

ANALISIS PRODUKSI HIDROGEN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH KACANG KEDELAI MENGGUNAKAN DIGESTER ANAEROBIK

ANALYSIS HYDROGEN PRODUCTION IN THE PROCESSING OF SOYBEAN WASTE USING ANAEROBIC DIGESTER

Muhammad Manarul Huda¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.², Ahmad Qurthobi, ST., MT.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

manarulhuda44@gmail.com¹, jakasantang@gmail.com², qurthobi@gmail.com³

Abstrak

Limbah kulit ari dan cair kacang kedelai mengandung senyawa-senyawa organik seperti karbohidrat. Limbah tersebut dapat digunakan sebagai bahan biomassa. Pengolahan biomassa seperti fermentasi gelap secara anaerob dapat menghasilkan gas hidrogen. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui potensi biogas dan membandingkan produksi biogas dari limbah kulit ari dan cair kacang kedelai dengan lumpur hasil fermentasi sebagai kultur bakteri. Hasil menunjukkan bahwa gas hidrogen dari substrat yang terdiri campuran limbah kulit ari kacang kedelai dan lumpur hasil fermentasi adalah sangat rendah, sedangkan campuran limbah cair dan lumpur hasil fermentasi adalah tinggi. Substrat yang terdiri campuran limbah cair kacang kedelai dan lumpur hasil fermentasi menghasilkan biogas dengan volume kumulatif sebanyak 14.026 liter dan rata-rata produksi biogas adalah 1.275 liter/hari.

Kata Kunci: limbah kacang kedelai, biomassa, hidrogen

Abstract

Skin and liquid waste of soybean contain various type of carbohydrate. The waste can be used as biomass material. Anaerobic dark fermentation of biomass can produce hydrogen gas. The purpose of the research was to investigate biogas potential of soybean waste. Skin and liquid waste of soybean was investigated. Fermented sludge used as bacterial culture. The result show that hydrogen gas of substrate comprising mixture of soybean skin waste and fermented sludge is very low, while mixture of liquid waste and fermented sludge is high. Substrate comprising mixture of soybean liquid waste and fermented sludge was produced biogas with cumulative volume is 14,026 liters and average biogas production is 1,275 liter/day.

Keyword: soybean waste, biomass, hydrogen

1. Pendahuluan

Konsumsi kedelai Indonesia pada Tahun 2015 telah mencapai 1.563.827,04 Ton. [1] Sarwono (1989) menyatakan bahwa lebih dari separuh konsumsi kedelai Indonesia dipergunakan untuk diolah menjadi tempe dan tahu. [2] Namun suatu industri tempe dan tahu selama proses pengolahan kacang kedelai juga menghasilkan limbah yang jumlahnya melimpah serta biasanya dibuang ke sungai dan mencemari lingkungan. Sampah atau limbah organik seperti limbah industri makanan dapat digunakan sebagai bahan biomassa. Gas hidrogen merupakan salah satu hasil pengolahan biomassa yang memiliki banyak keuntungan, diantaranya memiliki nilai kalor yang tinggi dan ramah lingkungan. [3] Pada penelitian yang dilakukan, jenis produksi yang akan digunakan adalah fermentasi menggunakan mikroorganisme secara non-fotosintetik atau fermentasi gelap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi produksi biogas yang dihasilkan dan komposisi gas hidrogen yang terkandung dari hasil fermentasi anaerob menggunakan substrat limbah kulit ari dan cair kacang kedelai.

