

Pemodelan Logika Fuzzy Pada Reaktor Biogas Anaerob

Cahyadi, Taopik Hidayat, Dwika Budianto

Balai Besar Teknologi Konversi Energi
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung 620 Kawasan Puspiptek Serpong, Banten
Email : cahyadi@bppt.go.id

Abstrak. Reaktor biogas anaerobik melibatkan proses yang sangat kompleks dan sangat tergantung pada konfigurasi reaktor dengan karakteristik fluida dan kondisi operasional yang berbeda. Biogas adalah salah satu energi alternatif yang memanfaatkan limbah industri menjadi energi sekaligus memecahkan masalah lingkungan karena dapat menurunkan kandungan COD air limbah. Pada makalah ini, dikembangkan pemodelan fuzzy pada reaktor biogas. Pemodelan fuzzy ini diperlukan untuk memprediksi parameter masuk reaktor yaitu Q_{in} (laju alir cairan limbah) berdasarkan parameter yang mudah diamati, menggunakan sensor yang sudah umum dipasaran dan memiliki respon waktu yang cepat, yaitu temperatur dan pH. Pengembangan model fuzzy dilakukan berdasarkan pendekatan model matematik dan pengalaman eksperimental skala pilot. Pengujian hasil pemodelan fuzzy dilakukan berdasarkan hasil eksperimental reaktor plug flow. Berdasarkan hasil pengujian pemodelan logika fuzzy menunjukkan hasil yang cukup memuaskan, karena model logika fuzzy dapat mengikuti pola fluktuasi temperatur, pH dan laju aliran cairan masuk reaktor. Hasil pemodelan ini sangat bermanfaat baik dalam pengembangan intelegensia buatan seperti sistem pakar maupun pengembangan sistem kontrol reaktor biogas.

Kata kunci: pemodelan, logika fuzzy, reaktor biogas .

1. Pendahuluan

Proses pencernaan (*digester*) anaerob adalah serangkaian proses biologis di mana mikroorganisme memecah bahan biodegradable tanpa adanya oksigen. Salah satu produk akhirnya adalah biogas, yang dibakar untuk menghasilkan listrik dan panas, atau dapat diolah menjadi gas alam terbarukan dan bahan bakar transportasi. Berbagai teknologi *digester* anaerobik mengubah kotoran ternak, limbah makanan, limbah cair industri berkadar COD tinggi dan berbagai aliran limbah organik lainnya menjadi biogas, 24 jam sehari, 7 hari seminggu. Padatan yang dicerna secara terpisah dapat dibuat kompos, digunakan untuk alas susu, langsung diaplikasikan ke lahan pertanian atau dikonversi menjadi produk lain. Nutrisi dalam aliran cair digunakan dalam pertanian sebagai pupuk.

Proses pencernaan dimulai dengan hidrolisis bakteri dari bahan input untuk memecah polimer organik yang tidak larut seperti karbohidrat dan membuatnya tersedia untuk bakteri lain. Bakteri asidogenik kemudian mengubah gula dan asam amino menjadi karbon dioksida, hidrogen, amonia, dan asam organik. Bakteri asetogenik kemudian mengubah asam organik yang dihasilkan ini menjadi asam asetat, bersama dengan tambahan amonia, hidrogen, dan karbon dioksida. Akhirnya, methanogen mengubah produk-produk ini menjadi metana dan karbon dioksida.

Kinerja proses *digester* anaerobik sangat kompleks dan sangat tergantung pada konfigurasi reaktor yang bervariasi secara signifikan dengan karakteristik fluida dan kondisi operasional yang berbeda [1,2]. Oleh karena itu, reaktor harus terus dipantau dan dikendalikan, karena dapat terjadi ketidakstabilan dalam situasi kondisi tertentu, namun secara khusus laju produksi biogas atau metana, dapat memberikan indikasi aktivitas anaerobik biomassa dalam proses secara keseluruhan [3]. Sejak proses pencernaan anaerobik sangat rentan terhadap fluktuasi dalam masukan ke reaktor seperti tingkat pemuatan organik, pH tidak aktif, dan senyawa organik beracun, maka laju produksi biogas atau metana sangat tergantung pada kondisi proses yang diterapkan. Oleh karena itu, hubungan timbal balik yang rumit di antara sejumlah parameter sistem dalam proses dapat dijelaskan melalui sejumlah upaya dalam pengembangan model matematik dan model prediksi [4].

