

ANALISA SISTEM GABUNGAN *OPEN PONDS* DAN *ANAEROBIC DIGESTER* UNTUK PROSES EKSTRAKSI BIOGAS DARI *MIKROALGA*

Nama : Melati Diyah Kumalasari
NRP : 2410.100.054
Pembimbing : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

ABSTRAK

Mikroalga merupakan mikroorganisme dengan kandungan minyak sebesar 77% sehingga berpotensi dalam menghasilkan biogas. Salah satu jenis mikroalga adalah *spirulina.sp.* Dalam penelitian tugas akhir ini dibuat sebuah sistem gabungan antara *open ponds* dan *anaerobic digester* yang digunakan untuk ekstraksi biogas dari *mikroalga*, dimana *mikroalga* yang digunakan adalah *spirulina.,sp.* Nutrisi yang diberikan berupa CO₂ dan biostarter olahan dari buah pepaya. Variasi yang dilakukan untuk penambahan nutrisi dan CO₂ adalah tanpa penambahan, dengan penambahan 10% CO₂ dan 0,75liter biostarter, 30% CO₂ dan 1liter CO₂, serta 50% CO₂ dan 0,75liter. Pada penelitian tersebut dilakukan *monitoring* terhadap parameter yang berpengaruh pada proses pembuatan biogas dari *mikroalga* yaitu pH, temperatur, laju pertumbuhan *mikroalga* serta CO₂ yang terserap. Dari parameter tersebut diketahui bahwa pada volume biogas dengan variasi 50% CO₂ dan 0,75liter merupakan volume biogas yang paling besar selama 48 hari penelitian. Laju pertumbuhan *mikroalga* mempunyai nilai yang semakin meningkat seiring dengan banyaknya jumlah penambahan CO₂ dan biostarter. Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa nilai COD mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya CO₂ dan biostarter yang diberikan.

Kata kunci : *Mikroalga, Anaerobic Digester, Open Ponds, Monitoring*

“Halaman ini memang dikosongkan”

ANALYSIS OF COMPOSITE SYSTEM OF OPEN PONDS ND ANAEROBIC DIGESTER FOR BIOGAS EXTRIXING FROM MICROALAGAE

Name : Melati Diyah Kumalasari
NRP : 2410.100. 054
Lecture : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

ABSTRACT

Microalga is one of microorganism with 77% liquids, with the result that will be potentially for material in biofuel process. One kind of microalga is Spirulina sp. In this final project use Spirulina sp for raw materials. The nutrients those given in system are CO₂ and biostarter that made by papayas. There are four variations to convert the nutrient, for the first is without nutrients and CO₂, 10% CO₂ and 0,75 Kg of biostarter, 30% CO₂ and 1 of Kg biostarter, and the last is 50% CO₂ and 0,75 Kg of biostarter. In this research equipped with monitoring system of temperature, pH, velocity of microalga growth. From all those variables ascertainable that the biggest biogas volume when the variation of CO₂ 50% and 0,75 Kg of biostarter. The velocity of microalga growth have more and more alteration along with the descend of COD value.

Key Words : Mikroalga, Anaerobic Digester, Open Ponds, Monitoring.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Bioreaktor *Anaerob*

Bioreaktor *anaerob* merupakan sebuah bioreaktor tertutup yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi biokimia (Rommy, 2011). Tangki dibuat tertutup untuk menjaga agar tidak ada udara dari luar masuk kedalam. Hal tersebut dilakukan agar mikroorganisme (bakteri) yang dikembangkan dapat tumbuh didalam bioreaktor serta berperan aktif sesuai dengan proses biokimia yang diinginkan. Perancangan dan pembuatan bioreaktor untuk ekstraksi biogas dari enceng gondok diperlukan parameter-parameter seperti suhu dan derajat keasaman (pH) yang sesuai dan perlu dijaga agar mikroorganisme didalam bioreaktor tetap dapat hidup.

2.2 Biogas

Biogas merupakan sebuah gas yang dibuat melalui proses biologi-kimia-fisika dari material organik dengan bantuan bakteri. Proses degradasi material organik ini dilakukan tanpa melibatkan oksigen atau yang disebut dengan *anaerobic digestion* dengan gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50%) berupa metana (CH₄) sedangkan sisanya berupa gas CO₂, H₂S dan beberapa *trace element*. Kandungan *methane* berbeda untuk tiap kotoran hewan atau tumbuhan seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini :

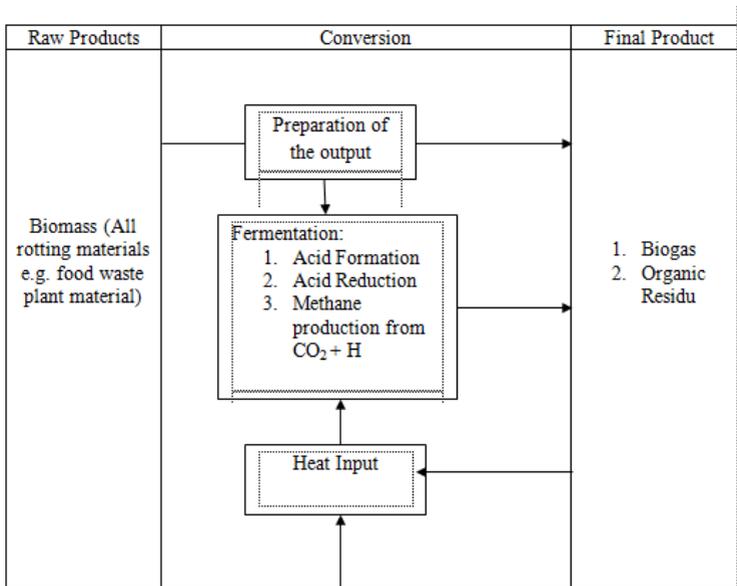
Tabel 2.1 Kandungan gas *methane* untuk beberapa jenis sumber biogas (Maynell, 1981)

Jenis Sumber Biogas	Kandungan Gas Methae (%)
<i>Cattle Manure</i>	65
<i>Poultry Manure</i>	60
<i>Pig Manure</i>	67
<i>Farmyard Manure</i>	55
<i>Straw</i>	59

Tabel Lanjutan

<i>Grass</i>	70
<i>Leaves</i>	58

Material organik yang terkumpul pada digester (reaktor) akan diuraikan menjadi dua tahap dengan bantuan dua jenis bakteri. Tahap pertama material organik akan didegradasi menjadi asam lemah dengan bantuan bakteri pembentuk asam. Bakteri ini akan menguraikan sampah pada tingkat hidrolisis dan asidifikasi. Hidrolisis yaitu penguraian senyawa kompleks atau senyawa rantai panjang seperti lemak, protein, karbohidrat menjadi senyawa yang sederhana. Sedangkan asidifikasi yaitu pembentukan asam dari senyawa sederhana. Perkembangan proses anaerobic digestion telah berhasil pada banyak aplikasi. Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah sampah/limbah yang keberadaannya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai (Nemerow, 1978).

**Gambar 2.1** Proses konversi biogas (Nemerow, 1978)

Terdapat 3 tahapan dalam proses menghasilkan biogas. Yang pertama yaitu proses *Raw Products* proses ini dimana sumber penghasil biogas yang berupa mikroalga mulai dihasilkan (pembuatan mikroalga *Spirullina sp.*). Tahap yang kedua yaitu tahap *Conversion*, tahap ini merupakan tahap dimana beberapa faktor utama untuk fotosintesis akan berperan yaitu CO_2 , panas, serta biostarter yang berfungsi sebagai zat *inert*. Tahap yang terakhir merupakan tahap dimana biogas telah menjadi produk.

2.3 Komposisi Biogas

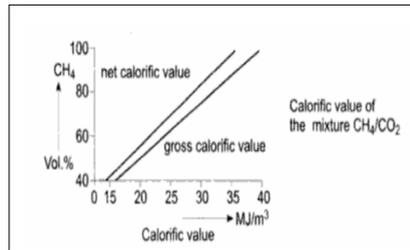
Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4), karbondioksida (CO_2) dan beberapa kandungan yang jumlahnya kecil diantaranya hidrogen sulfida (H_2S), ammonia (NH_3), hidrogen (H_2) serta nitrogen (N_2) yang kandungannya sangat kecil seperti ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 2.2 Komposisi biogas (Juanga, 2007)

<i>Designation</i>	<i>Unit</i>	CH_4	CO_2	H_2	H_2S	<i>Biogas Mixture of 60% CH_4; 40% CO_2</i>
<i>Volume (part)</i>	%	55-70	27-44	1	3	100
<i>Net calorific vlue</i>	kJ/Nm^3	35800	-	10800	22800	21500
<i>Limit of inflamability</i>	Vol.%	5-15	-	4-80	4-4,5	6-12
<i>Inflamation point</i>	$^\circ\text{C}$	650-750	-	585	-	650-750
<i>Density</i>	g/l	0,72	1,98	0,09	1,54	1,20
<i>Density ratio to air</i>	-	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83

Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana

maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana semakin kecil nilai kalor (Chisti, 2008).



Gambar 2.2 Kurva hubungan antara kandungan CH₄ dengan nilai kalor (Chisti, 2008)

Kualitas dari biogas dapat ditingkatkan dengan memperlakukan beberapa parameter yaitu menghilangkan hidrogen sulphur, kandungan air dan karbondioksida (CO₂). Hidrogen sulphur mengandung racun dan zat yang menyebabkan korosi, bila biogas mengandung senyawa ini maka akan menyebabkan gas yang berbahaya sehingga konsentrasi yang diijinkan maksimal 5 ppm. Bila gas dibakar maka hidrogen sulphur akan lebih berbahaya karena akan membentuk senyawa baru bersama-sama oksigen, yaitu sulphur dioksida/sulphur trioksida (SO₂ / SO₃) dan senyawa ini lebih beracun. Pada saat yang sama akan membentuk sulphur acid (H₂SO₃) suatu senyawa yang lebih korosif. Parameter yang kedua adalah menghilangkan kandungan karbondioksida yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kualitas, sehingga gas dapat digunakan untuk bahan bakar kendaraan. Kandungan air dalam biogas akan menurunkan titik penyalan biogas serta dapat menimbulkan korosif (Juanga, 2007). Rasio ideal C/N untuk proses dekomposisi anaerob untuk menghasilkan metana adalah 25-30 (Kaltwasser, 1980). Oleh karena itu, pada proses pembuatan bahan baku diusahakan memenuhi rasio ideal. Rasio C/N dari beberapa bahan organik. Beberapa bahan organik tersebut adalah kotoran manusia, kotoran sapi, kotoran babi, kotoran ayam,

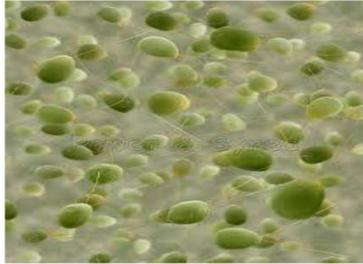
kotoran kuda, kotoran domba, jerami, lucemes, alga, gandum, serbuk jerami, ampas tebu, serbuk gergaji, kol, tomat, mustard, kulit kentang, sekam, bonggol jagung, daun yang gugur, batang kedelai, dan kacang toge. Setiap bahan organik tersebut memiliki kandungan C/N yang berbeda jumlahnya. Selain itu dalam proses pembuatan biogas, kandungan nitrogen yang terkandung dalam bahan-bahan organik tersebut juga berpengaruh. Dari beberapa bahan organik tersebut alga memiliki kandungan nitrogen yang tergolong sedikit. Hal tersebut yang membuat proses pembuatan biogas dari mikroalga untuk jumlah yang besar memerlukan waktu yang relatif lebih lama dibandingkan dengan proses pembuatan biogas dari bahan organik lainnya. Namun dalam proses pembuatan biogas dari mikroalga ini yang membutuhkan biostarter paling mudah.

2.4 Mikroalga

Mikroalga merupakan mikroorganisme (ukuran 1-50 μm) yang menggunakan energi cahaya dan air untuk memetabolisasi CO_2 menjadi senyawa organik CH_2O yang dengan proses lanjut dapat diubah menjadi biodiesel reaksi berikut :



Reaksi tersebut disebut proses fotosintetik dimana oksigen juga dihasilkan sebagai hasil samping. Intensitas cahaya matahari (UV light) yang sampai ke permukaan bumi sekitar 1500-2500 W/m^2 . Mikroalga juga mengalami proses fotosintesis. Sehingga dalam proses pembuatan biogas ini mikroalga membutuhkan cahaya matahari.



Gambar 2.3 Sel mikroalga

Mikroalga mengandung banyak senyawa yang sangat potensial untuk dijadikan produk. Misalnya untuk pharamasi produk *Eicosapentaenoic acid* (EPA) berguna untuk status vascular tubuh manusia, *docosahexaenoic acid* (DHA) untuk jaringan saraf otak, β -*carotene* sebagai pro-vitamin A dan *astaxanthin* sebagai anti oksidan. Dua produk terakhir telah dikomersialkan dalam skala besar (Borowitzka, 1992, Olaizola, 2000). Karena mikroalga juga merupakan sarana fotosintetik yang baik, maka mikroalga juga kaya akan pigment dikarenakan mempunyai sifat *fluorescentnya* (Apt and Behrens, 1999). Mikroalga akhir-akhir ini dieksplorasi untuk penggunaannya dalam bidang bioenergi dikarenakan mikroalga juga mempunyai kandungan karbon yang tinggi. Beberapa jenis mikroalga berpotensi sebagai sumber minyak.

2.5 Klasifikasi Mikroalga

Mikroalga diklasifikasikan menurut karakter serta habitatnya, berikut merupakan klasifikasi mikroalga

- *Cyanobacteria* (alga biru hijau)
Cyanobacteria atau alga biru hijau adalah kelompok alga yang paling primitif dan memiliki sifat-sifat bakterial dan alga. Kelompok ini adalah organisme prokariotik yang tidak memiliki struktur-struktur sel seperti yang ada pada alga lainnya, contohnya nukleus dan chloroplast. Mereka

hanya memiliki chlorophyl a, namun mereka juga memiliki variasi phycobilin seperti halnya carotenoid. Pigmen-pigmen ini memiliki beragam variasi sehingga warnanya bisa bermacam-macam dari mulai hijau sampai ungu bahkan merah. Alga biru hijau tidak pernah memiliki flagella, namun beberapa filamen membuat mereka bergerak ketika berhubungan dengan permukaan. Unicell, koloni, dan filamenfilamen cyanobacteria adalah kelompok yang umum dalam budidaya, baik sebagai makan maupun sebagai organisme pengganggu.

- *Chlorophyta* (alga hijau)

Alga hijau adalah kelompok alga yang paling maju dan memiliki banyak sifat-sifat tanaman tingkat tinggi. Kelompok ini adalah organisme prokariotik dan memiliki struktur-struktur sel khusus yang dimiliki sebageian besar alga. Mereka memiliki kloroplast, DNA-nya berada dalam sebuah nukleus, dan beberapa jenisnya memiliki flagella. Dinding sel alga hijau sebageian besar berupa selulosa, meskipun ada beberapa yang tidak mempunyai dinding sel. Mereka mempunyai klorophyl a dan beberapa karotenoid, dan biasanya mereka berwarna hijau rumput. Pada saat kondisi budidaya menjadi padat dan cahaya terbatas, sel akan memproduksi lebih banyak klorophyl dan menjadi hijau gelap. Kebanyakan alga hijau menyimpan zat tepung sebagai cadangan makanan meskipun ada diantaranya menyimpan minyak atau lemak. Pada umumnya unicel merupakan sumber makanan dalam budidaya dan filamen-filamennya merupakan organisme pengganggu. Jenis-jenis alga hijau adalah :

a) *Tetraselmis*

Hidup di air tawar dan air laut, berupa organisme hijau motil, lebar 9-10 mm, panjang 12-14 mm, dengan empat flagella yang tumbuh dari sebuah alur pada bagian belakang anterior sel. Sel-selnya bergerak dengan cepat di air dan tampak bergoncang pada saat berenang. Ada

empat cuping yang memanjang dan memiliki sebuah titik mata yang kemerah-merahan. *Pyramimonas* adalah organisme yang berkaitan dekat dengan alga hijau dan memiliki penampakan serta sifat berenang yang identik dengan tetraselmis. Kedua organisme ini adalah sumber makan yang populer untuk mengkultur rotifer, kerang, dan larva udang.

b) *Chlamydomonas*

Hidup di air tawar dan air laut, berwarna hijau dan motil, lebar 6,5-11 μm , panjang 7,5-14 μm , dengan dua flagella yang tumbuh didekat sebuah benjolan pada bagian belakang sel. Sel-selnya bergerak dengan cepat di air dan tampak bergoncang pada saat berenang. Selnya berbentuk spiral sampai memanjang dan biasanya memiliki sebuah titik mata merah. Pada saat sel betina terbentuk, sel induk akan kehilangan flagellanya dan mengeluarkan sebuah kantong transparan disekitar tubuhnya. Sel induk akan terbelah, dan membentuk 2-8 sel anak betina. Organisme ini digunakan sebagai pakan untuk rotifer.

c) *Chlorella*

Hidup di air tawar dan air laut, berwarna hijau dan tidak motil serta tidak memiliki flagella. Selnya berbentuk bola berukuran sedang dengan diameter 2-10 μm , tergantung spesiesnya, dengan chloroplast berbentuk cangkir. Selnya bereproduksi dengan membentuk dua sampai delapan sel anak didalam sel induk yang akan dilepaskan dengan melihat kondisi lingkungan. Merupakan pakan untuk rotifer dan dapnia.

d) *Scenedesmus*

Hidup di air tawar, berwarna hijau dan tidak motil dan biasanya tersusun atas 4 sel. Hidup berkoloni, berukuran lebar 12-14 μm , dan panjang 15-20 μm . Selnya berbentuk elips hingga lanceolate (panjang dan ramping), beberapa spesies memiliki duri atau tanduk. Setiap sel menghasilkan sebuah koloni bersel 4 setiap bereproduksi.

Seringnya bersifat sebagai pengganggu. Organisme ini tidak umum dibudidayakan sebagai sumber pakan.

e) *Ankistrodesmus*

Hidup di air tawar, organisme ini berwarna hijau dan biasa bersel satu, panjang, selnya berbentuk cresent tipis. Biasanya berkoloni empat hingga delapan dengan membentuk sudut satu dengan lainnya. Organisme ini seringkali mengkontaminasi perairan dan dapat hidup pada pipa saluran air, air dalam kendi, dan air tandon. Tidak umum dikultur sebagai pakan.

f) *Selenastrum*

Hidup di air tawar, organisme ini berwarna hijau, berukuran lebar 2-4 mm dan panjang 8-24 mm. Kadang-kadang digunakan sebagai pakan daphnia.

- Chrysophyta (alga coklat-emas)

Alga coklat-emas dikaitkan dengan diatomeae, namun mereka memiliki dinding sel silika yang sedikit selama masa hidup mereka. Alga ini memiliki sifat-sifat yang dapat ditemui pada sebagian besar alga. Beberapa anggota kelompok alga ini memiliki flagella dan motil. Semua memiliki kloroplas dan memiliki DNA yang terdapat di dalam nukleusnya. Alga ini hanya memiliki chlorophyll a dan c serta beberapa carotenoid seperti fucoxanthin yang memberikan mereka warna kecokelatan. Alga ini seringkali dibudidayakan dalam bentuk uniseluler pada usaha budidaya sebagai sumber pakan (Ugwu, et al., 2007).

