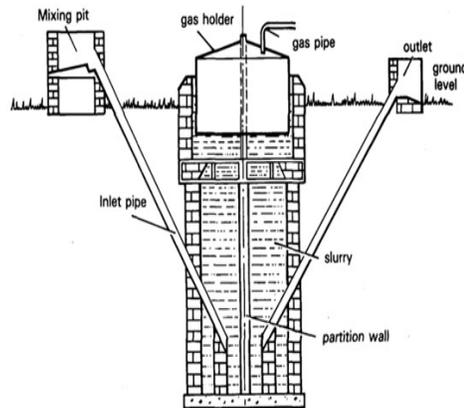
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pre-eksperimen dan eksperimen yang dilakukan memiliki batasan-batasan yang bertujuan untuk meminimalkan tingkat error yang dihasilkan. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut:

- Jenis sapi yang digunakan adalah sapi betina dengan jenis sapi perah, melahirkan antara tiga sampai lima kali, dalam keadaan sedang tidak hamil atau sedang hamil dengan usia kehamilan maksimal tiga bulan.
- Pakan sapi seperti bekatul, jenjet, ampas tahu, kulit kopi, *tebon* dan rumput berasal dari satu *supplier* dari masing-masing pakan tersebut. Merk vitamin, merk mineral, jenis garam dan jenis gula aren yang diberikan pada sapi haruslah sama.
- Air minum yang digunakan untuk minum sapi adalah air hasil pengeboran sumur yang berasal dari daerah Purwodadi.
- Rumput yang digunakan adalah rumput gajah yang berasal dari daerah Jawa Tengah, khususnya di sekitar Purwodadi.
- Pembuatan campuran makanan dikerjakan pada saat akan diberikan. Makanan untuk seekor sapi yang berupa adonan antara vitamin, mineral, garam, gula aren, bekatul, jenjet, kulit kopi, ampas tahu dan air memiliki berat 40 kg tiap harinya.
- Ukuran kandang antara satu sapi dengan yang lainnya adalah sama sehingga tingkat stress sapi tidak berbeda-beda.
- Penimbangan pakan ternak dilakukan dengan menggunakan alat timbangan digital.
- Total jumlah kotoran ditambah dengan air yang dimasukkan ke dalam tempat pembuatan biogas adalah sama.



- Semua peralatan yang digunakan untuk proses pembentukan biogas, baik itu tempat, ukuran plastik penampungan gas dan lain sebagainya memiliki jenis yang sama. Desain alat yang nantinya akan digunakan adalah menganut metode desain yang berasal dari India (lihat Gambar 2).
- Suhu yang diberikan pada alat yang dipergunakan untuk eksperimen adalah sama yaitu suhu udara luar di daerah Purwodadi.
- *Biostater* yang digunakan untuk pre-eksperimen ini adalah *biostater* cair dengan merk yang sama.



Gambar 3. Desain Alat Pembuatan Biogas

Masing-masing kombinasi percobaan akan dikerjakan dalam waktu tiga hari. Hal tersebut dikarenakan biogas yang dihasilkan oleh kotoran sapi tersebut akan tidak keluar lagi setelah tiga hari. Batasan selama tiga hari ini didasarkan pada percobaan awal.

1. Pre-eksperimen

Pre-eksperimen dilakukan dengan tujuan menentukan level dari faktor yang diduga mempengaruhi *output* dari eksperimen. Hasil pre-eksperimen diukur dengan melakukan uji laboratorium. Hasilnya berupa tingkat prosentase metana pada sampel-sampel biogas yang telah dibuat.

Berdasarkan hasil studi literatur dan wawancara dengan beberapa sumber, faktor yang mempengaruhi *output* dari eksperimen ini adalah tingkat *stress* sapi, makanan yang dimakan sapi, pola makan sapi, minuman yang diminum sapi, cuaca, iklim, suhu kandang dan perlakuan terhadap campuran dari adonan biogas itu sendiri. Faktor-faktor tersebut sebagian tidak dapat dikendalikan dan yang lainnya dapat dikendalikan. Faktor yang tidak dapat dikendalikan adalah cuaca, iklim, suhu kandang sedangkan faktor yang dapat dikendalikan adalah komposisi jenis makanan, frekuensi makan sapi, frekuensi pemberian rumput dan *tebon*, besarnya rumput dan *tebon*, komposisi rumput dan *tebon*, banyaknya air yang diminum, lamanya sapi tidak diikat dalam kandang, pergerakan sapi dalam kandang pada saat diikat, komposisi biogas, jenis zat cair yang digunakan untuk melarutkan kotoran, dan jumlah pemberian *biostarter*.

