

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sebagai dasar penentuan kadar limbah tapioka yang akan dibuat secara sintetis, maka digunakan sumber pada penelitian terdahulu dimana limbah tapioka diambil dari daerah Margoyoso, Pati, Jawa Tengah. Di daerah ini terdapat sekitar 399 industri kecil masyarakat yang bergerak dalam bidang produksi pengolahan tapioka. Untuk konsumsi air dari masing-masing IKM adalah 40 m³/hari, sehingga total penggunaan air seluruhnya mencapai 15.960 m³/hari. Berikut ini adalah tabel sifat fisika dan kimia limbah cair tapioka yang diambil secara *random* dari beberapa IKM di Margoyoso.

Tabel 4.1. Sifat Fisika dan Kimia Limbah Cair Tapioka

No.	Sumber	Amilosa(ppm)	Amilopektin(%)	Total Solid(%)
1.	Sutiyo	381,109	0,35638	0,62650
2.	Bambang	104,965	0,33740	1,1287
3.	Harno	428,009	0,31409	0,79520

Sumber : Analysis Certificate No. PS/106/IV/08 Food and Nutrient Study

Centre Gajah Mada University

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa total solid dalam limbah cair tapioka berada pada kisaran 0,62650-1,1287%. Menurut Soemarno (2007), dalam proses pengolahan ubi kayu menjadi tapioka basah tingkat kehilangan tapioka yang ikut bersama air buangan selama proses pengendapan slurry sebanyak 1% dari total tapioka dalam ubi kayu. Oleh sebab itu, maka pada penelitian ini limbah dibuat secara sintetis dengan total solid 1% (w/v).

Nutrisi dianggap sebagai faktor utama yang mempengaruhi mikroorganisme dalam produksi biogas. Seperti proses biologis lainnya, metanogenesis melibatkan mikroorganisme yang mengubah bahan organik



menjadi metana, karbon dioksida dan gas-gas lain. Tingkat keseluruhan pemanfaatan bahan organik dan produksi metana tergantung pada sejauh mana kebutuhan nutrisi bakteri metanogen dan bakteri non-metanogen dapat dipenuhi oleh konstituen dari bahan organik dan dengan metabolit primer atau sekunder yang dihasilkan oleh satu spesies (Koumanova, 2008). Nutrisi utama yang diperlukan untuk mikroorganisme dalam produksi biogas termasuk karbon dan nitrogen. Mikroorganisme dalam *anaerobic digestion* biasanya menggunakan karbon sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan nitrogen untuk pembentukan struktur sel. Tapioka sebagai substrat efluen dipersiapkan untuk produksi biogas mengandung nitrogen 0,46% dan 39,58% karbon, yang memiliki rasio karbon : nitrogen sekitar 86:1.

Rasio karbon terhadap nitrogen yang tinggi (86:1) pada limbah tapioka merangsang kelebihan produksi asam dan kekurangan nitrogen. Kurangnya sumber nitrogen yang diperlukan untuk pertumbuhan bakteri juga akan membatasi produksi biogas. Pohland dan Bloodgood (1963) menyatakan bahwa jika rasio karbon terhadap nitrogen melebihi 16:1, kapasitas mikroorganisme untuk pencernaan organik tidak akan meningkat. Pembentukan gas gagal jika rasio karbon terhadap nitrogen lebih tinggi dari 52:1 (Sanders dan Bloodgood, 1965). Sumber nitrogen harus dipertimbangkan untuk meningkatkan produksi biogas dari limbah tapioka. Nitrogen dapat ditambahkan dalam bentuk anorganik (misalnya amonia) atau dalam bentuk organik (misalnya urea, pupuk kandang atau sisa makanan) (Sterling *et al.*, 2001.). Dalam penelitian ini, urea dipilih sebagai sumber nitrogen karena mudah dicerna oleh berbagai mikroorganisme. Selain itu, urea yang berisi nitrogen menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme. Konsentrasi urea 0,04% (w/v) bekerja. Anunputtikul (2004) merekomendasikan untuk produksi biogas dari limbah tapioka, konsentrasi urea harus 0,04% (w/v). Kelebihan urea dapat menghambat produksi metana.

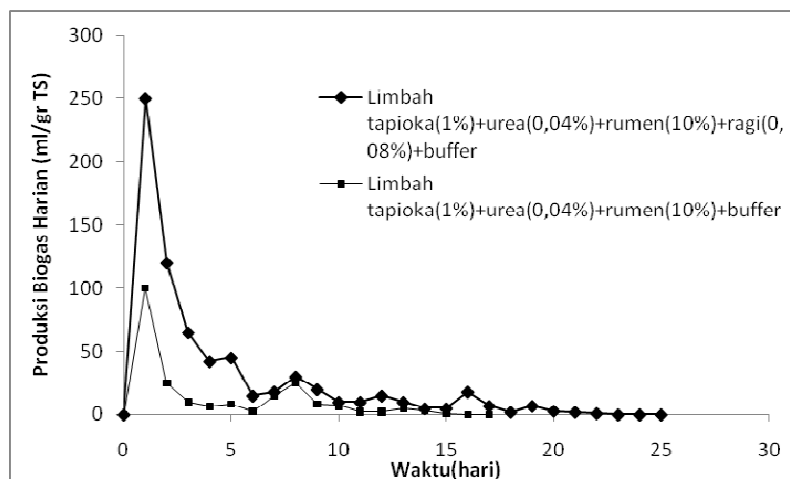
Biogas yang dihasilkan tergantung pada komposisi material umpan. Bahan-bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan

biogas antara lain kotoran hewan, sampah padat, lumpur kotoran, limbah perairan dan sebagainya. Dalam penelitian ini, bahan baku yang digunakan adalah limbah cair tapioka yang akan diproses untuk menghasilkan biogas dengan menggunakan proses fermentasi 2 tahap secara *batch* dan semi kontinu. Karakteristik biogas yang dihasilkan pada masing-masing proses akan dijelaskan di bawah ini.

IV.1. PROSES BATCH

Untuk proses fermentasi 2 tahap secara *batch*, tangki 1 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,08% (w/v), dan bakteri rumen 10% (v/v). Tangki 2 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), dan bakteri rumen 10% (v/v). Tangki 3 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 15% (v/v). Tangki 4 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 15% (v/v). Tangki 5 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 2% (v/v). Tangki 6 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15% (w/v), dan bakteri rumen 8% (v/v). Tangki 7 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15%, dan bakteri rumen 15%. Tangki 8 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,15%, dan bakteri rumen 20%. Pada masing-masing tangki diperlukan penambahan buffer Na_2CO_3 setiap harinya untuk mengatasi drop pH kecuali pada tangki 4 sehingga pH dibiarkan begitu saja sampai biogas tidak terbentuk. Biodigester anaerobik dioperasikan pada basis 2 L, suhu kamar selama 30 hari. Berikut ini adalah pembahasan dan kajian dari penelitian yang dilakukan.