2.6 Sifat Mikroalga

Sifat yang paling berguna untuk mengidentifikasi algae adalah warna atau pigmen mereka. Pigmen-pigmen tersebut menyerap energi cahaya dan mengubahnya menjadi biomassa melalui proses fotosintesis. Ada 3 kelas utama pigmen dan berbagai kombinasi yang memberikan warna khas pada algae (Bedell, 1984).

- Kelompok utama dari pigmen hijau adalah *chlorophyll*

Dengan chlorophyll a sebagai pigmen utama yang menyerap gelombang panjang biru dan merah sebagai cahaya yang penting untuk fotosintesis. Sebagian besar carotenoid lebih bersifat melindungi pigmen lain daripada ikut secara langsung dalam reaksi fotosintesis.

- Fukosantin pada diatome dan alga coklat, yang sangat aktif dalam proses fotosintesa.
- Fikobilin berwarna merah (fikoeretrin) atau biru (fikocyanin) dan menangkap gelombang panjang yang tidak ditangkap oleh pigmen-pigmen lainnya dan melewati energi yang ditangkap pada chlorophyll a untuk fotosintesis.

2.7 Kultivasi Mikroalga

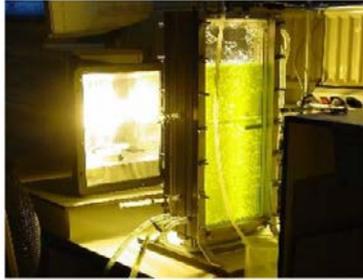
Untuk jenis photobioreaktor sebagai berikut :

- Open ponds
Kultivasi mikroalga dalam open ponds sudah dilakukan beberapa tahun terakhir. Open pond dapat dikategorikan ke dalam kolam yang menggunakan air alam seperti danau, tambak atau kolam, sedangkan yang termasuk kolam buatan yaitu kolam dengan menggunakan dinding dari bahan tertentu seperti PVC. Bioreaktor yang banyak dipakai yaitu kolam dengan aliran sirkular dengan satu pedal roda (*wheel paddle*) untuk menciptakan arus seperti gambar



Gambar 2.4 *Open Ponds* (Boussiba, et al., 1988; Tredici and Metrassi, 1992; Hase, et al., 2000)

- Flat plate photobioreactors
Flat plate photobioreactors termasuk sistem tertutup dan banyak digunakan karena mempunyai surface area yang besar (Milner, 1953).



Gambar 2.5 *Flat Plate Bioreactor* (Milner, 1953)

Dibanding reaktor lain, akumulasi di flat plate photobioreactor relatif rendah akan tetapi mempunyai efisiensi fotosintesis yang tinggi (Hu, et al., 1996; Richmond, 2000).

- Tubular photobioreactor
Diantara yang lain, photobioreaktor jenis ini paling banyak digunakan untuk sistem terbuka. Bahan yang dipakai untuk photobioreaktor jenis ini biasanya kaca dan/atau plastik serta CO₂ dan oxygen disirkulasikan dengan sistem airlift. Oxygen terlarut dalam bioreaktor ini relatif tinggi dan luas permukaannya juga besar.



Gambar 2.6 *Tubular Photobioreactor*(Vonshak dan Torzillo, 2004)

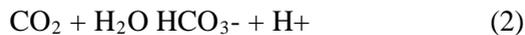
Perpindahan masa di tubular photobioreactor dapat ditingkatkan dengan sistem pengadukan yang baik. Kelemahan dari bioreaktor ini adalah kenaikan temperatur yang tinggi, terjadi rekarbonisasi yang mengakibatkan biaya pemeliharaan meningkat. Untuk kelebihan dan kelemahan beberapa jenis photobioreaktor sistem terbuka yaitu :

- ***Open ponds***
 - a. Kelebihan : Murah dan efisien untuk kultivasi mikroalga jumlah besar.
 - b. Kelemahan : Kesulitan untuk kultivasi dalam jangka panjang, produktivitas kecil, memerlukan lahan tanah yang luas, mudah terkontaminasi dan terbatas pada strain tertentu.
- ***Flate plate photobioreactors***
 - a. Kelebihan : Perpindahan masa tinggi, perpindahan cahaya baik, mudah untuk disterilisasi, baik untuk imobilisasi alga dan luas permukaan besar.
 - b. Kelemahan : Untuk *scale-up* membutuhkan banyak kompartemen, sulit untuk mengontrol temperatur dan shear stress tinggi.
- ***Tubular photobioreactors***
 - a. Kelebihan : Luas permukaan besar, cukup bagus tingkat produktivitasnya dan relatif murah.
 - b. Kelemahan : Gradien pH, DO dan CO₂ sepanjang *tube*, terjadi fouling dan membutuhkan ruang yang besar.

2.8 Biofiksasi Penyerapan CO₂ oleh Mikroalga

Biofiksasi CO₂ yang ditunjukkan oleh adanya perbedaan konsentrasi pada inlet dan outlet gas CO₂ dan hal ini mengindikasikan terjadinya proses transfer gas CO₂ ke dalam kultur medium pada saat berlangsungnya pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu, nilai selisih konsentrasi CO₂ juga menandakan terjadinya konsumsi gas CO₂ sebagai substrat/carbon source oleh mikroorganisme dalam bentuk HCO₃⁻. CTR (*Carbon Transfer Rate*) menunjukkan banyaknya gas CO₂

yang ditransferkan dalam suatu volum medium yang dibutuhkan oleh metabolisme sel selama satu satuan waktu tertentu, sedangkan laju transfer CO_2 spesifik adalah laju gas CO_2 yang ditransfer dalam suatu volume medium karena adanya aktivitas kehidupan biologi dalam satu satuan waktu tertentu. CTR pada umumnya memiliki nilai yang tinggi pada awal masa pertumbuhan karena konsentrasi CO_2 di dalam medium kultur masih di bawah ambang kejenuhan, sehingga gas CO_2 lebih mudah larut dalam medium kultur. Selain itu, kenaikan jumlah sel yang sangat besar mempertinggi penyerapan gas yang terlarut dalam bentuk HCO_3^- oleh mikroalga. CTR kemudian akan cenderung menurun seiring dengan waktu karena terjadinya ketidaksetimbangan antara peningkatan jumlah sel dengan besarnya biofiksasi CO_2 . Senyawa bikarbonat (HCO_3^-) terbentuk karena adanya reaksi antara dengan CO_2 yang dihembuskan ke dalam medium kultur. Konsentrasi HCO_3^- secara sederhana dihitung berdasarkan pada besarnya pH medium kultur yang terjadi sebagai akibat adanya aktivitas pertumbuhan sel. Pada saat gas CO_2 masuk dalam kultur, proses yang terjadi adalah pembentukan senyawa bikarbonat (pada ekstraselular) berikut :



Senyawa bikarbonat inilah yang kemudian diserap oleh sel melalui dinding sel yang cenderung permeable terhadap senyawaan ionik. Proses metabolisme yang terjadi dalam sel selanjutnya adalah reaksi antara bikarbonat tersebut dan air yang terdapat dalam sel membentuk senyawa organik seperti glukosa dan ion OH^- menggunakan energi ATP dan NADPH sebagaimana tergambar pada persamaan reaksi berikut (Wijanarko dkk, 2007) :

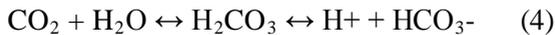


2.9 Mekanisme Absorpsi CO₂

Absorpsi merupakan salah satu proses pemisahan dengan mengontakkan campuran gas dengan cairan sebagai penyerapnya. Penyerap tertentu akan menyerap setiap satu atau lebih komponen gas. Pada absorpsi sendiri ada dua macam proses yaitu (Kartohardjono dkk, 2009) :

1. *Physical Absorption*

Absorpsi fisik merupakan absorpsi dimana gas terlarut dalam cairan penyerap tidak disertai dengan reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi gas CO₂ dengan air, metanol, propilen, dan karbonat. Penyerapan terjadi karena adanya interaksi fisik, difusi gas ke dalam air, atau pelarutan gas ke fase cair, mekanisme reaksi yang terjadi yaitu :

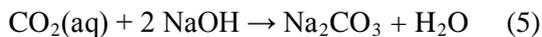


Reaksi CO₂ dengan air tersebut merupakan reaksi kesetimbangan, dimana konstanta kesetimbangannya sangat kecil sehingga pembentukan H⁺ dan HCO₃⁻ juga sangat kecil. Karena itu, proses absorpsi CO₂ dengan air lebih dinyatakan sebagai absorpsi fisika, bukan absorpsi kimia.

2. *Chemical Absorption*

Absorpsi kimia merupakan absorpsi dimana gas terlarut di dalam larutan penyerap disertai dengan adanya reaksi kimia. Contoh absorpsi ini adalah absorpsi dengan adanya larutan MEA, NaOH, K₂CO₃, dan sebagainya. Aplikasi dari absorpsi kimia dapat dijumpai pada proses penyerapan gas CO₂ pada pabrik amoniak. Penggunaan absorpsi kimia pada fase kering sering digunakan untuk mengeluarkan zat terlarut secara lebih sempurna dari campuran gasnya. Keuntungan absorpsi kimia adalah meningkatnya koefisien perpindahan massa gas, sebagian dari perubahan ini disebabkan makin besarnya luas efektif permukaan. Bila pelarut yang digunakan adalah larutan

NaOH, maka terjadi reaksi kimia secara langsung antara CO₂ dengan larutan NaOH. Pada proses ini, kondisi pada fasa gas serupa dengan absorpsi fisika, tetapi pada fasa cair, selain terdapat lapisan tipis cairan juga terdapat zona reaksi. Reaksi kimia terjadi adalah irreversible, dimana gas CO₂ pada fasa gas akan diabsorp oleh larutan NaOH pada fasa cair. Pada saat gas mendekati interfasa cair, gas CO₂ akan larut dan langsung bereaksi dengan larutan NaOH. Reaksi yang terjadi adalah :



3. *Microalgae Absorption*

Mikroalga sebagai tumbuhan mikroskopis bersel tunggal yang hidup di lingkungan yang mengandung air, tumbuh dan berkembang dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi dan nutrien anorganik sederhana seperti CO₂, komponen nitrogen terlarut dan fosfat. Kemampuan fitoplankton untuk berfotosintesis, seperti tumbuhan darat lainnya, dapat dimanfaatkan seoptimal mungkin untuk menyerap CO₂. Diketahui bahwa reaksi fotosintesis adalah sebagai berikut :



Berdasarkan persamaan reaksi tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa jumlah CO₂ yang dipakai oleh fitoplankton untuk fotosintesis adalah sebanding dengan jumlah materi organik C₆H₁₂O₆ yang dihasilkan. Alasan utama pemilihan fitoplankton sebagai biota yang dapat dimanfaatkan secara optimal untuk mengurangi emisi CO₂ adalah karena meskipun jumlah biomasa fitoplankton hanya 0,05 % biomassa tumbuhan darat namun jumlah karbon yang dapat digunakan dalam proses fotosintesis sama dengan jumlah C yang difiksasi oleh tumbuhan darat (~50-100 PgC/th) (Setiawan dkk, 2008).

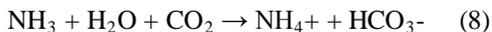
2.10 Tahapan *Anaerobic Digestion*

a. Hidrolisis

Pada tahapan hidrolisis, polimer organik kompleks (karbohidrat, lemak dan protein) dan molekul berantai panjang tersuspensi akan dihidrolisis oleh enzim ekstraseluler guna menghasilkan produk terlarut berukuran lebih kecil. Terpecahnya senyawa organik kompleks membuatnya dapat teradsorpsi secara langsung dan digunakan mikroorganisme sebagai substrat (Schuner and Jarvis, 2009). Dalam proses hidrolisis, peningkatan alkalinitas larutan dapat terjadi seiring dengan bertambahnya jumlah NH_3 terbentuk dalam hidrolisis protein dengan reaksi seperti tersaji dalam persamaan berikut :



Peningkatan produksi CO_2 selanjutnya akan membuat konsentrasi alkalinitas bikarbonat (HCO_3^-) menjadi lebih tinggi sehingga alkalinitas cairan dalam bioreaktor meningkat seperti terlihat di persamaan berikut :



Besar nilai laju hidrolisis akan tergantung kepada jenis dan konsentrasi substrat, pH dan temperatur (Gerber, 2008). Laju tahapan hidrolisis akan menjadi menurun pada operasi anaerobic digestion limbah berkadar organik tersuspensi tinggi (Aiyuk et al., 2006) atau yang mengandung selulosa (Alexiou, 1998). Hidrolisis enzimatik lignoselulosa (material yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin) bersifat tidak efektif karena lignoselulosa mempunyai tingkat kestabilan tinggi terhadap serangan enzimatik ataupun bakteri (Taherzadeh and Karimi, 2008). Keberadaan lignin (senyawa pengikat selulosa dan hemiselulosa) juga akan membuat lignoselulosa bersifat resisten terhadap degradasi biologi

dan kimia. Sedangkan hemiselulosa, senyawa yang mengelilingi serat selulosa, akan membuat selulosa tidak dapat diserang oleh enzim. Pretreatment berupa penambahan larutan basa dapat memecah ikatan ester antara lignin, selulosa dan hemiselulosa sehingga akan terjadi proses penghilangan lignin dan penurunan kadar hemiselulosa yang berakibat lanjut pada peningkatan biodegradabilitas limbah dan peningkatan aksesibilitas enzim terhadap selulosa (Tahezadeh and Karimi, 2008).

b. Asidogenesis

Asam amino, gula dan asam lemak yang dihasilkan proses hidrolisis selanjutnya difermentasi menjadi asam lemak volatil (asam asetat, asam propionat, asam butirat) (Anonymous, 2011). Konsentrasi total asam volatil terbentuk dapat meningkat dengan adanya kenaikan nilai pembebanan organik dan keberadaan toksik (Appels et al., 2008). Penurunan nilai pH dapat berlangsung cepat seiring terjadinya konversi senyawa organik menjadi asam lemak volatil (Mai, 2006). Penurunan pH berlanjut tidak diinginkan sebab dapat mengakibatkan terjadinya peningkatan terhadap kadar COD efluen dan HRT sistem anaerobic digestion diperlukan (Alkarimiah et al., 2011). Tingginya nilai alkalinitas cairan dalam sistem anaerobic digestion diperlukan untuk meningkatkan kemampuan netralisasi terhadap asam lemak volatil yang dihasilkan untuk mencegah terjadinya penurunan pH drastis yang dapat bersifat menghambat aktivitas methanogen (Hudson, 2010). Alkalinitas bikarbonat sebaiknya dijaga pada kisaran nilai 2,5-5 g/L (Alexiou, 1998). Konsentrasi alkalinitas dalam digester diketahui merupakan fungsi jumlah protein dalam substrat, laju pemecahan ammonia dan HRT. Jika alkalinitas tidak tersedia cukup dalam substrat, maka dapat dilakukan pengurangan laju pembebanan organik atau penambahan bahan kimia. Penambahan senyawa kimia seperti Ca(OH)_2 dan Na_2CO_3 dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai pH

dan alkalinitas larutan perlu dilakukan pada substrat dengan kadar alkalinitas di bawah 1000 mg/L CaCO₃ (Alexiou, 1998). Peningkatan nilai alkalinitas akan menghasilkan peningkatan laju metanogenesis yang selanjutnya berakibat pada perbaikan dalam reduksi COD (Foxon et al., 2006). Penghentian sementara aliran influen juga dapat dilakukan untuk menghambat produksi asam pada proses asidogenesis dan memberi kesempatan populasi methanogen menguraikan asam lemak volatil (Marchaim, 2009). Namun, jika penurunan pH sampai ke level 3,8, maka inhibisi bakteri penghasil H₂ tidak dapat di-recovery meskipun dilakukan pengurangan laju influen atau penambahan kapur (Li et al., 2007).

c. Asetogenesis

Tahapan ketiga dalam anaerobic digestion adalah asetogenesis, di mana asam lemak volatil selain CH₃COOH yang diproduksi asidogenesis dicerna lebih lanjut oleh bakteri asetogenik untuk memproduksi CH₃COOH, CO₂ dan H₂ (Appels et al., 2008). Bila gas H₂ dan CO₂ yang terbentuk besar, reduksi COD yang terjadi dapat mencapai nilai 10 % (Alexiou, 1998).

d. Metanogenesis

Produk asetogenesis selanjutnya diuraikan menjadi CH₄ dan CO₂ oleh methanogen melalui pemecahan CH₃COOH serta reaksi antara H₂ dan CO₂ (Appels et al., 2008). Peningkatan pH akan terjadi dalam tahapan metanogenesis. Penurunan COD terbesar akan dihasilkan dari proses konversi CH₃COOH menjadi CH₄ (Foxon et al., 2006) karena 70 % total CH₄ diproduksi dalam sistem anaerobic digestion dihasilkan oleh proses pemecahan CH₃COOH (Seghezzeo, 2004).

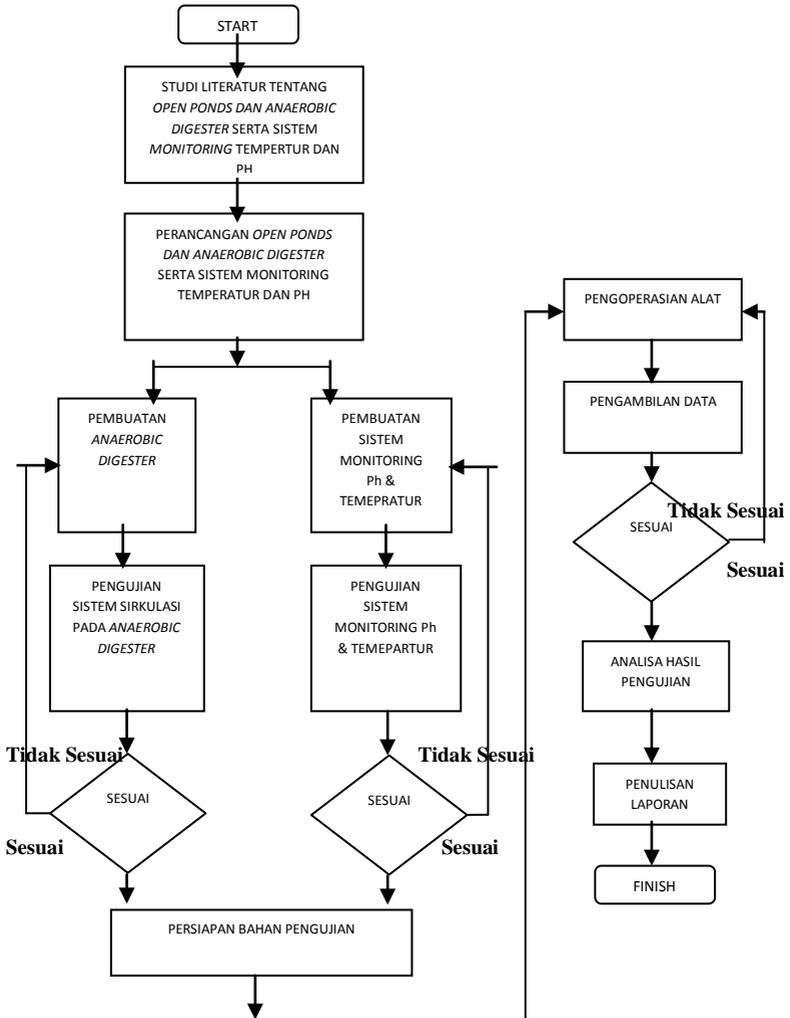
Bakteri methanogen merupakan grup bakteri yang bersifat paling sensitif terhadap oksigen dan pH. Oksigen terlarut berkadar 0,01 mg/l sudah dapat menghambat pertumbuhan bakteri methanogen (Marchaim, 1991). Penurunan laju pertumbuhan methanogen terjadi

signifikan pada kondisi di luar kisaran pH 6,5-8,2 (Hudson, 2010). Pada nilai pH di bawah 6, laju produksi CH_4 akan berlangsung sangat lambat (Zaher, 2005). Namun, konsentrasi NH_3 dapat menjadi semakin meningkat seiring naiknya nilai pH sehingga dapat menghambat aktivitas methanogen terutama yang berperan mengkonversi CH_3COOH menjadi CH_4 dan mengakibatkan kondisi dimana proses berjalan stabil namun dengan laju produksi CH_4 rendah (Seghezzo, 2004).