Pemilihan *level* dari tiap faktor yang akan digunakan dalam pre-eksperimen dapat dilihat pada Tabel 1. Kondisi awal yang akan dipergunakan untuk membuat biogas dan kemudian hasilnya digunakan sebagai tolak ukur dalam pre-eksperimen adalah komposisi jenis makanan untuk seekor sapi dengan total 40 kg per hari adalah air 10.92 liter, vitamin 10-15 gr, mineral



30gr, garam 20gr, gula aren 20gr, bekatul 9 kg, jenjet 2.5 kg, kulit kopi 2.5 kg, ampas tahu 15 kg; frekuensi makan sapi sebanyak 2 kali/hari; frekuensi pemberian rumput dan *tebon* sebanyak 2 kali/hari; rumput dan *tebon* tidak dipotong, komposisi rumput dan *tebon* 1:1 dengan total 15 kg/hari, banyaknya air yang diberikan pada seekor sapi adalah 80 liter/hari; sapi dalam posisi diikat dalam kandang; pergerakan sapi dalam kandang adalah 180⁰; komposisi biogas terdiri dari 2 kg kotoran dan 1 liter cairan; jenis zat cair yang digunakan untuk melarutkan kotoran adalah air; serta tidak ada pemberian *biostarter*.

Tabel 1. Pemilihan Level

No	Faktor	Level	Satuan
1	Komposisi Jenis Makanan		
	a. Vitamin	10 dan 15	gram
	b. Mineral	30, 40, dan 50	gram
	c. Garam	20 dan 30	gram
	d. Gula aren	20 dan 30	gram
	e. Bekatul	7, 9, dan 12	kilogram
	f. Jenjet	0 dan 2,5	kilogram
	g. Kulit kopi	0 dan 2,5	kilogram
	h. Ampas tahu	13, 15, dan 18	kilogram
2	Frekuensi makan sapi per hari	2 dan 4	kali
3	Frekuensi pemberian rumput dan <i>tebon</i> per hari	2, 3, 4, 5, 6	kali
4	Besarnya rumput dan <i>tebon</i>	1, ¾, ½, ¼, dan maksimal 1 cm	ukuran asli
5	Komposisi rumput dan <i>tebon</i> (rumput : <i>tebon</i>)	1:1, 1:0, 0:1, 3:1, 1:3	
6	Banyaknya air minum	80, 85, 90, dan 95	liter
7	Lamanya sapi tidak diikat dalam kandang	0, 6, 12, 18, 24	jam
8	Pergerakan sapi dalam kandang pada saat diikat	180 dan 360	derajat
9	Komposisi biogas (kotoran:cairan)	2:1, 4:1, 3:1, 1:1, 3:5, 1:2, 2:3, 3:4, 4:5, 4:6	kilogram:liter
10	Jenis zat cair yang digunakan untuk melarutkan kotoran	Air, urine sapi, air ampas tahu	
11	Jumlah pemberian <i>biostarter</i> tiap 30 kg adonan biogas	0, 2, 4, 6	milliliter

2. Eksperimen

Penentuan faktor dan level untuk eksperimen dilakukan dengan mempertimbangkan hasil pre-eksperimen, dimana prosentase metana yang dihasilkan dari suatu kombinasi lebih tinggi dari prosentase metana dengan kondisi awal. Pertimbangan lain yang dilakukan adalah perlakuan yang berasal dari faktor dan *level* tidak mengganggu kesehatan sapi dan produksi dari sapi tersebut sehingga tidak merugikan perusahaan. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor dan *Level* yang Digunakan untuk Eksperimen

