

## PENINGKATAN KUALITAS BIOGAS LIMBAH CAIR TAHU DENGAN METODE TAGUCHI

**Agus Setiawan<sup>1)</sup>, Retno Rusdijati<sup>2)</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Stikubank  
Jl. Kendeng V Bendan Ngisor, Semarang  
Telp : (024) 8414970, Fax : (024) 8441738

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Magelang  
Jl. Mayjen Bambang Soegeng Km 5 Mertoyudan, Magelang  
Telp: (0293) 326945 ext 132, Fax: (0293) 325554  
e-mail: asetmail@gmail.com

### Abstrak

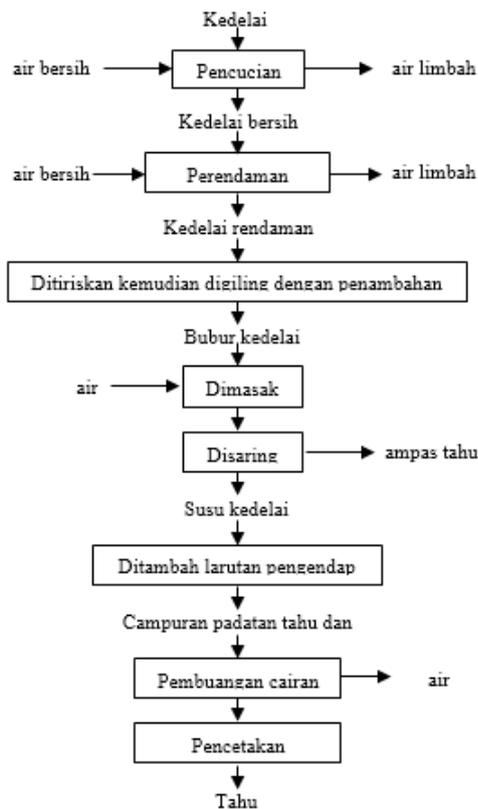
*Limbah cair tahu mengandung bahan organik cukup tinggi, sehingga bila dibuang langsung ke lingkungan dapat menurunkan mutu lingkungan tersebut. Pengolahan limbah cair tahu secara anaerobik diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan menghasilkan sumber energi alternatif secara mudah dan murah. Penggunaan UASB yang dilengkapi dengan alat penangkap gas dan kran pengambilan sampel diharapkan dapat digunakan untuk mengetahui laju produksi biogas, penurunan COD, dan kenaikan pH limbah cair sehingga dapat dijadikan sebagai dasar dalam perancangan instalasi penanganan limbah yang memanfaatkan biogas sebagai energi alternatif yang diperoleh dari hasil pengolahan limbah secara anaerobik. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mendapatkan faktor-faktor yang memberikan pengaruh terhadap kualitas biogas dari limbah cair tahu dan mendapatkan komposisi terbaik dari faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas biogas dengan menggunakan metode Taguchi. Faktor-faktor yang diidentifikasi adalah perbandingan berat kering limbah cair tahu, suhu digester, tingkat keasaman limbah cair tahu, dan rasio C/N, sehingga diperoleh matriks orthogonal standar Taguchi  $L_8 (2^4)$  dengan fungsi tujuan semakin besar semakin baik. Hasil analisis variansi (ANOVA) faktor dominan yang mempengaruhi kualitas biogas adalah tingkat suhu digester (B), sedangkan berdasarkan metode Taguchi perolehan eksperimen menghasilkan kombinasi berat kering diatur dalam perbandingan 1:1, suhu digester dijaga pada level 35°C, pH limbah cair berada di kisaran 6,8 dan rasio C/N dijaga tetap tinggi.*

**Kata kunci:** Biogas, Limbah Tahu, Metode Taguchi

### 1. PENDAHULUAN

Tahu adalah makanan yang dibuat dari kacang kedelai yang difermentasikan dan diambil sarinya. Berbeda dengan tempe yang asli dari Indonesia, tahu berasal dari Cina, seperti halnya kecap, tauco, bakpau, dan bakso. Tahu adalah kata serapan dari bahasa Hokkian (tauhu) (Hanzi: 豆腐, hanyu pinyin: doufu) yang secara harfiah berarti “kedelai yang difermentasi” (<http://geuhot.wordpress.com>). Prosesnya produksi tahu masih sederhana dan terbatas pada skala rumah tangga.