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini metodologi penelitian dijelaskan secara berurutan sebagai berikut.



3.1 Studi Literatur

Dalam studi literatur ini kegiatan yang dilakukan adalah mencari jurnal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Berikut merupakan beberapa jurnal yang digunakan untuk acuan dalam tugas akhir ini.

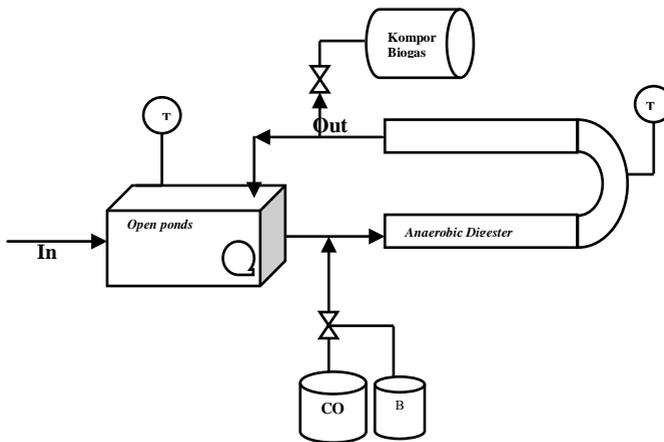
Tabel 3.1 Hasil Kegiatan Studi Literatur

No	Penulis Jurnal dan Judul	Resume Jurnal
1	Apt, J. and Behrens, K. (1999). Pigmentation of Microalgae for Photocynthesis.	Sebagai mikroorganisme yang melakukan <i>photosynthesis</i> , mikroalga membutuhkan sumber karbon yang tinggi dan menurut perhitungan 1 g mikroalga membutuhkan 1,8 gr CO ₂ , sehingga mikroorganisme ini mempunyai potensial yang besar untuk penyerap CO ₂ di biogas.
2	Bedell, G.W. (1984). Stimulation of Commercial Algal Biomass Production by the Use of Geothermal Water for Temperature Control. Biotechnology and Bioengineering. Volume (27)1063-1066.	Dalam setiap kasus, kinetika dan laju fiksasi karbon yang terbaik adalah dengan fotobioreaktor tabung vertikal. <i>Vertical tubular bioreactors</i> (VTPs) menunjukkan kinetika dan tingkat penyerapan CO ₂ yang lebih baik dari termostat untuk <i>Spirulina</i> sp., <i>Sc. Obliquus</i> dan <i>C. vulgaris</i> .
3	Michele Greque de Morais, Jorge Alberto Vieira Costa Biofixation of carbon dioxide by <i>Spirulina</i> sp. and <i>Scenedesmus obliquus</i> cultivated in a three-stage serial tubular photobioreactor	Untuk memperoleh hasil biogas yang tinggi kultivasi untuk mikroalga penting untuk diperhatikan. Salah satu contoh media kultivasi adalah dengan cara <i>open ponds</i> . <i>Open ponds</i> merupakan media kultivasi yang dapat dimasukkan ke dalam kolam dengan menggunakan air alam (danau, sungai, tambak).
4	Prof. N.J. Themelis “ <i>Anaerobic Digestion of Biodegradable Microorganics in Municipal Solid waste</i> ” Submitted in partial fulfillment of the requirements for Master of Science Degree in Earth Resources Engineering	Biogas merupakan sebuah gas yang dibuat melalui proses biologis dari material organik dengan bantuan suatu bakteri. Proses degradasi material organik ini dilakukan tanpa melibatkan oksigen atau yang disebut dengan <i>anaerobic digestion</i> dengan gas yang dihasilkan sebagian besar (lebih 50%) berupa metana (CH ₄) sedangkan sisanya berupa gas CO ₂ , H ₂ S dan beberapa <i>trace element</i> .

3.2 Perancangan *Open Ponds*, *Anaerobic Digester* dan Sistem *Monitoring Temperatur* serta *Ph*

Sebelum melakukan perancangan dibuat sebuah desain untuk sistem gabungan antara *open ponds* dan *anaerobic digester* yang disertai dengan kondisi operasional yang diinginkan. Selain itu juga dilakukan perncangan untuk sistem monitoring temperatur dan pH.

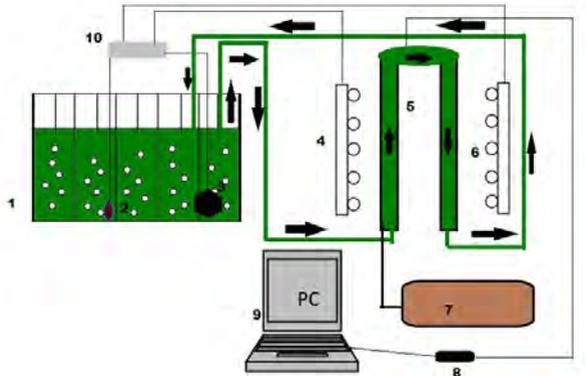
- a) **Perancangan *Open Ponds* dan *Anaerobic Digester***
Berikut merupakan proses yang diinginkan.



Gambar 3.1 Desain proses pada sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester*

Desain tersebut bertujuan untuk merancang kondisi operasional yang diinginkan. Di dalam desain tersebut mula-mula *input* berupa *mikroalga Spirulina, sp* masuk kedalam *open ponds* yang telah diisi air alam berupa air tambak sebanyak 700ml. Di dalam *open ponds* terdapat pompa dan proses aerasi serta sebuah *monitoring* temperatur yang menggunakan sensor LM35. Pompa tersebut digunakan untuk memompa *mikroalga* dari *open ponds* ke dalam *anaerobic digester*. *Mikroalga* yang akan masuk ke dalam *anaerobic digester* juga mendapatkan

input berupa CO₂ dan biostarter. Masuk ke dalam *anaerobic digester*, *mikroalga* akan diukur kembali temperaturnya sehingga diberikan sebuah LM35 didalam lengkungan *anaerobic digester*. Kemudian *output* dari *mikroalga* akan terbagi menjadi dua, yang pertama untuk hari ke-1 hingga hari ke-12 *mikroalga* akan kembali kedalam *open ponds* sedangkan *output* setelah 12 hari *mikroalga* masuk ke dalam kompor biogas. Setelah mendapatkan desain tersebut kemudian membuat desain perancangan untuk sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester*. Berikut merupakan desain perancangan sistem tersebut.



Gambar 3.2 Desain rancangan sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester* beserta alur fluida dan sistem monitoring

Keterangan :

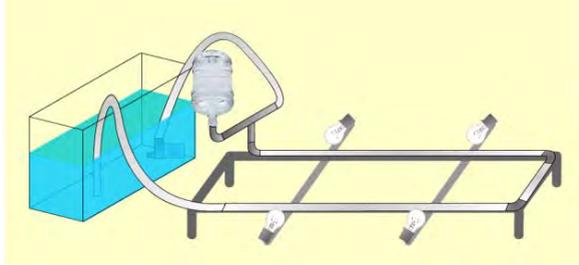
Tabel 3.2 Keterangan Desain

No	Keterangan
1	Aquarium
2	Batu Aerasi
3	Pompa
4	Lampu TL 20 watt
5	Turbular Coloum
6	Lampu TL 20 watt
7	Tabung CO ₂ dan biostarter

Tabel Lanjutan

8	Mikrokontroler
9	PC
10	Sumber Daya

Rancangan tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran secara jelas tentang desain proses yang telah dibuat. Di dalam desain proses telah dijelaskan bagaimana kondisi operasional, kemudian di dalam desain rancangan tersebut juga telah digambarkan alur dari *mikroalga* serta *equipment* yang ada didalam sistem tersebut. *Equipment* yang ada didalam rancangan tersebut berupa aquarium, batu aerasi, pompa aquarium, lampu TL 20watt sebanyak 4 buah, *turbular coloum* yang terbuat dari 2buah tabung pipa kaca berbentuk tabung yang digabungkan sehingga membentuk huruf U, tabung CO₂ dan biostarter, mikrokontroler arduino uno, *personal computer*, serta sumber listrik. Aquarium berfungsi sebagai *open ponds* tempat dimana *mikroalga* di-kultivasi. Batu aerasi dan pompa aquarium berfungsi sebagai proses sirkulasi didalam *open ponds* dan mengalirkan *mikroalga* kedalam *anaerobic digester*. Tabung CO₂ dan tabung biostarter berfungsi sebagai tempat CO₂ dan biostarter yang nantinya diberikan sebagai *nutrient* kepada *mikroalga* dengan volume yang bervariasi yaitu 10%, 30% dan 50%. Mikrokontroler arduino uno digunakan untuk sistem monitoring yang menggunakan LM35 untuk *monitoring* temperatur ruang, *open ponds* dan *anaerobic digester* yang kemudian tersambung dengan *personal computer* sebagai *interface*. Lampu TL 20watt sebanyak 4 buah digunakan untuk membantu *mikroalga* dalam melakukan fotosintesis. Setelah mendapatkan desain proses dan desain perancangan untuk mendapatkan kondisi operasional yang diinginkan maka desain tersebut dibuat dalam bentuk *virtual*. Berikut merupakan virtualisasi dari sistem gabungan OP dan AD.

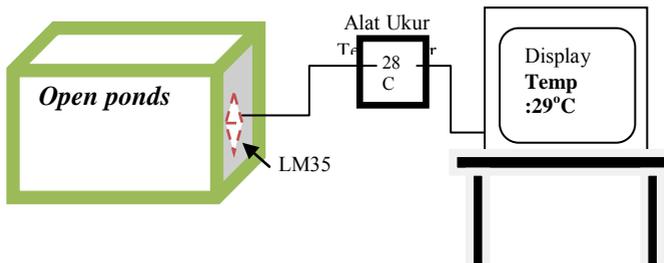


Gambar 3.3 Gambar virtual *anaerobic digester*

Sistem gabungan tersebut dirancang pada tanggal 1 April 2014 di ruang laboratorium rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Teknik Fisika ITS. Perancangan sistem gabungan tersebut membutuhkan waktu selama 2 minggu atau 14 hari.

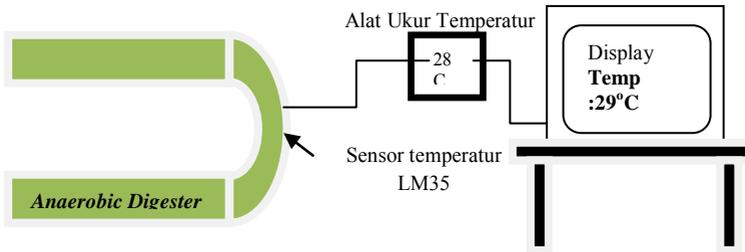
b) Perancangan Sistem Monitoring Temperatur dan pH

Berikut merupakan sistem monitoring temperatur yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.



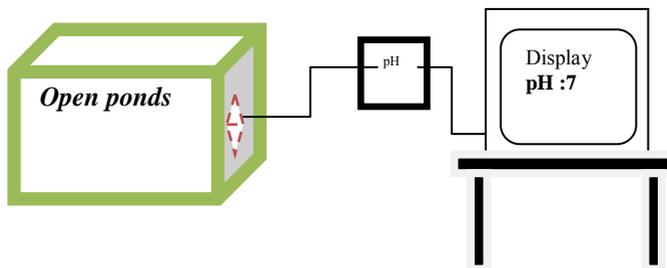
Gambar 3.4 Rancangan Sistem *Monitoring* Temperatur pada *Open Ponds*

Rancangan tersebut digunakan untuk *me-monitoring* temperatur pada *open ponds*. Sedangkan rancangan yang digunakan untuk *me-monitoring* pada *anaerobic digester* adalah sebagai berikut.



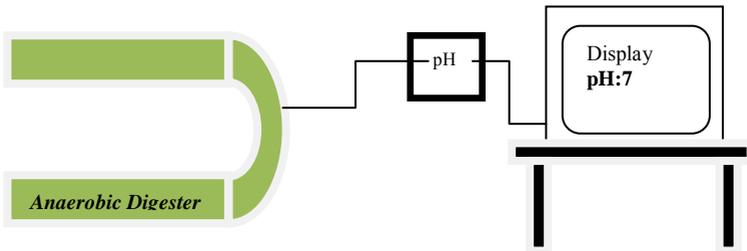
Gambar 3.5 Rancangan Sistem *Monitoring* Temperatur pada *Anaerobic Digester*

Pada rancangan sistem *monitoring* temperatur ini dirancang menggunakan temperatur meter yang memiliki sensor dengan kabel panjang sehingga sensor diletakkan didalam *open ponds* dan unit temperatur meter tetap berada di luar *open ponds*. Untuk sistem *monitoring* pH pada unit *anaerobic digester* berikut merupakan rancangan sistem *monitoring* pH yang digunakan.



Gambar 3.6 Rancangan Sistem *Monitoring* pH pada *Open Ponds*

Rancangan tersebut digunakan untuk me-*monitoring* pH pada *open ponds*. Sedangkan rancangan yang digunakan untuk me-*monitoring* pada *anaerobic digester* adalah sebagai berikut.



Gambar 3.7 Rancangan Sistem *Monitoring* pH pada *Anaerobic Digester*

Dalam rancangan sistem *monitoring* pH tersebut digunakan *record* data secara manual yaitu dengan mencatat setiap nilai pH yang terukur selama pengambilan data.

3.3 Pembuatan *Open Ponds*, *Anaerobic Digester* dan Sistem *Monitoring* Temperatur serta Ph

Dari desain tersebut kemudian dibuat menjadi rancang bangun. Berikut merupakan langkah penyusunan sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester*:

a) Perhitungan dan pembuatan *Open Ponds*

Open ponds berupa kolam terbuka yang menggunakan air alam berupa air sungai, tambak, atau laut. Dalam hal ini yang digunakan adalah sebuah *aquarium* dengan dimensi ukuran sebagai berikut p x l x t sebesar 38x28,5x54 (cm³).



Gambar 3.8 *Aquarium* yang digunakan untuk *open ponds*

Open ponds tersebut berfungsi sebagai media kultivasi untuk mikroalga yang menggunakan air alam berupa air tambak. *Open ponds* tersebut apat menampung volume sebanyak 58,428 liter.

b) Perhitungan dan pembuatan *Anaerobic Digester*

Anaerobic digester yang digunakan berbentuk *turbular coloum* yang terbuat dari pipa kaca yang dibentuk seperti huruf U dengan ukuran dimensi yang berdiameter 2,4 cm panjang 150 cm serta ketebalan 0,5 mm. Mula-mula pipa kaca berbentuk tabung kemudian dibuat menjadi bentuk U dengan disambung memakai selang $\frac{1}{2}$ dim dan sambungan pipa yang kemudian digabungkan dengan *open ponds* memakai selang benang berukuran $\frac{1}{2}$ dim.

c) Pembuatan sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester*

Setelah *open ponds* dan *anaerobic digester* dibuat maka pembuatan sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester* dilakukan. Berikut merupakan langkah-langkah dalam membuat sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester*.

1. Melekatkan pipa sambungan dengan diameter $\frac{3}{4}$ inch pada salah satu ujung pada kedua tabung pipa kaca. Untuk merekatkan sambungan pipa dibutuhkan perekat yaitu digunakan lem PVC. Sambungan ini bertujuan untuk membentuk *turbular coloum* sehingga berbentuk seperti huruf U.
2. Menyambung kedua tabung pipa kaca yang telah direkatkan dengan sambungan pipa dengan menggunakan selang benang dengan ukuran 1 inch. Memastikan sambungan tersebut seimbang dan merekat sehingga aliran fluida tidak mengalami kebocoran. Ikat kedua sambungan dengan menggunakan kabel tis.

3. Melekatkan selang sebagai sirkulasi untuk aerasi dan pompa aquarium kedalam aquarium yang berfungsi sebagai *open ponds*. Melekatkan pompa dan batu aerasi cukup dengan menempelkan pada bagian samping bidang awuarium.
4. Membuat penyangga untuk *turbular coloum* dengan menggunakan besi siku yang dibentuk seperti meja. Kaki meja berukuran 75 cm dari atas tanah. Panjang meja berukuran 2 m, sehingga nantinya *turbular coloum* dapat diletakkan penuh diatas penyangga.
5. Membuat rangkaian listrik paralel untuk 4 buah lampu TL dengan daya masing-masing 20 watt. Melekatkan rangkaian tersebut pada meja penyangga, sehingga ketika sistem beroperasi ke 4 buah lampu sudah melekat pada *turbular coloum*. Memastikan bahwa sumber daya listrik yang digunakan cukup untuk menyalakan ke 4 buah lampu TL. Kemudian merangkainya menjadi rangkaian seri dengan pompa aquarium dan aerasi.
6. Meletakkan *turbular coloum* yang telah dibuat dan berfungsi sebagai *anaerobic digester* pada penyangga yang telah dibuat dari besi siku dan berbentuk meja. Untuk menjaga agar *turbular coloum* tidak jatuh maka rekatkan dengan meja besi siku dengan menggunakan kabel tis. Mengikat kabel tis pada setiap sisi *turbular coloum* dengan salah satu lubang besi siku.
7. Memotong selang benang yang mempunyai diameter 1 inchi sepanjang 50cm, kemudian menyambung dengan salah satu ujung tabung pipa kaca atau *anaerobic digester*. Masukkan ujung selang yang satu ke dalam *open ponds*. Untuk merekatkan selang benag dengan salah satu ujung tabung pipa kaca maka digunakan lem PVC dan selotip pipa agar selang benang merekat dengan kuat dan tidak terjadi kebocoran pada saat beroperasi.
8. Menyambung batu aerasi dengan selang transparan berdiameter 1cm dengan panjang 3m. Sedangkan ujung

yang lain tersambung kedalam sirkulasi aerasi yang telah siap digunakan.

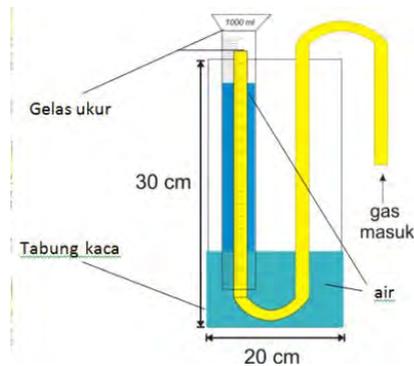
9. Membuat tempat untuk biostarter atau tabung biostarter. Tabung tersebut dibuat dari pipa PVC dengan diameter 15cm dan panjang 30cm. Kemudian tutup kedua ujung pipa menggunakan kaca yang telah dipotong sesuai dengan dimensi permukaan ujung pipa. Rekatkan dengan menggunakan lem kaca, kemudian uji kebocoran dengan cara mengisi air melalui ujung tabung yang belum ditutup dengan menggunakan kaca. Setelah diuji kemudian melubangi kaca yang satu dengan dua buah lubang. Lubang yang pertama berdiameter 4cm sedangkan lubang yang kedua berdiameter 1cm.
10. Merangkai semua unit yang telah dibuat dari langkah 1 hingga langkah 9. Dalam merangkai sistem gabungan tersebut perlu diperhatikan peletakkan secara permanen untuk sistem karena *anaerobic digester* sangat mudah pecah dan lepas dari sambungan selang benang menuju *open ponds*.
11. Meletakkan sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester* pada tempat yang aman dan mudah untuk menjangkau sumber listrik.
12. Memastikan bahwa dalam sirkulasi sistem gabungan tersebut tidak terjadi kebocoran pada setiap sambungan unit dan keberfungsian unit elektrikalnya.