Pada makalah ini, dikembangkan pemodelan *fuzzy* pada reaktor biogas. Pemodelan *fuzzy* ini diperlukan untuk memprediksi parameter laju cairan masuk reaktor yaitu Q_{in} (laju alir cairan)

berdasarkan parameter yang mudah diamati, menggunakan sensor yang sudah umum dipasaran dan juga respon waktu yang cepat yaitu temperatur dan pH. Pengembangan model *fuzzy* dilakukan berdasarkan pendekatan model matematik hasil kajian [5]. Pengujian hasil pemodelan *fuzzy* dilakukan berdasarkan hasil uji reaktor *plug flow* [6]. Berdasarkan hasil pengujian pemodelan logika *fuzzy* menunjukkan hasil yang cukup memuaskan, karena model logika *fuzzy* dapat mengikuti pola fluktuasi temperature, pH dan laju masuk cairan kedalam reaktor.

2. Pembahasan

2.1 Metode Logika Fuzzy

Metode logika *fuzzy* terdiri dari 3 sub sistem [4] yaitu fuzzifikasi, basis aturan dan defuzzifikasi. Nilai masukan dari sensor akan masuk ke sub sistem fuzzifikasi yang mengubah nilai sebenarnya menjadi nilai himpunan *fuzzy*. Basis aturan yang telah ditetapkan akan memberikan evaluasi hingga pengambilan keputusan. Sub-sistem defuzzifikasi yang akan mengubah nilai keputusan menjadi nilai sebenarnya.

Tahap Fuzzifikasi

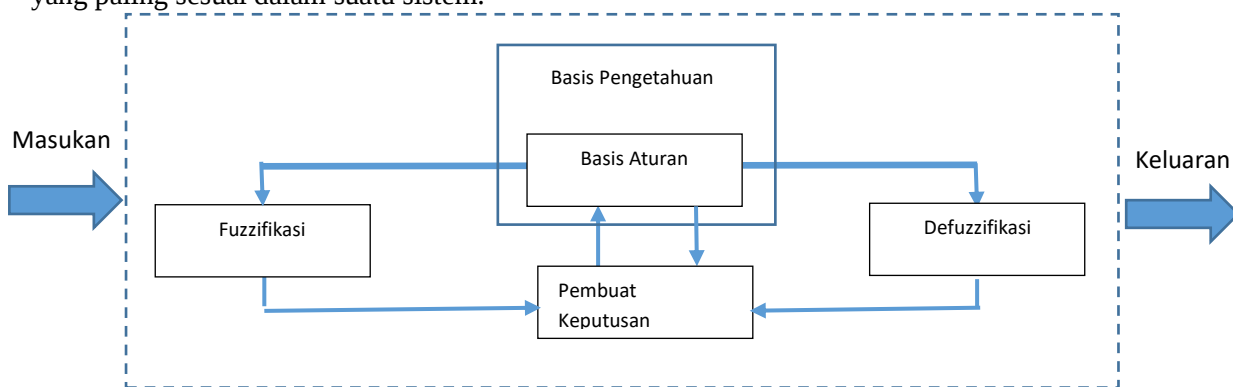
Tahap fuzzifikasi merupakan tahapan awal dimana terjadi proses memetakan suatu nilai sebenarnya (*crisp*) kedalam himpunan *fuzzy*. Dengan kata lain membuat suatu nilai *crisp* menjadi suatu nilai yang berkisar antara 0 hingga 1 dalam himpunan-himpunan *fuzzy* yang tersedia.