Pembuatan tahu pada prinsipnya dibuat dengan mengekstrak protein, kemudian mengumpulkannya, sehingga terbentuk padatan protein. Cara penggumpalan susu kedelai umumnya dilakukan dengan cara penambahan bahan penggumpal berupa asam. Bahan penggumpal yang biasa digunakan adalah asam cuka ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), batu tahu ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ ) dan larutan bibit tahu (larutan perasan tahu yang telah diendapkan satu malam).



**Gambar 1. Diagram Proses Pembuatan Tahu**

Jumlah industri tahu di Indonesia mencapai kurang lebih 84.000 unit usaha. Dengan kapasitas produksi lebih dari 2,56 juta ton per tahun. Industri tahu ini memproduksi limbah cair sebanyak 20 juta meter kubik per tahun dan menghasilkan emisi sekitar 1 juta ton CO<sub>2</sub> ekuivalen. Sebanyak 80 persen industri tahu berada di Pulau Jawa. Dengan demikian, emisi yang dikeluarkan pabrik tahu di Jawa mencapai 0,8 juta ton CO<sub>2</sub> ekuivalen.

Industri tahu merupakan industri rakyat yang sampai saat ini masih banyak berbentuk industri rumah tangga. Walaupun sebagai industri rumah tangga dengan modal kecil, industri ini memberikan sumbangan perekonomian negara dan menyediakan banyak tenaga kerja. Namun pada sisi lain industri ini menghasilkan limbah cair yang sangat berpotensi merusak lingkungan. Limbah adalah sesuatu yang tidak berguna, tidak memiliki nilai ekonomi dan akan dibuang, apabila masih dapat digunakan maka tidak disebut limbah. Jenis limbah cair pada dasarnya ada dua yaitu limbah industri dan limbah rumah tangga. Limbah cair yang termasuk limbah rumah tangga pada dasarnya hanya mengandung zat-zat organik yang dengan pengolahan sederhana atau secara biologi dapat menghilangkan polutan yang terdapat di dalamnya (Ginting, 1992).

Limbah industri tahu pada umumnya dibagi menjadi dua bentuk limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat pabrik pengolahan tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Limbah cair industri tahu memiliki karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi padatan total, suhu, warna dan bau. Karakteristik kimia meliputi bahan organik, bahan anorganik dan gas. Suhu buangan industri tahu berasal dari proses pemasakan kedelai. Suhu limbah cair tahu pada umumnya lebih tinggi dari air bakunya, yaitu 40°C sampai 46°C. Suhu yang meningkat di lingkungan perairan akan mempengaruhi kehidupan biologis, kelarutan oksigen dan gas lain, kerapatan air, viskositas, dan tegangan permukaan. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Semakin lama jumlah dan jenis bahan organik inisemakin banyak, dalam hal ini akan menyulitkan pengelolaan limbah, karena beberapa zat sulit diuraikan oleh mikroorganisme di dalam air limbah tahu tersebut.

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu merupakan limbah organik yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme secara alamiah. Namun, karena sebagian besar pelaku yang bergerak dalam industri tahu adalah orang-orang yang hanya mempunyai modal terbatas, maka perhatian terhadap pengolahan limbah industri tersebut sangat kecil, dan bahkan ada beberapa industri tahu yang tidak mengolah limbahnya sama sekali dan langsung dibuang ke lingkungan. Kondisi ini sangat tidak menguntungkan dan harus mendapat perhatian serius. Dalam limbah cair tahu sebenarnya kaya protein, lemak, dan karbohidrat serta senyawa-senyawa organik yang masih tinggi. Jika senyawa-senyawa organik tersebut diuraikan baik secara aerob maupun anaerob akan menghasilkan gas Metana ( $\text{CH}_4$ ), Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), gas-gas lain, dan air.