Berikut merupakan hasil gabungan antara *open ponds* dan *anaerobic digester*.



Gambar 3.9 Hasil gabungan antara *open ponds* dan *anaerobic digester*

Anaerobic digester tersebut berfungsi sebagai tempat *mikroalga* setelah mengalami proses kultivasi pada *open ponds*. Di dalam *anaerobic digester* ini *mikroalga* akan mendapatkan intensitas cahaya yang membantu untuk proses fotosintesis dari lampu TL yang terpasang disamping kedua sisi *anaerobic digester* dengan jarak yang sama. Kemudian juga dibuat sebuah gas kolektor. Gas kolektor berfungsi sebagai tempat pengumpulan hasil dari volume biogas yang didapatkan selama proses operasi sistem gabungan berlangsung. Gas kolektor akan digunakan pada saat sistem gabungan tersebut menghasilkan volume biogas sehingga volume tersebut dapat diukur. Selain itu gas kolektor dapat digunakan untuk menggunakan biogas yang telah terbentuk. Berikut merupakan desain rancangan untuk gas kolektor yang ingin digunakan pada penelitian tugas akhir mengenai sistem gabungan *open ponds* dan *anaerob digester* ini.



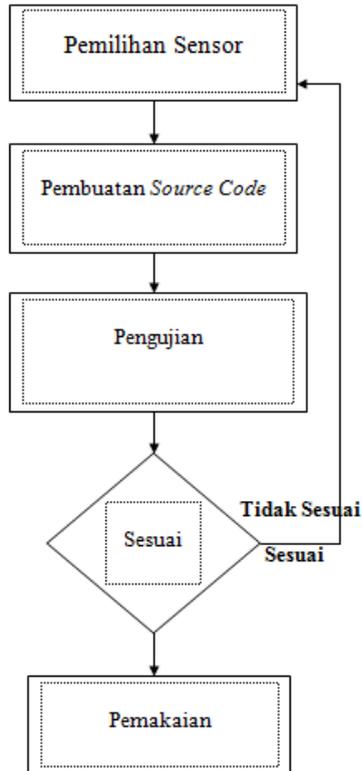
Gambar 3.10 Desain rancangan gas kolektor

Gas kolektor terdiri dari ruang utama dan ruang gelas ukur sebagai pengukur volume biogas. Ruang utama terbuat dari tabung kaca dengan diameter 20cm dan tinggi 30cm. Didalamnya terdapat gelas ukur yang melapisi selang transparan. Selang tersebut merupakan jalur gas masuk.

a) Pembuatan sistem *monitoring* temperatur dan Ph

Sistem monitoring yang digunakan untuk mengukur suhu dan Ph merupakan sistem monitoring yang menggunakan *mikrokontroler* arduino uno dengan sensor LM35 untuk suhu sedangkan untuk mengukur Ph digunakan Ph meter atau Lutron. Pengukuran temperatur dilakukan pada *open ponds* dan *anaerobic digester* selama 48 hari. Untuk pengukuran Ph dilakukan dengan cara mengambil sampel pada *open ponds* dan *anaerobic digester*. Untuk pengukuran temperatur menggunakan *interface* pada *personal computer* yang telah tersambung dengan *mikrokontroler*. *Mikrokontroler* dirangkai menggunakan *breadboard* dan kabel *jumper* serta lem PVC untuk menyelubungi sensor LM35 sehingga dapat mengukur temperatur didalam cairan. Kedua sistem *monitoring* ini nantinya akan dilakukan validasi sebelum digunakan pada

sistem yang beroperasi. Berikut merupakan alur pembuatan sistem monitoring temperatur



Setelah mendapatkan alur pembuatan sistem *monitoring* maka dilakukan pengujian dengan cara pengambilan data dengan contoh pada kondisi temperatur ruang. Rangkaian sistem monitoring tersebut menggunakan *sourcecode* untuk arduino uno sebagai berikut:



```

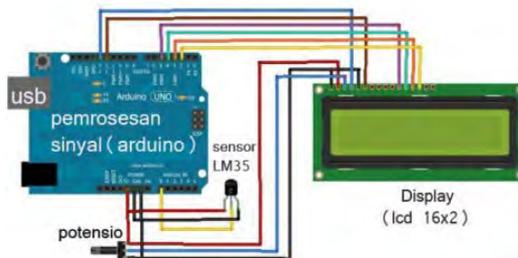
LM35TempLogger | Arduino 0018
File Edit Sketch Tools Help
LM35TempLogger
// LM35 Temperature data logger
// Teknik Elektro Linka - http://teknike.mot@press.com
int DATA_ADC = 0;
int Suhu = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  if (Serial.available()) {
    Serial.read();
    DATA_ADC = analogRead(0);
    Suhu = map(DATA_ADC, 0, 1023, 0, 500);
    Serial.println(Suhu);
  }
}
Done uploading
Binary sketch size: 2442 bytes (of a 31460 byte maximum)
  
```

Gambar 3.11 *Source code* pada arduino uno untuk sensor LM35, pengukuran temperatur

Setelah *source code* dimasukkan kedalam *software* arduino kemudian rangkaian arduino dan LM35 dibuat, dimana dalam pembuatan rangkaian tersebut adalah mengikuti desain sebagai berikut:



Gambar 3.12 Rangkaian untuk sistem *monitoring* pada mikrokontroler arduino uno yang tersambung dengan sensor suhu LM35 dan potensiometer

Berikut merupakan langkah untuk membuat sistem *monitoring* temperatur tersebut:

1. Memastikan letak sensor LM35 dan potensio meter pada sambungan arduino uno dengan melihat desain rangkaian.

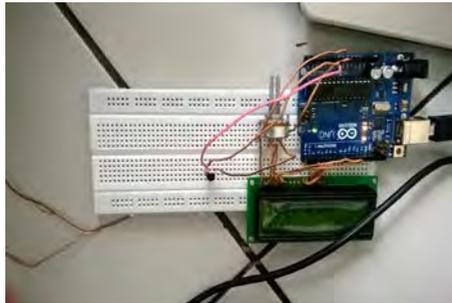
2. Merangkai mikrokontroler arduino uno dengan sensor LM35 beserta potensiometer. Rangkaian tersebut disambung dengan menggunakan kabel *jumper*.

3. Membuka *sourcecode* yang telah dibuat pada *software* arduino dan mencari *serial port* yang akan digunakan pada USB mikrokontroler.

4. Memastikan bahwa antara *serial port* dan USB mikrokontroler arduino uno cocok dan dapat tersambung.

5. Melapisi sensor LM35 dengan *gluegun* atau lem tembak agar sensor dapat dimasukkan ke dalam fluida dan dapat mengukur temperatur didalam unit *open ponds* dan *anaerobic digester*.

Berikut merupakan rangkaian arduino uno dalam bentuk *hardware*:



Gambar 3.13 Rangkaian *hardware* arduino dan sensor LM35 beserta potensiometer

Rangkaian *hardware* untuk sistem monitoring tersebut tersusun dari papan *breadboard*, kabel *jumper*, LM35, dan LCD. Sedangkan untuk mengukur Ph digunakan Ph meter dan kertas Ph. Dalam mengukur Ph nantinya akan diambil

sampel dari *open ponds* dan *anaerobic digester*. Untuk membuat sistem tersebut maka dibutuhkan langkah-langkah sebagai berikut:

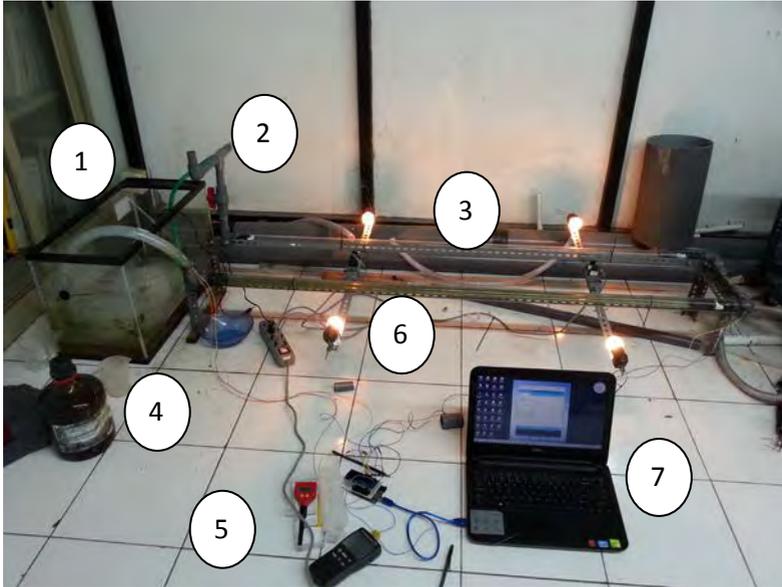
1. Mendownload *source code* untuk arduino uno yang tersambung dengan *serial port*. *Source code* tersebut kemudian disimpan pada sebuah file di *personal computer*.
2. Merangkai rangkaian *monitoring* temperatur pada *breadboard* atau PCB sesuai dengan rangkaian pada *data sheet* untuk LM35.
3. Mencari *serial port* yang cocok dengan USB pada *personal computer*.
4. Membuka *source code* dengan *software* arduino uno dengan kondisi rangkaian telah terpasang pada *serial port* komputer.
5. Menjalankan pengukuran temperatur dengan *interface* untuk *record* data pada *personal computer*.

Sedangkan untuk pengukuran Ph menggunakan pHmeter yang tersedia pada laboratorium pengukuran fisi Teknik Fisika ITS. Berikut merupakan peralatan yang digunakan dalam mengukur Ph.



Gambar 3.14 Perlengkapan untuk *monitoring* Ph

Dalam pengambilan data untuk Ph akan diukur menggunakan pH meter. Berikut merupakan hasil dari perancangan dan pembuatan sistem gabungan OP dan AD



Gambar 3.15 Sistem gabungan *open ponds* dan *anaerobic digester* yang disertai dengan sistem *monitoring* temperatur dan pH

1. *Open ponds* yang dilengkapi dengan sistem aerasi dan pmpa yang berfungsi untuk memompa bahan baku dari OP menuju kedalam AD.
2. Pipa *inlet* yang digunakan untuk menambahkan CO₂ dan biostarter.
3. Pipa kaca sebagai bagian dari AD yang berfungsi sebagai *digester* yang bersifat *anaerobic*.
4. Tempat biostarter untuk penampungan setelah dilakukan penyaringan dan sebelum ditambahkan kedalam sistem.
5. Rangkaian sistem *monitoring* temperatur dan pH.

6. Lampu TL yang berfungsi untuk membantu melakukan fotosintesis.
7. Personal *computer* yang digunakan untuk melakukan *record* data selama penelitian berlangsung.

3.4 Pengujian Sirkulasi

Setelah pembuatan sistem gabungan maka dilakukan pengujian sirkulasi. Pengujian dilakukan pada *open ponds* dan *anaerobic digester*. Pada *open ponds* pengujian dilakukan pada pompa dan aerasi. Sedangkan pada *anaerobic digester* pengujian perlu dilakukan untuk memastikan bahwa *anaerobic digester* yang telah dibuat menghasilkan sirkulasi yang baik dan tidak terjadi kebocoran dalam *digester*. Pengujian ini dilakukan dengan cara memompa air kedalam ujung *digester* yang satu sehingga akan keluar di ujung satu lainnya. Selain itu dalam pengujian juga dilakukan pengukuran intensitas cahaya dari ke-4 buah lampu yang terpasang disamping *anaerobic digester*. Pengujian sirkulasi dilakukan selama 3 hari, dengan dilakukan pula analisa dari sistem tersebut.



Gambar 3.16 Pengujian sistem di malam hari

Pada **gambar 3.16** menunjukkan bagaimana sistem diuji pada untuk sirkulasi di malam hari. Hasil dari pengujian sistem untuk sirkulasi di malam hari menunjukkan bahwa sistem berjalan dengan kondisi baik. Kondisi tersebut berdasarkan indikator untuk temperatur sistem antara *open ponds* dan *anaerobic*

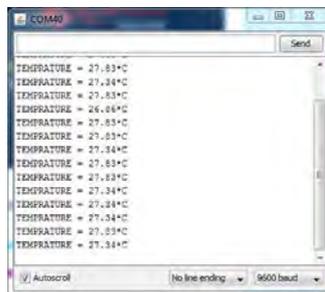
digester mempunyai nilai range sebesar 28°C - 30°C dengan perubahan temperatur rata-rata sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$. Untuk pengujian sistem di siang hari berikut merupakan hasilnya



Gambar 3.17 Pengujian sistem di siang hari

3.5 Pengujian Sistem Monitoring Temperatur dan Ph

Pengujian sistem monitoring temperatur dan Ph ini dilakukan agar nantinya pada saat *running* sistem *monitoring* yang digunakan dapat membaca dengan tepat nilai indikator temperatur dan Ph. Pengujian dilakukan dengan cara menguji sensor pada ruangan dengan suhu tertentu. Pengujian sistem *monitoring* dilakukan pada tanggal 10 April 2014 pada pukul 09.00, 12.00, 20.00 dan pukul 24.00 WIB.



Gambar 3.18 Hasil pengujian sistem *monitoring* temperatur dengan *interface* pada *personal computer*

Gambar diatas merupakan hasil dari pengujian sistem *monitoring* yang ditampilkan melalui *interface* langsung dari *personal computer*. Sedangkan pengujian dengan rangkaian *hardware* arduino menghasilkan nilai yang sama.



Gambar 3.19 Hasil pengujian sistem *monitoring* temperatur pada rangkaian *hardware*

3.6 Persiapan Bahan Uji

Persiapan bahan uji meliputi pembudidayaan *spirulina*.,*sp* dan pembuatan biostarter. Berikut merupakan alat dan bahan serta langkah dalam pembudidayaan *spirulina*.,*sp*.

1. Menyiapkan inokulan dari *spirulina*.,*sp* sebesar 500 gram.
2. Membuat tempat pertumbuhan yang disertai dengan sistem aerasi.
3. Memanaskan inokulan. Selama proses pemanasan harus diaduk terus menerus untuk mencegah terjadinya kerak atau penggumpalan. Setelah pemanasan selesai, larutan agar-agar tersebut kemudia diangkat dan ditunggu sampai agak dingin baru dilakukan pemupukan dengan menggunakan pupuk Allen Miquel (untuk skala laboratorium) dengan komposisi KNO_3 20,2 gr, Akuades 100 gr, sedangkan untuk skala massal ukuran 1-4 ton digunakan pupuk teknis yang terdiri dari: KNO_3 100 gr/ton, FeCl_3 3 gr/ton, dan $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ 10 gr/ton dan sesuai dengan takaran. Larutan agar-agar yang telah

dipupuk disterilisasi dengan autoclave (121°C , 15 menit) atau pengukusan sekitar 30 menit. Bahan-bahan pengkaya yang tidak tahan panas harus disterilkan secara terpisah. Angkat dan biarkan agak dingin, sekitar 50°C . Selanjutnya dituangkan kedalam cawan petri yang sudah steril dengan tebal kurang lebih 3 mm atau kedalam tabung reaksi yang sudah steril dalam posisi miring. Agar miring pada tabung reaksi tersebut biasa digunakan untuk penyimpanan isolat. Selanjutnya dituang hingga membeku.

4. Setelah media agar membeku, kemudian ditulari bibit *Spirulina sp* yang berasal dari air sampel dengan cara goresan menggunakan ose yang telah dibakar dengan pembakar spritus. Bibit digoreskan dalam media agar-agar pada cawan petri dengan pola zig-zag. Untuk mencegah kontaminasi oleh mikroorganisme lain maka cawan petri ditutup atau disegel dengan isolasi.
5. Untuk penumbuhan, cawan petri atau tabung reaksi tersebut diletakkan pada rak kultur serta disinari dengan dua buah lampu TL 40 watt secara terus menerus. Cawan petri diletakkan dalam posisi terbalik. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya proses pengeringan akibat penyinaran dengan lampu TL secara terus menerus atau terjadinya penetasan embun dari bagian tutup cawan petri ke media agar-agar.
6. Setelah beberapa hari inokulum akan tampak tumbuh pada goresan media agar-agar, tetapi masih dicampur dengan phytoplankton jenis lain, kemudian dilakukan penggoresan berulang-ulang pada media agar-agar yang sama sampai diperoleh bibit yang benar-benar murni. Isolate yang diinkubasi dalam ruangan ber AC untuk menjaga kestabilan suhu $25-27^{\circ}\text{C}$.

7. Hasil kultur murni dari media agar-agar dikembangkan pada media cair dalam tabung reaksi dengan volume media kultur 10 ml. bibit diambil dengan jarum ose yang steril kemudia dipindah ke tabung rekasi decara aseptis. Sebelumnya *Spirulina sp* yang tumbuh pada permukaan agar-agar diperiksa lebih dahulu dengan cara memindahkan phytoplankton pada gelas objek yang telah diberi media kultur 1 tetes. Selanjutnya dilakukan pengamatan dibawah mikroskop. Penghitungan kepadatan plankton digunakan sebagai salah atu ukuran mengetahui pertumbuhan phytoplankton, mengetahui kepadatan bibit, kepadatan pada awal kultur, dan kepadatan pada saat panen. Kepadatan phytoplankton dapat dihitung dengan menggunakan Hemacytometer.
8. Hemacytometer banyak digunakan untuk menghitung sel-sel darah. Untuk dapat mempergunakan alat-alat ini perlu alat yang lain yaitu mikroskop dan pipet tetes. Untuk memudahkan penghitungan phytoplankton yang diamati biasanya menggunakan alat bantu hand counter.
9. Hemacytometer merupakan suatu alat yang terbuat dari gelas yang dibagi menjadi kotak-kotak pada dua tempat bidang pandang. Kotak tersebut berbentuk bujur sangkar dengan sisi 1 mm, sehingga apabila ditutup dengan gelas penutup volume ruangan yang terdapat diatas bidang bergaris adalah 0,1 mm atau 10^{-4} ml. Kotak bujur sangkar yang mempunyai sisi 1 mm tersebut dibagi lagi menjadi 25 buah kotak bujur sangkar, yang masing-masing dibagi lagi menjadi 16 kotak bujur sangkar kecil.
10. Cara penghitungan kepadatan phytoplankton dengan Hemacytometer adalah sebagai berikut: Hemacytometer dibersihkan dan dikeringkan terlebih dahulu dengan tissue. Kemudian gelas penutupnya dipasang.