2. Landasan Teori

2.1. Kulit Ari Kedelai

Kulit ari kedelai mengandung protein 9-16,5% dan serat 67%. [4] Serat dalam kulit ari kedelai mengandung selulosa 42%, hemiselulosa 16% dan lignin 2%. [5] Kulit ari biji kedelai merupakan limbah industri pembuatan

tempe yang didapat setelah melalui proses perebusan dan perendaman kacang kedelai. Setelah melalui kedua proses ini maka kulit ari akan terpisah dan biasanya akan dibuang begitu saja. [6]

2.2. Limbah Cair

Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu dan tempe pada umumnya sangat tinggi. Senyawa-senyawa organik di dalam air buangan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lemak dan minyak. Di antara senyawa-senyawa tersebut, protein yang jumlahnya paling besar, yang mencapai 40% - 60% protein, 25% - 50% karbohidrat, dan 10% lemak. [2] Limbah cair kacang kedelai yang digunakan pada penelitian ini merupakan limbah cair hasil perebusan dan perendaman.

2.3. Fermentasi

Hidrogen dapat diproduksi oleh bakteri anaerobik, yang hidup tanpa cahaya di substrat kaya karbohidrat. Bakteri anaerobik dapat memproduksi H₂ secara terus menerus tanpa membutuhkan energi matahari. Fermentasi gelap menghasilkan H₂ dan CO₂ sebagai hasil utamanya. Fermentasi gelap juga menghasilkan sejumlah metan (CH₄), CO, dan hidrogen sulfida (H₂S). Glukosa menghasilkan jumlah hidrogen berbeda tergantung pada jalur fermentasi dan produk cairan akhir. [7] Proses fermentasi anaerobik untuk menghasilkan biogas antara lain: [8]

- Hidrolisis

Contoh bakteri : *Pseudomonas* sp.



- *Acidogenesis*

Contoh bakteri : *Lactobacillus* sp.



- *Acetogenesis*

Contoh bakteri : *Acetobacter* sp.



2.4. Parameter-Parameter Produksi Gas Hidrogen

a. Substrat

Substrat yang digunakan dapat mempengaruhi seberapa banyak gas hidrogen yang dihasilkan. Substrat yang memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi seperti nasi akan menghasilkan gas hidrogen yang tinggi pula. Hal tersebut dikarenakan karbohidrat jenis glukosa merupakan bahan utama fermentasi dimana salah satu hasil penguraiannya merupakan gas hidrogen. [9]

Tabel 2.1 Produksi gas hidrogen dengan substrat yang berbeda-beda [9]

Sampel	Kandungan Gas Hidrogen (% ,v/v)
Nasi 400 g Kentang 600 g Jagung 500 g	27.0892
Nasi 600 g Kentang 500 g Jagung 400 g	47.1032

b. Lama Proses

Lama proses (*Hydraulic Retention Time* - HRT) adalah jumlah hari proses pencernaan/digester pada reaktor anaerob terhitung mulai dari pemasukan bahan organik sampai proses awal pembentukan gas hidrogen dalam reaktor anaerob. HRT ini meliputi 70%-80% dari total waktu pembentukan hidrogen secara keseluruhan. Lamanya waktu HRT ini bergantung dari jenis bahan organik dan proses perlakuan bahan organik sebelum dimasukkan kedalam reaktor. [3] [9]

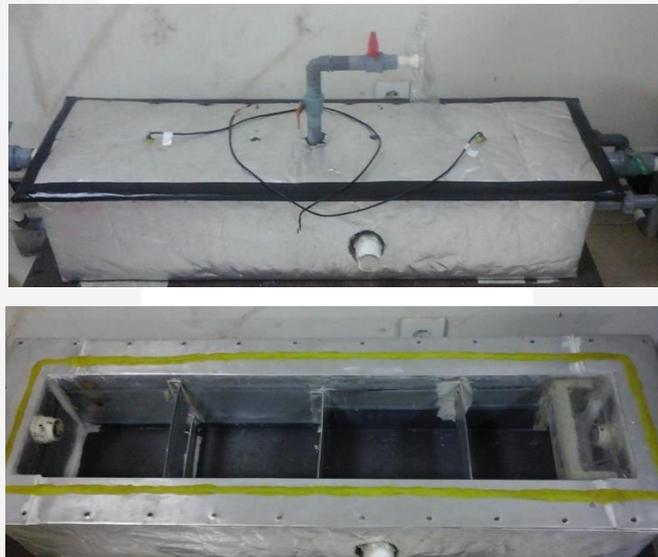
Tabel 2.2 Produksi gas hidrogen selama 3 hari [9]