Faktor	Level		
	1	2	3
A. Komposisi rumput dan <i>tebon</i>	1:0	1:1	-
B. Frekuensi pemberian rumput dan <i>tebon</i> / hari	2 kali	3 kali	-
C. Besarnya rumput dan <i>tebon</i>	Tidak dipotong	Dipotong 1/4 bagian	Dipotong maksimal 1 cm
D. Komposisi biogas (kotoran:cairan)	2:01	3:01	4:01
E. Jumlah pemberian <i>biostarter</i>	0 ml	3 ml	6 ml
F. Komposisi makanan/ hari	Mineral 0,04 kg	Mineral 0,04 kg	Mineral 0,03 kg
	Gula aren 0,03 kg	Gula aren 0,03 kg	Gula aren 0,02 kg
	Bekatul 12 kg	Bekatul 10,5 kg	Bekatul 9 kg
	Jenjet 0 kg	Jenjet 0 kg	Jenjet 2,5 kg
	Ampas tahu 18 kg	Ampas tahu 16,5kg	Ampas tahu 15 kg



Faktor dan *level* yang didapatkan dari pre-eksperimen menunjukkan bahwa terdapat enam faktor yang akan digunakan pada eksperimen, dimana faktor pertama dan faktor kedua memiliki dua *level* dan faktor ketiga sampai faktor keenam memiliki tiga *level*. Satu kali eksperimen membutuhkan waktu 3 hari dan untuk mengukur prosentase metana yang terdapat dalam biogas, perlu dilakukan uji laboratorium dengan biaya yang relatif tinggi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka dipilihlah metode Taguchi dengan replikasi sebanyak 2 kali dalam penelitian ini, dimana salah satu keunggulan metode ini adalah jumlah eksperimen yang harus dilakukan relatif lebih sedikit dibandingkan dengan metode eksperimen desain yang lain. Orthogonal array yang digunakan adalah L36, yang berarti jumlah percobaan yang harus dilakukan adalah sebanyak 36 kali dalam satu kali replikasi. Data hasil eksperimen dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Eksperimen

Run	A	B	C	D	E	F	Rep 1 (%)	Rep 2 (%)	Run	A	B	C	D	E	F	Rep 1 (%)	Rep 2 (%)
1	1	1	1	1	1	1	59,7	60,1	19	2	1	1	2	1	3	61,1	63,2
2	1	1	2	2	2	2	59,8	60,2	20	2	1	2	3	2	1	60,9	60,8
3	1	1	3	3	3	3	61,1	59,6	21	2	1	3	1	3	2	61,1	59,7
4	1	1	1	1	1	1	60,1	62,2	22	2	1	1	2	2	3	60,1	59,8
5	1	1	2	2	2	2	61,3	61,2	23	2	1	2	3	3	1	62,1	61,7
6	1	1	3	3	3	3	60,1	60,2	24	2	1	3	1	1	2	60,2	59,8
7	1	1	1	1	2	3	63,1	60,2	25	2	1	1	3	2	1	59,8	63,2
8	1	1	2	2	3	1	61,3	61,1	26	2	1	2	1	3	2	60,1	62,7
9	1	1	3	3	1	2	62,3	60,1	27	2	1	3	2	1	3	63,1	59,7
10	1	2	1	1	3	2	59,6	59,8	28	2	2	1	3	2	2	60,5	59,8
11	1	2	2	2	1	3	59,7	60,3	29	2	2	2	1	3	3	60,7	61,2
12	1	2	3	3	2	1	61,3	61,7	30	2	2	3	2	1	1	61,4	59,6
13	1	2	1	2	3	1	61,8	65,2	31	2	2	1	3	3	3	61,2	60,3
14	1	2	2	3	1	2	66,3	59,7	32	2	2	2	1	1	1	59,8	61,3
15	1	2	3	1	2	3	60,3	60,8	33	2	2	3	2	2	2	60,2	60,7
16	1	2	1	2	3	2	63,1	62,7	34	2	2	1	3	1	2	59,9	60,3
17	1	2	2	3	1	3	60,7	61,1	35	2	2	2	1	2	3	60,2	61,8
18	1	2	3	1	2	1	63,2	60,2	36	2	2	3	2	3	1	60,6	59,9

3. Hasil Eksperimen

Data hasil eksperimen pada Tabel 3 diolah dengan bantuan *software* Minitab 14. Berikut ini adalah perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Main Effect Plot* berdasarkan *Signal to Noise Ratio* dapat dilihat pada Gambar 3.