Phytoplankton yang akan dihitung kepadatannya diteteskan dengan menggunakan pipet tetes pada bagian parit yang melintang hingga penuh. Penetesan harus hati-hati agar tidak terjadi gelembung udara dibawah gelas penutup. Selanjutnya Hemacytometer tersebut diamati dibawah mikroskop dengan pembesaran 100 atau 400 kali dan dicari bidang yang berkotak-kotak. Untuk mengetahui kepadatan phytoplankton dengan cara menghitung phytoplankton yang terdapat pada kotak bujur sangkar yang mempunyai sisi 1 mm. apabila jumlah phytoplankton yang didapat adalah N, maka kepadatan phytoplankton adalah $N \times 10^4$ sel/ml.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan tentang data yang sudah diambil dan akan diolah dengan perhitungan analisa sehingga dapat diketahui untuk keadaan optimalnya.

4.1 Validasi Alat Ukur

Pada penelitian dalam tugas akhir ini digunakan beberapa alat ukur yaitu alat ukur temperatur yang menggunakan sensor LM35 dan pH meter sebagai alat ukur pH. Untuk mendapatkan hasil ukur yang akurat maka dilakukan validasi alat ukur terlebih dahulu.

4.1.1 Validasi Alat Ukur pH



Gambar 4.1 Validasi alat ukur pH

Validasi alat ukur pH dilakukan dengan menggunakan larutan penyangga 4, 7, dan 10. Dari hasil validasi yang dilakukan didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Validasi Alat Ukur pH

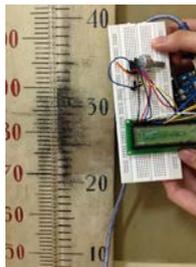
Skala Nominal	Pembacaan Alat	Pembacaan Standart	Koreksi
4	3,99	4	0,01
	3,99	4	0,01
	3,99	4	0,01
	3,98	4	0,02
	3,99	4	0,01

Tabel 4.1 Lanjutan

Skala Nominal	Pembacaan Alat	Pembacaan Standart	Koreksi
7	6,99	7	0,01
	6,98	7	0,02
	6,99	7	0,01
	6,99	7	0,01
	6,99	7	0,01
Skala Nominal	Pembacaan Alat	Pembacaan Standart	Koreksi
10	9,99	10	0,01
	9,99	10	0,01
	9,98	10	0,02
	9,98	10	0,02
	9,99	10	0,01

Pada **tabel 4.1** untuk pembacaan pH 4, 7 dan 10 didapatkan nilai koreksi rata-rata sebesar 0,02. Nilai koreksi tersebut akan ditambahkan pada data pengukuran pH rata-rata harian.

4.1.2 Validasi Alat Ukur Temperatur



Gambar 4.2 Validasi alat ukur temperatur

Gambar 4.2 merupakan ilustrasi dari cara validasi alat ukur temperatur pada sistem *monitoring* temperatur yaitu dengan membandingkan antara alat ukur yang akan diuji (kiri) dengan alat ukur standar (kanan). Berdasarkan validasi yang dilakukan didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.2 Validasi Alat Ukur Temperatur

Suhu Nominal	Pembacaan Alat	Pembacaan Standart	Koreksi
27	27,4	27,2	0,2
	27,4	27,2	0,2
	27,4	27,2	0,2
	27,4	27,2	0,2
	27,4	27,2	0,2

Tabel 4.2 merupakan tabel hasil uji validasi dari alat ukur temperatur. Pada alat ukur tersebut dilakukan pengukuran temperatur hingga lima kali dan didapatkan nilai koreksi rata-rata yaitu 0,2 sehingga nilai tersebut akan ditambahkan dengan nilai pengukuran temperatur rata-rata.

4.2 Kondisi Sistem Gabungan

Dalam analisa data untuk tugas akhir ini dilakukan pengukuran pada OP dan AD setelah pengujian terhadap alat ukur selesai, dan juga pengukuran laju pertumbuhan *mikroalga* melalui uji laboratorium. Tujuan dari pengukuran adalah untuk mengetahui kondisi pH, temperatur, dan volume dari *OP* dan *anaerob digester*, serta laju pertumbuhan alga. Terdapat dua kondisi yang diamati saat penelitian ini yaitu kondisi awal dan kondisi saat beroperasi sehingga diketahui perubahan saat awal proses sirkulasi pertama hingga penambahan nutrisi yang berupa CO₂ dan biostarter. Sedangkan uji laboratorium digunakan untuk mengetahui laju pertumbuhan *mikroalga* dan COD serta CO₂ terlarut. Sedangkan untuk variasi pemberian nutrisi yang berupa pemberian nutrisi berupa CO₂ dan biostarter untuk sistem gabungan ini diberikan 4 variasi, yaitu tanpa penambahan nutrisi, penambahan nutrisi dengan komposisi CO₂ 10% dan biostarter 0,75Kg, penambahan nutrisi dengan komposisi CO₂ 30% dan biostarter 1Kg, penambahan nutrisi dengan komposisi CO₂ 50% dan biostarter 0,75Kg. Dalam setiap pemberian nutrisi sirkulasi atau operasional dari sistem berlangsung selama 12 hari.

4.2.1 Kondisi Awal Sistem Gabungan

Pada kondisi awal beroperasi yaitu pada kondisi *mikroalga* dimasukkan kedalam OP dan dipompa kedalam AD untuk sirkulasi pertama, dilakukan pengukuran pada OP dan AD serta ruangan. Berikut merupakan kondisi awal dari sistem.

Tabel 4.3 Kondisi Awal Sistem

Parameter	Nilai
Volume <i>Spirulina</i> ., <i>sp</i>	1 Liter
Volume Air Alam	7 Liter
Temperatur <i>OP</i>	28,9°C
Temperatur <i>AD</i>	29,1°C
Temperatur Ruang	28,5°C
Ph	7,14
Laju Pertumbuhan <i>Mikroalga</i>	0 μ sel/hari

Berdasarkan tabel tersebut dapat kita ketahui bahwa kondisi awal pada sistem gabungan adalah pada pH 7,14, kondisi tersebut merupakan kondisi yang dapat diterima untuk produksi biogas karena kondisi ideal untuk produksi biogas adalah dengan pH 7 (riza, 2012). Untuk temperatur pada OP sebesar 28,9°C dan temperatur pada AD sebesar 29,1°C sedangkan kondisi ruangan dengan temperatur 28,5°C. Kondisi temperatur tersebut merupakan kondisi yang bisa diterima untuk produksi biogas, dimana kondisi ideal adalah pada temperatur 30°C. Untuk laju pertumbuhan *mikroalga* yaitu 0 μ sel/hari sebelum mengalami penambahan nutrisi berupa CO₂ dan biostarter.

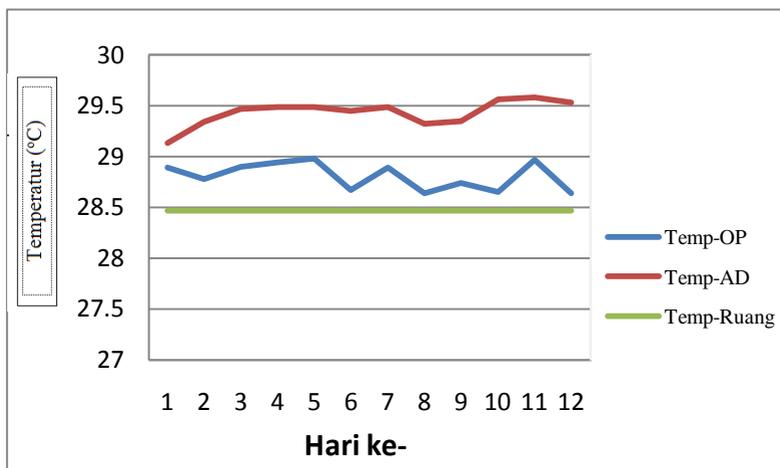
4.2.2 Kondisi Sistem Gabungan Saat Beroperasi

Setelah dilakukan *monitoring* pada kondisi awal sistem gabungan selanjutnya dilakukan *monitoring* pada saat sistem gabungan beroperasi. Pada saat beroperasi gabungan akan diberikan perbedaan perlakuan yaitu aanya pemberian nutrisi. Untuk variasi pemberian nutrisi yang berupa pemberian nutrisi berupa CO₂ dan biostarter untuk sistem gabungan ini diberikan 3 variasi, yaitu penambahan nutrisi dengan komposisi CO₂ 10%

dan biostarter 0,75Kg, penambahan nutrisi dengan komposisi CO₂ 30% dan biostarter 1Kg, penambahan nutrisi dengan komposisi CO₂ 50% dan biostarter 0,75Kg. Dalam setiap pemberian nutrisi sirkulasi atau operasional dari sistem berlangsung selama 12 hari.

4.2.2.1 Pengukuran Sistem Gabungan Tanpa Penambahan Nutrisi

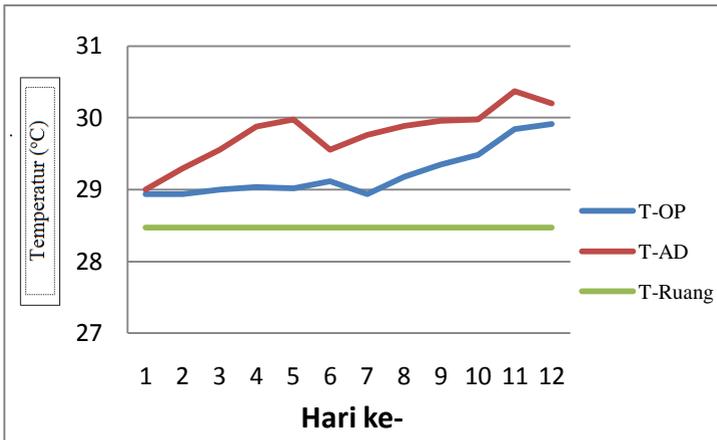
Berikut ini merupakan hasil pengukuran pada sistem gabungan OP dan AD tanpa penambahan nutrisi selama 12 hari, pada tanggal 14 April 2014 sampai dengan tanggal 25 April 2014.



Gambar 4.3 Grafik temperatur rata-rata pada siang hari pada saat tanpa penambahan nutrisi

Pada **gambar 4.3** terlihat bahwa antara temperatur OP dan AD serta temperatur ruang tempat diletakkan sistem gabungan tersebut mempunyai perbedaan temperatur yang relatif kecil. Antara temperatur OP dan AD mempunyai siklus penurunan dan kenaikan yang berkisar antar 0,1-0,2°C. Pada OP temperatur yang paling tinggi terjai pada hari ke-11 yaitu pada temperatur 28,97°C dan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-6 yaitu 28,67°C.

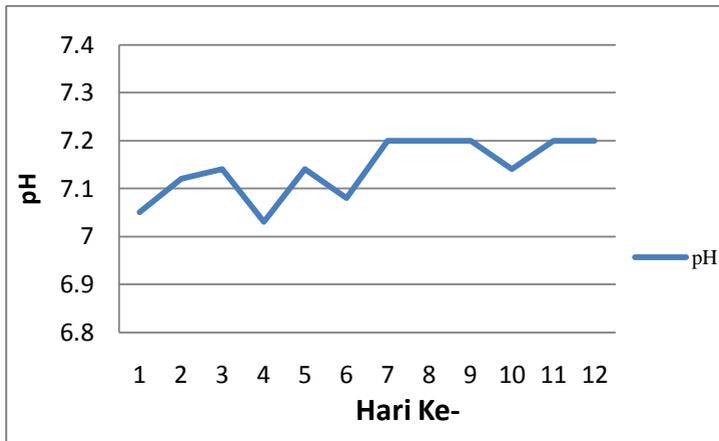
Sedangkan temperatur yang paling tinggi pada AD terjadi pada hari ke-10 dengan nilai $29,58^{\circ}\text{C}$ dan temperatur paling rendah terjadi dengan nilai $29,13^{\circ}\text{C}$. Temperatur pada AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada OP hal ini membuktikan bahwa keberfungsian lampu TL dengan daya 20watt dapat diterima hingga kedalam AD. Hal tersebut juga terjadi pada sirkulasi di malam hari. Berikut merupakan data temperatur pada sistem di malam hari.



Gambar 4.4 Grafik temperatur rata-rata pada malam hari pada saat tanpa penambahan nutrisi

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa temperatur AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur OP pada operasional sistem di malam hari. Temperatur yang paling tinggi didapatkan pada hari ke-12 dengan nilai $29,91^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-2 dan hari ke-7 yaitu dengan nilai $28,97^{\circ}\text{C}$. Dari data temperatur selama 12 hari dengan kondisi operasional sistem tanpa penambahan nutrisi tersebut menunjukkan temperatur yang dapat diterima untuk sebuah proses ekstraksi biogas yaitu dengan temperatur 27°C - 31°C . Pada saat malam hari maupun siang hari temperatur pada sistem menunjukkan bahwa temperatur AD lebih tinggi dari OP.

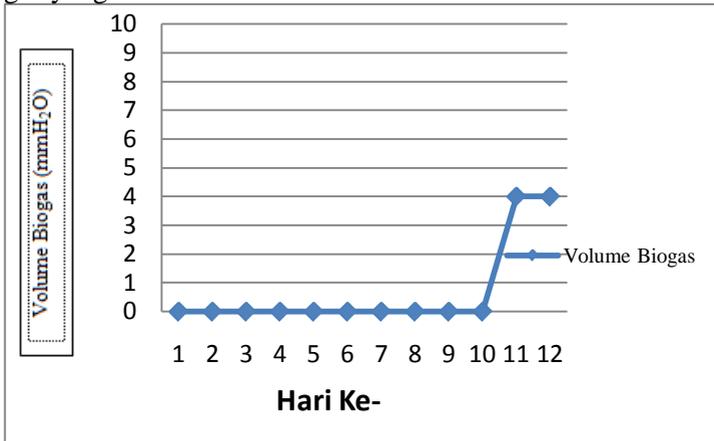
Parameter selanjutnya yang diukur selama operasional adalah pH. Pada saat *memonitoring* parameter pH dilakukan dengan cara pengambilan sampel sebesar 100ml yang diletakkan pada gelas ukur yang kemudian diukur dengan pH meter. Berikut merupakan data pH.



Gambar 4.5 Grafik pH pada saat kondisi operasional tanpa penambahan nutrisi

Pada **gambar 4.5** dapat dilihat bahwa parameter pH yang terukur selama 12 hari menunjukkan bahwa sistem gabungan OP dan AD berada dalam kondisi basa dengan nilai minimal sebesar 7,08 dan nilai maksimal sebesar 7,2. Sehingga pada saat tahap tanpa adanya penambahan nutrisi dan CO₂ sistem gabungan OP dan AD telah berada pada kondisi yang baik untuk proses ekstraksi biogas, hal tersebut dikarenakan keadaan pH sistem yang berada pada kondisi basa. Dalam kondisi tersebut sistem gabungan OP dan AD telah menghasilkan volume biogas. Volume biogas yang didapatkan diukur dengan menggunakan gas kolektor yang telah dirancang dan dibuat sebelumnya. Sehingga biogas yang dihasilkan ditampung pada gas kolektor tersebut dan dapat dilihat penambahannya setiap waktu. Pada tahap tanpa

adanya penambahan nutrisi dan CO₂ berikut merupakan volume biogas yang terukur.



Gambar 4.6 Grafik volume biogas pada saat kondisi operasional sistem tanpa adanya penambahan nutrisi

Pada **gambar 4.6** menunjukkan hasil biogas yang dihasilkan sistem gabungan OP dan AD selama tahap tanpa adanya penambahan nutrisi dan CO₂. Pada gambar tersebut volume biogas mulai dihasilkan pada hari ke 11 sebesar 4mmH₂O. Sehingga dari hasil tersebut dapat diketahui kondisi sistem pada tahap tanpa penambahan nutrisi dan CO₂. Berikut merupakan data kondisi sistem.

Tabel 4.4 Keadaan Sistem Pada Saat Operasi Tanpa Penambahan Nutrisi

Parameter	Nilai
Temperatur <i>OP</i> maksimal	29,58°C
Temperatur <i>OP</i> minimal	28,67°C
Temperatur <i>AD</i> maksimal	29,91°C
Temperatur <i>AD</i> minimal	28,97°C
Temperatur Ruang	28,47°C

Tabel Lanjutan

pH minimal	6,9
pH maksimal	7,4
Laju Pertumbuhan <i>Mikroalga</i>	0,26 μ sel/hari
COD	13879
Volume Biogas Akhir	4 mmH ₂ O
CO ₂ yang terserap	0%

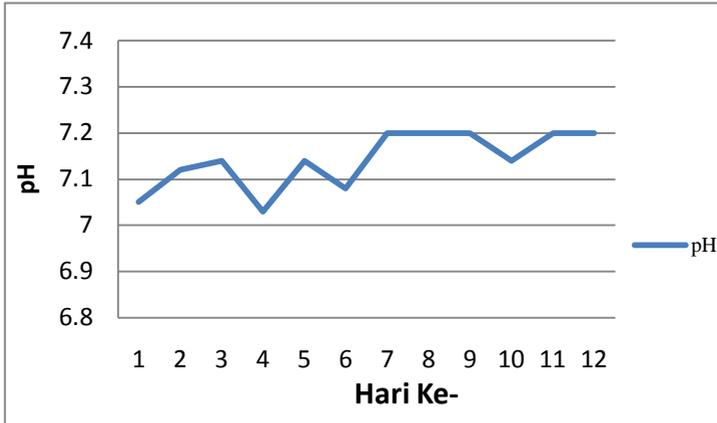
Dari **tabel 4.4** parameter temperatur dan pH yang terukur menunjukkan bahwa pada saat operasi tanpa penambahan nutrisi berada pada kondisi yang dapat diterima untuk proses pembuatan biogas. Untuk nilai COD dan laju pertumbuhan alga didapatkan dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel pada hari ke-6 dan hari ke-12. Volume biogas mulai terlihat pada hari ke-11 dengan nilai 0,04 mmH₂O hingga hari ke-12 dengan nilai yang sama. Untuk CO₂ yang terserap tidak dilakukan uji laboratorium karena tidak dilakukan penambahan CO₂. Berikut tabel untuk kemampuan mikroalga dalam menyerap CO₂ pada tahap penelitian yang pertama.

Tabel 4.5 Jumlah CO₂ Yang Terlarut dan Terserap, Tahap 1

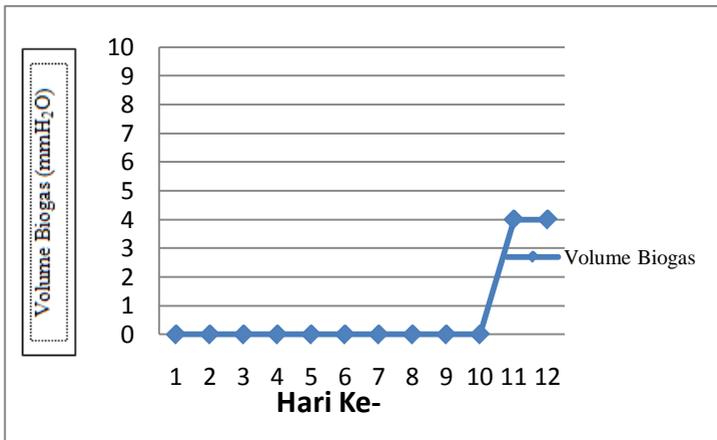
Konsentrasi CO ₂ (% volume)	CO ₂ terlarut awal (%)	CO ₂ terlarut akhir (%)	CO ₂ yang terserap (%)
0	0	0	0

Dari **tabel 4.6** tersebut bernilai 0 karena pada tahap ini belum ditambahkan CO₂. Pada tahap tanpa adanya penambahan nutrisi dan CO₂ ini telah dianalisa hubungan antara parameter yang diukur dengan hasil dari sistem gabungan OP dan AD. Dari hasil analisa tersebut didapatkan hubungan antara parameter temperatur, pH, laju pertumbuhan *mikroalga* serta kemampuan *mikroalga* dalam menyerap CO₂ yang diberikan. Grafik untuk kemampuan *mikroalga* dalam menyerap CO₂ akan ditampilkan pada akhir analisa. Analisa yang dilakukan menghasilkan *trendline* dari grafik parameter dan hasil. Berikut merupakan hasil

analisa dari parameter yang terukur dan berpengaruh pada sistem gabungan OP dan AD. Sehingga dapat dilihat bagaimana kondisi sistem.



