

# Sistem Pengendalian Temperatur Pada Dinding Bioreaktor Anaerob Secara *Real Time*

Ika Nurina Rachmawati, Rony Dwi Noriyati, Totok Soehartanto  
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Indonesia 60111  
e-mail: onny@ep.its.ac.id

**Abstrak** — Temperatur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses anaerob pada bioreaktor. Dimana pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh perubahan suhu. Maka dari itu akan dilakukan pengendalian temperatur secara *real-time* pada dinding tabung bioreaktor anaerob. Pengendalian temperatur berguna untuk menjaga suhu permukaan bioreaktor saat terjadi perubahan cuaca dari luar. Sebab jika temperatur dinding dijaga pada suhu 35 °C maka temperatur dalam tabung bioreaktor akan berada pada range operasionalnya. Sistem pengendalian temperatur pada dinding bioreaktor berupa elemen pemanas atau heater yang diletakkan pada dinding bioreaktor. Pengukuran temperatur dilakukan pada 3 posisi yaitu t emperatur luar, temperature dinding dan temperatur dalam tabung bioreaktor. Pengujian sistem pengendalian dilakukan dengan memberi gangguan pada dinding bioreaktor berupa aliran air dingin pada dinding bioreaktor ketika kondisi telah stabil dengan mengamati pHnya. Pemberian gangguan dilakukan selama beberapa saat hingga terjadi penurunan temperatur di dalam tabung bioreaktor. Dengan turunnya temperatur maka kontroler akan bekerja untuk mencapai temperatur yang diinginkan sesuai dengan setpoint yang diberikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengendalian temperatur berhasil menjaga suhu dinding bioreaktor anaerob pada suhu 35 °C dari temperatur 25 °C dalam waktu 1900 detik.

**Kata kunci** — Sistem pengendalian temperatur, dinding bioreaktor anaerob.

## I. PENDAHULUAN

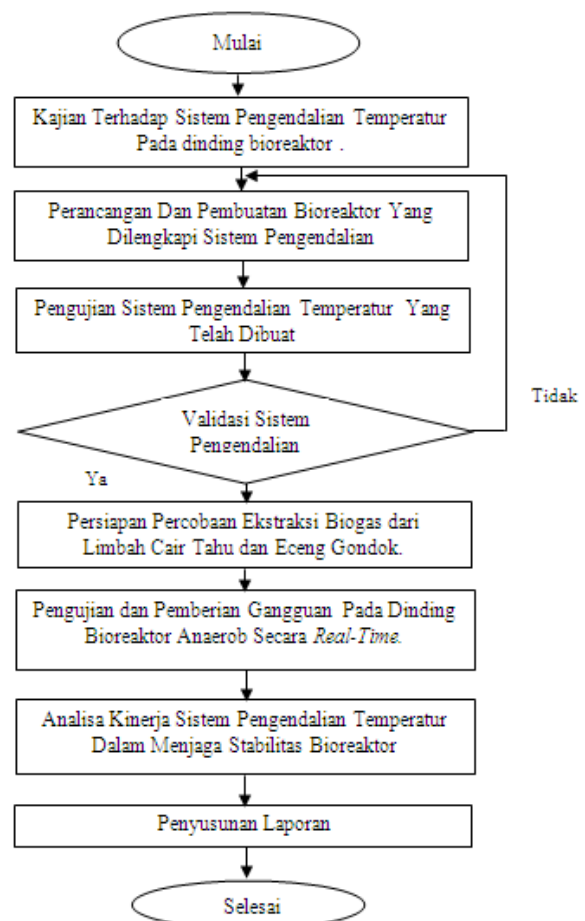
Bioreaktor anaerob merupakan tabung reaktor yang berfungsi untuk mengolah limbah organik melalui proses fermentasi dengan bakteri anaerob. Dimana pertumbuhan mikroorganisme terjadi pada laju konstan dan keadaan lingkungan yang stabil. Dengan kata lain pertumbuhan mikroorganisme sangat rentan terhadap perubahan suhu. Karena perubahan suhu lingkungan dapat mempengaruhi kestabilan suhu yang ada didalam bioreaktor. Maka diperlukan sistem pengendalian temperatur pada dinding bioreaktor untuk menjaga stabilitasnya. Sistem pengendalian temperatur pada dinding bioreaktor disini berupa elemen pemanas atau *heater* yang diletakkan pada dinding bioreaktor untuk menjaga temperatur bioreaktor dari perubahan temperatur karena pengaruh lingkungan. Sebab apabila suhu dalam bioreaktor terlalu rendah atau tinggi maka dapat

mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme didalamnya dan mengakibatkan proses dalam bioreaktor terhenti. Sehingga

dengan adanya *heater* yang diletakkan pada dinding bioreaktor ini berfungsi untuk menjaga stabilitas temperatur bioreaktor. Pada penelitian ini akan dilakukan implementasi sistem pengendalian temperatur pada dinding bioreaktor anaerob secara *real-time*.

## II. URAIAN PENELITIAN

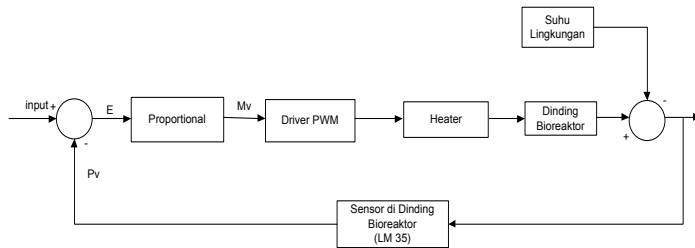
Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dapat diuraikan dalam bentuk *flowchart* sebagai berikut:



Gambar. 1. *Flowchart* Tugas Akhir

### 2.1 Sistem Pengendalian Temperatur

Temperatur adalah salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan dari proses dalam bioreaktor anaerob. Pengendalian temperatur di dinding bioreaktor dilakukan dengan cara menjaga panas dari heater/elemen pemanas menggunakan mikrokontroler. Berikut diagram blok dari sistem pengendalian temperatur pada bioreaktor.



Gambar. 2. Diagram Blok Pengendalian Temperatur

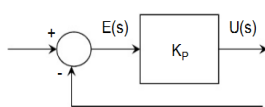
Jenis *control unit* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah jenis kontrol *proportional* dengan menggunakan atmega 8535L. dimana atmega 8535L ini di program dengan bahasa C dan *software* bawaannya adalah codevision AVR dan *visual basic* sebagai data *record* serta visualisasi data dalam bentuk grafik agar mempermudah membaca data dari hasil pengendalian yang telah dilakukan. *Driver pwm* sebagai *actuator* yang berperan meningkatkan temperatur ketika dibawah dari *setpoint*. Karena menggunakan pengendalian kontinyu maka mode kontrol yang digunakan ialah *proportional* karena sesuai dengan kebutuhan sistem yang memiliki respon lambat namun *offset* masih bisa ditolerir [1]. dibawah ini persamaan matematis dari kontrol proporsional sebagai berikut:

Persamaan matematis :

$$u(t) = KP \cdot e(t)$$

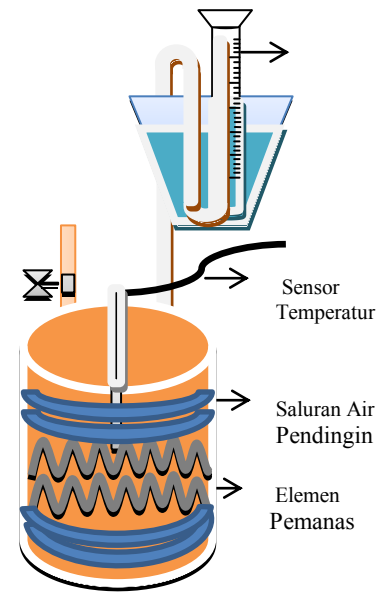
dimana KP : konstanta *proporsional* dalam Laplace

$$U(s)/E(s) = KP$$



Kontrol proporsional sering disebut gain/penguatan. Pengaruh kontrol ini pada sistem ialah menambah atau mengurangi kestabilan, mengurangi (bukan menghilangkan) *error steady state*. untuk menghilangkan *Ess*, dibutuhkan KP besar, yang akan membuat sistem lebih tidak stabil dengan ini jika variabel yang kita kontrol lambat maka akan di kendalikan dengan sinyal kontrol supaya cepat mengalami kenaikan suhu ataupun penurunan, karena sistem dari kerja kontroler proporsional adalah memberi pengaruh langsung (sebanding) pada error. Semakin besar error semakin besar sinyal kendali yang dihasilkan kontroler [1].