Gas yang dihasilkan dari dekomposisi bahan-bahan organik seperti limbah cair tahu di bawah kondisi anaerobik (tidak memerlukan Oksigen). Gas yang dihasilkan dari bahan organik tersebut sebagian besar terdiri dari campuran metana dan karbon dioksida. Gas ini dikenal dengan gas rawa atau biogas. Campuran gas ini adalah hasil dari proses fermentasi atau peranan bakteri anaerobik terutama bakteri metana. Suhu yang ideal untuk berlangsungnya proses fermentasi ini adalah dari  $30^\circ\text{C}$  hingga  $55^\circ\text{C}$ . Prinsip kimia yang berkaitan dengan pembentukan biogas adalah prinsip terjadinya fermentasi dari semua karbohidrat, lemak, dan protein oleh bakteri metana apabila tidak bercampur dengan udara.

Reaktor biogas atau yang sering disebut sebagai biodigester yaitu suatu bangunan kedap gas berbentuk kubah setengah bola berfungsi untuk menangkap gas metana dari tempat bahan organik mengalami fermentasi. Reaktor biogas terdiri dari digester dan bak pelimpahan. Reaktor ini dapat diisi secara terus-menerus dengan air limbah hasil produksi industri tahu. Reaktor ini mencakup semua kebutuhan untuk menghasilkan gas metana melalui proses anaerobik (tidak memerlukan oksigen).

Secara umum proses anaerobik akan menghasilkan gas *Methana* (Biogas). Biogas adalah gas yang dihasilkan dari pembusukan bahan-bahan organik oleh bakteri pada kondisi anaerob (tanpa ada oksigen bebas). Biogas tersebut merupakan campuran dari berbagai macam gas antara lain  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$  dan  $\text{H}_2$ . Sifat penting dari gas metana ini adalah tidak berbau, tidak berwarna, beracun dan mudah terbakar (KLH Propinsi Jawa Tengah, 2006). Pada IKM pedesaan industri tahu, gas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber energi untuk keperluan domestik seperti memasak atau keperluan lain yang disalurkan melalui pipa PVC.

Dari beberapa pengamatan diketahui bahwa proses pembentukan biogas ini masih kurang optimal, untuk itu perlu dikaji faktor dominan apa saja yang mempengaruhi pembentukan limbah cair tahu sebagai bahan dasar biogas dan dapat ditemukan kombinasi optimal faktor-faktor pembentukan limbah cair tahu yang dapat meningkatkan kualitas biogas yang dihasilkan dari limbah cair tahu.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Metode Taguchi

Metode ini merupakan metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *Robust Design*. Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep, yaitu (Ross, P.J., 1996):

- Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
- Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target.
- Produk harus didisain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Metode Taguchi merupakan *off-line quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai disain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Off-line quality control* dilakukan dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). Pengendalian kualitas secara *off-line* dibagi menjadi tiga tahap (Parkhan, A. dan Ayu, R.E.P, 2008):

- Tahap Perancangan Konsep

Tahap ini berhubungan dengan pemunculan ide dalam kegiatan perancangan dan pengembangan produk, dimana ide tersebut dari keinginan konsumen. Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain *Quality Function Deployment, Design of Experiments, Dynamic Signal-to-Noise Optimization, Competitive Technology Assessment, Theory of Inventive Problem Solving*, dan *Pugh Concept Selection Process*.

b. Tahap Perancangan Parameter

Tahap ini berfungsi untuk mengoptimalkan level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor lain sehingga produk yang ditimbulkan dapat tangguh terhadap *noise*, untuk itu perancangan parameter sering disebut sebagai *Robust Design*. Model atau metode yang digunakan dalam tahap ini antara lain *Engineering Analysis, Dynamic and Static Signal-to-Noise Optimization, The System P-Diagram*, dan *Crossed Array Experiment. Robust Design*. Model atau metode yang digunakan dalam tahap ini antara lain *Engineering Analysis, Dynamic and Static Signal-to-Noise Optimization, The System P-Diagram*, dan *Crossed Array Experiment*.

c. Tahap Perancangan Toleransi

Merupakan tahap terakhir dimana dibuat matrik *orthogonal, loss function*, dan ANOVA untuk menyeimbangkan biaya dan kualitas dari suatu produk. Model atau metode yang digunakan pada tahap ini antara lain *Quality Loss Function, Analysis of Variance (ANOVA)*, dan *Design of Experiments*.