(a)



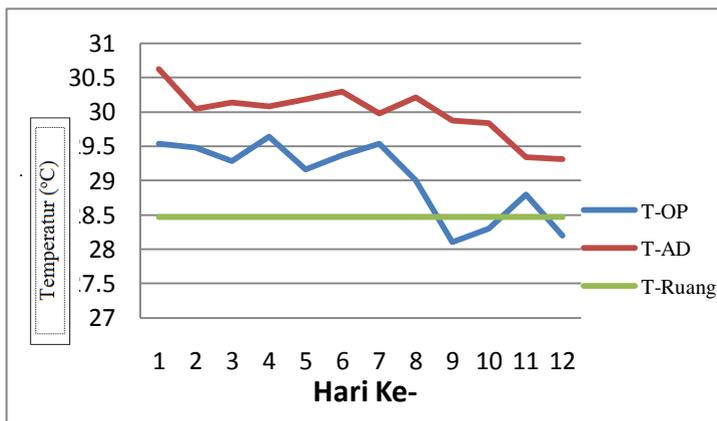
(b)

Gambar 4.7 Grafik hubungan antara: (a) pH rata-rata harian dan (b) volume biogas yang dihasilkan pada tahap tanpa penambahan nutrisi dan CO₂

Pada **gambar 4.7** terlihat *trendline* parameter pH pada hari ke 10 dimana biogas mulai dihasilkan menunjukkan bahwa pH bernilai 7,2 turun menjadi 7,14. Pada hari ke-10 telah berhasil dihasilkan biogas sebesar 4mmH₂O. Sehingga pada saat hari dimana biogas berhasil dihasilkan kondisi sistem dalam keadaan basa.

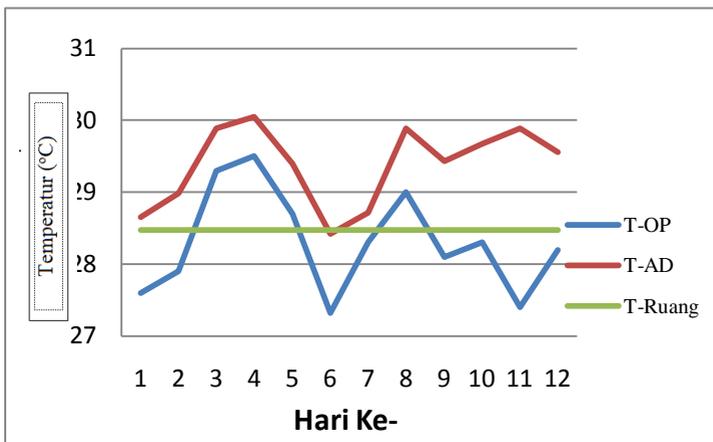
4.2.2.2 Pengukuran Sistem Gabungan Dengan Penambahan Nutrisi CO₂ Sebesar 10% dan 0,75 Kg Biostarter

Setelah tahap penelitian yang pertama yaitu pada saat operasional tanpa adanya penambahan nutrisi selanjutnya dilakukan penelitian tahap kedua yaitu dengan adanya penambahan nutrisi. Pada tahap ini perlakuan yang sama pada tahap pertama juga dilakukan pada tahap ini. Berikut ini merupakan hasil pengukuran pada sistem gabungan *OP* dan *AD* yang telah diolah dalam bentuk grafik pada saat kondisi sistem beroperasi dengan penambahan CO₂ sebesar 10% dan biostarter sebesar 0,75 Kg selama 12 hari, pada tanggal 26 April 2014 sampai dengan tanggal 7 Mei 2014.



Gambar 4.8 Grafik temperatur rata-rata pada siang hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 10% dan Biostarter 0,75 Kg

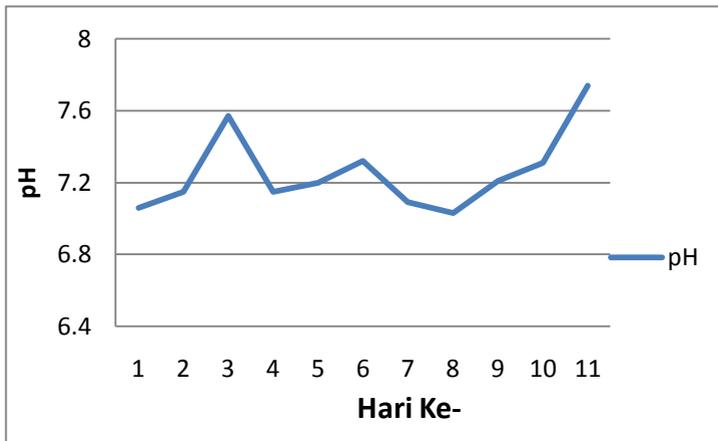
Pada **gambar 4.8** terlihat bahwa antara temperatur OP dan AD serta temperatur ruang tempat diletakkan sistem gabungan tersebut mempunyai perbedaan temperatur yang relatif kecil. Antara temperatur OP dan AD mempunyai siklus penurunan dan kenaikan yang sama seperti siklus sebelumnya yaitu berkisar antar 0,1-0,40°C. Pada OP temperatur yang paling tinggi terjadi pada hari ke-1 yaitu pada temperatur 30,6°C dan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-12 yaitu 29,32°C. Sedangkan temperatur yang paling tinggi pada AD terjadi pada hari ke-3 dengan nilai 29,58°C dan temperatur paling rendah terjadi dengan nilai 28,13°C. Temperatur pada AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada OP.. Untuk temperatur ruang berada pada rata-rata 28,47°C. Hal tersebut juga terjadi pada sirkulasi di malam hari. Berikut merupakan data temperatur pada sistem di malam hari.



Gambar 4.9 Grafik temperatur rata-rata pada malam hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 10% dan Biostarter 0,75 Kg

Pada **gambar 4.9** grafik tersebut dapat dilihat bahwa temperatur AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur OP

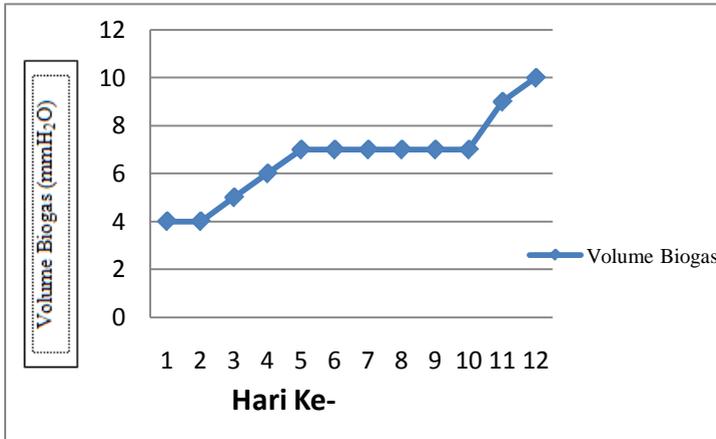
pada operasional sistem di malam hari. Temperatur yang paling tinggi didapatkan pada hari ke-12 dengan nilai $29,91^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-2 dan hari ke-7 yaitu dengan nilai $28,97^{\circ}\text{C}$. Dari data temperatur selama 12 hari dengan kondisi operasional sistem tanpa penambahan nutrisi tersebut menunjukkan temperatur yang dapat diterima untuk sebuah proses ekstraksi biogas yaitu dengan temperatur 27°C - 31°C . Parameter selanjutnya yang diukur selama operasional adalah pH. Berikut merupakan grafik untuk parameter pH.



Gambar 4.10 Grafik pH pada saat kondisi operasional dengan penambahan CO_2 10% dan Biostarter 0,75 Kg

Pada **gambar 4.10** terlihat bahwa pH pada sistem gabungan OP dan AD berada pada kondisi yang baik untuk sebuah proses pembuatan biogas. Ph maksimal yaitu pada hari ke-10 dengan nilai 7,4 sedangkan pH minimal yaitu 6,9 pada hari ke-2. Parameter pH yang terukur berada didalam kondisi basa. Selama kondisi operasional dengan penambahan CO_2 10% dan biostarter 0,75 kg, sistem gabungan OP dan AD menghasilkan biogas pada

hari ke-11 dan hari ke-12. Hal tersebut dijelaskan pada grafik volume biogas yang dihasilkan, berikut merupakan grafik volume biogas yang telah dihasilkan.



Gambar 4.11 Grafik volume biogas pada saat operasional dengan penambahan CO₂ 10% dan Biostarter 0,75 Kg

Pada **gambar 4.11** dapat dilihat bahwa volume biogas yang dihasilkan dari tahap tanpa penambahan CO₂ dan biostarter biogas mulai dihasilkan pada hari pertama sebesar 4mmH₂O hingga hari ke-2, kemudin mengalami peningkatan pada hari ke-3 sebesar 1 mmH₂O hingga hari ke-7 sehingga pada hari ke-7 volume biogas sebesar 7 mmH₂O dan bertahan hingga hari ke-10. Pada hari ke-11 mengalami peningkatan sebesar 2 mmH₂O sehingga volume biogas menjadi 9 mmH₂O, dan pada hari ke-12 mengalami peningkatan sebesar 1 mmH₂O sehingga volume akhir biogas menjadi 10 mmH₂O. Pada tahap kondisi ini dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui CO₂ terlarut dan terserap. Berikut merupakan data CO₂ terlarut dan terserap.

Tabel 4.6 Jumlah CO₂ Yang Terlarut dan Terserap, Tahap 2

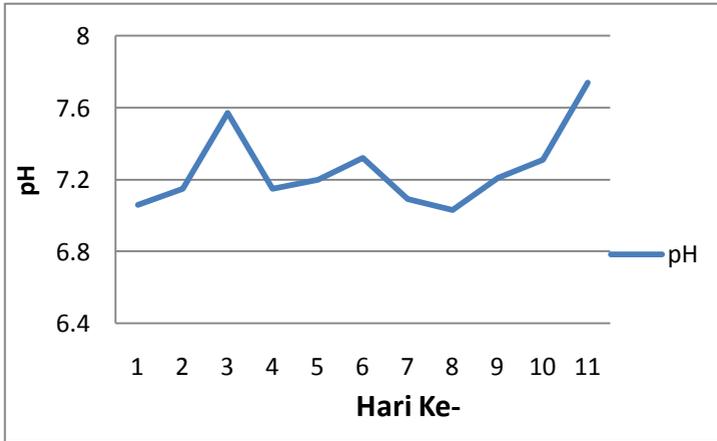
Konsentrasi CO ₂ (% volume)	CO ₂ terlarut awal (%)	CO ₂ terlarut akhir (%)	CO ₂ yang terserap (%)
10	7,56	2,84	4,72

Pada **tabel 4.6** dapat dilihat bahwa kemampuan *mikroalga* dalam menyerap CO₂ sebesar 4,72%. Sehingga pada kondisi operasional sistem tanpa penambahan nutrisi menghasilkan data sebagai berikut:

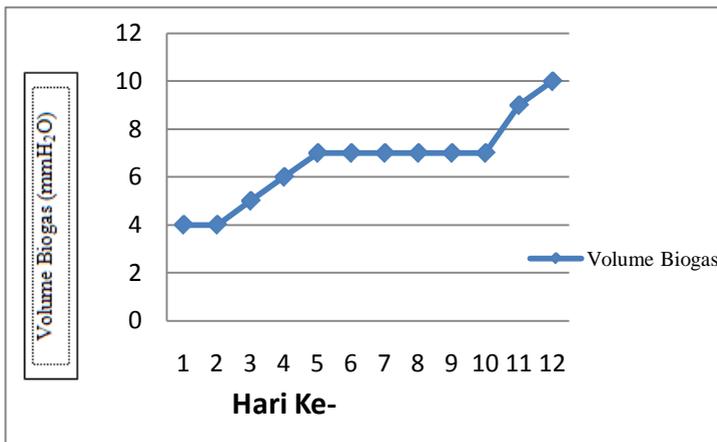
Tabel 4.7 Keadaan sistem pada saat operasi dengan penambahan 10%CO₂ dan 0,75 Kg

Parameter	Nilai
Temperatur <i>OP</i> maksimal	29,78°C
Temperatur <i>OP</i> minimal	27,46°C
Temperatur <i>AD</i> maksimal	30,12°C
Temperatur <i>AD</i> minimal	28,64°C
Temperatur Ruang	28,47°C
pH minimal	7
pH maksimal	7,9
Laju Pertumbuhan <i>Mikroalga</i>	0,58 μ sel/hari
COD	12047
Volume Biogas	10 mmH ₂ O
CO ₂ yang terserap	4,72%

Dari **tabel 4.7** parameter temperatur dan pH yang terukur menunjukkan bahwa pada saat operasi tanpa penambahan nutrisi berada pada kondisi yang dapat diterima untuk proses pembuatan biogas. Pada kondisi tersebut laju pertumbuhan alga adalah 0,36 μ sel/hari, sedangkan COD pada kondisi ini diuji pada hari ke-6 saat sistem beroperasi dengan nilai 12047 Volume akhir biogas yang dihasilkan sebesar 10 mmH₂O. Pada tahap dengan penamabhan CO₂ 10% dn 0,75 Kg biostarter ini dilakukan analisa antara parameter pH yang telah didapatkan dan hubungannya dengan volume biogas yang dihasilkan selama sirkulasi 12 hari.



(a)



(b)

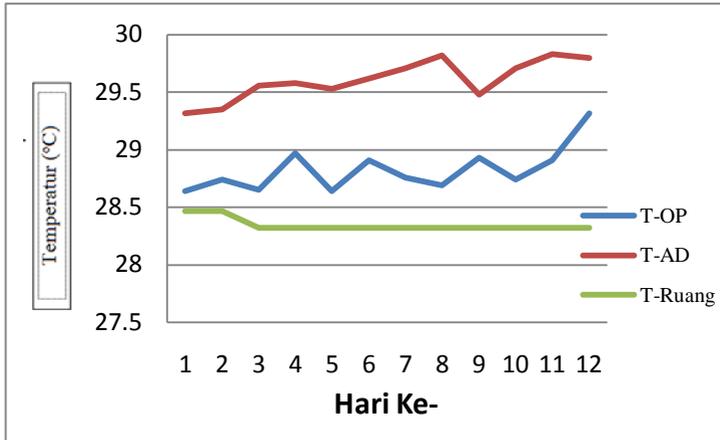
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara: (a) pH rata-rata harian dan (b) volume biogas yang dihasilkan pada tahap dengan penambahan CO₂ 10% dan 0,75 Kg biostarter

Analisa yang dilakukan menghasilkan *trendline* dari grafik parameter dan hasil. Berikut merupakan hasil analisa dari parameter yang terukur dan berpengaruh pada sistem gabungan OP dan AD. Sehingga dapat dilihat bagaimana kondisi sistem. Pada **gambar 4.12** terlihat *trendline* parameter pH pada hari ke-1 dan hari ke-2 pada saat biogas yang dihasilkan sebesar 4mmH₂O parameter pH bernilai 7,1 hingga 7,19. Seiring dengan kenaikan nilai parameter pH pada kondisi sistem pada tahap dengan penambahan CO₂ ini volume biogas yang didapatkan juga semakin bertambah. Tetapi kondisi parameter pH yang didapatkan tidak sama dengan perubahan volume biogas yang didapatkan. Perubahan parameter pH yang *fluktuatif* berbeda dengan perubahan volume biogas yang tidak *fluktuatif*.

4.2.2.3 Pengukuran Sistem Gabungan Dengan Penambahan Nutrisi CO₂ Sebesar 30% dan 1 Kg Biostarter

Setelah tahap penelitian pada saat kondisi operasional dengan penambahan 10% CO₂ dan 0,75 Kg biostarter selanjutnya dilakukan penelitian tahap ketiga yaitu dengan adanya penambahan 30% CO₂ dan 1 Kg biostarter. Pada tahap ini perlakuan yang sama pada tahap pertama juga dilakukan pada tahap ini. Uji laboratorium yang dilakukan untuk menentukan COD, laju pertumbuhan *mikroalga* serta uji kelarutan CO₂ yang diserap. Sedangkan pengambilan data yang berupa temperatur dan pH diambil secara langsung pada saat sistem dalam kondisi beroperasi. Data temperatur yang telah didapatkan selama sirkulasi siang maupun malam diolah dengan perlakuan yang sama seperti tahap sebelumnya. Tetapi pada tahap ini dilakukan penambahan biostarter yang berbeda yaitu sebesar 1 Kg. Dengan adanya penambahan yang berbeda tersebut diharapkan akan memberikan perbedaan kondisi pH pada tahap ini selama sistem bersirkulasi. Kondisi yang diharapkan pada tahap ini adalah perbedaan perubahan parameter pH dimana perubahan terjadi secara anomali. Berikut ini merupakan hasil pengukuran pada sistem gabungan OP dan AD yang telah diolah dalam bentuk grafik pada saat kondisi sistem beroperasi dengan penambahan

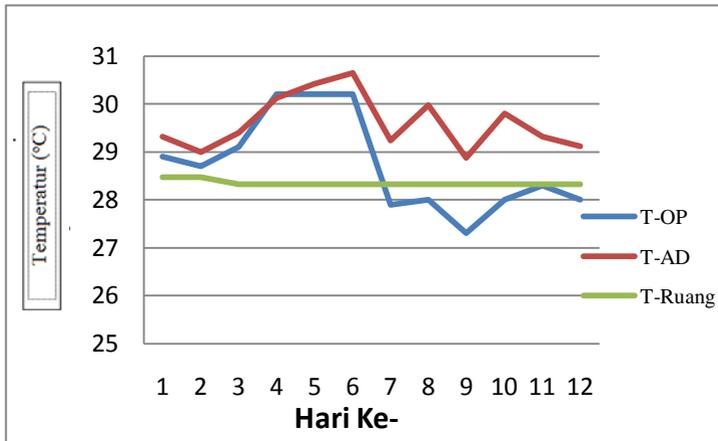
CO₂ sebesar 30% dan biostarter sebesar 1 Kg selama 12 hari, pada tanggal 8 Mei 2014 sampai dengan tanggal 20 Mei 2014.