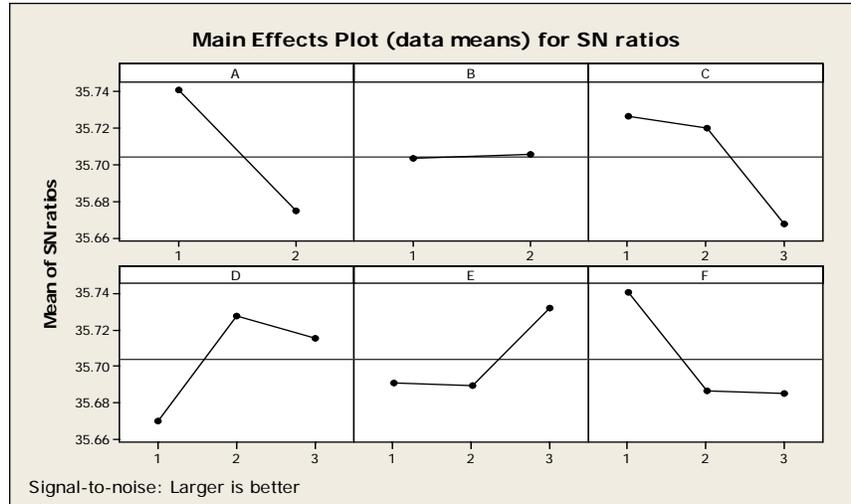
Response Table for Signal to Noise Ratios

Level	A	B	C	D	E	F
1	35.74	35.70	35.73	35.67	35.69	35.74
2	35.67	35.71	35.72	35.73	35.69	35.69
3		35.67	35.72	35.73	35.68	
Delta	0.07	0.00	0.06	0.06	0.04	0.06
Rank	1	6	2	3	5	4

Dari hasil di atas terlihat bahwa faktor A yaitu komposisi rumput dan tebon memiliki pengaruh yang paling besar terhadap besarnya prosentase metana dalam biogas dari kotoran sapi, diikuti oleh faktor C, D, F, dan E. Sedangkan faktor B yaitu frekuensi pemberian rumput dan tebon dalam sehari memiliki pengaruh yang paling rendah (cenderung tidak berbeda),



sehingga dipilih level 2 kali dalam sehari karena lebih ekonomis dari sisi biaya. Tujuan dari penelitian adalah menghasilkan prosentase metana dalam biogas yang lebih tinggi, sehingga berdasarkan Gambar 3 kombinasi terbaik didapatkan pada faktor A level 1, faktor B level 1, faktor C level 1, faktor D level 2, faktor E level 3 dan faktor F level 1.

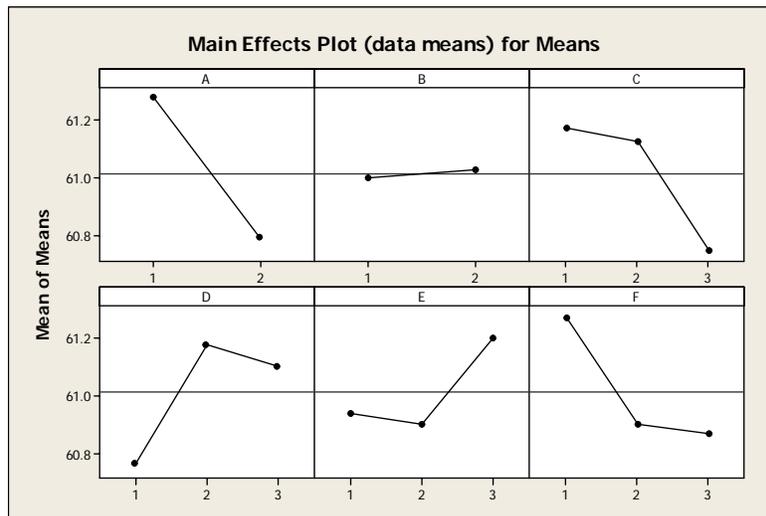


Gambar 3. *Main Effects Plot* untuk SNR

Berikut ini adalah perhitungan *Mean* dan *Main Effect Plot* berdasarkan *Mean* dapat dilihat pada Gambar 4.