### 2.2 Desain Bioreaktor



Gambar. 3. Desain Bioreaktor

Gambar 3 merupakan rancangan desain bioreaktor anaerob yang digunakan dalam penelitian ini. Spesifikasi bagian dari sistem pengendalian suhu yang digunakan antara lain:

- Bioreaktor yang digunakan terbuat dari panci/dandang aluminium dengan volume 21 Liter yang dilengkapi dengan beberapa bagian seperti pada gambar 4.
- Bioreaktor harus kedap udara, tidak boleh bocor sehingga sebelum digunakan harus diuji kebocorannya terlebih dahulu.
- *Heater* yang digunakan yaitu berupa lembaran aluminium foil yang didalamnya terdapat konduktor untuk menghantarkan panas dengan spesifikasi heater menggunakan tegangan input AC 220 Volt, daya 50 Watt.
- Sistem pendingin yang digunakan untuk menurunkan suhu permukaan dinding terdiri dari Pompa 220 V/50 Hz/12W dengan *flowrate* 960 l/h dan Selang air dengan diameter 1.5 cm.

Selain bioreaktor juga menyiapkan beberapa bahan substrat (limbah cair tahu, eceng gondok), bahan seeding (kotoran sapi)[2]. Serta alat ukur (pH meter dan sensor suhu) yang akan digunakan untuk mengukur pH dan suhu pada tiga titik pada bioreaktor setiap harinya.

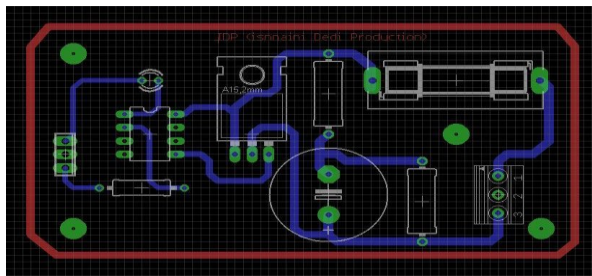
Realisasi dari rancangan tersebut di atas dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar. 4 Realisasi Bioreaktor Anaerob

**2.3 Mikrokontroler ATmega 8535**

Dalam perancangan ini diperlukan suatu rangkaian minimum sistem Atmega 8535 yang berfungsi sebagai gerbang pengidentifikasi data yang masuk maupun yang keluar. Semua data yang masuk dan keluar akan melewati minimum sistem ini dan diolah pada ADC mikrokontroler agar dapat dibaca oleh kontroler.

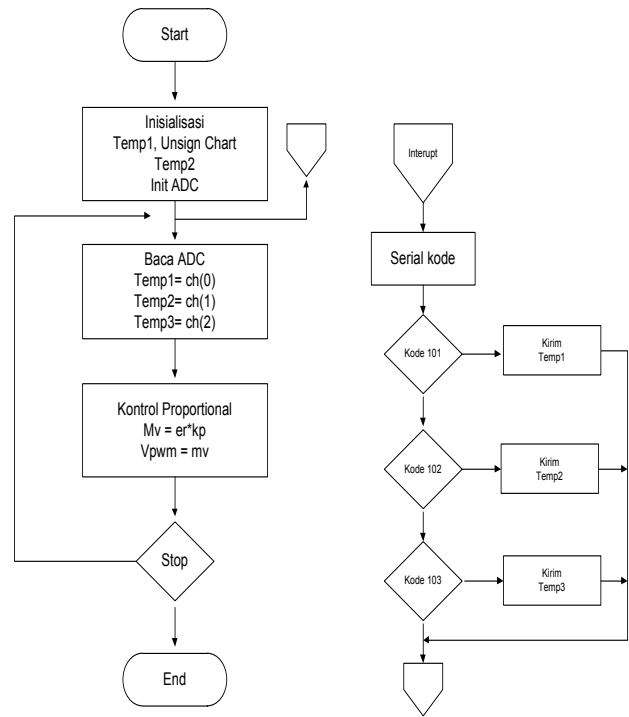


Gambar. 5. Rangkaian AC tanpa relay

Rangkaian aktif ketika ada sinyal kontrol dari mikrokontroler dan sinyal yang diterima yaitu sinyal frekuensi. Semakin cepat nilai frekuensi maka makin besar arus yang dikonsumsi oleh heater/actuator.