## 2.2 Perencanaan Eksperimen

Tahap-tahap yang dilakukan dalam fase ini adalah sebagai berikut ini:

- a. Pemilihan karakteristik kualitas produk yang akan diteliti. Karakteristik kualitas yang diukur adalah waktu proses yang dapat lebih mempercepat pembentukan biogas.
- b. Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor yang mungkin dapat mempengaruhi karakteristik kualitas hasil cetakan. Faktor-faktor yang dilibatkan dalam eksperimen ini terdiri dari empat faktor kendali dan satu faktor *noise* :
  - 1) **Berat Kering**, dipilih level 7% dan 9%. Dipilihnya level ini karena jika di bawah 7% maka proses akan menjadi lambat. Apabila di atas 9% maka proses akan semakin lambat.
  - 2) **Temperatur Digester**, merupakan temperatur yang terjadi pada digester pengolah anaerob. Level yang digunakan adalah 30°C dan 38°C . Dipilihnya level ini karena perkembangan mikroorganisme akan berjalan dengan baik jika berada di range tingkat suhu 30°C sampai dengan 38°C.
  - 3) **pH limbah cair**, merupakan keasaman (pH) optimal bagi kehidupan mikroorganisme pengurai. Level yang digunakan adalah 6,8 dan 7,8. Dipilihnya level ini karena kehidupan mikroorganisme pengurai berada pada range keasaman 6,8 sampai dengan 7,8.
  - 4) **rasio C/N**, bahan yang memiliki rasio C/N yang tinggi dapat menciptakan proses pencernaan yang lebih optimal. Level yang digunakan adalah rendah dan tinggi.
  - 5) **karakteristik air limbah** merupakan faktor yang tidak dapat dikendalikan terutama pada kualitas air limbah. Level yang digunakan adalah baik dan kurang baik.

Langkah-langkah dalam metode Taguchi dibagi menjadi tiga fase utama yang meliputi keseluruhan pendekatan eksperimen. Tiga fase tersebut adalah (1) fase perencanaan, (2) fase pelaksanaan, dan (3) fase analisis. Fase perencanaan merupakan fase yang paling penting dari eksperimen untuk menyediakan informasi yang diharapkan. Fase perencanaan adalah ketika faktor dan levelnya dipilih, dan oleh karena itu, merupakan langkah yang terpenting dalam eksperimen. Fase terpenting kedua adalah fase pelaksanaan, ketika hasil eksperimen telah didapatkan. Jika eksperimen direncanakan dan dilaksanakan dengan baik, analisis akan lebih mudah dan cenderung untuk dapat menghasilkan informasi yang positif tentang faktor dan level. Fase analisis adalah ketika informasi positif atau negatif berkaitan dengan faktor dan level yang telah dipilih dihasilkan berdasarkan dua fase sebelumnya. Fase analisis adalah hal penting terakhir yang mana apakah peneliti akan dapat menghasilkan hasil yang positif.

## 2.3 Pelaksanaan Eksperimen

Tabel 1 menyajikan data hasil eksperimen yang dilakukan selama masing-masing 4 minggu.

**Tabel 1. Hasil Eksperimen Kualitas Biogas Berdasarkan Nilai Kalor (watt) yang Dihasilkan.**

					L4 (Outer Array)				
					E	1	1	2	2
					Data Percobaan				
L4 (Inner Array)									
Eksp.	A	B	C	D	Y1	Y2	Y3	Y4	
1	1	1	1	1	730	750	730	700	
2	1	1	1	2	805	812	812	815	
3	1	2	1	2	775	760	765	780	
4	1	2	2	1	700	702	698	705	
5	2	1	1	2	755	780	760	760	
6	2	1	2	1	750	750	730	748	
7	2	2	1	1	690	702	705	700	
8	2	2	2	2	655	679	665	650	

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Uji Normalitas Data**

Berdasarkan data Tabel 1 diperoleh bahwa data hasil eksperimen berdistribusi normal, karena nilai  $I^2$  hitung (2,6305)  $\leq$  nilai  $I^2$  tabel (3,8415).

**3.2 Uji Homogenitas Variansi**

Dengan menggunakan uji Barlett,  $H_0$  yang menyatakan data homogen diterima. Ini diberikan oleh nilai  $I^2$  hitung (0,001)  $\leq$  nilai  $I^2$  tabel (3,8415).

**3.3 Analisis Variansi**

Analisis Variansi (ANOVA) digunakan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas biogas yang dihasilkan.