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F
1	61.28	61.00	61.17	60.77	60.94	61.27
2	60.79	61.03	61.13	61.18	60.90	60.90
3		60.75	61.10	61.20	60.87	
Delta	0.49	0.02	0.42	0.41	0.30	0.40
Rank	1	6	2	3	5	4



Gambar 4. *Main Effects Plot* untuk Mean



Dari hasil di atas terlihat bahwa pengolahan data berdasarkan *mean* memberikan hasil yang sama dengan pengolahan data berdasarkan *Signal to Noise Ratio*. Faktor A yaitu komposisi rumput dan tebon memiliki pengaruh yang paling besar terhadap besarnya prosentase metana dalam biogas dari kotoran sapi, diikuti oleh faktor C, D, F, dan E. Sedangkan faktor B yaitu frekuensi pemberian rumput dan tebon dalam sehari memiliki pengaruh yang paling rendah (cenderung tidak berbeda), sehingga dipilih level 2 kali dalam sehari karena lebih ekonomis dari sisi biaya. Kombinasi terbaik berdasarkan Gambar 4 didapatkan pada faktor A level 1, faktor B level 1, faktor C level 1, faktor D level 2, faktor E level 3 dan faktor F level 1.

Hasil pengolahan dan analisa data berdasarkan *Signal to Noise Ratio* dan *mean* menunjukkan bahwa kombinasi terbaik didapatkan pada kondisi komposisi rumput dan *tebon* adalah 1 : 0 dengan total 15 kg/ hari, frekuensi pemberian rumput dan *tebon* sebanyak 2 kali/hari, rumput dan *tebon* tidak dipotong, komposisi biogas terdiri dari 3 kg kotoran dan 1 liter cairan, jumlah pemberian *biostarter* adalah sebesar 6 ml tiap 30 kg adonan bahan biogas, dan komposisi jenis makanan untuk 1 sapi dengan total 40 kg/hari terdiri dari air 8 liter, vitamin 10-15 gr, mineral 40gr, garam 20gr, gula aren 30gr, bekatul 12 kg, jenjet 0 kg, kulit kopi 2.5 kg, ampas tahu 18 kg.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kombinasi faktor dan *level* yang terbaik dari untuk menghasilkan biogas dari kotoran sapi dengan prosentase gas metana yang tinggi adalah komposisi rumput dan *tebon* adalah 1 : 0 dengan total 15 kg/ hari, frekuensi pemberian rumput dan *tebon* sebanyak 2 kali/hari, rumput dan *tebon* tidak dipotong, komposisi biogas terdiri dari 3 kg kotoran dan 1 liter cairan, jumlah pemberian *biostarter* adalah sebesar 6 ml tiap 30 kg adonan bahan biogas, dan komposisi jenis makanan untuk 1 sapi dengan total 40 kg/hari terdiri dari air 8 liter, vitamin 10-15 gr, mineral 40gr, garam 20gr, gula aren 30gr, bekatul 12 kg, jenjet 0 kg, kulit kopi 2.5 kg, ampas tahu 18 kg.

DAFTAR PUSTAKA (12pt Times new roman)

- Bagchi, Tapan. P. (1993). *Taguchi method explained*. New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited.
- Belavendram, Nicolo. (1995). *Quality by design: Taguchi techniques for industrial experimentation*. London: Prentice Hall.
- Bhattacharya, G.K., Johnson, R.A. (1977). *Statistical concepts and methods*. New York: John Wiley & Sons.
- Kadir, Abdul. (1982). *Energi*. Jakarta: UI-PRESS.
- Montgomery, Douglas C. (2001). *Design and analysis of experiments*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Parnata, Ayub S. (2008). *Pupuk organik cair*. Yogyakarta: Agromedia Pustaka.
- Price, Elizabeth C dan Cheremisinoff, Paul N. (1982). *Biogas production and utilization*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- Rukmana. (2009). *Pemeliharaan sapi perah secara intensif*. Bandung: Titian Ilmu Bandung.
- Taguchi, Genichi. (2005). *Taguchi's quality engineering handbook*. New Jersey: Hoboken.