IV.1.1. Pengaruh Substrat Aktivator Terhadap Kecepatan Pembentukan Biogas



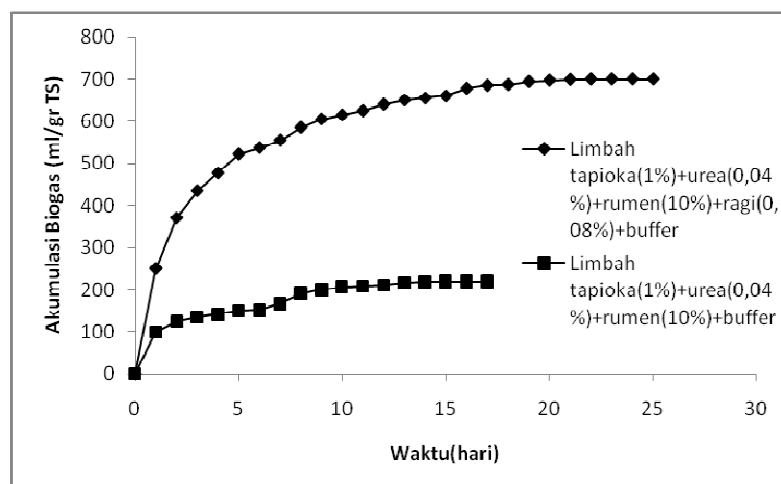
Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Substrat Aktivator Terhadap Produksi Biogas

Gambar 4.1 diatas menerangkan hubungan dari pengaruh substrat aktivator berupa ragi terhadap laju pembentukan biogas. Proses fermentasi diamati selama 30 hari berturut-turut, dimana analisa jumlah biogas yang dihasilkan, pH dan temperatur dilakukan setiap harinya. Untuk mempelajari pengaruh substrat aktivator pada produksi biogas ini, starter berupa ragi tape (*Saccharomyces cerevisiae*) ditambahkan pada tahap hidrolisis (Sangyoka., 2007).

Dari gambar 4.1 diatas, menunjukkan bahwa dengan penambahan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) menghasilkan biogas yang lebih banyak dibandingkan tanpa penambahan ragi. Hal ini dikarenakan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) mampu berperan sebagai substrat aktivator sehingga akan mempercepat proses degradasi senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida. Dengan proses degradasi yang lebih cepat akan menyebabkan pembentukan asam dan gas metan menjadi lebih cepat pula sehingga biogas yang dihasilkan pun menjadi lebih banyak. Ragi tape mengandung mikroba

yang dapat menghidrolisis tapioka yang merupakan polisakarida menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana (disakarida dan monosakarida) (Hidayat, 2006).

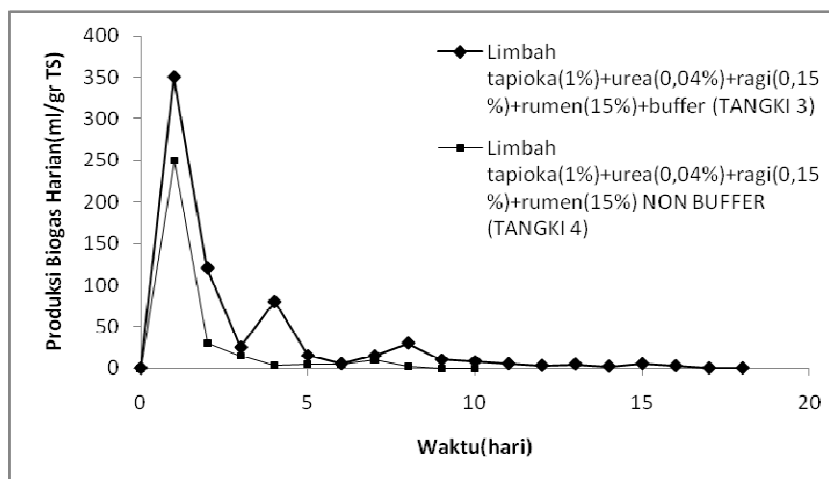
Ada beberapa tahapan dalam pembentukan biogas, yaitu tahap hidrolisis, tahap asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, material organik seperti protein, selulosa, lemak, dan pati mengalami proses degradasi oleh bakteri aerob menjadi molekul yang mempunyai berat molekul lebih kecil. Tahap kedua yaitu asidogenesis (pengasaman). Pada tahap ini, hasil dari tahap 1 akan dikonversi atau diubah oleh bakteri asetogenik dari marga *Desulfovibrio* menjadi gas H_2 , CO_2 , dan beberapa VFA lain seperti asam butirat, asam asetat, dan asam propionat (Milono, 1981). Selanjutnya adalah tahap asetogenesis, yaitu tahap penguraian asam butirat dan propionat oleh bakteri pembentuk asam menjadi asam asetat, gas H_2 , dan CO_2 . Produk yang dihasilkan dari tahap inilah yang nantinya akan menjadi bahan baku untuk menghasilkan gas metan yang berlangsung pada tahap selanjutnya yaitu tahap metanogenesis. Tahap metanogenesis merupakan tahap paling akhir dalam pembentukan biogas. Pada tahap ini, bakteri metanogenik atau bakteri pembentuk metan menghasilkan gas metan, karbondioksida, sedikit gas lain (seperti H_2S), dan air. Sekitar 70% gas metan dibentuk dari asam asetat, dan sisanya dibentuk dari gas hidrogen dan karbondoksida. Oleh karena itu, tahap ini merupakan faktor yang menentukan kecepatan produksi biogas (Sterling Jr., 2001).



Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Substrat Aktivator Terhadap Akumulasi Biogas

Ragi tape (*Saccharomyces cereviceae*) mampu mengubah senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida dengan waktu yang lebih cepat. Dengan bentuk yang lebih sederhana maka laju pembentukan asam akan lebih cepat jika dibandingkan dengan laju perubahan asam menjadi metan oleh mikroba metanogenesis. Dapat dilihat pada gambar 4.2 diatas, produksi biogas tertinggi dihasilkan dengan menggunakan ragi sebagai substrat aktivator diperoleh 5000 ml atau 250 ml/gr TS pada hari ke-1, sedangkan produksi biogas tertinggi tanpa menggunakan substrat aktivator adalah 2000 ml atau 100 ml/gr TS pada hari ke-1 dan produksi biogas hanya berlangsung 15 hari dan selanjutnya biogas tidak lagi dihasilkan. Untuk akumulasi biogas total, dapat terlihat pada gambar 4.2 bahwa dengan penggunaan ragi mampu menghasilkan biogas sebesar 700 ml/gr TS atau 14.000 ml, lebih tinggi daripada produksi biogas tanpa menggunakan ragi yaitu 220 ml/gr TS atau 4400 ml. Perbandingan akumulasi produksi total biogas antara variabel penggunaan substrat aktivator dan tanpa penggunaan substrat aktivator adalah 3:1. Dari perbandingan ini maka dapat dianalisa bahwa penggunaan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) sebagai substrat aktivator memberikan pengaruh yang besar terhadap kuantitas biogas yang dihasilkan.

IV.1.2. Pengaruh Buffer Na_2CO_3 Terhadap Kecepatan Pembentukan Biogas

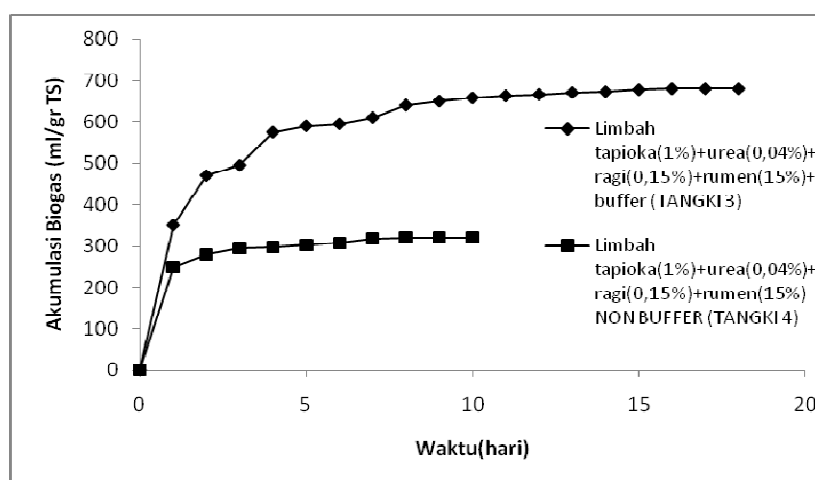


Gambar 4.3. Grafik Pengaruh Buffer Na_2CO_3 Terhadap Produksi Biogas

Gambar 4.3 diatas menerangkan pengaruh dari penggunaan *buffer* terhadap laju pembentukan biogas. Dari gambar tersebut, dapat dijelaskan bahwa produksi biogas dengan menggunakan *buffer* berupa Na_2CO_3 jauh lebih banyak daripada tanpa menggunakan *buffer*. Pada hari ke-1, proses pembentukan biogas dengan menggunakan *buffer* pada umpan, mencapai hasil tertinggi sejumlah 350 ml/gr TS. Sedangkan pada umpan tanpa *buffer*, produksi biogas mencapai hasil tertinggi pada hari ke-1 yaitu 250 ml/gr TS, namun setelah hari ke-8, produksi biogas berhenti sama sekali. Berhentinya produksi biogas ini disebabkan karena pH semakin turun yaitu 5,7. Kondisi pH ini menyebabkan semua organisme mati, sehingga produksi biogas terhenti.

Pembentukan biogas yang lebih besar pada proses fermentasi 2 tahap disebabkan karena adanya proses hidrolisa terlebih dahulu yang merupakan proses degradasi senyawa kompleks yaitu polisakarida menjadi senyawa yang lebih sederhana yaitu disakarida dan monosakarida sehingga akan mempermudah proses pembentukan asam oleh bakteri asetogenik dan juga

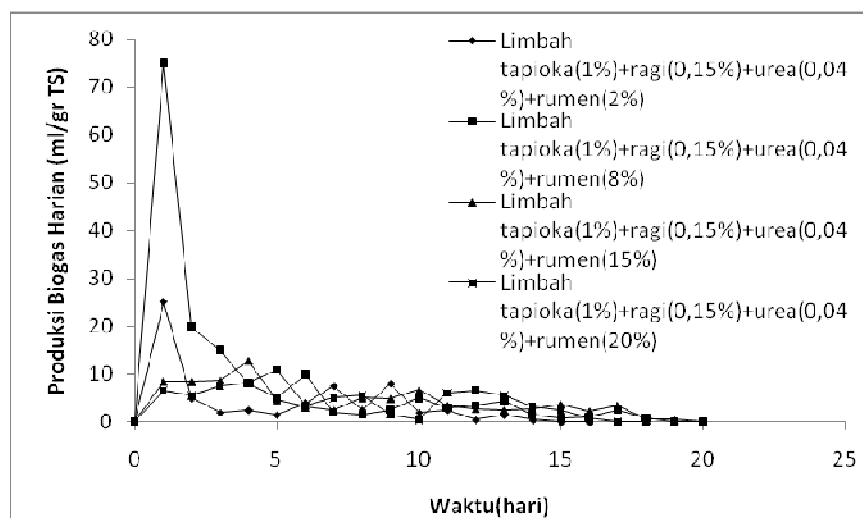
proses pembentukan metan oleh bakteri metanogenesis. Proses tersebut tidak akan dijumpai pada fermentasi 1 tahap, sehingga akan terjadi pembentukan asam yang terlalu cepat. Pembentukan asam yang terlalu cepat ini menyebabkan banyaknya bakteri metanogenesis yang mati karena tidak tahan dengan suasana asam. Terjadinya penurunan pH ini dapat diatasi dengan penambahan *buffer*, dalam hal ini menggunakan Na_2CO_3 yang bertujuan untuk mempertahankan range pH agar bakteri dapat bertahan.



Gambar 4.4. Grafik Pengaruh Buffer Terhadap Akumulasi Produksi Biogas

Gambar 4.4 di atas menunjukkan bahwa akumulasi tertinggi produksi biogas didapatkan pada penambahan *buffer* yaitu sebesar 680 ml/gr TS. Penambahan *buffer* mengakibatkan pH medium berada pada range tumbuh bakteri metanogenik sehingga produksi biogas dapat berjalan terus menerus hingga substrat habis pada hari ke 16, pada variabel tanpa *buffer* produksi berhenti di hari ke-8 dan menghasilkan biogas jauh lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan ragi yaitu 320 ml/gr TS. Hal ini disebabkan semua mikroba mati karena pH yang terlalu rendah. Perbandingan akumulasi biogas total antara variabel penggunaan *buffer* dan tanpa *buffer* adalah 2 : 1. Hal ini menandakan bahwa penggunaan *buffer* memiliki peran penting dalam proses produksi biogas, dimana *buffer* mampu menjaga range pH yang sesuai dengan kondisi hidup mikroba.