Gambar 4.13 Grafik temperatur rata-rata pada siang hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 30% dan Biostarter 1 Kg

Pada **gambar 4.13** terlihat bahwa antara temperatur OP dan AD serta temperatur ruang tempat diletakkan sistem gabungan tersebut mempunyai perbedaan temperatur yang relatif kecil. Antara temperatur OP dan AD mempunyai siklus penurunan dan kenaikan yang berkisar antar 0,1-0,2°C. Pada OP temperatur yang paling tinggi terjadi pada hari ke-1 yaitu pada temperatur 30,6°C dan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-12 yaitu 29,32°C. Sedangkan temperatur yang paling tinggi pada AD terjadi pada hari ke-3 dengan nilai 29,58°C dan temperatur paling rendah terjadi dengan nilai 28,13°C. Temperatur pada AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada OP. Untuk temperatur ruang berada pada rata-rata 28,47°C. Perubahan temperatur yang *fluktuatif* terjadi pada sistem baik AD maupun OP, tetapi dengan adanya kondisi tersebut nilai parameter

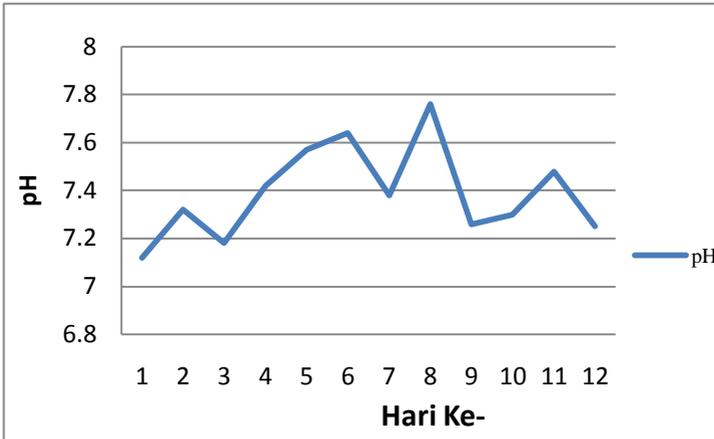
temperatur menjadi nilai kualitatif untuk sensor temperatur yang digunakan pada sistem. Hal tersebut juga terjadi pada sirkulasi di malam hari. Berikut merupakan data temperatur pada sistem di malam hari.



Gambar 4.14 Grafik temperatur rata-rata pada malam hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 30% dan Biostarter 1 Kg

Pada **gambar 4.14** menunjukkan hasil *record* data temperatur yang telah diambil pada saat sistem bersirkulasi di malam hari selama 12 hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 30% dan biostarter 1 Kg. Pada tahap ini terjadi perubahan yang *fluktuatif* tetapi perubahan yang cukup signifikan yaitu sebesar 2,7°C pada hari ke-5 sampai hari ke-6. Dari data temperatur yang telah didapatkan untuk sirkulasi malam hari ini menunjukkan bahwa temperatur AD selalu berada diatas temperatur OP. Temperatur pada OP berada dibawah temperatur ruang pada hari ke-6 hingga hari ke-10, tetapi berada pada temperatur ruang pada hari ke-11 dan kemudian kembali berada pada temperatur di bawah temperatur ruang pada hari ke-12. Rata-rata temperatur pada tahap dengan penambahan CO₂ 30% dan biostarter 1 Kg

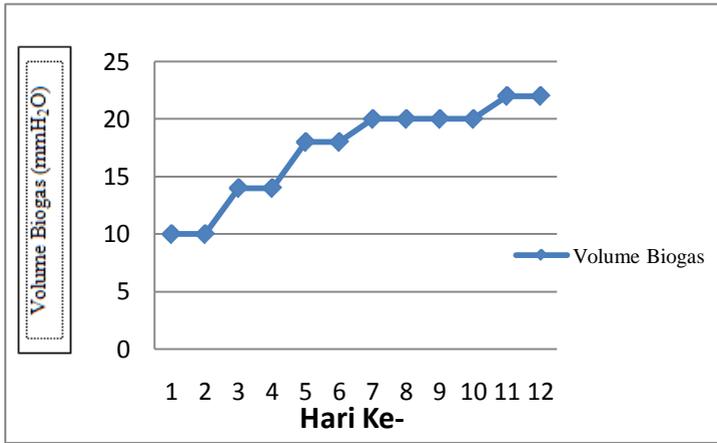
berada pada rata-rata $28,32^{\circ}\text{C}$ untuk temperatur OP dan $28,74^{\circ}\text{C}$ untuk temperatur AD.



Gambar 4.15 Grafik pH pada saat kondisi operasional dengan penambahan CO_2 30% dan Biostarter 1 Kg

Pada **gambar 4.15** menunjukkan bahwa pH pada saat tahap penambahan CO_2 30% dan biostarter 1 Kg menunjukkan pada kondisi basa. Pada tahap tersebut data yang telah didapatkan untuk parameter pH mempunyai perubahan yang *fluktuatif* selain itu pada kondisi ini parameter pH mengalami kondisi anomali. Hal tersebut disebabkan karena adanya penambahan biostarter yang lebih banyak dibandingkan dengan tahap sebelumnya dimana biostarter hanya ditambahkan sebesar 0,75 Kg. Pada tahap ini biostarter ditambahkan sebesar 1 Kg. Pada hari ke-1 kondisi pH berada pada kondisi basa sebesar 7,1 dan terjadi kenaikan pada hari ke-2 menjadi 7,3. Tetapi terjadi penurunan pada hari ke-3 dimana nilai parameter pH menjadi 7,19. Pada hari ke-4 hingga hari ke-6 terjadi kenaikan yang berulang dimana nilai parameter pH menjadi 7,62. Penurunan yang signifikan terjadi pada hari ke-7 hingga hari ke-8 dimana parameter pH menjadi

7,21. Adapun hasil akhir nilai dari parameter pH pada tahap dengan penambahan CO₂ 30% dan biostarter 1 Kg yaitu pada hari ke-12 pH bernilai 7,21. Dari keseluruhan data parameter pH yang diambil selama 12 hari kondisi sistem menunjukkan kondisi basa.



Gambar 4.16 Grafik volume biogas pada saat operasional dengan penambahan 30% CO₂ dan Biostarter 1 Kg

Pada **gambar 4.16** menunjukkan volume biogas yang telah didapatkan selama tahap penambahan 30% CO₂ dan biostarter 1 Kg. Biogas mula-mula pada hari ke-1 didapatkan sebesar 10 mmH₂O selama 2 hari hingga hari ke-2. Kemudian pada hari ke-3 mengalami kenaikan sebesar 4 mmH₂O sehingga volume biogas pada hari ke-3 sebesar 14 mmH₂O hingga hari ke-4. Volume biogas semakin bertambah setiap hari, pada hari ke-5 dan ke-6 volume biogas mencapai 18 mmH₂O. Pada hari ke-7 volume biogas bertambah menjadi 20 mmH₂O hingga hari ke-10. Pada hari ke-1 dan ke-12 sirkulasi volume biogas bertambah lagi sehingga volume akhir biogas pada tahap dengan penambahan 30% CO₂ dan biostarter 1 Kg adalah sebesar 22 mmH₂O. Pada tahap kondisi ini dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui

CO₂ terlarut dan terserap. Berikut merupakan data CO₂ terlarut dan terserap.

Tabel 4.8 Jumlah CO₂ Yang Terlarut dan Terserap, Tahap 3

Konsentrasi CO ₂ (% volume)	CO ₂ terlarut awal (%)	CO ₂ terlarut akhir (%)	CO ₂ yang terserap (%)
30	29,38	10,17	19,21

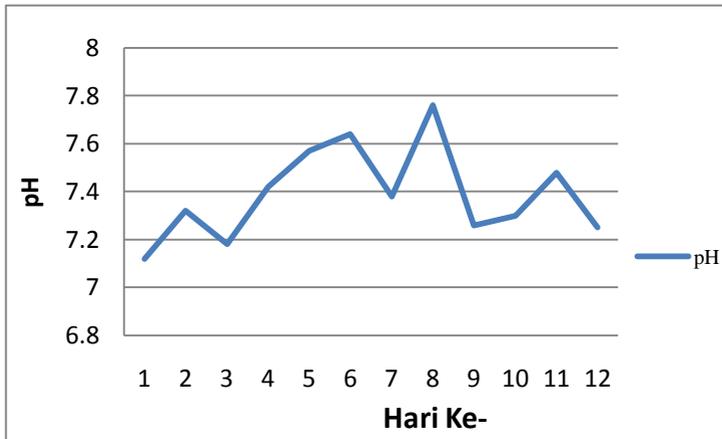
Dari **tabel 4.8** jumlah CO₂ yang terlarut dan terserap semakin bertambah dan meningkat. Hal tersebut menunjukkan pada sistem gabungan OP dan AD tersebut *mikroalga* spirulina,sp mengikat CO₂ dalam jumlah yang banyak, hampir 50% dari pembebanan CO₂ yang diberikan. Sehingga pada kondisi operasional sistem tanpa penambahan nutrisi menghasilkan data sebagai berikut

Tabel 4.9 Keadaan sistem pada saat operasi dengan penambahan 30%CO₂ dan 1 Kg

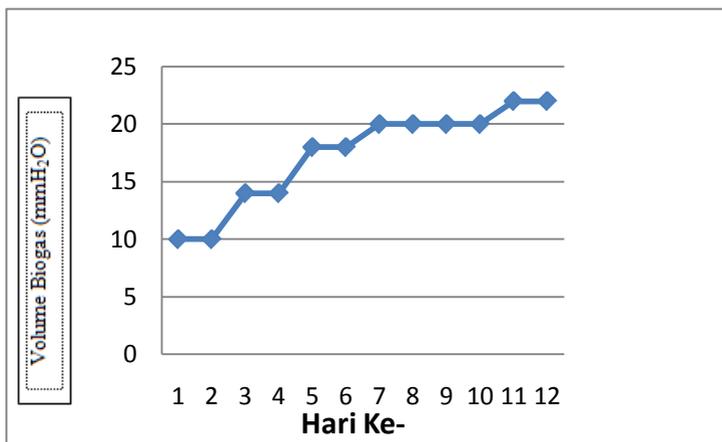
Parameter	Nilai
Temperatur <i>OP</i> maksimal	29,56°C
Temperatur <i>OP</i> minimal	28,72°C
Temperatur <i>AD</i> maksimal	29,89°C
Temperatur <i>AD</i> minimal	29,39°C
Temperatur Ruang	28,47°C
pH minimal	7,1
pH maksimal	7,79
Laju Pertumbuhan <i>Mikroalga</i>	0,62 μsel/hari
COD	8313
Volume Biogas	22 mmH ₂ O
CO ₂ yang terserap	19,21%

Dari **tabel 4.10** parameter temperatur dan pH yang terukur menunjukkan bahwa pada saat operasi tanpa penambahan nutrisi berada pada kondisi yang dapat diterima untuk proses pembuatan biogas. Pada kondisi tersebut laju pertumbuhan alga adalah 0,62

$\mu\text{sel/hari}$, sedangkan COD pada kondisi ini diuji pada hari ke-6 saat sistem beroperasi dengan nilai 8313 Volume akhir biogas yang dihasilkan sebesar 10 mmH₂O. Berikut merupakan hasil analisa dari parameter yang terukur



(a)



(b)

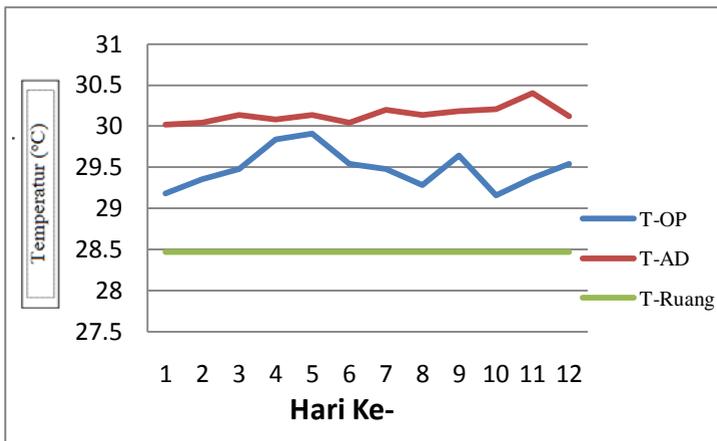
Gambar 4.17 Grafik hubungan antara: (a) pH rata-rata harian dan (b) volume biogas yang dihasilkan pada tahap

dengan penambahan CO₂ 30% dan 1 Kg biostarter

Pada **gambar 4.17** terlihat *trendline* parameter pH pada hari ke-1 dan hari ke-2 pada saat biogas yang dihasilkan sebesar 4mmH₂O parameter pH bernilai 7,2 hingga 7,4. Seiring dengan kenaikan nilai parameter pH pada kondisi sistem pada tahap dengan penambahan CO₂ ini volume biogas yang didapatkan juga semakin bertambah. Tetapi kondisi parameter pH yang didapatkan tidak sama dengan perubahan volume biogas yang didapatkan. Perubahan parameter pH yang *fluktuatif* berbeda dengan perubahan volume biogas yang tidak *fluktuatif*.

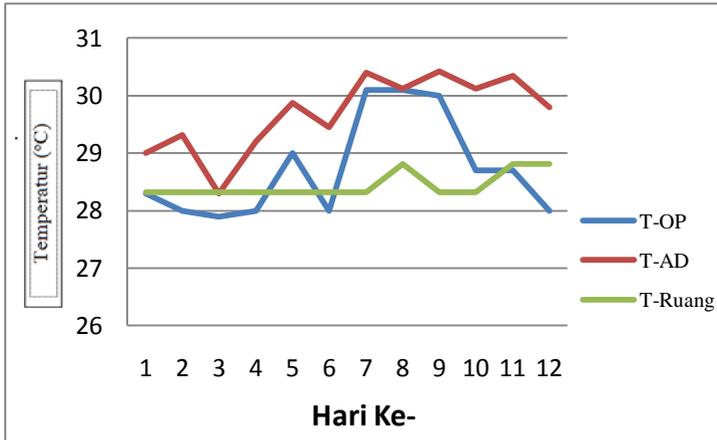
4.2.2.4 Pengukuran Sistem Gabungan Dengan Penambahan Nutrisi CO₂ Sebesar 50% dan 0,75 Kg Biostarter

Setelah tahap penelitian yang pertama yaitu pada saat operasional tanpa adanya penambahan nutrisi selanjutnya dilakukan penelitian tahap kedua yaitu dengan adanya penambahan nutrisi. Pada tahap ini perlakuan yang sama pada tahap pertama juga dilakukan pada tahap ini. Uji laboratorium yang dilakukan untuk menentukan COD, laju pertumbuhan *mikroalga* serta uji kelarutan CO₂ yang diserap. Sedangkan pengambilan data yang berupa temperatur dan pH diambil secara langsung pada saat sistem dalam kondisi beroperasi. Kondisi yang diharapkan pada tahap ini adalah perbedaan perubahan parameter pH dimana perubahan terjadi secara anomali. Berikut ini merupakan hasil pengukuran pada sistem gabungan OP dan AD yang telah diolah dalam bentuk grafik pada saat kondisi sistem beroperasi dengan penambahan CO₂ sebesar 50% dan biostarter sebesar 0,75 Kg selama 12 hari. Berikut ini merupakan hasil pengukuran pada sistem gabungan OP dan AD yang telah diolah dalam bentuk grafik pada saat kondisi sistem beroperasi dengan penambahan CO₂ sebesar 50% dan biostarter sebesar 0,75 Kg selama 12 hari, pada tanggal 21 Mei 2014 sampai dengan tanggal 2 Juni 2014



Gambar 4.18 Grafik temperatur rata-rata pada siang hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 50% dan Biostarter 0,75 Kg

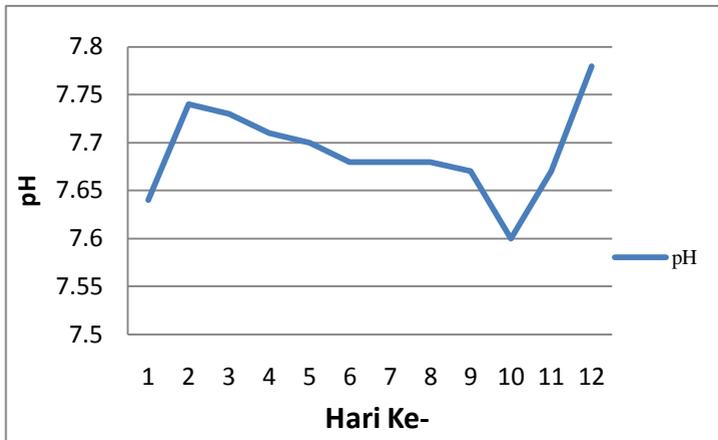
Pada **gambar 4.18** terlihat bahwa antara temperatur OP dan AD serta temperatur ruang tempat diletakkan sistem gabungan tersebut mempunyai perbedaan temperatur yang relatif kecil. Antara temperatur OP dan AD mempunyai siklus penurunan dan kenaikan yang berkisar antar 0,1-0,2°C. Pada OP temperatur yang paling tinggi terjadi pada hari ke-1 yaitu pada temperatur 30,6°C dan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-12 yaitu 29,32°C. Sedangkan temperatur yang paling tinggi pada AD terjadi pada hari ke-3 dengan nilai 29,58°C dan temperatur paling rendah terjadi dengan nilai 28,13°C. Temperatur pada AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada OP hal ini membuktikan bahwa keberfungsian lampu TL dengan daya 20watt dapat diterima hingga kedalam AD. Untuk temperatur ruang berada pada rata-rata 28,47°C. Hal tersebut juga terjadi pada sirkulasi di malam hari. Berikut merupakan data temperatur pada sistem di malam hari.



Gambar 4.19 Grafik temperatur rata-rata pada malam hari pada tahap dengan penambahan CO₂ 50% dan Biostarter 0,75 Kg

Pada **gambar 4.19** terlihat bahwa antara temperatur OP dan AD serta temperatur ruang tempat diletakkan sistem gabungan tersebut mempunyai perbedaan temperatur yang relatif kecil. Antara temperatur OP dan AD mempunyai siklus penurunan dan kenaikan yang berkisar antar 0,1-0,2°C. Pada OP temperatur yang paling tinggi terjadi pada hari ke-1 yaitu pada temperatur 30,6°C dan temperatur paling rendah terjadi pada hari ke-12 yaitu 29,3°C. Sedangkan temperatur yang paling tinggi pada AD terjadi pada hari ke-7 dengan nilai 29,58°C dan temperatur paling rendah terjadi dengan nilai 28,13°C. Temperatur pada AD lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada OP hal ini membuktikan bahwa keberfungsian lampu TL dengan daya 20watt dapat diterima hingga kedalam AD. Untuk temperatur ruang berada pada rata-rata 28,47°C. Perubahan temperatur pada tahap dengan penambahan CO₂ 50% dan biostarter 0,75 Kg mempunyai *trend* perubahan secara *fluktuatif*. Secara keseluruhan

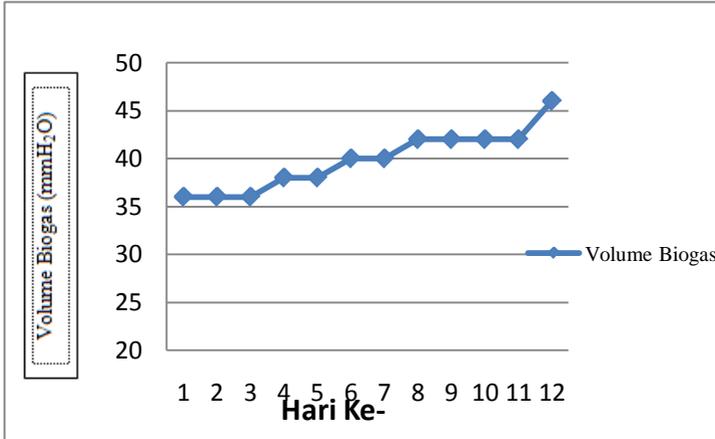
dari data temperatur yang didapatkan mulai dari tahap sirkulasi tanpa penambahan CO₂ dan biostarter hingga tahap akhir menunjukkan *trend* perubahan *fluktuatif*. Untuk parameter pH pada tahap penambahan CO₂ 50% dan biostarter 0,75 Kg berikut adalah hasilnya



Gambar 4.20 Grafik pH pada saat kondisi operasional dengan penambahan CO₂ 50% dan Biostarter 0,75 Kg

Pada **gambar 4.20** grafik tersebut menunjukkan bahwa parameter pH pada saat tahap dengan penambahan CO₂ 50% dan biostarter 0,75 Kg berada pada kondisi basa dengan perubahan yang tidak terlalu *fluktuatif* dibandingkan dengan tahap sebelumnya. Pada tahap ini mula-mula di hari ke-1 pH bernilai 7,64, kemudian meningkat pada hari ke-2 hingga parameter pH bernilai 7,74. Pada hari ke-3 hingga hari ke-7 parameter pH berada pada nilai 7,63. Pada hari ke-10 nilai parameter pH meningkat hingga hari ke-12. Parameter pH hingga pada hari terakhir sirkulasi bernilai 7,79. Dari keseluruhan parameter pH yang telah diolah dalam bentuk grafik mempunyai *trend* yang sama yaitu perubahan secara *fluktuatif*. Perubahan parameter pH setiap tahap penelitiannya menunjukkan pH berada pada kondisi

basa. Sedangkan adanya perubahan parameter pH secara anomali disebabkan karena adanya penambahan biostarter kedalam sistem. Kondisi anomali pada parameter pH yang paling besar terjadi pada saat tahap penambahan CO₂ 30 % dan biostarter sebanyak 1 Kg.