Sampel	Waktu Operasi (hari)	Kandunagn Gas Hidrogen (% ,v/v)
Nasi 400 g Kentang 600 g Jagung 500 g	1	0.2093
	2	27.0892
	3	21.3143

3. Metodologi

3.1. Reaktor

Dalam penelitian ini, sistem dirancang menggunakan sebuah digester anaerob berupa reaktor ABR yang digunakan untuk proses fermentasi. Reaktor ini memiliki dua lapisan, lapisan luar memiliki panjang 110 cm dan lebar 30 cm digunakan untuk pengaturan suhu dengan menggunakan air sebagai medium penghantar panas dari pemanas, lapisan dalam memiliki panjang 100 cm dan lebar 20 cm digunakan sebagai tempat substrat dengan jarak celah antar tabung sebesar 10 cm, dan tinggi 18 cm dengan volume total 36 liter. Bahan lapisan luar dan lapisan dalam reaktor terbuat dari aluminium karena tahan karat. Pipa saluran air berdiameter 0.5 inch dan pipa saluran substrat berdiameter 1 inch. Didalam reaktor terdapat tiga sekat vertikal yang tersusun seri. Alat yang digunakan sebagai penampung gas merupakan plastik dan balon. Selama proses pembuangan, reaktor selalu akan menyisakan lumpur dari percobaan sebelumnya. Tujuan adanya lumpur tersebut adalah sebagai medium pembiakan bakteri.



Gambar 3.1 Reaktor ABR

3.2. Substrat

Substrat yang digunakan merupakan limbah kulit ari kacang kedelai dari industri tempe. Terdapat tiga substrat yang digunakan selama penelitian. Substrat tersebut antara lain:

- Substrat A merupakan 8 kg limbah kulit ari kacang kedelai dan 10 liter lumpur hasil fermentasi
- Substrat B merupakan 14 liter limbah cair kacang kedelai (air rebus dan air rendaman) dan 10 liter lumpur hasil fermentasi
- Substrat C merupakan 4 kg limbah kulit ari kacang kedelai yang dibusukkan terlebih dahulu selama seminggu dalam keadaan terbuka di sekitar industri tempe sebelum digunakan sebagai substrat dan 10 liter lumpur hasil fermentasi.

3.3. Tahapan Penelitian

Ada beberapa tahapan dalam melakukan penelitian ini. Tahapan-tahapan tersebut, antara lain:

3.3.1 Pengujian Alat

Sebelum memulai penelitian, sebaiknya dilakukan pengujian terhadap alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini terutama reaktor ABR. Pertama-tama cek kerangka reaktor apakah terdapat kebocoran pada bagian sambungan tiap bagian reaktor dan juga pipa yang tersambung dengan reaktor.

3.3.2 Proses Treatment

Substrat berupa limbah kulit ari kacang kedelai dicampurkan dengan air menggunakan *blender* selama waktu tertentu sehingga substrat tersebut menjadi bubuk. Sebelum pengambilan data, dilakukan pembiakan bakteri dengan menggunakan substrat dari limbah kulit ari kacang kedelai dan air selama dua minggu sehingga terbentuk 10 liter lumpur hasil fermentasi sebagai *starter* bakteri dengan konsentrasi air dan endapan kulit ari di dalam lumpur tidak diukur. Substrat A dan B dibusukan terlebih dahulu selama sehari sedangkan substrat C dibusukan selama seminggu. Setelah itu substrat dipanaskan dengan suhu 80°C menggunakan pemanas untuk menyingkirkan mikroorganisme yang tidak diinginkan dan diaduk agar homogen. [3] [9] Total volume substrat yang difermentasikan sekitar 24 liter.