IV.1.3. Pengaruh Konsentrasi Bakteri Metanogenik (Bakteri Rumen) Terhadap Kecepatan Pembentukan Biogas



Gambar 4.5. Grafik Pengaruh Konsentrasi Mikroba Metanogenesis Terhadap Produksi Biogas

Gambar 4.5 diatas menjelaskan hubungan konsentrasi bakteri metanogenik (rumen) didalam proses fermentasi anaerob pada pembentukan biogas. Jika ditinjau dari trend garis pada masing-masing variabel, maka dapat dilihat bahwa laju produksi biogas harian yang paling baik diperoleh saat penambahan bakteri metanogenik sebesar 8%. Hal ini dikarenakan untuk proses pembuatan biogas dengan bahan baku limbah tapioka diperoleh jumlah optimum bakteri metanogenik adalah sebesar 10% (Anunputtikul, 2004; Soemarno, 2007).

Pada tahap pembentukan gas metan, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis akan memanfaatkan hasil dari tahap kedua yaitu asetat, format, karbondioksida, dan hidrogen sebagai substrat untuk menghasilkan metan, karbondioksida, sisa-sisa gas seperti H₂S dan air. Hampir dapat dipastikan bahwa 70% dari metan terbentuk dari asetat dan sisanya terbentuk dari karbondioksida dan hidrogen (Aiman *et al*, 1981 ; Buswell, 1930; Sangyoka. S, 2007). Pembentukan metan oleh bakteri

metanogenesis terjadi pada kondisi anaerobik. Bakteri ini merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan.

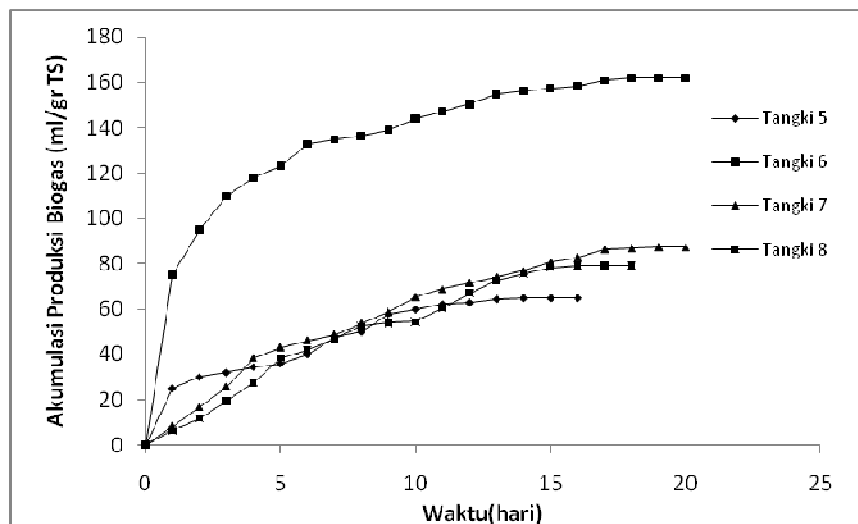
Bakteri yang pertama kali bekerja dalam proses pengubahan polimer yang kompleks seperti karbohidrat adalah bakteri selulolitik atau bakteri hidrolitik lainnya. Menurut Milono (1981), bakteri selulolitik memecah atau memotong molekul selulosa yang merupakan molekul dengan berat yang tinggi menjadi selulobiose (glukosa) dan menjadi glukosa bebas (*free glucose*). Glukosa kemudian di fermentasi secara anaerob menghasilkan bermacam-macam produk fermentasi seperti asetat, propionat, butirat, H₂ dan CO₂. H₂ hasil dari fermentasi primer dengan segera dipakailah bakteri metanogenik (metanogen) yang merupakan bakteri terakhir yang digunakan dalam proses fermentasi anaerob. Selain itu, asetat juga dibutuhkan untuk pengubahan menjadi metana dalam proses fermentasi anaerob oleh beberapa bakteri metanogenik. Protein dan lemak juga dapat mengalami proses fermentasi anaerob yang menghasilkan metana. Meskipun kandungan protein dan lemak lebih sedikit daripada karbohidrat, tetapi metana yang dihasilkan dari fermentasi protein dan lemak dapat menambah jumlah metana yang digunakan untuk biogas. Semakin banyak kandungan bahan organik yang terdapat dalam *slurry* maka mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang dengan baik serta semakin banyak bahan organik yang dapat diubah menjadi metana.

Ada lima genus bakteri metanogenik yang berperan dalam pembentukan metana ini yaitu: *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanopyrales*, *Methanococcus*, dan *Methanosarcina* (Sangyoka. S, 2007). Bakteri metanogenesis merupakan bakteri yang paling penting dalam proses perombakan anaerobik. Kelompok bakteri ini merupakan organisme yang sangat sensitif terhadap oksigen dan perubahan pH medium (Milono, *et al.*, 1981). Kecepatan tumbuh bakteri ini lebih lambat dan lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan jika dibandingkan dengan bakteri non-metanogenik (Milono, *et al.*, 1981). Kemampuan khusus bakteri ini yaitu untuk



menghilangkan kelebihan elektron dengan cara yang efektif yaitu dengan cara mengkonversi hidrogen menjadi metan yang menyebabkan konsentrasi hydrogen dalam medium tetap rendah. Hal ini penting untuk keberadaan bakteri asetogenesis dan pada akhirnya menyebabkan proses perombakan dapat terus berlangsung secara efektif (Adams, 1981).

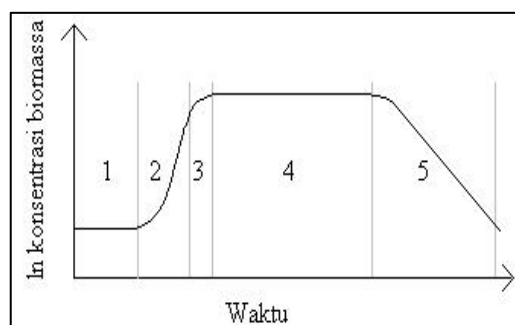
Pada proses fermentasi anaerob untuk pembentukan biogas ini, digunakan mikroba perombak yang berasal dari rumen sapi. Dari hasil penelitian Anunputtikul (2004) menunjukkan bahwa populasi *Fibrobacter succinogenes* adalah paling besar di dalam rumen sapi dan domba. Produk akhir hasil perombakan selulosa oleh bakteri selulolitik adalah suksinat, asetat, format atau butirrat.