Evaluasi Aturan

Pada tahap evaluasi aturan dilakukan evaluasi, pengecekan, pengambilan keputusan aturan, basis pengetahuan, basis aturan yang akan diterapkan dengan menyesuaikan kondisi nilai pada himpunan-himpunan *fuzzy*. Beberapa aturan dapat diterapkan sekaligus pada kondisi tersebut. Banyaknya aturan yang diterapkan tergantung dari banyaknya nilai himpunan *fuzzy* yang tidak bernilai 0 di dalamnya. Bila suatu nilai himpunan *fuzzy* bernilai 0 maka aturan yang memuat antisenden dan konsekuensi atas himpunan tersebut dapat diabaikan dengan kata lain tidak digunakan. Aturan, basis aturan, atau basis pengetahuan memuat sejumlah fungsi yang memetakan sejumlah antisenden dengan konsekuensinya dengan bentuk *if-then*, bila (*if*) antisenden bernilai *x*, maka (*then*) konsekuensi bernilai *y*.

Defuzzifikasi

Tahap selanjutnya ialah defuzzifikasi. Berbeda dengan fuzzifikasi, pada tahap ini proses memetakan suatu nilai ruang *fuzzy* ke dalam nilai *crisp*. Dengan kata lain untuk mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai *crisp*. Nilai *crisp* inilah yang nantinya akan digunakan dalam implementasi dan analisis akhirnya. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengubah suatu nilai *fuzzy* dalam nilai *crisp*, metode defuzzifikasi tersebut antara lain, *Center-of-Gravity*, *Center-of-Average*, *First-of-Max*, *Last-of-Max*, dan lain sebagainya. Pada dasarnya setiap metode defuzzifikasi memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta kebutuhan implementasinya itu berbeda-beda. Kinerja metode defuzzifikasi untuk satu sistem dengan sistem lainnya tidak selalu sama, tergantung kebutuhan mana yang paling sesuai dalam suatu sistem.



Gambar 1. Model logika *fuzzy*

2.2 Pengembangan Logika Fuzzy pada Model Reaktor Anaerobik

Nilai Q_{in} ditentukan berdasarkan nilai temperatur dan pH yang berkisar $6,1 \leq pH \leq 7,9$ dan $20 \leq \text{Temperatur} \leq 60^\circ\text{C}$. Masing-masing nilai temperatur dan pH akan diubah ke nilai μ_f melalui proses fuzzifikasi. Logika fuzzy dikembangkan menggunakan perangkat lunak Labview. Himpunan fuzzy yang digunakan adalah LN negatif besar, MN negatif medium, SM negatif kecil, Zero nilai nol, SP positif kecil, MP positif medium dan LP positif besar. Himpunan fuzzy untuk temperatur dan pH pada fuzzifikasi dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan himpunan fuzzy pada defuzzifikasi dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan basis aturan dikembangkan berdasarkan pengalaman hasil eksperimental dan juga matematik.

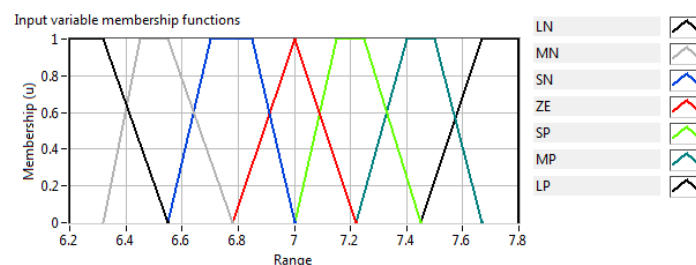
Adapun basis aturan berupa atisenden dan konsekuensi pada reaktor biogas ini dengan contoh sebagai berikut:

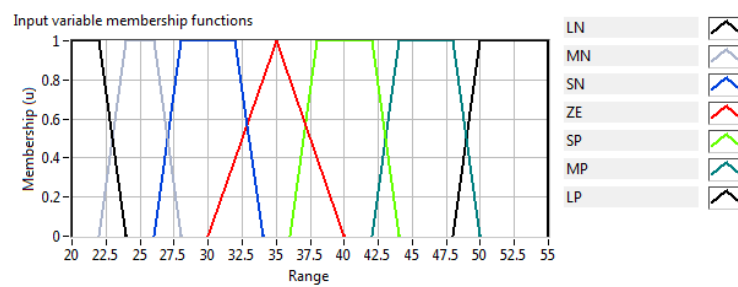
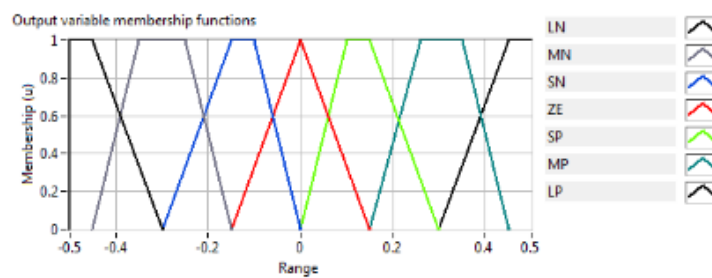
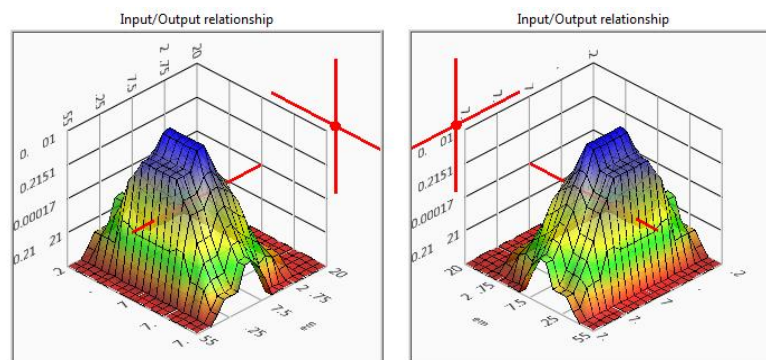
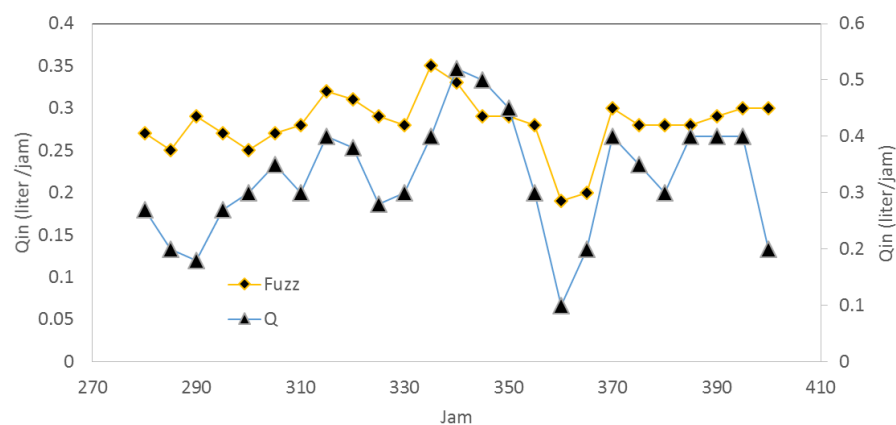
1. Jika 'pH' adalah 'LN' dan 'Temp' adalah 'LN', maka 'U' adalah 'LN'
2. Jika 'pH' adalah 'MN' dan 'Temp' adalah 'LN' maka 'U' adalah 'LN'
3. Jika 'pH' adalah 'SN' dan 'Temp' adalah 'LN' maka 'U' adalah 'LN'
4. ...

Basis aturan ini dapat dilihat pada Tabel 1 untuk keseluruhan aturan yang ada.