**2.4 Pemrograman dan Sistem Komunikasi**

Untuk dapat berhubungan dengan piranti lain dalam hal ini mikrokontroler dengan personal computer (PC), maka pada mikrokontroler dilengkapi dengan fasilitas komunikasi. Komunikasi yang digunakan yaitu komunikasi serial. Agar komunikasi serial dapat berjalan dengan baik dibutuhkan suatu protocol/aturan komunikasi. Untuk interface PC-serial [3]. Pembuatan program digunakan untuk mendukung kerja dari perangkat hardware. Pemrograman dibuat dengan menggunakan program C (Code Vision AVR). Berikut flowchart pemrograman dari sistem pengendalian temperatur :



Gambar. 6. Flowchart Program Mikro

Untuk alur dari jalannya program pada mikrokontroler yakni ketika sistem pengendalian dinyalakan, maka pertama akan dilakukan inisialisasi port input/output, port ADC, serial dan timer. Kemudian mikrokontroler akan membaca nilai suhu yang diukur dari ketiga sensor LM35 yang digunakan.

Dari pengukuran nilai suhu pada permukaan dinding bioreaktor anaerob, maka akan dihitung nilai error pada mikrokontroler. Pada saat reaktor diberi gangguan berupa air dingin sehingga nilai output dibawah set point (<35°C) kemudian pompa dimatikan/off dan heater on. Maka heater akan bekerja lebih untuk menaikkan suhu hingga mencapai set point (35°C).

**2.5 Persiapan Ekstraksi Biogas Dari Limbah Cair Tahu**

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair tahu, yaitu limbah cair yang baru keluar dari proses produksi. Karakteristik limbah cair tahu terlebih dahulu diuji untuk mengetahui kandungan bahan organik yang ada di dalamnya. Selain limbah cair tahu, bahan utama yang digunakan adalah eceng gondok yang dicincang. Kemudian kedua bahan tersebut dicampur. Setelah kedua bahan tersebut tercampur, maka mengukur pH dan suhu untuk mengetahui karakteristik awal dari substrat. Volume limbah cair tahu dan eceng gondok yang dimasukkan ke dalam bioreaktor dengan perbandingan 1,25 : 0,75[2]. Pada bioreaktor anaerob, substrat yang masuk berupa limbah organik yang merupakan nutrisi bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang pada kondisi lingkungan yang mendukung.

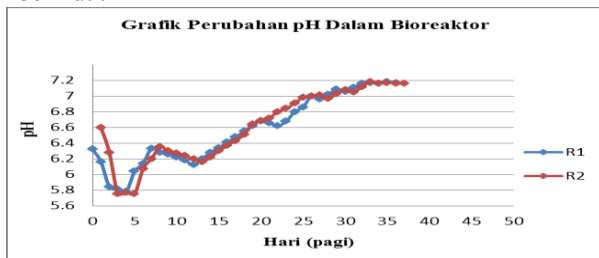
Seeding merupakan proses penanaman bakteri yang akan digunakan sebagai pengurai bahan organik yang ada di dalam limbah. Bibit bakteri anaerobik yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran sapi. Satu ember (± 15 Liter) kotoran sapi yang masih segar, kemudian diencerkan dengan

air perbandingan 1:1. Setelah itu disaring untuk memisahkan padatan yang ada di kotoran sapi tersebut. Kotoran sapi yang sudah disaring kemudian dicampur dengan limbah cair tahu dan eceng gondok ( $\pm 1/3$  dari volume kotoran sapi). Pencampuran kotoran sapi dengan limbah tahu dan eceng gondok ini dimaksudkan agar bakteri anaerob yang ada di dalam kotoran sapi bisa beradaptasi dengan limbah tahu dan eceng gondok sebagai bahan nutrisinya. Kemudian campuran tersebut diinkubasi di dalam *biodigester*