Gambar 4.6. Grafik Pengaruh Konsentrasi Mikroba Metanogenesis Terhadap Akumulasi Produksi Biogas

Dari gambar 4.6 dapat terlihat bahwa akumulasi tertinggi produksi biogas didapatkan pada penambahan bakteri metanogenik sebesar 8% (v/v) yaitu sebesar 3236 ml atau 161,8 ml/gr TS. Sedangkan produksi biogas untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik sebesar 2%, 15% dan 20% (v/v) berturut-turut adalah sebesar 1300 ml atau 65 ml/gr TS, 1749 ml atau 87,45 ml/gr TS dan 1584 ml atau 79,2 ml/gr TS.

Jika dihubungkan dengan kurva pertumbuhan mikroorganismenya, maka dapat dijelaskan bahwa jumlah biomassa dalam kasus ini adalah produksi biogas, tergantung dari jumlah mikroba pengurai dalam proses metanogenesis dengan jumlah kebutuhan nutrisi yang terdapat dalam bahan baku. Pertumbuhan bakteri metanogenesis di awal proses masih mengalami masa penyesuaian dengan keadaan didalam bahan baku yang akan diuraikan menjadi biomassa, baik dari segi nutrisi, pH, atau temperatur yang sesuai dengan tempat hidupnya. Selanjutnya, bakteri mengalami proses pertumbuhan yang begitu cepat sehingga akan dihasilkan produksi biogas maksimal oleh karena adanya pemanfaatan nutrisi yang baik oleh bakteri metanogenesis. Fase selanjutnya, bakteri mulai kekurangan nutrisi dimana jumlah bakteri yang tumbuh sama banyaknya dengan bakteri yang mati sehingga biogas yang dihasilkan cenderung konstan (tetap). Selanjutnya bakteri sudah mulai mati sehingga produksi biogas sudah mulai menurun. Proses diatas sesuai dengan kurva pertumbuhan mikroorganismenya, yang di dalamnya terdapat beberapa fase pertumbuhan mikroorganismenya, antara lain: *lag phase*, *exponential phase*, *logarithmic phase*, *stationer phase*, dan *death phase* (Soemarno, 2007).



Gambar 4.7. Kurva Pertumbuhan Mikroorganismenya

Dari gambar 4.7 diatas, dijelaskan bahawa terdapat 5 tahap atau fase yang dialami mikroba atau mikroorganismenya dalam proses pembentukan biomassa, yaitu :

1. *Lag Phase*

Mikroorganisme mengalami masa penyesuaian dengan keadaan didalam bahan baku yang akan diuraikan menjadi biomassa, baik dari segi nutrisi, pH, atau temperatur yang sesuai dengan tempat hidupnya.

2. *Exponential Phase*

Didalam fasa ini, mikroorganisme telah menyesuaikan diri dengan lingkungan tempat hidup dan mulai dengan cepat bereaksi dan memanfaatkan nutrisi yang ada didalam lingkungannya untuk diproses dan diubah menjadi suatu bentuk biomassa.

3. *Logarithmic Phase*

Mikroorganisme mulai mengalami kekurangan nutrisi.

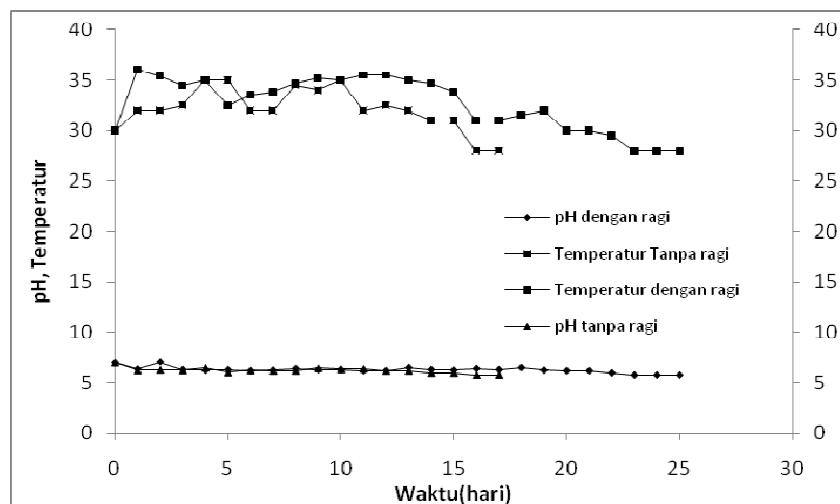
4. *Stationer Phase*

Proses pembentukan biomassa mengalami tahap stabil cenderung menurun diakibatkan oleh jumlah kebutuhan nutrisinya berkurang.

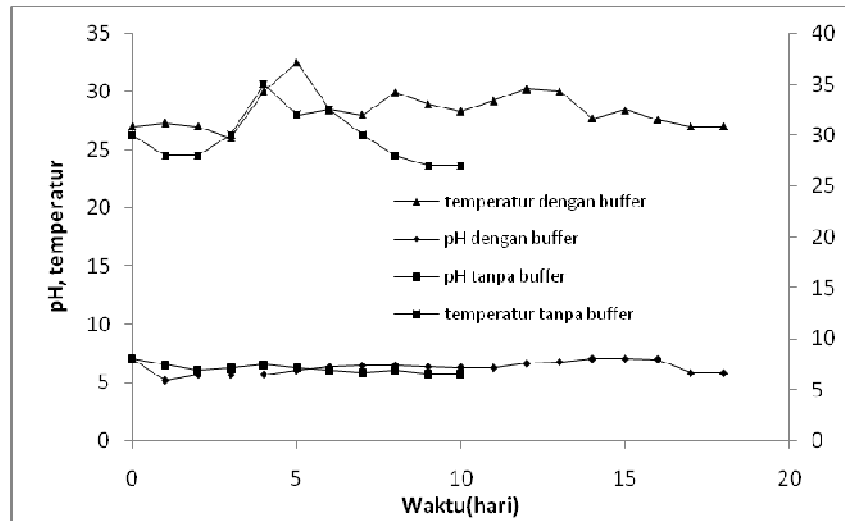
5. *Death Phase*

Mikroorganisme tidak lagi menghasilkan biomassa dan mengalami kematian.