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Analisis Variansi untuk SNR Respon Kualitas Biogas**

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A		0,7899	0,7899	0,7899	11,08	0,045
B	1	1,9701	1,9701	1,9701	27,63	0,013
C	1	0,9698	0,9698	0,9698	13,60	0,035
D	1	0,9068	0,9068	0,9068	12,72	0,038
Residual Error	3	0,2139	0,2139	0,07129		
	7	4,8505				

Dengan menggunakan  $\alpha = 5\%$ ,  $v_1 = 1$  dan  $v_2 = 3$  maka nilai  $F_{(5\%;1;3)} = 10,13$  maka faktor A, B, C, dan D berpengaruh terhadap respon kualitas biogas, karena nilai F hitung  $\geq$  F tabel. Namun, dapat diketahui pula bahwa faktor B yaitu suhu digester merupakan faktor yang paling dominan dalam mempengaruhi kualitas biogas.

**3.4 Perhitungan Signal to Noise Ratio (SNR)**

Tabel 3 menyajikan data hasil perhitungan mean dan SNR.

**Tabel 3. Hasil Perhitungan Mean dan SNR**

Nomor Eksperimen	Mean	SNR
1	800,00	72,2908
2	821,75	72,5206

3	755,75	72,7050
4	671,25	72,9344
5	818,75	73,2320
6	673,25	73,1530
7	683,75	73,0134
8	662,25	72,8828

### 3.5 Perhitungan Efek Tiap Faktor

Efek tiap faktor dan ranking tiap-tiap faktor ditunjukkan Tabel 4.

**Tabel 4. Efek Tiap Faktor Kualitas Biogas**

Level	A	B	C	D
1	57,61	57,79	57,65	56,96
2	56,98	56,80	56,95	57,63
Delta	0,63	0,99	0,70	0,67
Rank	4	1	2	3

Berdasarkan Tabel 4, formulasi terbaik didapat dari pemilihan nilai SNR dengan level faktor yang paling besar (Belavendram, 1995), sehingga diperoleh formulasi A1B1C1D2.

### 3.6 Uji Prediksi

Kondisi optimum berdasarkan dari plot efek faktor SNR adalah A1B1C1D2 merupakan kombinasi faktor yang pernah dieksperimenkan sebelumnya, sehingga tidak diperlukan prediksi untuk kombinasi faktor tersebut.

## 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil adalah:

- (1) Faktor-faktor dominan yang berpengaruh terhadap kualitas gas berturut-turut adalah suhu digester (B), tingkat keasaman limbah cair (C), rasio Carbon Nitrogen (D), dan berat kering limbah (A).
- (2) Kombinasi optimal level faktor berdasarkan nilai SNR untuk respon kualitas biogas adalah A1B1C1D2 dalam menghasilkan biogas yang lebih kualitas yaitu berat kering diatur dengan menggunakan perbandingan penambahan air sebesar 1:1, suhu digester diatur secara konstan pada level suhu 35°C, pH limbah cair diatur berada pada kisaran 6,8, dan rasio C/N diatur pada level tertinggi karena Carbon digunakan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme dan Nitrogen digunakan untuk membangun struktur sel.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N., 1995, 'Quality by Design', Prentice Hall International, Singapore.
- Boediono dan Koster, W., 2001, 'Teori dan Aplikasi Statistika dan Probabilitas', PT Remaja Rosdakarya Bandung.
- <http://gehuhot.wordpress.com/2012/05/25/definisi-tahu/>. [Diakses 25 April 2014].
- <http://dhenov.blogspot.com/2012/03/limbah-industri-tahu-dan-teknologi.html>. [Diakses 23 Maret 2014]
- KLH Propinsi Jawa Tengah, 2006.
- Parkhan, A. dan Ayu, R.E.P., 2008, 'Setting Kombinasi Level Faktor Optimal Pembuatan Produk Toples Menggunakan Metode Taguchi', *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008*, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta 22 November.
- Ross, P.J., 1996, 'Taguchi Techniques for Quality Engineering', McGraw-Hill 2<sup>nd</sup> ed., New York.
- Yesung dkk., 2011, 'Meningkatkan Kualitas Biogas dengan Penambahan Gula', *Jurnal Teknik Rekayasa, Vol. 12 No 1 Juni*.