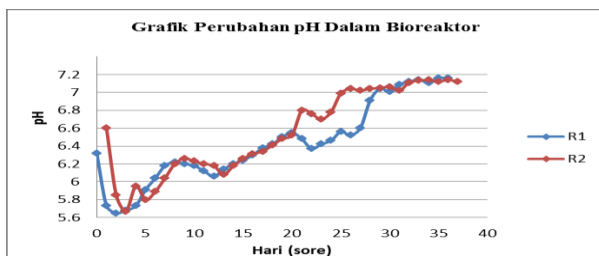
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Karakteristik pH

Pengukuran pH dilakukan pagi dan sore hari. *Trend* pH yang ditunjukkan oleh kedua reaktor dari hari pertama sampai hari ke 36 dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar. 7. Grafik Prubahan pH (pagi)



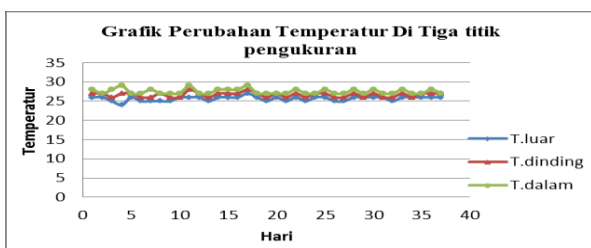
Gambar. 8. Grafik Prubahan pH (sore)

Pada gambar diatas dapat diketahui bahwa :

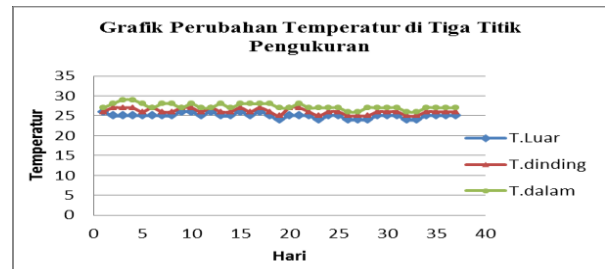
- Pada hari pertama *seeding* pH substrat netral, kemudian terjadi penurunan pH di hari berikutnya.
- Ketika pH mulai netral dan diikuti dengan produksi biogas yang meningkat, maka yang terjadi adalah tahap methanogenesis.

#### 3.2 Karakteristik Suhu

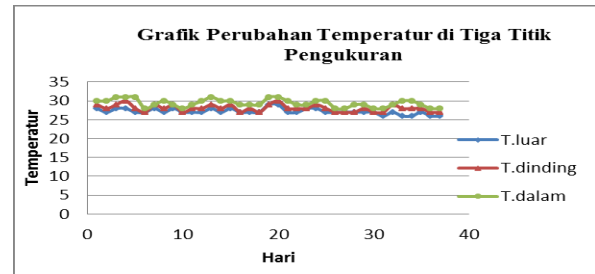
pengukuran suhu dilakukan ditiga titik yakni di luar, di dinding, dan di dalam *biodigester*. pengukuran suhu dilakukan pada sore hari dan pagi hari. Berikut ini adalah hasil pengukuran suhu di kedua reaktor :



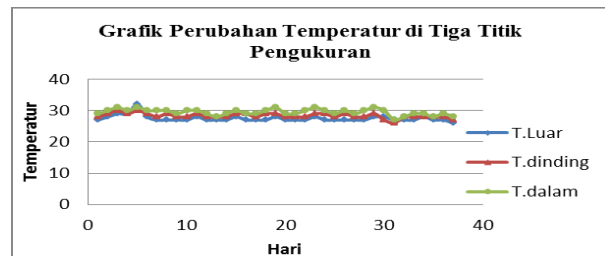
Gambar. 9. Grafik perubahan suhu (pagi) pada tabung bioreaktor 1



Gambar. 10. Grafik perubahan suhu (sore) pada tabung bioreaktor 1



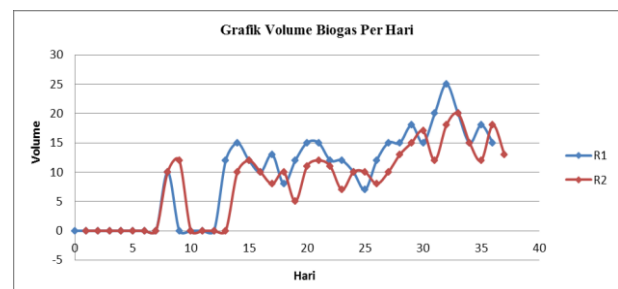
Gambar. 11. Grafik perubahan suhu (pagi) pada tabung bioreaktor 2



Gambar. 12. Grafik perubahan suhu (sore) pada tabung bioreaktor 2

#### 3.3 Produksi Biogas

Pengukuran volume dilakukan pada sore hari. Hasil pengukuran volume yang ditunjukkan oleh kedua reaktor :



Gambar. 13. Grafik volume biogas

Biogas adalah gas hasil akhir dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri-bakteri anaerob pada kondisi anaerobik (bebas oksigen).