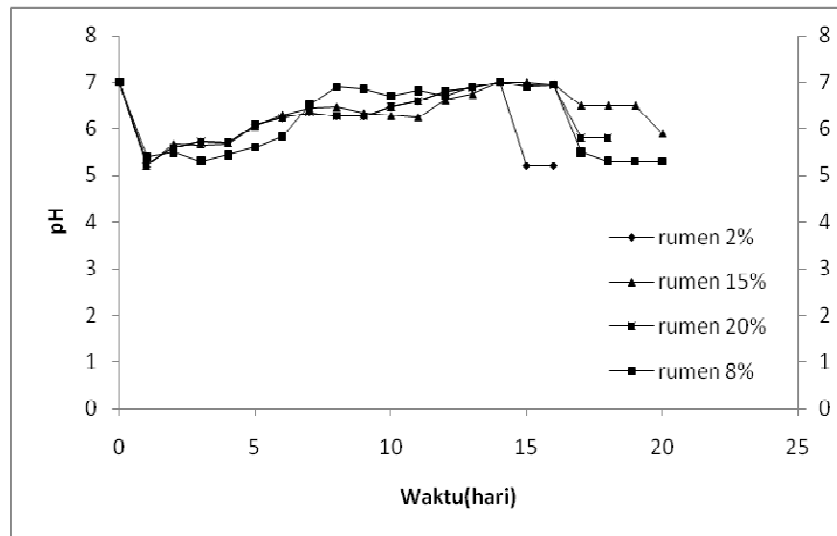
IV.1.4. Karakteristik pH dan Temperatur Pada Masing-masing Variabel



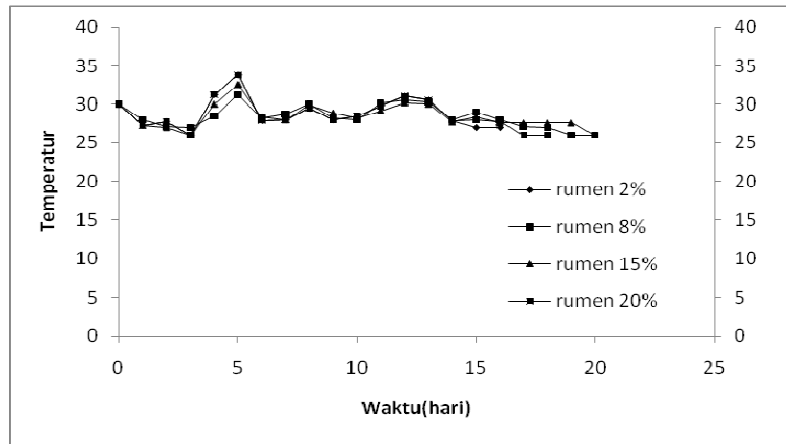
Gambar 4.8. Variabel Pengaruh Ragi



Gambar 4.9. Variabel Pengaruh Na₂CO₃



Gambar 4.10. Karakter pH Variabel Rumen



Gambar 4.11. Karakter Temperatur Variabel Rumen

Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik (bakteri rumen) didapatkan hasil yaitu pada tangki 5 mempunyai rentang pH antara 5,25-7, tangki 6 mempunyai rentang pH antara 5,31-7, pada tangki 7 antara 5,2-7 dan tangki 8 antara 5,25-7. Dari gambar 4.8, untuk variabel pengaruh ragi tape (*Saccharomyces cereviceaea*) sebagai substrat aktivator didapatkan rentang pH antara 6-7. Sedangkan dari gambar 4.9, untuk variabel pengaruh buffer didapatkan rentang pH antara 6-7.

Pada waktu awal fermentasi, bakteri pembentuk asam akan menghasilkan asam dengan cepat sehingga dapat menyebabkan penurunan pH secara cepat pula. Pembentukan asam tersebut akan menghasilkan asam asetat, gas H₂, dan beberapa VFA, seperti asam butirat dan propionat. Saat nilai pH rendah, maka mikroorganismenya akan berada dalam keadaan in-aktif sehingga dapat mempengaruhi laju pembentukan biogas, khususnya bakteri metanogenik (Sterling Jr., M.C., 2001).

Bakteri metanogenik memiliki karakteristik antara lain membutuhkan kondisi anaerob, menghasilkan enzim *silanase actinobacteria* dan hanya dapat hidup pada kisaran pH yang sempit yaitu 5–7 (Polprasert. C, 1989). Bakteri yang pertama kali bekerja dalam proses pengubahan polimer yang kompleks seperti karbohidrat adalah bakteri selulolitik atau bakteri hidrolitik lainnya. Bakteri selulolitik memecah atau memotong molekul selulosa yang merupakan

molekul dengan berat yang tinggi menjadi *selulobiose* (glukosa) dan menjadi glukosa bebas (*free glucose*). Glukosa kemudian difermentasi secara anaerob menghasilkan bermacam-macam produk fermentasi seperti asetat, propionat, butirat, H₂ dan CO₂. H₂ hasil dari fermentasi primer dengan segera dipakai oleh bakteri metanogenik (bakteri penghasil gas metan) yang merupakan bakteri terakhir yang digunakan dalam proses fermentasi anaerob. Selain itu, asetat juga dibutuhkan untuk pengubahan menjadi metan dalam proses fermentasi anaerob oleh beberapa bakteri metanogenik.

Di sisi lain agar bakteri metanogenik mampu tumbuh dengan baik, diperlukan penambahan larutan *buffer* untuk meningkatkan alkalinitasnya. Pada penelitian ini, yang dipakai sebagai larutan *buffer* adalah Na₂CO₃ (sodium karbonat). Laju pertumbuhan bakteri pembentuk asam berjalan lebih cepat dari pada laju pertumbuhan bakteri metanogenik, sehingga populasi dari bakteri metanogenik tidak cukup untuk mengkonsumsi jumlah asam yang diproduksi. Produksi asam yang berlebih di awal proses tersebut mampu menyebabkan penurunan pH menjadi di bawah pH netral (pH=7) secara signifikan. Hal itu menyebabkan laju pertumbuhan bakteri metanogenik menjadi berkurang. Akan tetapi, hal itu dapat ditangani dengan penambahan *buffer* Na₂CO₃ untuk meningkatkan alkalinitasnya. Bakteri metanogenik mampu tumbuh dengan baik pada kisaran pH 6,8-7,2 (Anunputtikul, 2004). Hubungan yang baik antara fase asidogenesis dan metanogenesis adalah saat berada pada kondisi netral yaitu pH=7 dan tidak ada peningkatan keasaman dan alkalinitas yang cukup drastis (Anunputtikul, 2004).