Gambar 3.2 Limbah Cair dan Kulit Ari Kacang Kedelai

3.3.3 Proses Fermentasi

Substrat dimasukkan ke dalam reaktor kemudian ditutup rapat-rapat sehingga tidak ada udara yang masuk atau dalam kondisi anaerob dan tanpa kontrol suhu/suhu ruangan. Proses fermentasi dilakukan selama seminggu untuk substrat A dan B, sedangkan proses fermentasi substrat C dilakukan selama sebulan. Reaktor dicek setiap hari selama fermentasi berlangsung. Pengambilan data berupa biogas dilakukan setiap dua hari sekali.

3.3.4 Analisis Hasil Gas

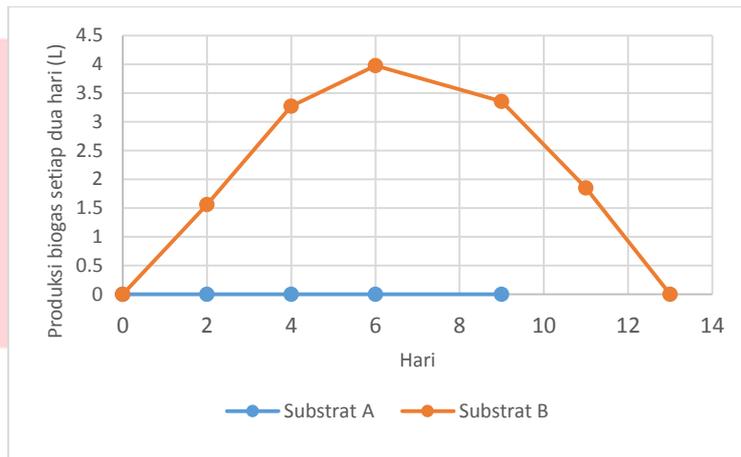
Langkah terakhir adalah menampung biogas hasil proses fermentasi menggunakan plastik dan balon. Biogas yang telah tertampung kemudian diukur untuk mengetahui seberapa banyak volume biogas yang dihasilkan selama proses fermentasi di dalam reaktor. Untuk mengetahui volume gas di dalam balon digunakan wadah berisi air dan gelas ukur. Metode pengukuran volume yang dilakukan berdasarkan hukum Archimedes, balon dicelupkan seluruhnya ke dalam air kemudian air yang tumpah dihitung volumenya dengan menggunakan gelas ukur. Setelah itu lakukan analisis hasil gas menggunakan kromatografi gas di ITB. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui komposisi biogas yang dihasilkan selama penelitian. Biogas yang dapat diuji hanya 1 ml sampel dengan memindahkannya dari balon ke suntikan sebelum dibawa ke ITB.

4. Eksperimen dan Analisis

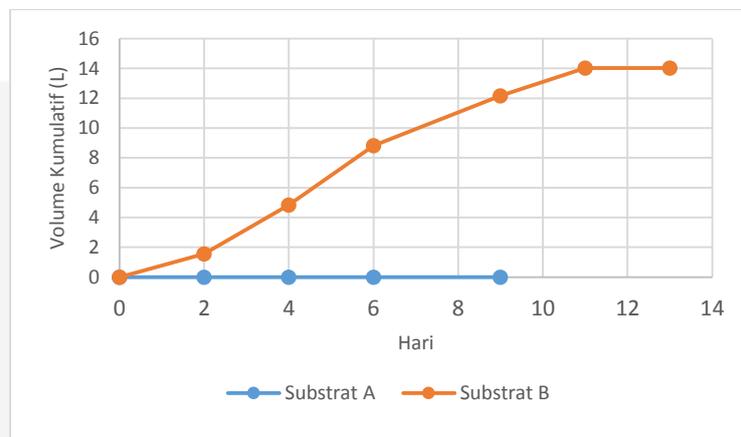
Pengambilan data dilakukan dengan menampung gas hasil fermentasi substrat berupa limbah organik cair yang ditampung di dalam reaktor selama waktu tertentu tanpa dilakukan sirkulasi, tanpa cahaya, tanpa diberi bakteri tambahan, dan tanpa kontrol suhu/ suhu ruangan. Jumlah substrat yang digunakan sebanyak dua per tiga dari jumlah total volume reaktor atau sekitar 24 liter.