#### 3.4 Pemberian Gangguan Pada Sistem Pengendalian Temperatur Pada Dinding Bioreaktor

Untuk mengetahui kinerja sistem pengendalian temperatur yang telah dibuat maka pengujian dilakukan dengan cara memberikan gangguan pada dinding bioreaktor yakni pada saat kondisi pH mulai stabil selama beberapa saat hingga ada penurunan temperatur di dalam tabung bioreaktor.





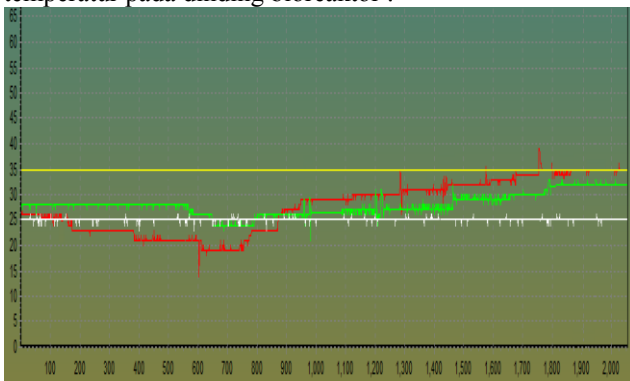
Gambar. 14. Pemberian Gangguan Pada Dinding Tabung Bioreaktor

Pengujian pada sistem pengendalian temperatur pada dindingbioreaktor anaerob ini terdiri dari dua macam yaitu yang pertama :

1. Pada tabung bioreaktor pertama : Dinding tabung bioreaktor didinginkan terlebih dahulu dengan selang yang dialiri air es yang diskulasikan dengan pompa hingga beberapa saat sampai suhu yang ada di dalam tabung bioreaktor mengalami penurunan kemudian tabung dipanaskan dengan menggunakan elemen pemanas (*heater*).
2. Pada tabung bioreaktor kedua : Melakukan pengujian dengan cara yang sama seperti pada tabung pertama namun tidak menggunakan pemanas.

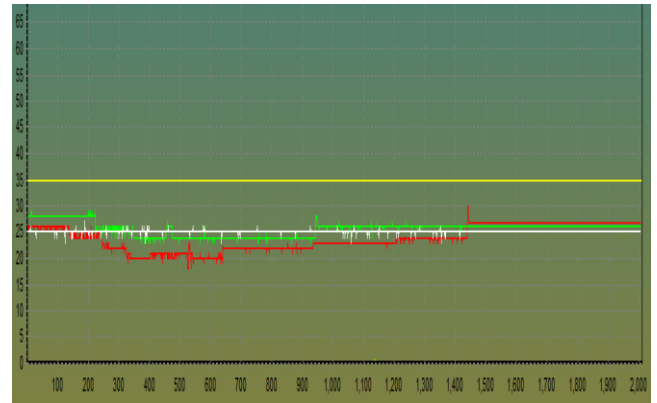
Hal ini dimaksudkan agar dapat mengetahui respon perubahan suhu dari kedua reaktor baik suhu yang berada di dinding dan suhu di dalam tabung bioreaktor. Saat tabung pertama menggunakan *heater* yang dikendalikan oleh mikrokontroler untuk menjaga suhu di dinding bioreaktor sesuai dengan *set point* yaitu 35°C dan tabung yang kedua tanpa menggunakan pemanas/*heater*.

Berikut grafik respon gangguan pada sistem pengendalian temperatur pada dinding bioreaktor :



Gambar. 15. Grafik Respon Gangguan Pada Dinding Berpemanas (menggunakan *heater*).