Tabel 1. Basis aturan model reaktor biogas anaerob

Parameter	pH						
Temp	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
MN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
SN	LN	MN	MN	MN	MN	MN	LN
ZE	LN	ZE	SP	SP	SP	ZE	LN
SP	SN	SP	LP	LP	LP	SP	SN
MP	MN	ZE	MP	MP	MP	ZE	MN
LP	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN



Gambar 2. Himpunan *Fuzzy* untuk pH dan temperaturGambar 3. Himpunan *fuzzy* untuk nilai u pada defuzzifikasiGambar 4. Variasi laju alir cairan masuk terhadap nilai μ Gambar 5. Hasil perbandingan simulasi model *fuzzy* dan ekperimental

Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengujian basis aturan berdasarkan fuzzifikasi dan defuzzifikasi. Pengujian dilakukan dalam perangkat lunak *Labview* untuk melihat kelengkapan aturan dan hubungan korelasi parameter temperatur dan pH terhadap laju alir gas keluar reaktor. Pada Gambar 5 menunjukkan perbandingan pemodelan *fuzzy* dengan hasil eksperimental korelasi temperatur dan pH terhadap laju cairan masuk reaktor Q_{in} . Pada penelitian [4,5] menunjukkan bahwa pH yang ideal untuk mikroorganisme tumbuh adalah 6,5 hingga 7,5. Pemodelan ini bermanfaat sebagai prediksi laju alir cairan masuk reaktor agar kondisi didalam reaktor anaerob selalu kondusif untuk pertumbuhan mikroorganisme sehingga produksi gas atau metana akan lebih stabil. Dengan sensor temperatur dan pH, maka akan lebih cepat untuk melakukan koreksi terhadap laju cairan masuk reaktor yang biasanya dikendalikan menggunakan katup kontrol.

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pemodelan *fuzzy* dapat memodelkan reaktor biogas anaerobik melibatkan proses yang sangat kompleks. Pemodelan *fuzzy* dapat memprediksi parameter keluaran reaktor yaitu Q_{in} (laju alir cairan masuk reaktor) berdasarkan parameter yang mudah diamati, menggunakan sensor yang sudah umum dipasaran dan memiliki respon waktu yang cepat, yaitu temperatur dan pH.
- Hasil pengujian pemodelan logika *fuzzy* menunjukkan hasil yang cukup memuaskan, karena model logika *fuzzy* dapat mengikuti pola fluktuasi temperatur, pH dan laju alir cairan masuk reaktor sesuai hasil eksperimental skala pilot.

Ucapan Terima Kasih

Hasil penelitian ini merupakan salah satu luaran Program Insinas 2018 Flagship Biogas yang telah dibiayai oleh KemenristekDikti dengan judul Pengembangan Fuzzy Logic Untuk Sistem Kontrol Dan Monitoring Reaktor Biogas POME (Palm Oil Mill Effluent)

Daftar Pustaka

- [1]. Cakmakci M, "Adaptive neuro-fuzzy modelling of anaerobic digestion of primary sedimentation sludge". In *Bioprocess. Biosyst. Eng.* 30, pp 349–357, 2007.
- [2]. Chan CW, Huang GW, "Artificial intelligence for management and control of pollution minimization and mitigation processes". in *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 6, pp75–90, 2003.
- [3]. Kanat G, Saral A, "Estimation of biogas production rate in a thermophilic UASB reactor using artificial neural networks", in *Environ. Model. Assess.* 14 pp 607-614, 2009.
- [4]. Turkdogan-Aydinol, Kaan Yetilmezsoy, "A fuzzy-logic-based model to predict biogas and methane production rates in a pilot-scale mesophilic UASB reactor treating molasses wastewater", *Journal of Hazardous Material* 182, pp. 460-471, 2010.
- [5]. Polit M, Estaben M, Labat P, "A fuzzy model for an anaerobic digester, comparison with experimental results", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 15, pp 385–390, 2002.
- [6]. Estamben, Polit, Steyer, "Control Fuzzy for an anaerob digester", in *Control Engineering Practice* 5 no.98, pp 1303-1311, 1997.