4.1. Analisis Produksi Biogas Substrat A dan B

4.1.1 Produksi Setiap Dua Hari dan Volume Kumulatif Biogas



Gambar 4.1 Produksi biogas setiap dua hari substrat A (campuran kulit ari dan lumpur) dan substrat B (campuran limbah cair dan lumpur)



Gambar 4.2 Volume kumulatif biogas substrat A (campuran kulit ari dan lumpur) dan substrat B (campuran limbah cair dan lumpur)

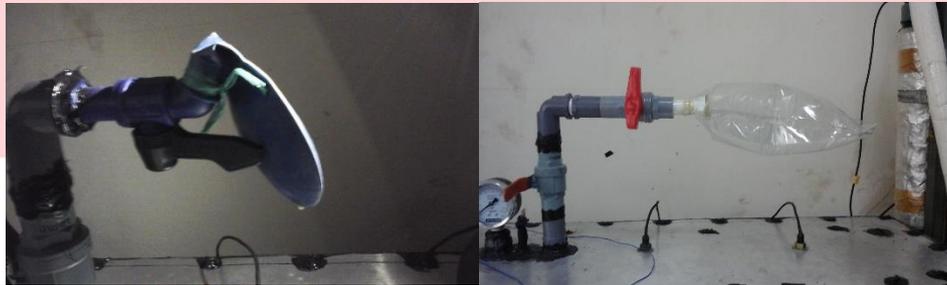
Berdasarkan gambar 4.1 dapat diketahui bahwa produksi biogas pada substrat B sudah ada sejak pengambilan data pertama yaitu hari kedua. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri mampu memanfaatkan senyawa yang ada pada substrat B jauh lebih cepat daripada substrat A yang selama seminggu masih belum ada biogas. Di hari keempat produksi biogas pada substrat B meningkat dua kali lebih banyak dibandingkan hari sebelumnya. Bakteri dapat tumbuh dalam medium yang mengandung satu atau lebih persyaratan nutrisi yang dibutuhkan. Beberapa kebutuhan bakteri berupa:

- Sumber energi yang dapat berasal dari cahaya (fototrof) dan karbon organik (kemoorganotrof).
- Sumber karbon berupa karbon anorganik (karbon dioksida) dan karbon organik (seperti karbohidrat).
- Sumber nitrogen dalam bentuk garam nitrogen anorganik (seperti kalium nitrat) dan nitrogen organik organik (berupa protein dan asam amino).
- Unsur non logam seperti sulfur dan fosfor.
- Unsur logam (seperti kalium, natrium, magnesium, besi, tembaga).
- Air untuk fungsi-fungsi metabolic dan pertumbuhan. [10]

Substrat B yang digunakan dalam penelitian ini tidak dilakukan analisa komposisi penyusunnya, akan tetapi diasumsikan mengandung nutrisi bagi bakteri berdasarkan referensi-referensi yang ada. Dengan begitu dapat diketahui bahwa substrat B mengandung empat nutrisi yaitu karbon organik (karbohidrat) sebagai sumber energi dan karbon, nitrogen organik (protein) sebagai sumber nitrogen, dan air. [2] Nutrisi tersebut membantu pertumbuhan bakteri sehingga mampu meningkatkan produksi biogas. Produksi biogas tertinggi pada terjadi pada hari keenam yaitu 3,981 l/hari. Penurunan laju produksi biogas terjadi pada hari ke Sembilan dan seterusnya. Penurunan tersebut disebabkan oleh kandungan bahan organik pada substrat B tinggal sedikit yang ditandai dengan

nilai *chemical oxygen demand* (COD) yang rendah. [11] Produksi biogas pada substrat B terhenti pada hari ke sebelas, di hari selanjutnya reaktor sudah tidak menghasilkan biogas lagi.