Berdasarkan grafik pada gambar 15 dapat diketahui bahwa respon suhu pada dinding bioreaktor dapat mencapai suhu 35°C ditunjukkan pada grafik berwarna merah dan suhu di dalam bioreaktor mengalami kenaikan yaitu berada pada suhu 32°C (grafik berwarna hijau). Dan setpoint dengan grafik warna kuning serta temperatur luar dengan grafik berwarna putih.



Gambar. 16. Grafik Respon Gangguan Pada Dinding tanpa pemanas (tanpa *heater*).

Pada gambar 16, grafik respon menunjukkan saat suhu dinding 26°C maka suhu di dalam bioreaktor masih berada pada 25°C. sehingga dapat disimpulkan bahwa pada tabung bioreaktor tanpa pemanas membutuhkan waktu cukup lama untuk kembali ke keadaan awal/suhu awal sebelum diberi gangguan.

Setelah dilakukan pengujian pada dinding bioreaktor anaerob maka dapat diambil kesimpulan bahwa perubahan yang terjadi apabila tabung reaktor tanpa menggunakan *heater*/pemanas yang berada di dinding tabung bioreaktor akibat suhu yang dingin akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk kembali ke keadaan awal/suhu normal dibandingkan dengan tabung reaktor yang berpemanas. Setelah itu dilakukan juga pengamatan pada volume gas yang dihasilkan dan ternyata terjadi sedikit penurunan jumlah volume. Berikut tabel perubahan volume gas yang dihasilkan :

Tabel 1.  
Perubahan Volume Gas

Hari Ke	Reaktor 1	Reaktor 2
26	12	10
27	15	13
28	15	15
29	18	17
30	15	12
31	20	15

#### IV. KESIMPULAN

##### 4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan sistem pengendalian suhu pada dinding bioreaktor anaerob secara *real time* untuk menjaga stabilitas bioreaktor. Maka didapatkan kesimpulan bahwa :

1. Telah dihasilkan sistem pengendalian temperatur pada dinding bioreaktor anaerob menggunakan pengendalian otomatis dengan pengendali proporsional guna menjaga stabilitas bioreaktor berada pada *range* suhu operasionalnya.
2. Sistem pengendalian temperatur yang dibuat mampu mempertahankan suhu dinding bioreaktor pada suhu 35 °C,

sesuai dengan kisaran suhu pertumbuhan mikroorganisme antara 30 hingga 35 °C.

3. Sistem pengendalian temperatur menggunakan mode kontrol proporsional dengan parameter  $K_p$  sebesar 2.5. Dari hasil penelitian untuk tabung bioreaktor berpemanas saat temperatur dinding tabung bioreaktor mengalami perubahan atau kenaikan pada suhu 35°C dari temperatur 25°C didapatkan nilai *rise time* = 1120 detik, *settling time* = 1740 detik, dengan overshoot = 5°C.
4. Sedangkan pada tabung bioreaktor tanpa pemanas menunjukkan ketika temperatur dinding tabung bioreaktor mengalami perubahan dari temperatur 20°C hingga mencapai temperatur 26°C membutuhkan waktu 3600 detik dengan kata lain sistem tidak dapat mencapai temperatur yang diinginkan.

#### 4.2 Saran

Saran yang perlu disampaikan untuk pengembangan penelitian ini kedepannya adalah :

1. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian terhadap biogas yang dihasilkan karena keterbatasan sarana/prasarana. Sehingga untuk penelitian selanjutnya boleh dilakukan pengujian pada biogas yang dihasilkan.
2. Pada penelitian ini gas kolektor menggunakan gelas ukur yang berisi air didalamnya sehingga ketelitian untuk pengukuran volume kurang. Sehingga untuk penelitian bioreaktor selanjutnya menggunakan gas kolektor yang lebih akurat dengan dilengkapi sensor gas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunterus, Frans. 1997. *Falasafah Dasar: Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: Elex MK.
- [2] Utami, Ardhaningtyas Riza. 2012. "Analisa Ekstraksi biogas dari Limbah cair tahu dengan menggunakan bioreaktor anaerobik berbahan aditif eceng gondok". Tesis. Surabaya : Teknik Fisika, ITS.
- [3] Heri Andrianto. 2008. *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA16 Menggunakan Bahasa C*. Bandung: Informatika.