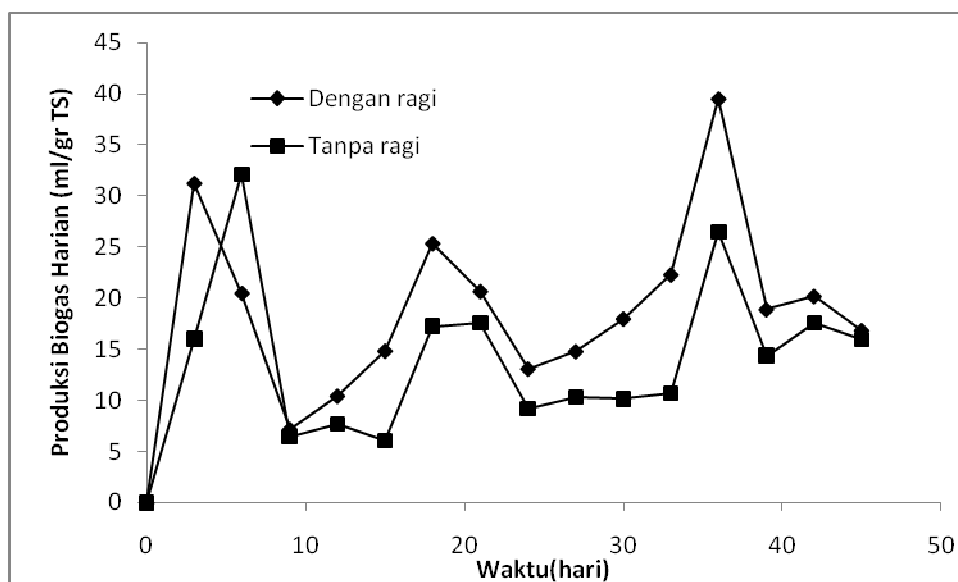
Jika ditinjau dari segi temperatur, maka dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik (bakteri rumen) didapatkan hasil antara lain untuk tangki 5 mempunyai rentang temperatur antara 26-33,8⁰C, tangki 6 mempunyai rentang temperatur antara 27-31,2⁰C, pada tangki 7 antara 26-32,5⁰C dan pada tangki 8 antara 26-33,8⁰C. Sedangkan untuk variabel pengaruh ragi (*Saccharomyces cereviceae*) didapatkan hasil

dengan rentang temperatur antara 29-36⁰C. Untuk variabel pengaruh buffer rentang temperaturnya antara 27-32,5⁰C.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa temperatur bersifat fluktuatif pada masing-masing tangki untuk tiap-tiap variabel dengan rentang yang berbeda-beda. Semua rentang temperatur tersebut masih berada pada rentang temperatur mesofilik yaitu antara 28-45⁰C.

IV.2. PROSES SEMI KONTINYU

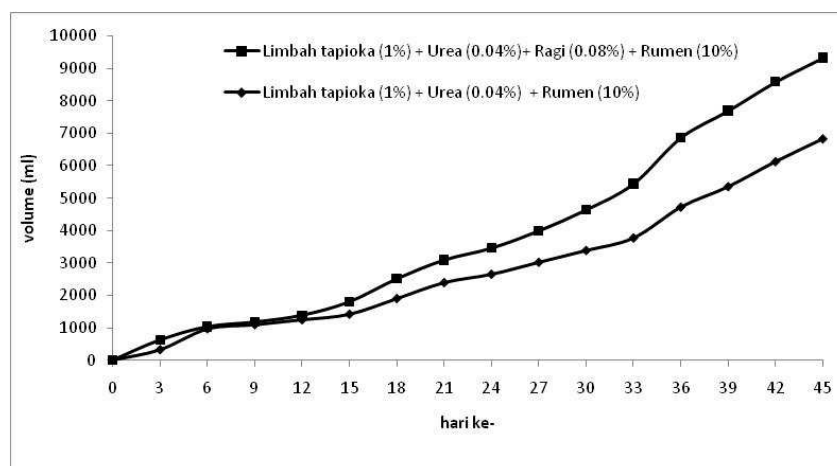
Pada proses semi kontinyu, umpan yang dimasukkan ke dalam tangki 9 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v) dan bakteri rumen 10% (v/v). Tangki 10 terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), ragi 0,08% (w/v), dan bakteri rumen 10% (v/v). Penambahan umpan segar yang berupa limbah tapioka 8 gram dilakukan setiap 12 hari sekali. Menurut Simamora (2007), penambahan umpan segar ke dalam tangki mampu meningkatkan produksi biogas hingga mencapai kondisi *yield* maksimum.



Gambar 4.12. Grafik Produksi Biogas Harian Pada Berbagai Komposisi Umpan

Gambar 4.12 di atas menunjukkan bahwa pada tangki 9 yang terdiri atas limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), dan bakteri rumen 10% (v/v), kecepatan produksi biogasnya lebih rendah dibandingkan tangki 10 yang berisi limbah tapioka 1% (w/v), urea 0,04% (w/v), bakteri rumen 10% (v/v), dan ragi 0,08% (w/v). Puncak produksi pada tangki 10 berada pada hari ke-3 yaitu sebesar 625 ml sedangkan tangki 9 berada pada hari ke-6 yaitu sebesar 642 ml. Hal ini disebabkan karena pada tangki 10 proses hidrolisis molekul polisakarida menjadi molekul yang lebih sederhana yaitu monosakarida dan disakarida berlangsung lebih cepat dengan adanya bantuan *Saccharomyces cereviceae*, sehingga substrat yang digunakan oleh bakteri methanogenesis merupakan substrat dengan rantai yang lebih pendek sehingga proses degradasinya juga berlangsung lebih cepat. Oleh karena itu, kecepatan produksi biogas pada tangki 10 lebih cepat dari tangki 9.

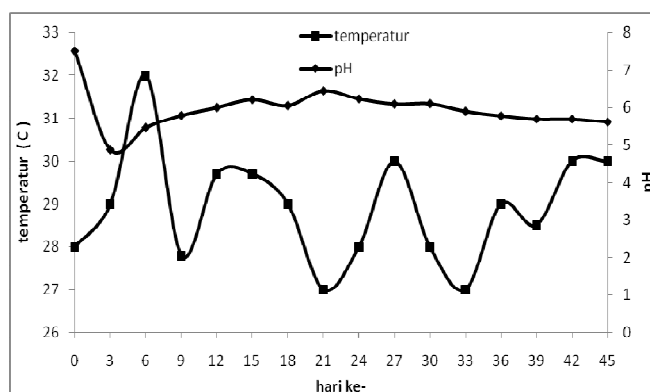
Penambahan umpan segar berupa 8 gram tapioka setiap 12 hari sekali mampu meningkatkan laju produksi biogas. Hal itu terlihat pada tangki 9 maupun tangki 10 yaitu pada hari ke-12, biogas yang dihasilkan hanya 154 ml pada tangki 9 dan 209 ml pada tangki 10. Dengan adanya penambahan 8 gram tapioka ke dalam tangki, maka bisa dilihat pada hari ke-15 produksinya naik lagi yaitu sebesar 170 ml pada tangki 9 dan 416 ml pada tangki 10, akan tetapi kemudian turun kembali pada hari ke-21. Peningkatan produksi biogas terjadi karena adanya umpan segar mampu menambah substrat yang nantinya akan difermentasi menghasilkan biogas. Meskipun begitu, peningkatan produksi biogas hanya terjadi sampai nilai tertentu, setelah itu akan mengalami penurunan. Hal itu dikarenakan substrat telah habis. Selain itu penurunan produksi biogas juga bisa disebabkan oleh faktor lingkungan terutama pH dan suhu.