Berdasarkan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa produksi biogas pada substrat B jauh lebih tinggi dibandingkan substrat A. Substrat B dapat memproduksi biogas dengan total volume kumulatif sebesar 14.026 liter dan rata-rata produksi biogas adalah 1.275 liter/hari. Waktu fermentasi substrat B adalah selama 13 hari. Pada hari ke 12 sudah tidak ada lagi gas yang dihasilkan sehingga menunjukkan bahwa nilai HRT adalah 12 hari.. Sedangkan substrat A tidak memproduksi biogas sama sekali meskipun waktu produksi telah mencapai 9 hari.



Gambar 4.3 Produksi biogas substrat A (campuran kulit ari dan lumpur) hari ke 9 dan substrat B (campuran limbah cair dan lumpur) hari ke 2

Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa produksi biogas jauh lebih baik menggunakan substrat B. Selama fermentasi gelap karbohidrat merupakan senyawa yang dirombak bakteri sehingga menghasilkan biogas. [8] Oleh karena itu substrat B yang kandungan karbohidrat yang hampir setengah dari total senyawa-senyawa yang ada dapat menghasilkan biogas. [2] Sedangkan untuk substrat A, kandungan serat yang lebih dari setengah dari total senyawa-senyawa yang ada harus dirombak terlebih dahulu menjadi senyawa karbohidrat yang lebih sederhana oleh bakteri alami yang terdapat di substrat agar dapat menghasilkan biogas. [4] Akan tetapi bakteri tersebut tidak mampu melakukan semua itu dalam waktu seminggu.

4.1.2 Kandungan Biogas

Tabel 4.1 Persen kandungan biogas dari 1 ml sampel substrat B

Hari	% Kandungan Biogas	
	H ₂	CO ₂
2	23.9	76.1
4	58.25	41.75
11	11.01	88.99

Dalam penelitian ini hanya substrat B yang dapat diketahui kandungan biogasnya menggunakan kromatografi gas. Dari tabel 4.1 dapat diketahui bahwa gas hidrogen merupakan salah satu biogas yang diproduksi. Dari pengambilan data pertama yaitu hari kedua, gas hidrogen telah dapat diidentifikasi. Di hari terakhir produksi biogas yaitu hari kesebelas, gas hidrogen masih dapat diidentifikasi. Maka dapat diketahui bahwa gas hidrogen merupakan gas yang terus diproduksi selama proses fermentasi berlangsung dari awal sampai akhir produksi biogas.

Selama fermentasi pada saat *acidogenesis* bakteri akan merombak karbohidrat berupa glukosa menjadi gas hidrogen dan karbon dioksida. Setelah itu gas hidrogen dan karbon dioksida akan dihasilkan lagi pada saat *acetogenesis*. Oleh karena itu, gas hidrogen dan karbon dioksida dapat teridentifikasi pada saat pengujian kromatografi gas. Selain gas, bakteri juga menghasilkan beberapa asam seperti asam asetat sehingga tidak semua karbohidrat berubah menjadi biogas. [8]

4.2. Analisis Produksi Biogas Substrat A dan C

4.2.1 Produksi Setiap Dua Hari dan Volume Kumulatif Biogas



Gambar 4.4 Poduksi biogas substrat A (campuran kulit ari dan lumpur dengan pembusukan sehari) hari ke 9 dan substrat C (campuran kulit ari dan lumpur dengan pembusukan seminggu) hari ke 31