Gambar 4.21 Grafik volume biogas pada saat operasional dengan penambahan 50% CO₂ dan Biostarter 0,75 Kg

Pada **gambar 4.21** menunjukkan hasil biogas dari sistem pada saat tahap dengan penambahan 50% CO₂ dan biostarter 0,75 Kg. Biogas mulai dihasilkan pada hari ke-1 sebesar 36 mmH₂O dan bertahan hingga hari ke-3, kemudian pada hari ke-4 mengalami peningkatan yaitu sebesar 2 mmH₂O sehingga volume biogas yang dihasilkan pada hari ke-4 adalah sebesar 38 mmH₂O dimana volume tersebut bertahan hingga hari ke-5. Pada hari ke-6 volume biogas kembali meningkat sebesar 2 mmH₂O sehingga volume biogas pada hari ke-6 adalah 40 mmH₂O, volume tersebut bertahan hingga hari ke-7. Pada hari ke-8 volume biogas meningkat menjadi 42 mmH₂O dan volume tersebut bertahan hingga hari ke-11. Sedangkan pada hari terakhir yaitu hari ke-12 volume biogas sebesar 46 mmH₂O. Berikut merupakan data CO₂ terlarut dan terserap.

Tabel 4.10 Jumlah CO₂ Yang Terlarut dan Terserap, Tahap 4

Konsentrasi CO ₂ (% volume)	CO ₂ terlarut awal (%)	CO ₂ terlarut akhir (%)	CO ₂ yang terserap (%)
50	48,78	15,13	33,65

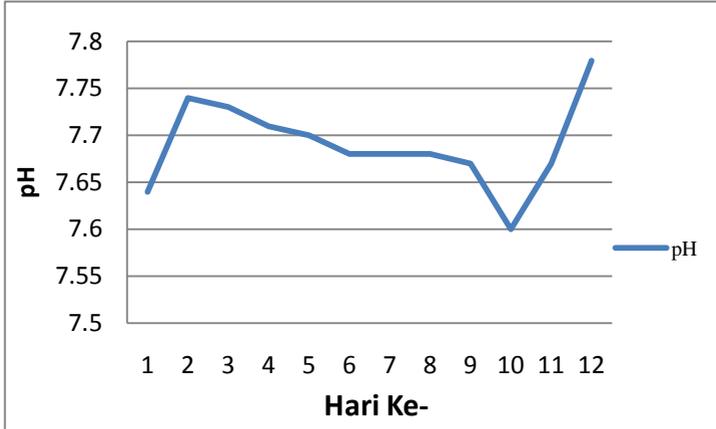
Dari **tabel 4.10** jumlah CO₂ yang terlarut dan terserap semakin bertambah dan meningkat. Hal tersebut menunjukkan pada sistem gabungan OP dan AD tersebut *mikroalga* spirulina, sp mengikat CO₂ dalam jumlah yang banyak, hampir 50% dari pembebanan CO₂ yang diberikan.

Tabel 4.11 Keadaan sistem pada saat operasi dengan penambahan CO₂ 50% dan 0,75 kg biostarter

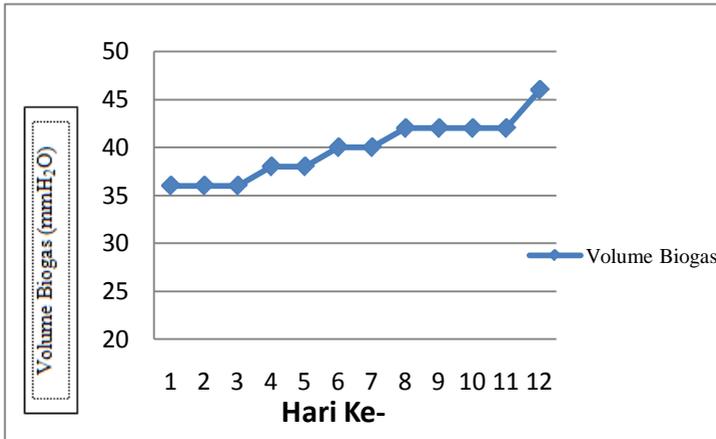
Parameter	Nilai
Temperatur <i>OP</i> maksimal	29,92°C
Temperatur <i>OP</i> minimal	29,24°C
Temperatur <i>AD</i> maksimal	30,48°C
Temperatur <i>AD</i> minimal	30,00°C
Temperatur Ruang	28,47°C
pH minimal	7,6
pH maksimal	7,79
Laju Pertumbuhan <i>Mikroalga</i>	0,62 μsel/hari
COD	2318
Volume Biogas Akhir	46 mmH ₂ O
CO ₂ yang terserap	33,65%

Dari **tabel 4.12** parameter temperatur dan pH yang terukur menunjukkan bahwa pada saat operasi tanpa penambahan nutrisi berada pada kondisi yang dapat diterima untuk proses pembuatan biogas. Pada kondisi tersebut laju pertumbuhan alga adalah 0,62 μsel/hari, sedangkan COD pada kondisi ini diuji pada hari ke-6 saat sistem beroperasi dengan nilai 2318 Volume akhir biogas yang dihasilkan sebesar 46 mmH₂O. Berikut merupakan hasil analisa dari parameter yang terukur dan berpengaruh pada sistem

gabungan OP dan AD. Sehingga dapat dilihat bagaimana kondisi sistem.



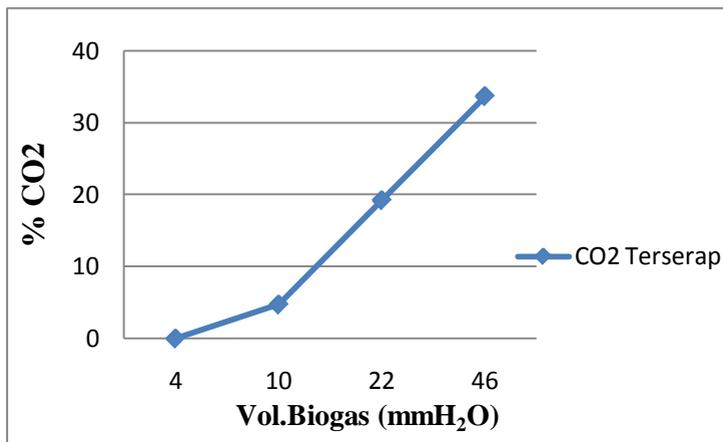
(a)



(b)

Gambar 4.22 Grafik hubungan antara: (a) pH rata-rata harian dan (b) volume biogas yang dihasilkan pada tahap\ dengan penambahan CO₂ 30% dan 1 Kg biostarter

Pada **gambar 4.22** terlihat *trendline* parameter pH pada hari ke-1 dan hari ke-2 pada saat biogas yang dihasilkan sebesar 4mmH₂O parameter pH bernilai 7,2 hingga 7,4. Seiring dengan kenaikan nilai parameter pH pada kondisi sistem pada tahap dengan penambahan CO₂ ini volume biogas yang didapatkan juga semakin bertambah. Tetapi kondisi parameter pH yang didapatkan tidak sama dengan perubahan volume biogas yang didapatkan. Perubahan parameter pH yang *fluktuatif* berbeda dengan perubahan volume biogas yang tidak *fluktuatif*. Berikut merupakan analisa keseluruhan volume biogas akhir dengan jumlah CO₂ terserap mulai dari tahap awal hingga tahap akhir.



Gambar 4.23 Hubungan antara CO₂ terserap dengan volum biogas yang dihasilkan

Pada **gambar 4.23** dapat dilihat bagaimana volume biogas yang dihasilkan. Volume biogas meningkat seiring dengan banyaknya CO₂ yang diserap oleh *mikroalga*. Hal tersebut dapat menjelaskan bahwa semakin banyak CO₂ yang terserap oleh *mikroalga* maka semakin banyak pula volume biogas yang dihasilkan karena pada ekstraksi biogas dari *mikroalga* sangat membutuhkan CO₂.

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN A

Hari	Tanggal	Jam	Temp <i>Open Ponds</i>	Temp <i>Anaerobic Digester</i>	Temp Ruang	pH	Jam	Temp <i>Open Ponds</i>	Temp <i>Anaerobic Digester</i>	Temp Ruang	pH
1	14/04/2014	8:00	28,89	29,13	28,47	7,05	12:00	28,94	29	28,47	7,54
2	15/04/2014	8:00	28,78	29,34	28,47	7,12	12:00	28,94	29,3	28,47	7,68
3	16/04/2014	8:00	28,9	29,47	28,47	7,14	12:00	29	29,56	28,47	7,14
4	17/04/2014	8:00	28,94	29,49	28,47	7,03	12:00	29,04	29,88	28,47	7,03
5	18/04/2014	8:00	28,98	29,49	28,47	7,14	12:00	29,02	29,98	28,47	7,14
6	19/04/2014	8:00	28,67	29,45	28,47	7,08	12:00	29,12	29,56	28,47	7,92
7	20/04/2014	8:00	28,89	29,49	28,47	7,2	12:00	28,94	29,76	28,47	7,31
8	21/04/2014	8:00	28,64	29,32	28,47	7,2	12:00	29,18	29,89	28,47	7,93
9	22/04/2014	8:00	28,74	29,35	28,47	7,2	12:00	29,35	29,96	28,47	7,84
10	23/04/2014	8:00	28,65	29,56	28,47	7,14	12:00	29,48	29,98	28,47	7,97
11	24/04/2014	8:00	28,97	29,58	28,47	7,2	12:00	29,84	30,37	28,47	7,81
12	25/04/2014	8:00	28,64	29,53	28,47	7,2	12:00	29,91	30,2	28,47	7,91

LAMPIRAN B

Hari	Tanggal	Jam	Waktu	Temp <i>Open Ponds</i>	Temp <i>Anaerobic Digester</i>	Temp Ruang	pH	Waktu	Temp <i>Open Ponds</i>	Temp <i>Anaerobic Digester</i>	Temp Ruang	pH
1	14/04/2014	8:00	20:00	29,37	29,87	28,47	7,54	0:00	26,8	27,32	28,47	7,09
2	15/04/2014	8:00	20:00	29,54	29,98	28,47	7,68	0:00	27	28,56	28,47	7,11
3	16/04/2014	8:00	20:00	29	29,21	28,47	6,14	0:00	28,6	28,89	28,47	7,24
4	17/04/2014	8:00	20:00	28,1	28,87	28,47	7,03	0:00	29,2	29,85	28,47	7,03
5	18/04/2014	8:00	20:00	28,3	29,84	28,47	7,14	0:00	28,6	29,89	28,47	7,14
6	19/04/2014	8:00	20:00	28,8	29,34	28,47	7,92	0:00	29,4	30,03	28,47	7,92
7	20/04/2014	8:00	20:00	28,2	29,31	28,47	7,31	0:00	28,2	29,2	28,47	7,31
8	21/04/2014	8:00	20:00	28,9	29,85	28,47	7,93	0:00	26,5	27,8	28,47	7,93
9	22/04/2014	8:00	20:00	28,7	29,79	28,47	7,84	0:00	28,3	29,04	28,47	7,84
10	23/04/2014	8:00	20:00	29,1	29,4	28,47	7,97	0:00	28	28,89	28,47	7,97
11	24/04/2014	8:00	20:00	30,2	30,48	28,47	7,81	0:00	28,8	29,06	28,47	7,81
12	25/04/2014	8:00	20:00	30,2	30,54	28,47	7,91	0:00	28,3	29,2	28,47	7,91

LAMPIRAN C

26/04/2014	8:00	28,91	29,62	28,47	7,96	12:00	29,54	30,62	28,47	7,96
27/04/2014	8:00	28,76	29,71	28,47	7,06	12:00	29,48	30,04	28,47	7,06
28/04/2014	8:00	28,69	29,82	28,47	7,15	12:00	29,28	30,14	28,47	7,15
29/04/2014	8:00	28,93	29,48	28,47	7,57	12:00	29,64	30,08	28,47	7,57
30/04/2014	8:00	28,74	29,71	28,47	7,15	12:00	29,16	30,18	28,47	7,15
01/05/2014	8:00	28,91	29,83	28,47	7,2	12:00	29,37	30,3	28,47	7,2
02/05/2014	8:00	29,2	29,91	28,47	7,32	12:00	29,54	29,98	28,47	7,32
03/05/2014	8:00	29,05	29,73	28,47	7,09	12:00	29	30,21	28,47	7,09
04/05/2014	8:00	29,3	29,83	28,47	7,03	12:00	28,1	29,87	28,47	7,03
05/05/2014	8:00	29,17	29,63	28,47	7,21	12:00	28,3	29,84	28,47	7,21
06/05/2014	8:00	29,25	29,68	28,47	7,31	12:00	28,8	29,34	28,47	7,31
07/05/2014	8:00	29,27	29,84	28,47	7,74	12:00	28,2	29,31	28,47	7,74

LAMPIRAN D

20:00	30,2	30,12	28,47	7,96	0:00	27,6	28,65	28,47	7,96
20:00	27,9	29,89	28,47	7,06	0:00	27,9	28,98	28,47	7,06
20:00	28	29,65	28,47	7,15	0:00	29,3	29,89	28,47	7,15
20:00	27,3	29,54	28,47	7,57	0:00	29,5	30,05	28,47	7,57
20:00	28	29,12	28,47	7,15	0:00	28,7	29,4	28,47	7,15
20:00	28,89	29,13	28,47	7,2	0:00	27,32	28,42	28,47	7,2
20:00	28,78	29,34	28,47	7,32	0:00	28,3	28,72	28,47	7,32
20:00	28,9	29,47	28,47	7,09	0:00	29	29,89	28,47	7,09
20:00	28,94	29,49	28,47	7,03	0:00	28,1	29,43	28,47	7,03
20:00	28,98	29,49	28,47	7,21	0:00	28,3	29,67	28,47	7,21
20:00	28,67	29,45	28,47	7,31	0:00	27,4	29,89	28,47	7,31
20:00	28,89	29,49	28,47	7,74	0:00	28,2	29,56	28,47	7,74

LAMPIRAN E

08/05/2014	8:00	29,32	30,12	28,47	7,12	12:00	28,9	29,85	28,47	7,12
09/05/2014	8:00	29,45	29,98	28,47	7,82	12:00	28,7	29,79	28,47	7,82
10/05/2014	8:00	29,3	29,89	28,47	7,97	12:00	29,1	29,4	28,32	7,97
11/05/2014	8:00	29,28	29,98	28,47	7,91	12:00	30,2	30,48	28,32	7,91
12/05/2014	8:00	29,32	30,12	28,47	7,57	12:00	30,2	30,54	28,32	7,57
13/05/2014	8:00	29,48	30,08	28,47	7,64	12:00	30,2	30,12	28,32	7,64
14/05/2014	8:00	29,18	30,03	28,47	7,38	12:00	28,8	29,89	28,32	7,38
15/05/2014	8:00	29,42	30,12	28,47	7,76	12:00	28	29,65	28,32	7,76
16/05/2014	8:00	29,24	30,05	28,47	7,73	12:00	28,6	29,54	28,32	7,73
17/05/2014	8:00	29,12	29,94	28,47	7,75	12:00	28	29,12	28,32	7,75
18/05/2014	8:00	29,32	30,14	28,47	7,78	12:00	28,3	30,08	28,32	7,78
19/05/2014	8:00	29,17	30,16	28,47	7,05	12:00	28	29,88	28,32	7,05

LAMPIRAN F

20:00	28,64	29,32	28,47	7,12	0:00	28,9	29,32	28,47	7,12
20:00	28,74	29,35	28,47	7,32	0:00	28,7	29	28,47	7,82
20:00	28,65	29,56	28,32	7,18	0:00	29,1	29,4	28,32	7,97
20:00	28,97	29,58	28,32	7,42	0:00	30,2	30,12	28,32	7,91
20:00	28,64	29,53	28,32	7,57	0:00	30,2	30,42	28,32	7,57
20:00	28,91	29,62	28,32	7,64	0:00	30,2	30,65	28,32	7,64
20:00	28,76	29,71	28,32	7,38	0:00	27,9	29,23	28,32	7,38
20:00	28,69	29,82	28,32	7,76	0:00	28	29,98	28,32	7,76
20:00	28,93	29,48	28,32	7,26	0:00	27,3	28,87	28,32	7,73
20:00	28,74	29,71	28,32	7,3	0:00	28	29,8	28,32	7,75
20:00	28,91	29,83	28,32	7,48	0:00	28,3	29,32	28,32	7,78
20:00	29,32	29,8	28,32	7,25	0:00	28	29,12	28,32	7,05

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Telah berhasil dilakukan perancangan dan pembuatan sistem gabungan OP dan AD berupa sistem gabungan kolam terbuka yang memanfaatkan air alam berupa air hujan yang ditampung dan *turbular coloum* yang bersifat *anaerobic digester*. Pada saat berjalannya penelitian pada sistem gabungan OP dan AD parameter yng terukur yaitu temperatur berada pada *range* temperatur rata-rata 28°C hingga 32°C, parameter pH berada pada kondisi basa dengan *range* 7 hingga 7,9.
2. Dari sistem gabungan OP dan AD dengan variasi pemberian CO₂ dan biostarter dihasilkan volume biogas paling besar pada variasi 50% CO₂ dan 0,75 Kg biostarter yaitu dengan volume biogas sebanyak 44mmH₂O. Sedangkan volume biogas yang dihasilkan pada penelitian tahap tanpa penambahan CO₂ sebesar 4 mmH₂O, pada penambahan 10% CO₂ sebesar 10 mmH₂O, dan ada tahap penambahan 30% CO₂ sebesar 22 mmH₂O.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk kedepannya agar penelitian ini lebih menghasilkan hasil yang lebih baik adalah :

1. Untuk penelitian selanjutnya pada sistem gabungan OP dn AD dapat dilakukan pengendalian untuk pH dan temperatur.
2. Pemberian variasi untuk jenis biostarter yang digunakan.
3. Dilakukan *re-design* untuk sensor LM35 yang digunakan pada *monitoring* temperatur.

“Halaman ini memang dikosongkan”