Gambar 4.13. Grafik Akumulasi Produksi Biogas Pada Berbagai Komposisi Umpan

Jika dilihat dari gambar 4.13, tangki 10 memiliki akumulasi produksi biogas yang lebih tinggi dibandingkan dengan tangki 9. Hal ini terjadi karena pada tangki 10 terdapat penambahan ragi (*Saccharomyces cereviceae*) yang berperan sebagai substrat aktivator sehingga mampu meningkatkan laju produksi biogas karena dapat mempercepat proses hidrolisa oleh bakteri hidrolitik fermentatif sehingga menghasilkan senyawa-senyawa yang lebih sederhana yang merupakan substrat bagi bakteri methanogenesis. Total produksi biogas pada tangki 9 sebesar 6831 ml atau 155.25 ml/gr TS. Sedangkan pada tangki 10 sebesar 9329 ml atau 212.02 ml/gr TS. Perbandingan akumulasi produksi biogas antara variabel penggunaan ragi dan tanpa ragi pada hari ke-45 adalah 1,4 : 1.

Dari gambar 4.13, dapat dijelaskan bahwa dengan penambahan umpan substrat setiap 3 hari, mampu meningkatkan produksi biogas. Penggunaan ragi juga memegang peranan penting dalam proses pembentukan biogas dimana ragi membantu mempercepat peruraian polisakarida menjadi molekul yang lebih sederhana yaitu monosakarida dan polisakarida, sehingga pembentukan asam sebagai bahan pembentukan biogas juga lebih cepat.



Gambar 4.14 . Grafik pH dan Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Dari gambar 4.14 di atas dapat dilihat bahwa pada tangki 9 mempunyai rentang pH antara 4,8-7 dan tangki 10 antara 4,6-7.

Pada waktu awal fermentasi, bakteri pembentuk asam akan menghasilkan asam dengan cepat sehingga dapat menyebabkan penurunan pH secara cepat pula (pH drop). Pembentukan asam tersebut akan menghasilkan asam asetat, gas H_2 , asam butirat dan propionate. Bakteri metanogenik memiliki karakteristik antara lain membutuhkan kondisi anaerob, menghasilkan enzim *silanase actinobacteria* dan hanya dapat hidup pada kisaran pH yang sempit yaitu 5–7 (Polprasert. C, 1989). Bakteri yang pertama kali bekerja dalam proses pengubahan polimer yang kompleks seperti karbohidrat adalah bakteri selololitik atau bakteri hidrolitik lainnya. Asetat dibutuhkan untuk pengubahan menjadi metan dalam proses fermentasi anaerob oleh beberapa bakteri metanogenik.

Laju pertumbuhan bakteri pembentuk asam berjalan lebih cepat dari pada laju pertumbuhan bakteri metanogenik, sehingga populasi dari bakteri metanogenik tidak cukup untuk mengkonsumsi jumlah asam yang diproduksi. Produksi asam yang berlebih di awal proses tersebut mampu menyebabkan penurunan pH menjadi di bawah pH netral ($\text{pH}=7$) secara signifikan. Hal itu menyebabkan laju pertumbuhan bakteri metanogenik menjadi berkurang. Akan tetapi, hal itu dapat ditangani dengan penambahan buffer Na_2CO_3 untuk meningkatkan alkalinitasnya. Bakteri metanogenik mampu tumbuh dengan

baik pada media yang awalnya berada pada kisaran pH 6,8-7,2 (Anunputtikul, 2004).

Jika ditinjau dari segi temperatur, maka dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa untuk variabel konsentrasi bakteri metanogenik (bakteri rumen) didapatkan hasil antara lain untuk tangki 9 dan 10 mempunyai rentang temperatur antara 28-32⁰C.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa temperatur bersifat fluktuatif pada masing-masing tangki untuk tiap-tiap variabel dengan rentang yang berbeda-beda. Semua rentang temperatur tersebut masih berada pada rentang temperatur mesofilik yaitu antara 28-45⁰C. Ketika temperatur mengalami penurunan di bawah suhu 28⁰C, aktivitas mikroorganisme juga menurun sehingga produksi biogas pun juga akan menurun. Akan tetapi, saat temperatur kembali naik aktivitas mikroba berlangsung sebagaimana mestinya.

IV.3. ANALISA PRODUK BIOGAS

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan produk biogas disertai dengan analisa terhadap berbagai parameter yang berpengaruh di dalam proses pembentukan biogas. Diperlukan pula analisa terhadap biogas yang dihasilkan agar dapat diketahui apakah biogas yang dihasilkan sesuai dan layak untuk digunakan, serta pada akhirnya dapat dikembangkan kedepannya sebagai teknologi tepat guna.

Analisa hasil dilakukan dengan mengambil sampel dari umpan yang digunakan untuk produksi biogas. Berikut ini adalah hasil analisa biogas yang dilakukan dengan menggunakan *gas chromatography* GC-148 Shimadzu (FID) disajikan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Analisa Komposisi Biogas

No.	Komposisi	Konsentrasi (%)
1.	CH ₄	67,5521
2.	CO ₂	24,0278
3.	N ₂	5,8599
4.	H ₂	2,5602

Dari hasil analisa, dapat dilihat bahwa konsentrasi metan sebagai komponen utama dalam biogas cukup tinggi yaitu 67,5521%. Kemudian dilakukan uji nyala api, dimana warna nyala api biru, tahan lama dan gas tidak berbau (lampiran B). Menurut Harahap (1978), gas metan (CH₄) adalah komponen penting dan utama dari biogas karena memiliki kadar kalor yang cukup tinggi dan jika gas yang dihasilkan dari proses fermentasi anaerob ini dapat terbakar, berarti sedikitnya mengandung 45% metan. Oleh karena itu, dapat dianggap bahwa biogas hasil penelitian ini layak untuk digunakan dan teknologi produksinya dapat dikembangkan lebih lanjut.