Dari penelitian yang dilakukan dapat di ketahui bahwa produksi biogas pada substrat A dan C adalah tidak ada. Substrat C dibusukkan terlebih dahulu selama seminggu dalam keadaan terbuka di sekitar industri tempe sebelum dimasukkan ke dalam reaktor dengan perkiraan dapat menambah bakteri alami yang terdapat di substrat. Selain itu, waktu fermentasi jauh lebih lama daripada substrat A yaitu selama sebulan. Hal tersebut dilakukan agar memberi waktu bakteri untuk merombak serat yang terkandung dalam substrat menjadi karbohidrat yang lebih sederhana kemudian merombaknya lagi menjadi biogas. Akan tetapi semua hal tersebut tidak membuahkan hasil yang baik. Substrat C tidak menghasilkan biogas sama seperti substrat A. Bakteri alami dari pembusukan selama seminggu tidak mampu merombak serat meskipun waktu fermentasi mencapai sebulan.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi biogas dari substrat yang terdiri campuran limbah kulit ari kacang kedelai dan lumpur hasil fermentasi adalah sangat rendah. Sedangkan campuran limbah cair kacang kedelai dan lumpur hasil fermentasi adalah tinggi.
2. Substrat yang terdiri campuran limbah cair kacang kedelai dan lumpur hasil fermentasi menghasilkan biogas dengan volume kumulatif sebanyak 14.026 liter dan rata-rata produksi biogas adalah 1.275 liter/hari.

Saran yang dapat diberikan sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya adalah perlu diberikan perlakuan selain pembusukan dan fermentasi yang lama seperti penambahan asam atau basa terhadap substrat dari kulit ari kacang kedelai untuk merombak karbohidrat yang masih berupa serat menjadi karbohidrat sederhana.

Daftar Pustaka

- [1] K. Pertanian, Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan Kedelai, Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pangan, 2016.
- [2] Nusa Said, Arie Herlambang, "Teknologi Pengolahan Limbah Tahu Tempe Dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob," [Online]. Available: <http://kelair.bppt.go.id>. [Accessed 30 Oktober 2015].
- [3] R. Febriana, Optimasi Produksi Gas Hidrogen Berdasarkan Perbandingan Limbah Baggase Tebu dan Tetesan Tebu Menggunakan Single Stage Reaktor Anaerob, Bandung: Universitas Telkom, 2015.
- [4] I. Hikmah, Kajian Karakteristik Kimia dan Sensori Tempe Kedelai (Glycine Max) Dengan Variasi Penambahan Berbagai Jenis Bahan Pengisi (Kulit Ari Kedelai, Millet (Pennisetum spp.), dan Sorgum (Sorghum Bicolor)), Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 2011.
- [5] Sutrisna, dkk, "Penentuan Waktu Fermentasi Optimum Produksi Xilanase dari Trichoderma Viride Menggunakan Substrat Kulit Kedelai dan Kulit Kacang Hijau Melalui Fermentasi Semi Padat," *Kimia Student Journal*, vol. 1, pp. 85-91, 2016.
- [6] Nelwida, "Pengaruh Pemberian Kulit Ari Biji Kedelai Hasil Fermentasi dengan Aspergillus niger dalam Ransum terhadap Bobot Karkas Ayam Pedaging," *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, vol. XIV, pp. 23-29, 2011.
- [7] B. Pratiwi, Rancang Bangun Sistem Pemanas Substrat pada Reaktor Hidrogen Termofilik Menggunakan Fuzzy Logic, Bandung: Universitas Telkom, 2015.
- [8] E. Lestari, "Proses Metabolisme pada Bakteri Anaerob," Desember 2012. [Online]. Available: <http://ervianilestary.blogspot.co.id>. [Accessed 25 Februari 2016].
- [9] Mukhammad Ramdhan Kirom, dkk, "Study of Food Waste Usage as Renewable Energy Resource," *International Conference on Emerging Trends In Academic Research*, pp. 391-394, 2014.
- [10] N. Hidayah, "Pertumbuhan Bakteri Aerob dan Anaerob Penghasil Gas Hidrogen pada Medium Limbah Organik, Ditinjau dari Parameter pH dan Cahaya," pp. 51-57.
- [11] Wagiman, "Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)," *Bioteknologi*, pp. 41-45, 2007.